

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

**KLIMAGUTACHTEN ZUM BEBAUNGSPLAN
NR. 586C „ENTWICKLUNG BAYREUTHER STRASSE“
IN LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**



Auftraggeber



Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein
Postfach 21 12 25
67012 Ludwigshafen a. Rhein

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst
Dr. Wolfgang Lähne

Mannheim, 15. November 2022

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

Geschäftsinhaber:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

Gemeinsam engagiert in der



Deutsche Bank Mannheim
IBAN:
DE73 6707 0024 0046 0600 00
BIC: DEUTDE33HAN

Steuernummer: 37137/44979

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet und Planungsentwurf	3
3	Untersuchungsmethodik	4
4	Klimaökologische Analyse	7
4.1	Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Ludwigshafen a. Rh. und Folgen des Klimawandels	7
4.2	Ortsspezifisches Strömungsgeschehen	10
4.3	Ortsspezifische thermische Situation	12
4.4	Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet und in dessen Umfeld	13
5	Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der kaltluftspezifischen, strömungsdynamischen und thermischen Folgeerscheinungen des Planungsvorhabens	15
5.1	Modellrechnungen zum lokalen Kaltluftströmungsgeschehen	18
5.1.1	Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen mit einer west-südwestlichen Antriebsströmung (= erste Nachthälfte)	19
5.1.2	Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen mit einer nord-nordwestlichen Antriebsströmung (= zweite Nachthälfte)	21
5.2	Modellrechnungen zur ortsspezifischen Belüftungssituation am Tag	23
5.2.1	Luftströmungen aus südwestlichen Richtungen	24
5.2.2	Luftströmungen aus südsüdöstlichen Richtungen	25
5.3	Modellrechnungen zur ortsspezifischen Belüftungssituation in der Nacht	26
5.3.1	Luftströmungen aus westsüdwestlichen Richtungen	26
5.3.2	Luftströmungen aus nordnordwestlichen Richtungen	27
5.4	Modellrechnungen zu den thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen	28
5.4.1	Thermische Situation an einem heißen Sommertag (16 Uhr) mit mäßiger südwestlicher bzw. südsüdöstlicher Luftströmung	30
5.4.2	Thermische Situation in einer warmen Sommernacht (23 Uhr / 04 Uhr) mit mäßiger westsüdwestlicher bzw. nordnordwestlicher Luftströmung	34
6	Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen	35
	Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften	44

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Lage des Bebauungsplangebiets Nr. 586c mit geplantem Schulstandort „Bayreuther Straße“ im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein
- Abb. 2:** Geländehöhen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld
- Abb. 3:** Luftbild vom Planungsgebiet und von dessen Umfeld
- Abb. 4:** Fotografische Dokumentation vom Planungsgebiet
- Abb. 5:** Bebauungsplan 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ (Vorentwurf, 27.07.2022)
- Abb. 6:** Rahmenplan „Entwicklungssachse West“
- Abb. 7:** Planungsentwurf für den Schulstandort „Bayreuther Straße“
- Abb. 8.1:** 10-jährige Windstatistik (2011 – 2020) für die ZIMEN-Messstationen Mundenheim und Oppau sowie für den Messstandort BAF S801
- Abb. 8.2:** Windstatistik für das Datenkollektiv Strahlungstage (Juni – September 2021), ZIMEN-Messstationen Mundenheim und Oppau sowie Messstandort BASF S801
- Abb. 9.1:** Windstatistik für den Standort Bayreuther Straße. Zeitraum: 06/1998 – 05/1999
- Abb. 9.2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit am Stationsstandort Rotkreuzstraße. Zeitraum: 06 – 09/2021, Strahlungstage
- Abb. 10:** Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Nächtliche Kaltluftbewegungen / Flurwinde (04 Uhr) in einer windstillen, sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 11:** Isothermenkarte Ludwigshafen a. Rh. 22.-23.07.2021, 00:00 Uhr
- Abb. 12:** Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte Ludwigshafen a. Rh. 2000
- Abb. 13:** Modellgebiet der mesoskaligen Kaltluftströmungssimulationen. Luftbild mit berücksichtigten baulichen Entwicklungsflächen
- Abb. 14.1:** Ist-Zustand – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s

- Abb. 14.2:** Plan-Zustand – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s
- Abb. 14.3:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s
- Abb. 15.1:** Ist-Zustand – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s
- Abb. 15.2:** Plan-Zustand – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s
- Abb. 15.3:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s
- Abb. 16.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)
- Abb. 16.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)
- Abb. 16.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)

- Abb. 17.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)
- Abb. 17.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)
- Abb. 17.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)
- Abb. 18.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 18.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 18.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 19.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 19.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 19.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)

- Abb. 20.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 20.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 20.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 21:** Ist-Zustand und Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zum Bioklima. Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) 2 m ü.G. bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation: 14 Uhr)
- Abb. 22.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 22.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 22.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Tagsituation, 16 Uhr)
- Abb. 23.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 23 Uhr)
- Abb. 23.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 23 Uhr)

- Abb. 23.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 23 Uhr)
- Abb. 24.1:** Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 04 Uhr)
- Abb. 24.2:** Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 04 Uhr)
- Abb. 24.3:** Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü. G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü. G. (Nachtsituation, 04 Uhr)
- Abb. 25:** Ergänzende Planungsempfehlungen aus klimaökologischer Sicht

1 Aufgabenstellung

In Ludwigshafen a. Rh. ist im Bereich der Entwicklungsachse West westlich der Bayreuther Straße in den Gewannen „Im stolzen Eck“ und „Remisen“ der Neubau eines Schulzentrums geplant (Lage siehe **Abbildung 1**). Der Standort ist Bestandteil des Bebauungsplangebiets Nr. 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“.

Neben Schulgebäuden sind Sporthallen und Sportplätze vorgesehen. Durch die Lage unmittelbar südlich der Stadtbahntrasse mit der Haltestelle Heinrich-Pesch-Haus ist der potenzielle Schulstandort gut an das Nahverkehrsnetz angeschlossen.

Wie den Ergebnissen der Stadtklimauntersuchungen Ludwigshafen (ÖKOPLANA 2022, ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) und dem amtlichen Gutachten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (1991) zur Entwicklungsachse West zu entnehmen ist, befindet sich das Planungsgebiet zwischen der A 650 im Süden und der Mannheimer Straße /Frankenthaler Straße (K 8) im Norden in einem klimaökologischen Ausgleichsraum, der mit seinen landwirtschaftlichen Nutzflächen, Gärten und Gehölzflächen bislang als großflächige Ventilationsfläche und als siedlungsnahes Kalt-/Frischluftquellgebiet fungiert. Mit der baulichen Inanspruchnahme durch das Gewerbegebiet Mittelstandspark, die Stadtquartiere Heinrich-Pesch-Siedlung und Quartier Kopernikus sowie durch die geplanten Gewerbegebietsflächen westlich und östlich der Bayreuther Straße gehen Teile des o.a. Freiraumgefüges und dessen lokalklimatischen Gunstfunktionen verloren.

Im Rahmen des anstehenden Bebauungsplanverfahrens sind daher mit Hilfe eines vertiefenden Klimagutachtens die im Planungsgebiet und in dessen Umfeld zusätzlich auftretenden strömungsdynamischen und thermischen Verhältnisse projektbezogen zu analysieren und die aus den vorgesehenen Planungen bzw. bereits erfolgten Baumaßnahmen resultierenden lokalklimatischen Modifikationen herauszuarbeiten und zu beurteilen.

Angesichts des Klimawandels mit einer zunehmenden Häufung von Hitzetagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) ist es von Bedeutung, dass die vom Planungsgebiet ausgehende Wärmebelastung in der Umgebungsbebauung nicht überproportional ansteigt und innerhalb des neuen Schulstandortes mit Hilfe von Platz-/Grünstrukturen sowie Ventilationsachsen/-flächen thermische Gunsträume geschaffen werden. Auch eine Vernetzung mit den klimaökologischen Ausgleichsräumen im Umfeld bieten Möglichkeiten zu Gestaltung günstiger lokalklimatischer Umgebungsbedingungen.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen baulichen Veränderungen auf das örtliche klimatische Wirkungsgefüge werden auf Grundlage vorhandener Klimadaten mit Hilfe meso-/mikroskaliger Modellrechnungen die klimaökologischen Positiv- und Negativeffekte der geplanten Schule analysiert. Über die Formulierung von ergänzenden Planungshinweisen werden ggf. Maßnahmen zur Sicherung bzw. Neugestaltung günstiger strömungsdynamischer und thermischer / bioklimatischer Verhältnisse aufgezeigt.

Für die Klimauntersuchung sowie für die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in planungsbezogene Bewertungen und Empfehlungen werden demnach folgende Schwerpunkte gesetzt:

- 1 Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Auswertung vorhandener Klimadaten und Prognosen zum Klimawandel.
- 2 Qualitative / quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen dem Planungsgebiet und dessen Umfeld sowie der zu erwartenden planungsbedingten klimatischen Veränderungen mit Hilfe meso-/mikroskaliger Modellrechnungen.
 - a) Vergleichende Beurteilung von Ist- und Plan-Zustand bzgl. der lokalen nächtlichen Kaltluftbewegungen (stabile Luftschichtung) in einer sommerlichen Strahlungsnacht.
 - b) Vergleichende Beurteilung des Luftaustauschverhaltens bzw. der Belüftungsintensität für relevante Anströmrichtungen (Ist- und Plan-Zustand), Tag- und Nachtsituation (labile / neutrale Luftschichtung).
 - c) Vergleichende Beurteilung von Ist- und Plan-Zustand bzgl. der thermischen (Lufttemperatur) sowie der bioklimatischen (PET) Umgebungsbedingungen für jeweils relevante Tag- und Nachtsituationen.
- 3 Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer und thermischer/bioklimatischer Umgebungsbedingungen.

2 Planungsgebiet und Planungsentwurf

Der geplante Schulstandort ist Bestandteil des Bebauungsplans 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ und befindet sich im Bereich der Gewanne „Im stolzen Eck“ und „Remisen“ westlich der Bayreuther Straße. Die Geländehöhe beträgt ca. 91 - 92 m ü. NHN (**Abbildung 2**). Die Bayreuther Straße östlich des Schulstandorts steigt von Süden nach Norden von ca. 93 m ü. NHN auf ca. 96 m ü. NHN an.

Wie das Luftbild in **Abbildung 3** sowie die Fotoaufnahmen in **Abbildung 4** zeigen, umfasst das Planungsgebiet für den Schulstandort weitgehend Ackerflächen. Nur am Nord- und Ostrand bestehen entlang der Stadtbahntrasse und der Bayreuther Straße Gehölzflächen.

Die im Bebauungsplan 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ (Entwurf 27.07.2022 – **Abbildung 5**) festgesetzte Gemeinbedarfsfläche für den Schulneubau umfasst eine Fläche von ca. 4.8 ha. Als GRZ ist ein Wert von 0.7 vorgesehen. Die max. Gebäudehöhe beträgt 18 m.

Ergänzend sind im Bebauungsplan 586c südöstlich des Schulstandorts zwei Gewerbegebietsflächen sowie eine Vorbehaltsfläche zur Erweiterung des Hauptfriedhofs ausgewiesen. Die GRZ ist in den Gewerbegebietsflächen jeweils auf 0.8 festgesetzt. Die max. Gebäudehöhen belaufen sich auf 15 m.

Die o.a. Planungsgebiete sind Bestandteile des Rahmenplans „Entwicklungssachse West“ (**Abbildung 6**), der weitere Stadtentwicklungsflächen wie den Mittelstandspark, die Heinrich-Pesch-Siedlung sowie das Quartier Kopernikus umfasst. Daneben sind noch weitere gewerbliche Entwicklungsflächen südlich und nordöstlich der Wollstraße (K 4) angedacht.

In **Abbildung 7** ist ein möglicher Planungsentwurf für den Schulstandort (Grundschule und weiterführende Schule) dargestellt. Er dient nachfolgend als Referenzentwurf für die Modellrechnungen.

Für die Schulgebäude ist entsprechend des Bebauungsplanentwurfs eine max. Gebäudehöhe von 18 m anzunehmen. Für die beiden Sporthallen werden Bauwerkshöhen von jeweils 10 m angesetzt. Den beiden Sportflächen werden im Rahmen der nachfolgenden klimaökologischen Bewertungen Beläge mit Kunstrasen zugeordnet. Für die Pausenhöfe / Freiflächen und Erschließungsflächen werden graue Pflasterbeläge angenommen.

Zur Gestaltung möglichst günstiger kleinklimatischer Verhältnisse sollen u.a. Baumpflanzungen und begrünte Versickerungsflächen dienen.

3 Untersuchungsmethodik

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

Hierbei wird u.a. auf Erkenntnisse aus vorliegenden Klimauntersuchungen zurückgegriffen:

- DEUTSCHER WETTERDIENST (1991): Amtliches Gutachten zu den lokalen Auswirkungen einer Bebauung des Bereiches „Entwicklungssachse West“ in Ludwigshafen. Offenbach am Main.
- ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000): Klimagutachten 2000 für den Flächennutzungs- / Landschaftsplan der Stadt Ludwigshafen a. Rh. Trier.
- ING. -BÜRO LOHMEYER GMBH & CO. KG (2020): B-Plan Nr. 657 „Westlich Heinrich-Pesch-Haus“ und B-Plan Nr. 586b „Mittelstandspark Mannheimer Straße“ in Ludwigshafen a. Rh. – lokalklimatische Betrachtungen. Karlsruhe.
- ÖKOPLANA (2022): Erfassung meteorologischer Daten in Ludwigshafen a. Rh. Mannheim.

Zudem werden Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die ortsspezifischen Klimadaten analysiert.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe des seit vielen Jahren im Gutachtensektor eingesetzten und vielfach geprüften Kaltluftströmungsmodells KLAM_21 (Vers. 2.012, siehe **Grafik 1**) des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES die ortstypischen lokalen Kaltluftbewegungen in einer sommerlichen windschwachen Strahlungsnacht analysiert.

```
*****
*   Deutscher Wetterdienst   *
*   Modell KLAM_21          *
*   Version 2.012           *
*****
```

Programm gehoert: Ökoplane, Mannheim

Grafik 1: „Programmstempel“ KLAM_21

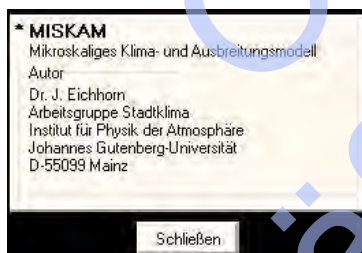
Dabei wird dem Plan-Zustand mit Schulstandort in Absprache mit dem Auftraggeber der potenzielle Ist-Zustand mit Realisierung der in Kap. 2 genannten Stadtentwicklungsprojekte in der Entwicklungssachse West gegenübergestellt.

Als Basis dient ein digitales Geländemodell im 5 m-Raster (DGM_10), das von der STADT LUDWIGSHAFEN A. RH. bzw. vom LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION RHEINLAND-PFALZ bereitgestellt wurde.

Mit Hilfe der KLAM_21-Simulationen können die möglichen Veränderungen des örtlichen, kaltluftbedingten Windfeldes durch die potenziellen Flächennutzungsänderungen aufgezeigt werden.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass eine solche Abschätzung zur Auswirkung von geplanten Flächennutzungsänderungen nur durch den Einsatz numerischer Modelle möglich ist. Messungen helfen bei dieser Problemstellung nicht weiter, da nur existierende atmosphärische Zustände instrumentell erfassbar sind. Modellrechnungen gestatten es dagegen, schon im Planungsstadium vorgesehener Nutzungsänderungen mögliche unerwünschte oder gar negative Klimaveränderungen zu erkennen. Unter Berücksichtigung der Modellunsicherheiten hinsichtlich des Vereinfachungsgrades eines Modells und der vielfältigen Eingabegrößen sind diese Ergebnisse sehr wertvolle Planungs- und Entscheidungshilfen.

Zur Bilanzierung der kleinräumigen Belüftungsverhältnisse (Ist-Zustand, Plan-Zustand) kommt das mikroskalige Klimamodell MISKAM¹ (**Grafik 2**) zum Einsatz. Bei dem prognostischen Strömungsmodell werden die Bau- und Flächennutzungsstrukturen im vorliegenden Fall in einem Gitter (horizontal 5 x 5 m, vertikal nicht-äquidistant 0.5 - 10 m) abgebildet. Vegetationsflächen werden über ihre Wuchshöhe, Blattflächendichte und Bedeckungsgrad definiert. Der Bedeckungsgrad wird mit 30 – 50% angesetzt.



Grafik 2: „Programmstempel“ MISKAM

¹ **GIESE-EICHHORN (1998/2016):** 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.

Die Analyse der thermischen / bioklimatischen Verhältnisse für den Ist- und Plan-Zustand erfolgt mit dem Klimamodell ENVI-met² (siehe **Grafik 3**).

Your version: **V5.0.3 Summer22**

Your Version: **5.0.3**



Grafik 3: „Programmstempel“ ENVI-met

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

ENVI-met ist ein Mikroklimamodell, das auf Grundlage der numerischen Strömungsdynamik die Wechselwirkung zwischen Gebäuden, Vegetation, natürlichen und künstlichen Oberflächen in einer virtuellen Umgebung simuliert. Dabei werden die wichtigsten atmosphärischen Prozesse nachgebildet. Die mathematischen Berechnungen beruhen nach BRUSE (1999) auf den Gesetzen der Strömungs- (Windfeld) und Thermodynamik (Temperaturberechnungen) sowie der allgemeinen Atmosphärenphysik (z.B. Turbulenzprognose). Die Bebauung wird durch einfache Basiselemente (Würfel in ENVI-met: Grid) nachgebaut / modelliert (5 m x 5 m in der Horizontalen, 0.5 - 2 m nicht-äquidistant in der Vertikalen). Alle Strukturen (z.B. Vegetation, Gebäude) werden in rechtwinklige Modellquader eingebettet.

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

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

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

Abschließend erfolgt auf Grundlage der klimaökologischen Analysen eine Bewertung.

² BRUSE, M. (2002/2022): ENVI-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.

4 Klimaökologische Analyse

4.1 Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Ludwigshafen a. Rh. und Folgen des Klimawandels

Das Stadtgebiet von Ludwigshafen a. Rh. befindet sich nach der Systematik von KÖPPEN in der warmgemäßigten Klimazone. Bioklimatisch ist der Raum Ludwigshafen durch seine Lage in der Oberrheinischen Tiefebene als Zone mit häufiger Wärmebelastung und seltenem Kältereiz zu bewerten (<https://www.dwd.de>).

Die Jahresmitteltemperatur beträgt in Ludwigshafen a. Rh. laut GERICS³ (2021, <https://www.gerics.de/klimaausblick-landkreise>) im 30-jährigen Mittel ca. 10.6°C (1971 – 2000). Die Julitemperaturen erreichen Durchschnittswerte um 19.8°C, die minimalen Durchschnittswerte werden im Januar mit 1.8°C im Januar bestimmt.

Laut Statistik von GERICS (2021) sind in Ludwigshafen a. Rh. im 30-jährigen Mittel (1971 – 2000)

- 11.6 Eistage $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$
- 58.5 Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 11.5 heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- 50.3 Sommertage ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)
- 0.6 Tropennächte ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)

zu registrieren.

Mittelfristige Prognosen weisen darauf hin, dass die sommerliche Wärmebelastung im Zuge des globalen Klimawandels im Raum Ludwigshafen deutlich zunehmen wird.

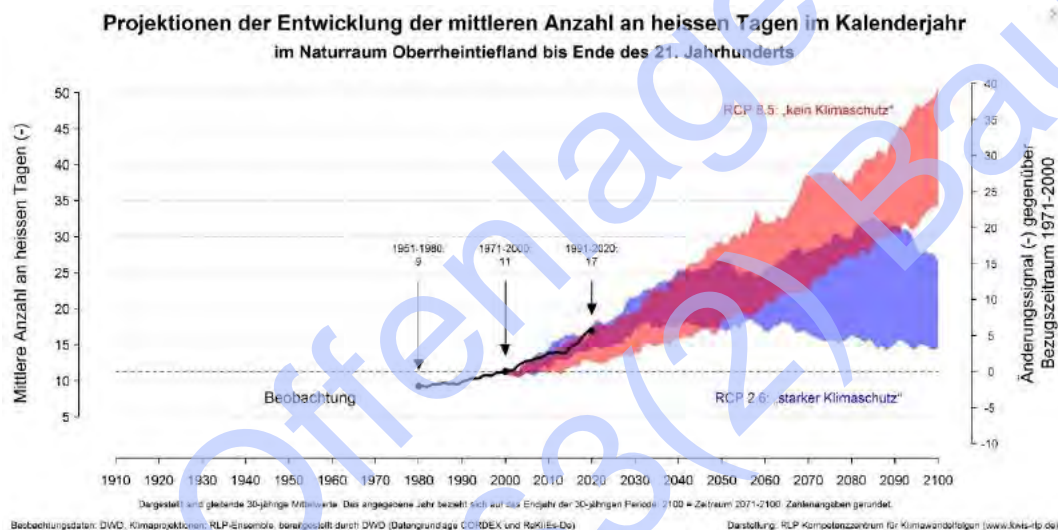
Nach Berechnungen von GERICS (2021) wird die mittlere Jahresmitteltemperatur gegenüber der Zeitspanne 1971 – 2000 im Zeitraum 2036 – 2065 (= nahe Zukunft) um ca. 1.9°C zunehmen. Die Anzahl der bioklimatisch besonders relevanten heißen Tage und Sommertage wird um ca. 8.7 Tage/Jahr bzw. 18.4 Tage/Jahr ansteigen.

³ GERICS = Climate Service Center Germany mit Sitz in Hamburg

Da zugleich die Anzahl der Tropennächte (+5.1 Tage/Jahr) zunimmt, steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit langanhaltender Hitzewellen. Die erhöhte Wärmebelastung führt insbesondere bei alten und kranken Menschen sowie Kleinkindern zu gesundheitsgefährdendem Hitzestress.

Den Projektionen o.a. liegt das Antriebsszenario RCP8.5⁴ (mittlere bzw. hohe Temperaturzunahme) zu Grunde, das hohe zukünftige Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

Der prägnante Anstieg der klimawandelbedingte Wärmebelastungen wird durch **Grafik 4** veranschaulicht.



Grafik 4: Projektionen der Entwicklung der mittleren Anzahl an heißen Tagendie im Kalenderjahr im Naturraum Oberrheintiefland bis Ende des 21. Jahrhunderts – www.kwis-rlp.de.

Die Jahressumme des Niederschlags beläuft sich in Ludwigshafen a. Rh. im 30-jährigen Mittel (1971 .2000) auf ca. 599 mm (GERICS 2021), wobei der Monat Juni die größte Niederschlagshöhe (ca. 70 mm) aufweist. In diesem Monat kommt es durch hohe Einstrahlungsintensität und der daraus folgenden Konvektion mit Wolkenbildung verstärkt zu Schauern und Gewittern. Die geringsten Niederschläge treten mit einer monatlichen Niederschlagsmenge von durchschnittlich ca. 34 mm im Februar auf.

⁴ Das Szenario RCP 8.5 weist einen starken Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8 C gegenüber dem Zeitraum 1985-2005 bewirken würde. Das Szenario RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher Szenario“ bezeichnet (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021).

Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (≥ 20 mm/Tag) wird in der Projektion 2036 – 2065 um ca. 0.8 Tage/Jahr zunehmen.

Bezüglich der Windgeschwindigkeit werden sich klimawandelbedingt in Ludwigshafen a. Rh. keine markanten Veränderungen einstellen.

Die STADT LUDWIGSHAFEN A. RHEIN hat die Problematik des Klimawandels frühzeitig erkannt und weist u.a. mit Hilfe der Stadtklimaanalyse Ludwigshafen a. Rh. (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) darauf hin, dass insbesondere stadtklimatisch relevante Kaltluftentstehungsgebiete sowie Kalt- und Frischluftbahnen vor großflächiger Überbauung zu schützen sind.

In Gebieten mit besonderer klimatischer Vorbelastung und Gefährdungsempfindlichkeiten sind weitere Barrierewirkungen und Oberflächenversiegelungen zu vermeiden und (wo möglich) abzubauen.

Die Windverhältnisse werden nach vorliegenden 10-jährigen Windstatistiken (**Abbildung 8.1**) in Ludwigshafen a. Rh. im Allgemeinen von südlichen bis südwestlichen (Station BASF S801 ca. 35% der Jahresstunden) sowie nordnordwestlichen bis nördlichen Winden bestimmt (Station BASF S801 ca. 22% der Jahresstunden) bestimmt, wobei es durch die Flächennutzung (u.a. Bebauung, Straßenzüge) lokal zu Differenzierungen kommen kann (siehe Windstatistiken ZIMEN Mundenheim und ZIMEN Oppau).

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in Bebauungsrandlagen bzw. in weniger dicht bebauten Wohngebieten ca. 1.8 – 2.1 m/s, wobei am Tag gegenüber den Nachtstunden etwas höhere Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen sind. In den Nachtstunden ist die Luft des Öfteren stabil geschichtet, wodurch der vertikale Luftaustausch und damit auch die horizontale Windgeschwindigkeit reduziert ist.

In freien Lagen sind im mehrjährigen Mittel mittlere Windgeschwindigkeiten bis über 3.0 m/s möglich. So wurde bspw. im Bereich des Freiraumgefüges Roßlache im Zeitraum 01.09.1980 – 31.08.1982 eine mittlere Windgeschwindigkeit von ca. 3.8 m/s gemessen (DEUTSCHER WETTERDIENST 1983).

Siedlungsklimatisch besonders relevant sind austauscharme Hochdruckwetterlagen, die insbesondere in den Nachtstunden zu einer deutlichen Minderung des horizontalen und vertikalen Luftaustausches führen. Bei derartigen Wetterlagen können sich siedlungsklimatisch relevanten Effekte (Wärmestaus am Tag / Entwicklung von Flurwindeffekten, Ausbildung von Kaltluftseen in der Nacht) verstärkt ausbilden. Sogenannte Strahlungsächte mit lokaler Kaltluftbildung treten im Raum Ludwigshafen a. Rh. an ca. 20 - 25% der Nächte/Jahr auf (ÖKOPLANA 2022, DEUTSCHER WETTERDIENST 1983).

Wie die Windstatistiken für Strahlungstage in der **Abbildung 8.2** dokumentieren, ist an Strahlungstagen in Ludwigshafen a. Rh. ein auffallender tagesperiodischer Windrichtungswechsel zu verzeichnen. Während am Tag großwetterlagenbedingt vermehrt nördliche bis nordnordöstliche Windrichtungen auftreten, dreht der Wind in der ersten Nachthälfte sowohl im Norden als auch im Süden von Ludwigshafen a. Rh. vermehrt zu nordöstlichen bis östlichen Richtungen. Im Bereich der Entwicklungsachse West (Schulstandort Bayreuther Straße) zeigen Messungen der ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000) – **Abbildung 9.1** – in der ersten Nachthälfte eine Häufung flurwindartiger Westsüdwest- bis Westwinde.

In der zweiten Nachthälfte bestimmen im gesamten Stadtgebiet zunehmend regional angelegte Nordnordwestwinde den bodennahen Luftaustausch.

Die Windverhältnisse am geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ werden im nachfolgenden Kap. 4.2 detailliert erläutert.

4.2 Ortsspezifisches Strömungsgeschehen

Kenntnisse über das ortsspezifische Strömungsgeschehen sind zur Beurteilung der klimatischen Situation notwendig, da neben den thermischen Verhältnissen vor allem die bodennahe Ventilation die Auftretenshäufigkeit bioklimatischer Belastungen mitbestimmt.

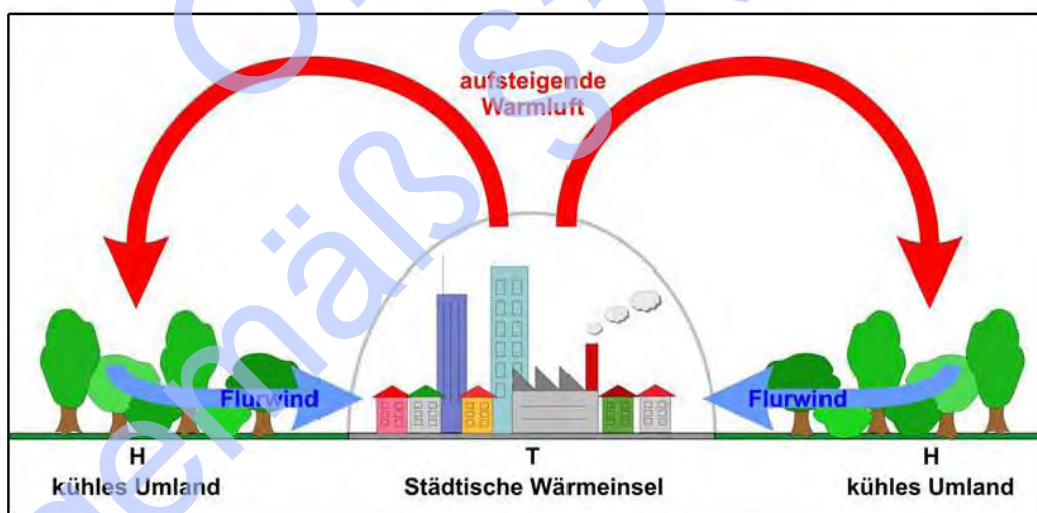
Wie Windmessungen der ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000) und von ÖKOPLANA (2022) dokumentieren, wird das Strömungsgeschehen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch das Kleinrelief und die örtliche Flächennutzung geprägt.

Wie bereits im Klimagutachten des ING.-BÜROS LOHMEYER GMBH & Co. KG (2020) zu den Bebauungsplänen Nr. 657 „Westlich Heinrich-Pesch-Haus“ und Nr. 586b „Mittelstandspark Mannheimer Straße“ dargelegt, liegen durch Messungen der ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000) einjährige Messdaten (6/1998 bis 5/1999) des Standortes Bayreuther Straße in unmittelbarer Nähe zum Planungsgebiet vor. Die erfassten Windverteilungen sind in der **Abbildung 9.1** dokumentiert. Die Hauptwindrichtung wird durch Winde aus dem südwestlichen Sektor (Süd, Südwest, West) geprägt, bei denen auch die höchsten Windgeschwindigkeiten auftreten. Ein sekundäres Maximum bilden nordnordwestliche bis nördliche Winde. Die mittlere Windgeschwindigkeit beläuft sich auf ca. 2.8 m/s.

Als lokale Besonderheiten werden für die erste Nachthälfte in Strahlungs Nächten, vermehrte Häufigkeiten von Windströmungen aus südwestlicher bis westlicher Richtung beschrieben. Diese lokalen Strömungen werden vor allem mit Strömungsgeschwindigkeiten bis 1.5 m/s, teilweise auch mit etwas höherer Windgeschwindigkeit beobachtet und sind als belüftungsrelevante Flurwinde bzw. Kaltluftbewegungen zu interpretieren. In der zweiten Nachthälfte setzen sich regionale Winde aus nordnordwestlicher Richtung durch, die ebenfalls durch die Ausprägung der beschriebenen Freifläche im Westen von Ludwigshafen unterstützt werden und zur nächtlichen Belüftung südlich benachbarter Siedlungsbereiche (Stadtteile Gartenstadt, Süd) beitragen.

Auch die Kurzzeitmessungen von 06 – 09/2021 in der Rotkreuzstraße (**Abbildung 9.2**), weisen auf die o.a. Windverhältnisse in Strahlungs Nächten hin.

Ergebnisse von mesoskaligen Kaltluftströmungssimulationen durch GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2009) – **Abbildung 10** - veranschaulichen die flächenhaften, flurwindartigen Kaltluftbewegungen in einer großräumig windstillen, sommerlichen Strahlungsnacht. Der Einfluss nordnordwestlicher Regionalströmungen in der zweiten Nachthälfte findet hierbei keine Berücksichtigung. Im Bereich der Entwicklungsachse West zwischen der A 650 im Süden und der K 8 (Mannheimer Straße / Frankenthaler Straße) entwickeln sich durch die deutlichen Lufttemperaturunterschiede zur Wärmeinsel der Ludwigshafener Innenstadt thermisch angetriebene Flurwinde (siehe **Grafik 5**), die Kaltluft aus dem westlichen / südwestlichen Freiraumgefüge in Richtung Valentin-Bauer-Siedlung führen.



Grafik 5: Prinzipskizze „Flurwinde“ (aus: Geo-Net Umweltsconsulting / Ökoplane 2021)

Die Intensität der Kaltluftzufuhr in Richtung Osten (Valentin-Bauer-Siedlung) ist durch die Oberflächenrauigkeit der Gehölzbestände im Bereich des Hauptfriedhofs jedoch sehr gering (< 0.5 m/s). Darauf wird bereits im amtlichen Gutachten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (1991) zu den lokalklimatischen Auswirkungen einer Bebauung des Bereiches „Entwicklung Achse West“ hingewiesen.

4.3 Ortsspezifische thermische Situation

Zur Beschreibung der aktuellen thermischen Situation im Planungsgebiet und in dessen Umfeld kann auf Ergebnisse von nächtlichen Lufttemperaturmessfahrten von 2021 (ÖKOPLANA 2022) zurückgegriffen werden (**Abbildung 11**).

Wie bereits Messfahrten von 1990 (DEUTSCHER WETTERDIENST 1991) und die Isothermenkarte Ludwigshafen aus dem Jahr 2000 (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) zeigen, können zwischen dem geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ und den Gewerbegebietsflächen nördlich der K 8 Lufttemperaturdifferenzen bis ca. 4 K gemessen werden. Über den Ackerflächen westlich der Bayreuther Straße bildet sich in Strahlungsnächten intensiv Kaltluft. Bei vorherrschenden Flurwinden aus westlichen Richtungen neigt die Kaltluft am Straßendamm der Bayreuther Straße vermehrt zu Stagnation, so dass sich örtlich ein Kaltluftsee ausbildet. Nördlich der K 8 steht der nächtlichen Abkühlung die Wärmeabstrahlung der z.T. hochgradig versiegelten Gewerbegebietsflächen entgegen.

In Richtung Osten bildet der Hauptfriedhof eine „kühle Zunge“, wovon im Bereich der Valentin-Bauer-Siedlung allerdings nur die unmittelbar an den Hauptfriedhof angrenzenden Baustrukturen thermisch profitieren. Dort kommt es zu einer Forcierung der nächtlichen Abkühlung.

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der Stadtklimaanalyse Ludwigshafen a. Rh. 2000 (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) weist die Klimafunktionskarte der Stadt Ludwigshafen a. Rh. (**Abbildung 12**) darauf hin, dass das Planungsgebiet eine insgesamt nur geringe klimaökologische Bedeutung aufweist. Über den Ackerflächen wird zwar Kaltluft gebildet, ihr Einwirkungsbereich in Richtung Bestandsbebauung im Norden, Osten und Süden wird aber als gering eingestuft. Allein unter dem Einfluss regional angelegter Nordnordwestwinde kann die örtliche Kaltluft in Richtung Südosten (Bebauung entlang der Bayreuther Straße) Wirkung in der Bebauung zeigen. Der Sicherung von Ventilationsbahnen in Nordnordwest-Südsüdost-Richtung wird daher in der Entwicklung Achse West eine große Bedeutung zugeordnet. Auch der Hauptfriedhof wird als stadtklimatisch hoch bedeutsam eingestuft.

4.4 Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet und in dessen Umfeld

Wie sich aus den Darstellungen vorliegender Messdaten und Ergebnissen von Modellrechnungen entnehmen lässt, bildet sich im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch die differenzierte Flächennutzung (Wohnbebauung, Gewerbegebiete, Verkehrsflächen, Landwirtschaftsflächen etc.) ein ortsspezifisches Lokalklima aus. Dies dokumentiert sich einerseits anhand der thermischen Umgebungsbedingungen und andererseits im Strömungsgeschehen des Raumes, das bei klimarelevanten Strahlungswetterlagen nach Sonnenuntergang sowohl durch regionale Winde als auch durch lokale Kaltluftbewegungen bestimmt wird.

Anhand des thermischen Verhaltens unterschiedlicher Flächennutzungsstrukturen während durch Hochdruck beeinflusster Wetterlagen werden die Auswirkungen lokaler Faktoren auf das Klima deutlich erkennbar (siehe Kap. 4.2 / 4.3). Schwache Windbewegung und länger anhaltende Einstrahlung am Tag führen in den Sommermonaten zu intensiver Erwärmung, ungehinderte Ausstrahlung bei Nacht hingegen zu intensiver Abkühlung der unteren Luftschichten.

Bei diesen Wetterlagen bilden sich durch unterschiedliche Exposition, Geländeform und Oberflächenart wärmere und kühlere Bereiche aus.

Im Allgemeinen herrschen im Bereich des geplanten Schulstandorts „Bayreuther Straße“ Winde aus südwestlichen Richtungssektoren vor. Ein sekundäres Maximum bilden nordnordwestliche bis nördliche Winde. Die mittlere Windgeschwindigkeit beläuft sich auf ca. 2.8 m/s.

In stadtklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungsnächten ist örtlich in der ersten Nachthälfte eine vermehrte Häufung von flurwindartigen Kaltluftbewegungen aus südwestlicher bis westlicher Richtung zu beobachten. Die Fließgeschwindigkeit der bodennahen Kaltluftbewegungen beträgt zumeist weniger als 1.5 m/s. In der zweiten Nachthälfte setzen sich vermehrt regionale Winde aus nordnordwestlicher Richtung durch. Die Freiflächen am Schulstandort sind dann Teil von raugkeitsarmen Ventilationsflächen, die zur nächtlichen Belüftung südlich benachbarter Siedlungsbereiche (Stadtteile Gartenstadt, Süd) beitragen.

Ergebnisse von Lufttemperaturmessfahrten (DEUTSCHER WETTERDIENST 1991, ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000, ÖKOPLANA 2022) zeigen übereinstimmend, dass sich in sommerlichen Strahlungsnächten zwischen dem geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ und den Gewerbegebietsflächen nördlich der K 8 Lufttemperaturdifferenzen bis ca. 4 K einstellen, was die thermische Gunst des Planungsgebiets unterstreicht.

Bei häufig vorherrschenden Flurwinden aus westlichen Richtungen neigt die Kaltluft in der ersten Nachthälfte am Straßendamm der Bayreuther Straße vermehrt zu Stagnation, so dass sich örtlich ein Kaltluftsee ausbildet. Nördlich der K 8 steht der nächtlichen Abkühlung die Wärmeabstrahlung der z.T. hochgradig versiegelten Gewerbebebietsflächen gegenüber.

In Richtung Osten bildet der Hauptfriedhof eine „kühle Zunge“, wovon im Bereich der Valentin-Bauer-Siedlung allerdings nur die unmittelbar an den Hauptfriedhof angrenzenden Baustrukturen thermisch profitieren. Dort kommt es zu einer Forcierung der nächtlichen Abkühlung.

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der Stadtklimaanalyse Ludwigshafen a. Rh. 2000 (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) weist die Klimafunktionskarte der Stadt Ludwigshafen a. Rh. (**Abbildung 12**) darauf hin, dass das Planungsgebiet eine insgesamt nur geringe klimaökologische Bedeutung aufweist. Über den Ackerflächen wird zwar Kaltluft gebildet, ihr Einwirkungsbereich in Richtung Bestandsbebauung im Norden, Osten und Süden wird aber als gering eingestuft. Allein unter dem Einfluss regional angelegter Nordnordwestwinde kann die örtliche Kaltluft in Richtung Südosten (Bebauung entlang der Bayreuther Straße) Wirkung in der Bebauung zeigen.

Mit zunehmender Überbauung des Freiraumgefüges in der Entwicklungsachse West gewinnen die verbleibenden Freiflächen allerdings an Bedeutung. Daher ist bei baulichen Maßnahmen im Planungsgebiet darauf zu achten, ausreichend dimensionierte Zugbahnen für bodennahe Kaltluftbewegungen zu sichern und die Höhe baulicher Anlagen zu begrenzen. Zudem sind thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahmen im Planungsgebiet und in dessen näheren Umfeld zu empfehlen.

5 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der kaltluftspezifischen, strömungsdynamischen und thermischen Folgeerscheinungen des Planungsvorhabens

Wie in Kap. 3 bereits angeführt, werden zur Bilanzierung der stadtklimatischen Folgeerscheinungen einer Bebauung am Schulstandort „Bayreuther Straße“ numerische Modellrechnungen durchgeführt.

In einem ersten Schritt werden auf Grundlage vergleichender mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen (Ist-Zustand und Plan-Zustand) die Veränderungen der lokalen Kaltluftbewegungen bestimmt und bewertet.

In einem weiteren Analyseschritt werden für relevante Windrichtungen die planungsbedingten Veränderungen bzgl. der lokalen Belüftungsintensitäten berechnet.

Zuletzt erfolgt eine Bilanzierung der zu erwartenden thermischen / bioklimatischen Modifikationen an heißen Sommertagen bzw. warmen Sommernächten.

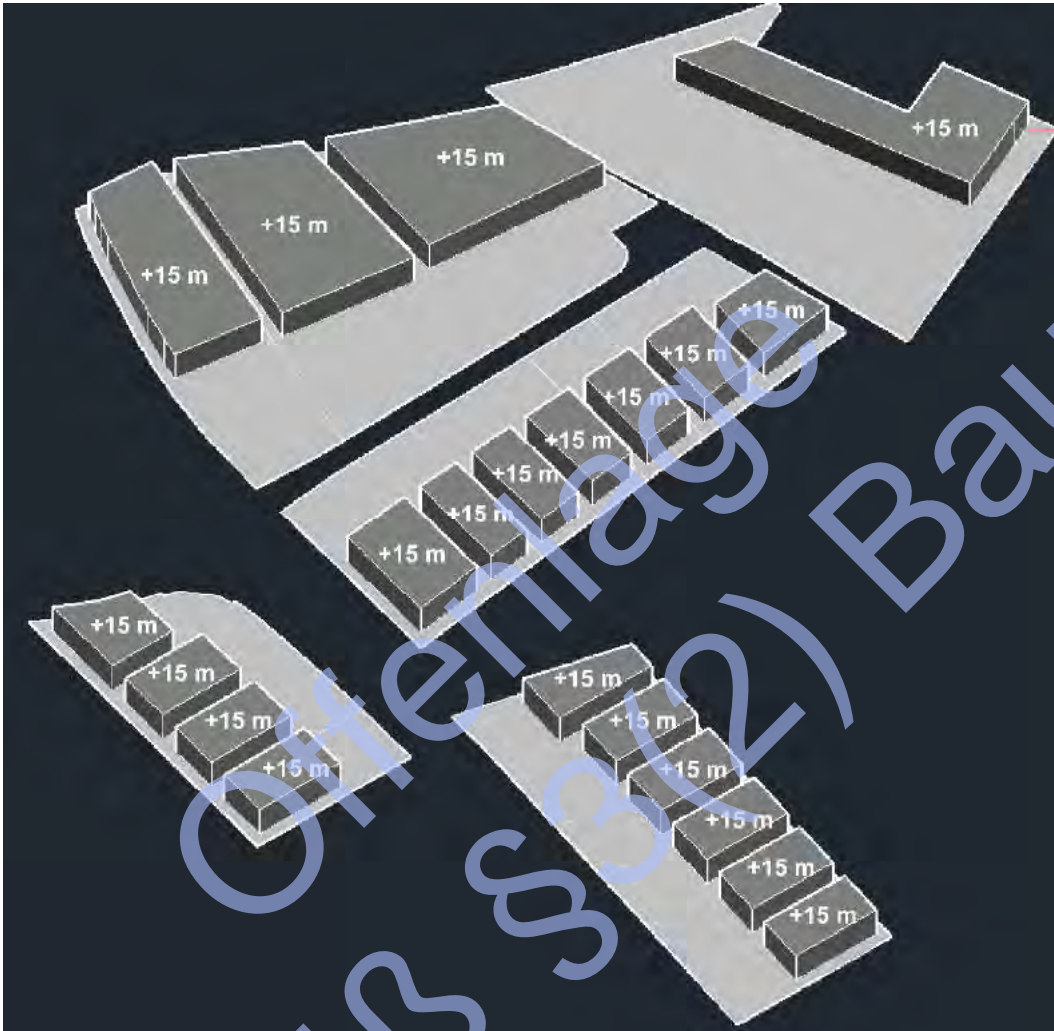
Bei allen Analysefällen findet die bereits entlang der Entwicklungsachse West geplante Bebauung Berücksichtigung (siehe **Abbildung 13**).

Im Bereich des Mittelstandsparks wurde das von der STADT LUDWIGSHAFEN A. RH. vorgelegte Bebauungsszenario (**Grafik 6**) angenommen.



Grafik 6: *Bebauungsszenario Mittelstandspark mit max. Gebäudehöhen in m (Grafikentwurf: STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.)*

Für die Gewerbebegebietsflächen südlich der Frankenthaler Straße und an der Bayreuther Straße wurden von der STADT LUDWIGSHAFEN A. RH. die in **Grafik 7** Baustrukturen vorgegeben.



Grafik 7: *Bebauungsszenario Gewerbebegebietsflächen südlich der Frankenthaler Straße und an der Bayreuther Straße mit max. Gebäudehöhen in m (Grafikentwurf: STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.)*

Für die Heinrich-Pesch-Siedlung bildet der Masterplan vom 20.01.2020 die Modellgrundlage (**Grafik 8**)



Grafik 8: Masterplan Heinrich-Pesch-Siedlung (Grafik bereitgestellt von: STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.)

In **Grafik 9** ist der Lageplan für das Quartier Kopernikus dokumentiert.



Grafik 9: Planungsentwurf Quartier Kopernikus (Grafik bereitgestellt von: STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.)

5.1 Modellrechnungen zum lokalen Kaltluftströmungsgeschehen

Bei der nachfolgenden Analyse der potenziellen Ausgleichsleistung von Kaltluftströmungen lässt sich diese recht gut aus der bodennahen Strömungsgeschwindigkeit ableiten, die aufzeigt, inwieweit die Kaltluft tatsächlich in den Aufenthaltsbereich des Menschen durchgreifen kann und nicht etwa zu wesentlichen Anteilen in höheren Schichten des Überdachniveaus stattfindet. Die bodennahe Strömungsgeschwindigkeit ist nicht nur von der Mächtigkeit der Kaltluftschicht und damit von der tatsächlich transportierten Masse an Kaltluft abhängig, sondern auch von der Windoffenheit der bodennahen Nutzungsstrukturen.

Zur Beschreibung des nächtlichen Kaltluftströmungsgeschehens am Planungsstandort und in dessen Umfeld sowie zur Bestimmung des Einflusses der geplanten Bebauung auf die lokale Kaltluftdynamik werden nachfolgend auf Grundlage eines digitalen Geländemodells (siehe **Abbildung 2**) Kaltluftströmungssimulationen durchgeführt.

Das Modell KLAM_21 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: Siedlung dicht, Siedlung locker, Wald / dichter Gehölzbestand, Bahnlinie, Industrie-/Gewerbeflächen, Buschflächen, unversiegelte Freiflächen, versiegelte Flächen und Wasserflächen.

Zusammenhängende Siedlungsflächen werden als teilweise durchströmbare (poröse) Hindernisse im Modell berücksichtigt (DEUTSCHER WETTERDIENST 2005/2008). Damit gelingt es, die Strömungsverdrängung durch die Baukörper sowie die bremsende Wirkung der Gebäude in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu modellieren.

Die Bebauung am Schulstandort wird als detaillierte Bebauung mit entsprechenden Gebäudehöhen aufgelöst, um den kleinräumigen Einfluss auf das örtliche Kaltluftgeschehen herausarbeiten zu können.

Das betrachtete Rechengebiet (Rasterauflösung in x-y-Richtung 5 x 5 m) umfasst eine Gebietsgröße von 2.0 x 1.5 km (3 km²), so dass die planungsnahen Kaltluft-einzugsgebiete und Kaltluftwirkgebiete mitberücksichtigt werden.

Wie die vorliegenden Windstatistiken für klimaökologisch relevante Strahlungsnächte zeigen, herrschen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in der ersten Nachthälfte vermehrt südwestliche bis westliche Luftströmungen vor.

Den Kaltluftsimulationen für die erste Nachthälfte wird daher als Antriebsströmung ein Westsüdwestwind (2.0 m/s) zu Grunde gelegt. Dies verstärkt die kaltluftbedingten Auswirkungen einer Bebauung im Planungsgebiet.

Für die zweite Nachthälfte findet ergänzend eine nordnordwestliche Regionalströmung (2.0 m/s) Beachtung.

5.1.1 Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen mit einer west-südwestlichen Antriebsströmung (= erste Nachthälfte)

Die **Abbildung 14.1** zeigt für den **Ist-Zustand** (ohne Schulstandort) die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen in der ersten Nachthälfte - 3 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung⁵. Bioklimatisch ist der Zeitpunkt von Bedeutung, da im Hochsommer tagsüber überwärmte Wohnungen in der ersten Nachthälfte meist nochmals durchgelüftet werden. Kühle Umgebungsverhältnisse intensivieren die bioklimatische Entlastungswirkung.

In dieser Kaltluftbildungsphase stellen sich am geplanten Schulstandort an der Bayreuther Straße westliche Kaltluftströmungen mit Fließgeschwindigkeiten von ca. 0.5 – 1.0 m/s ein. Am Damm der Bayreuther Straße (Überführungsbauwerk Stadtbahntrasse) staut sich die Kaltluft in Luv-Lage etwas auf, so dass die Strömungsgeschwindigkeit örtlich auf 0.2 – 0.5 m/s abnimmt.

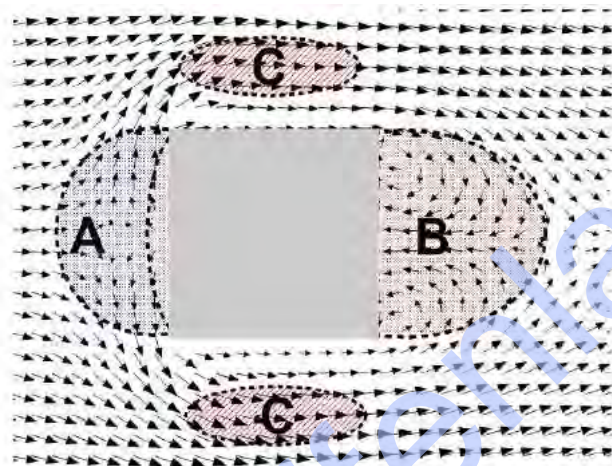
Östlich der Bayreuther Straße und südlich des geplanten Schulstandorts bilden die potenziellen Gewerbegebietsflächen Kaltluftbarrieren. Durch die Sicherung von Abstandsflächen in ungefährender West-Ost-Richtung, die im geplanten Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße auch an eine Erschließungsstraße geknüpft sind, werden großflächige Kaltluftstagnationstendenzen zwar teilweise unterbunden, in Anbetracht des hohen Versiegelungsgrades in Gewerbegebieten ist jedoch eine deutliche Aufzehrung der lokalen Kaltluft zu erwarten.

Die Modellrechnungen zeigen zudem, dass die baulichen Entwicklungsbereiche nördlich der Stadtbahntrasse (Mittelstandspark, Heinrich-Pesch-Siedlung und Quartier Kopernikus) baulich derart strukturiert sind, dass die Kaltluft aus dem südlich angrenzenden Freiraumgefüge kammartig in die Bebauung einfließen kann und damit eine ausreichende nächtliche Belüftung gesichert ist. Kaltluftstagnationstendenzen bleiben auf die unmittelbaren Gebäudeluv- und Gebäudeleelagen (Stau- und Windschatteneffekte) begrenzt.

⁵ In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 23:15 – 23:45 Uhr (MEZ)

Berücksichtigt man bei den Kaltluftströmungssimulationen eine mögliche Bebauung am Schulstandort „Bayreuther Straße (**Plan-Zustand, Abbildungen 14.2 und 14.3**), so sind allein im näheren Planungsumfeld auffallende Strömungsmodifikationen zu erkennen.

Durch die geplanten Schulbauten / Sporthallen mit max. Gebäudehöhen von 18 m bzw. 10 m und den befestigten Erschließungsflächen wird örtlich die Landnutzung modifiziert, was charakteristische Veränderungen ausgewählter meteorologischer Parameter in der unmittelbaren Umgebung zur Folge hat. Die zu erwartenden planungsbedingten Veränderungen bei Wind- und Temperaturfeld an Baukörpern werden nachfolgend zunächst in schematischer Weise erläutert. (**Grafik 10**).



Grafik 10: Schematische Darstellung zu den nächtlichen Veränderungen von Wind- und Temperaturfeld im Bereich eines Baukörpers (ÖKOPLANA / PROF. DR. G. GROSS 2018)

Ein Baukörper in einer Kaltluftzugbahn bildet eine Strömungsbarriere. Der Kaltluftfließgeschwindigkeit wird dabei vor dem Baukörper verzögert, was zu einer windberuhigten Zone führt (A). In diesem Staubeereich kann sich die nächtliche bodennahe Atmosphäre bei gleichbleibender Flächennutzung stärker abkühlen, da sich die turbulenzbedingte Vermischung mit der darüber lagernden wärmeren Luft (nächtliche Bodeninversion) verringert.

In unmittelbarer Wandnähe kann es durch die Bildung eines Luvwirbels mit abwärts gerichteter Strömung auch zu einer leichten Temperaturerhöhung kommen. Die Länge des Staubeereiches hängt von der Gebäudegeometrie, der Kaltluftfließgeschwindigkeit und der Kaltluftmächtigkeit ab.

Auch hinter dem geplanten Baukörper wird die Strömung verzögert (B). Aufgrund der modifizierten Bodeneigenschaften mit vermehrter Versiegelung und Verdichtung des Untergrundes und der anthropogenen Wärmeabgabe ist hier allerdings mit einer Erwärmung zu rechnen. Diese etwas wärmere Luft wird mit der Luftströmung in die angrenzenden Bereiche geführt und vermindert die ansonsten stärkere Abkühlung.

Der im Luv-Bereich des potenziellen Baukörpers verzögerte Anteil der Strömung wird mit etwas höherer Windgeschwindigkeit an den Seiten vorbeigeführt (Umströmungseffekt, C). Dadurch wird die Turbulenz erhöht, was zu einer etwas intensiveren Vermischung mit der in der Höhe wärmeren Luft führt. In diesen Flankenbereichen kann daher nach Realisierung der Bebauung mit etwas höheren Temperaturen gerechnet werden, die dann auch mit dem vorhandenen Wind in die Umgebung verfrachtet werden.

Die hier beschriebenen charakteristischen Veränderungen des Windfeldes lassen sich in den nunmehr folgenden Simulationsergebnissen in lokal modifizierter Form wieder finden.

Abbildung 14.2 zeigt, dass in der ersten Nachthälfte die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft vor allem im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Bauwerke nachlässt. Die aus Westen zuströmende Kaltluft wird vor den Schulbauwerken aufgestaut, wodurch in Luv-Lage (Westen) die Strömungsgeschwindigkeit bis in eine Entfernung von ca. 250 m um 0.1 – 0.2 m/s abnimmt. Auch in Lee-Lage zum Schulstandort sind Windgeschwindigkeitsreduktionen von 0.1 – 0.2 m/s zu bestimmen, die jedoch weitgehend auf die Zone der Bayreuther Straße begrenzt bleiben. Im Bereich der nördlich benachbarten Heinrich-Pesch-Siedlung und im Quartier Kopernikus sind keine problematischen Einschränkungen bzgl. der kaltluftbedingten Belüftung zu bilanzieren. Vielmehr kommt es durch die zunehmend labile Luftschichtung über dem Schulstandort entlang der Stadtbahntrasse zu leichten Windbeschleunigungen. Eine planungsbedingte Einschränkung der kaltluftbedingten Belüftung in der Valentin-Bauer Siedlung östlich/südöstlich des Hauptfriedhofs ist nicht zu befürchten. Die in den geplanten Gewerbegebietsflächen vorgesehenen Belüftungsachsen in ungefährer West-Ost-Richtung, die vor allem in der ersten Nachthälfte lokale Bedeutung besitzen, sind auch nach Realisierung des Schulstandorts noch ausreichend dimensioniert.

5.1.2 Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen mit einer nord-nordwestlichen Antriebsströmung (= zweite Nachthälfte)

Die Ergebnisse ortsspezifischer Windmessungen belegen, dass in Strahlungsnächten in aller Regel zu Beginn der zweiten Nachthälfte in Ludwigshafen a. Rh. regional angelegte Nordnordwestwinde einsetzen. Sie überlagern in vielen Stadtteilbereichen die flurwindartigen Ausgleichsströmungen zwischen der Ludwigshafener Innenstadt und dem Freiraumgefüge im Nordwesten, Westen und Südwesten.

Legt man den Kaltluftströmungssimulationen eine derartige Situation zu Grunde (**Abbildungen 15.1 – 15.3**), so bestimmen im **Ist-Zustand** am geplanten Schulstandort in Bodennähe (2 m ü.G.) weiterhin westliche Kaltluftbewegungen das ortsspezifische Luftaustauschgeschehen.

Aufgrund der zunehmend stabilen Luftschichtung werden gegenüber der ersten Nachthälfte jedoch nur noch mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten von 0.2 – 0.5 m/s berechnet.

Östlich der Bayreuther Straße bilden die fingerartig von Westen nach Osten orientierten Gewerbegebietsflächen für die dort vermehrt einwirkenden nordnordwestlichen Regionalströmungen Strömungshindernisse, wodurch die Wärmeinselbildung über den großflächig versiegelten Gewerbegebietsflächen intensiviert wird (siehe Kap. 5.4.2).

Legt man den Berechnungen den **Plan-Zustand** mit maximalen Gebäudehöhen von 18 m und 10 m zu Grunde, so ergeben sich in der zweiten Nachthälfte gegenüber dem Ist-Zustand nur noch geringe Strömungsmodifikationen. Windgeschwindigkeitsreduktionen in unmittelbaren Gebäudeluv- und Gebäudeleelagen stehen in den verbleibenden Freiflächen (Erschließungsflächen, Sportplatzflächen, Spielwiesen, Versickerungsflächen) Windbeschleunigungen gegenüber. Eine nachhaltige Beeinträchtigung der kaltluftbedingten Be- und Entlüftung in den benachbarten Siedlungslagen (z.B. Heinrich-Pesch-Siedlung, Valentin-Bauer-Siedlung) tritt nicht ein.

Die zusätzlich angestrebte Bebauung am Schulstandort „Bayreuther Straße“ ist somit bzgl. der ortsspezifischen kaltluftbedingten Belüftung als unproblematisch einzustufen.

5.2 Modellrechnungen zur ortsspezifischen Belüftungssituation am Tag

Ziel der mikroskaligen Windfeldberechnungen ist es, die kleinräumigen Strömungsmodifikationen durch die Bebauung am geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ gegenüber dem Ist-Zustand ohne Schulstandort aufzuzeigen.

Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von 900 m x 900 m (siehe **Abbildung 16.1**).

Die Modellrechnungen zur örtlichen Belüftungssituation beschränken sich auf solche Situationen, bei denen mit den größten Auswirkungen auf die nähere Umgebungsbebauung zu rechnen ist.

- Südwestwind (220°) = Hauptwindrichtung. Anströmung mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
 - = Bestimmung der planungsbedingten Barrierewirkung in Richtung Quartier Kopernikus.
- Südsüdostwind (150°). Anströmung mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
 - = Bestimmung der planungsbedingten Barrierewirkung in Richtung Heinrich-Pesch-Siedlung.

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

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

Zur Verdeutlichung der planungsbedingten Strömungsmodifikationen werden zusätzlich Differenzendarstellungen zwischen Plan- und Ist-Zustand erstellt.

5.2.1 Luftströmungen aus südwestlichen Richtungen

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für eine Luftströmung aus Südwesten (220°) sollen den Einfluss des Planungsgebiets auf die Belüftung des benachbarten Quartiers Kopernikus dokumentieren.

Die **Abbildung 16.1 (Ist-Zustand)** veranschaulicht, dass die unbebauten Areale im Planungsgebiet bei vorherrschenden Südwestwinden als raugkeitsarme Ventilationsflächen fungieren, über welchen der Höhenwind vermehrt bodennah durchgreifen kann. In der Höhenschicht 2 m ü.G. werden mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 1.4 – 1.8 m/s simuliert. Insbesondere an heißen Sommertagen werden hierdurch großflächige Wärmestaus unterbunden, die u. U. auch Rückwirkungen auf die Wärmebelastung in den nördlich benachbarten Siedlungslagen hätten. Die geplanten Gewerbegebietsflächen entlang der Bayreuther Straße zeigen sich insgesamt ausreichend belüftet. Allein in den unmittelbaren Gebäudeluv- und Gebäudeleelagen sind typischerweise Windgeschwindigkeiten von unter 0.5 m/s zu bilanzieren.

In der Heinrich-Pesch-Siedlung und im Quartier Kopernikus nördlich des geplanten Schulstandorts sind bei vorherrschenden Südwestwinden ebenfalls ausreichende Belüftungsintensitäten zu ermitteln. Die Gebäude- und Freiflächenstrukturen sind derart gewählt, dass die Ausbildung großflächiger Luftstagnationsbereiche mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s unterbleibt.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 16.2 und 16.3)** wird die bisherige bodennahe Be- und Durchlüftungsfunktion des Planungsgebiets eingeschränkt.

Durch die neuen Schulgebäude / Sporthallen nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit im Planungsgebiet um ca. 0.2 bis 1.4 m/s ab. Die Freianlagen (Sportflächen, Pausenhöfe und Spielwiesen), die für längere Aufenthalte gedacht sind, zeigen aber ausreichende Belüftungsintensitäten. Es dominieren in diesen Bereichen mittlere Windgeschwindigkeiten von deutlich über 0.5 m/s, so dass an heißen Sommertagen zu den allgemeinen Schulzeiten örtliche Wärmestaus unterbunden werden. Diese würden die Aufenthaltsqualitäten deutlich einschränken.

Der Windschatteneffekt des potenziellen Schulzentrums in Richtung Nordosten ist im Wesentlichen auf den Bereich bis zur Stadtbahntrasse begrenzt. Eine markante Beeinträchtigung der Belüftungsintensität in der Heinrich-Pesch-Siedlung bzw. im Quartier Kopernikus wird nicht bilanziert.

5.2.2 Luftströmungen aus südsüdöstlichen Richtungen

Als konstante Randbedingung wird im nachfolgenden Fall eine Luftströmung aus Südsüdosten (150°) gewählt, um den Einfluss der vorgesehenen Bebauung im Planungsgebiet auf die Belüftung der Heinrich-Pesch-Siedlung zu bestimmen. Als Strömungsgeschwindigkeit wird für eine windschwache Situation wiederum ein Wert von 2.5 m/s (10 m ü.G.) gewählt. Laut der mehrjährigen Windrichtungsverteilung (**Abbildung 9.1**) ist im Jahresverlauf an ca. 5% der Tagstunden mit Luftströmungen aus südsüdöstlichen Richtungssektoren zu rechnen.

Die **Abbildung 17.1** zeigt für den **Ist-Zustand** das berechnete Windfeld in einer Höhe von 2 m ü.G.

Deutlich erkennbar sind auf dem Bild des Ist-Zustandes die Luv- und Leeeffekte von Gebäuden in Planungsumfeld sowie die Barrierewirkung dichter Gehölzflächen.

Die im bodennächsten Luftraum (2 m ü.G.) durch die Oberflächenrauigkeit des Bodens und der Vegetation von ca. 2.5 m/s (10 m ü.G.) in freien Lagen auf Werte zwischen 1.6 und 1.8 m/s reduzierte Windgeschwindigkeit wird durch höhere Vegetationsbestände und bauliche Strömungshindernisse weiter abgeschwächt. So werden im Lee der geplanten Gewerbehallen östlich der Bayreuther Straße (Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße) mittlere Windgeschwindigkeitsreduzierungen um ca. 80 - 90% gegenüber dem Freiland berechnet. Die Lee-Wirkung ist jedoch in Richtung Nordnordwesten im Wesentlichen auf die Stadtbahntrasse und die Kopernikusstraße begrenzt.

Die prognostischen Strömungssimulationen für den **Plan-Zustand (Abbildungen 17.2 und 17.3)** dokumentieren die Veränderung des bodennahen Windfeldes durch den geplanten Schulstandort.

Vergleichbar mit der Situation bei vorherrschenden Südwestwinden nimmt auf dem Schulgelände die mittlere Windgeschwindigkeit gegenüber dem Ist-Zustand zwar um ca. 0.2 – 1.4 m/s ab, Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s, die auf Luftstagnationstendenzen hindeuten, bleiben jedoch im Wesentlichen auf die unmittelbaren Gebäudeluv- und Gebäudeleelagen beschränkt. Die Freianlagen zeigen günstige Belüftungsintensitäten, da die einzelnen Schulbaukörper allseitig umströmbar angelegt sind.

Im Bereich der Heinrich-Pesch-Siedlung bleiben die allgemein günstigen Belüftungsverhältnisse gesichert. Die Windschattenwirkung der Schulneubauten bleiben vorwiegend auf den Bereich bis zur Stadtbahntrasse begrenzt.

Fazit:

Die Ergebnisse der Windfeldsimulationen zur Tagsituation belegen, dass die Belüftungsintensität im Bereich des geplanten Schulstandorts gegenüber dem Ist-Zustand zwar geschwächt wird, der verbleibende Luftaustausch im Bereich der Schulfreianlagen (Sportflächen, Pausenhöfe, Spielwiesen) jedoch ausreichend bleibt, um Wärmestaus und somit ungenügende Aufenthaltsqualitäten zu vermeiden. Die Belüftung in den benachbarten Siedlungslagen (Heinrich-Pesch-Siedlung, Quartier Kopernikus) bleibt in ausreichendem Maße gewährleistet. Vorteilhaft ist, dass selbst die maximal ausgeformte Bebauung im Planungsgebiet allseitig umströmbar gestaltet ist.

5.3 Modellrechnungen zur ortsspezifischen Belüftungssituation in der Nacht

Wie in Kap. 4.2 bereits erläutert, häufen sich im Planungsgebiet und in dessen Umfeld bei zu stadtklimatischer bzw. bioklimatischer Belastung neigenden wind-schwachen Strahlungswetterlagen am Planungsstandort in der ersten Nachthälfte westsüdwestliche Lokalwinde. In der zweiten Nachthälfte nimmt der Anteil regional angelegte Nordnordwestwinde zu.

Da derartige Windrichtungen großwetterlagenbedingt auch in bewölkten Nächten ohne markante Kaltluftbildung auftreten können, werden ergänzende Windfeldsimulationen für eine neutrale Luftschichtung begutachtet.

Als konstante Randbedingungen werden nachfolgend Luftströmung aus Westsüdwesten und Nordnordwesten mit Strömungsgeschwindigkeiten von 2.0 m/s (10 m ü.G.) gewählt.

5.3.1 Luftströmungen aus westsüdwestlichen Richtungen

Die **Abbildung 18.1** zeigt die Ergebnisse der Strömungssimulation für den **Ist-Zustand** (2 m ü.G.).

Auch in bewölkten Nächten bilden die unbebauten Areale am geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ eine auffallende Ventilationsfläche, über welcher der großwetterlagenbedingte Höhenwind vermehrt bodennah durchgreifen kann. Hiervon profitieren auch die benachbarten Siedlungslagen.

Mit Realisierung der angedachten Bebauung im Planungsgebiet (**Plan-Zustand, Abbildungen 18.2 und 18.3**) geht zwar ein weiterer Teil der Ventilationsflächen in der Entwicklungsachse West verloren, die Gebäude- und Freiflächenkonfiguration ist aber derart gewählt, dass keine weitreichenden Windabschwächungen festzustellen sind. Östlich des Straßendamms der Bayreuther Straße sind keine gravierenden Strömungsmodifikationen mehr zu bilanzieren.

Eine zusätzliche bedeutsame Schwächung der Belüftungsfunktion des verbleibenden Freiraumgefüges in der Entwicklungsachse West tritt nicht ein.

5.3.2 Luftströmungen aus nordnordwestlichen Richtungen

Nachfolgend wird eine Situation mit nächtlichen großwetterlagenbedingten Nordnordwestwinden gewählt, um die Barrierewirkung des geplanten Schulstandorts „Bayreuther Straße“ auf die Bebauung in Richtung A 650 zu analysieren. Wie die Klimafunktionskarte der Stadt Ludwigshafen a. Rh. (**Abbildung 12**) zeigt, ist die Funktion der Bayreuther Straße als Ventilationsachse in Nordnordwest-Südsüdost-Richtung langfristig zu sichern.

Die Ergebnisse der Strömungssimulationen (**Abbildungen 19.1 – 19.3**) verdeutlichen, dass auch bei vorherrschenden Nordnordwestwinden die geplante Schule an der Bayreuther Straße kein gravierendes Strömungshindernis darstellt. Der Windschatteneffekt der Schule reicht zwar bis ca. 140 m nach Süden, hiervon sind aber allein Landwirtschaftsflächen betroffen, über welchen sich das Windfeld rasch regeneriert. Die Schule bildet somit kein stadtklimatisch relevantes Strömungshindernis.

5.4 Modellrechnungen zu den thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen

Zahlreiche Klimastudien zum Stadt- und Siedlungsklima sowie die Ergebnisse vorliegender Stadtklimauntersuchungen in Ludwigshafen a. Rh. (ÖKOPLANA 2022, ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000, DEUTSCHER WETTERDIENST 1991) belegen, dass sich tagsüber intensiv aufgeheizte befestigte Areale nach Sonnenuntergang in den Sommermonaten nur verzögert abkühlen. Während über vegetationsbedeckten Bereichen nach Sonnenuntergang die Luft- und Oberflächentemperaturen vergleichsweise rasch sinken, bleiben versiegelte Flächen (Straßen, Parkplätze, Bauwerke) die ganze Nacht hindurch überwärmt.

Durch die veränderte Flächennutzung ist am geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ am Tag mit einer höheren Wärmebelastung und in den Nachtstunden mit einer Verzögerung und Verringerung der nächtlichen Abkühlung zu rechnen.

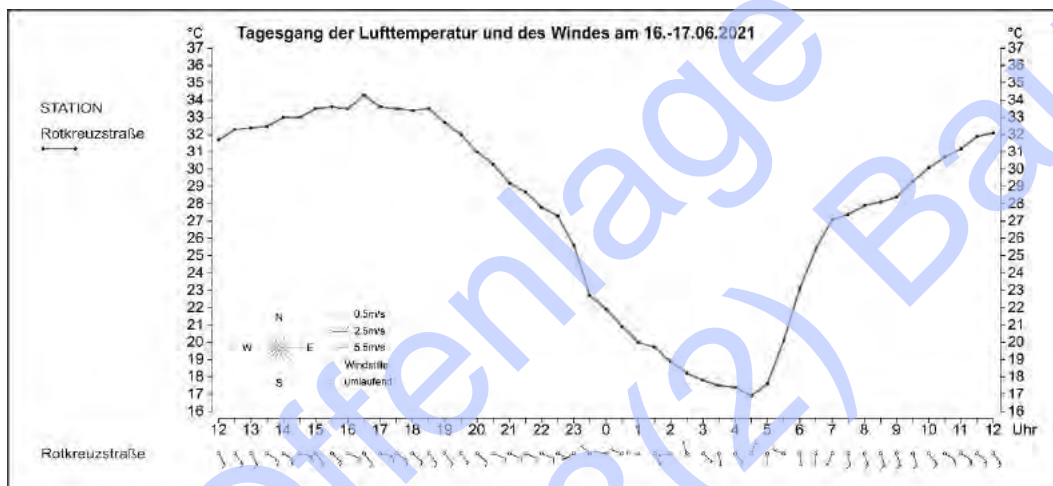
Angesichts des Klimawandels mit erhöhter sommerlicher Wärmebelastung (siehe Kap. 4.1) ist aus Sicht der Klimaökologie bei der Planung von Bedeutung, dass der von der Bebauung und von den versiegelten Flächen ausgehende „Wärmeineleffekt“ räumlich eng begrenzt bleibt und in der bestehenden Bebauung im Planungsumfeld keine großflächige thermische Zusatzbelastungen bewirkt.

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

Das eingesetzte Mikroklimamodell ENVI-met simuliert auf Grundlage der numerischen Strömungs- und Thermodynamik sowie der allgemeinen Atmosphärenphysik die Wechselwirkung zwischen Gebäuden, Vegetation, natürlichen und künstlichen Oberflächen in einer virtuellen Umgebung. Die Bebauung wird durch einfache Basiselemente (Würfel in ENVI-met: Grid) nachgebaut / modelliert (5 m x 5 m in der Horizontalen, 0,5 - 5 m nicht-äquidistant in der Vertikalen). Alle Strukturen (z.B. Vegetation, Gebäude) werden in rechtwinklige Modellquader eingebettet. Numerisch werden diese Modellquader von der Sonne beschienen und vom Wind umströmt und deren Wechselwirkungen mit den Oberflächen und Strukturen bestimmt (BRUSE 2003, 66). Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von 900 x 900 m zzgl. Randzellen.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten (2.0 m ü.G. ~ EG). Die Schnitte geben die Lufttemperatur für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe ± 0.5 m) wieder.

Die Temperaturwerte für den heißen Sommertag ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) bzw. die warme Sommernacht orientieren sich am nachfolgenden Tagesgang (siehe **Grafik 11**). Als Anströmungsrichtungen werden für die Tagsituationen Südwest und Südsüdost gewählt, um den Einfluss des Schulstandortes auf die nächstgelegene Wohnbebauung (Quartier Kopernikus, Heinrich-Pesch-Siedlung) zu simulieren. Für die Nachtstunden werden den Berechnungen typischerweise Westsüdwest- und Nordnordwestwinde zu Grunde gelegt.



Grafik 11: Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 16.-17.06.2021 an der Klimamessstation Rotkreuzstraße unmittelbar südlich des Planungsgebiets (Datenquelle: ÖKOPLANA 2022)

5.4.1 Thermische Situation an einem heißen Sommertag (16 Uhr) mit mäßiger südwestlicher bzw. südsüdöstlicher Luftströmung

Die **Abbildung 20.1** zeigt für den **Ist-Zustand** die berechnete Lufttemperaturverteilung gegen 16 Uhr an einem heißen Sommertag ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$, siehe **Grafik 11**). Vorausgesetzt wird eine südwestliche Luftströmung (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

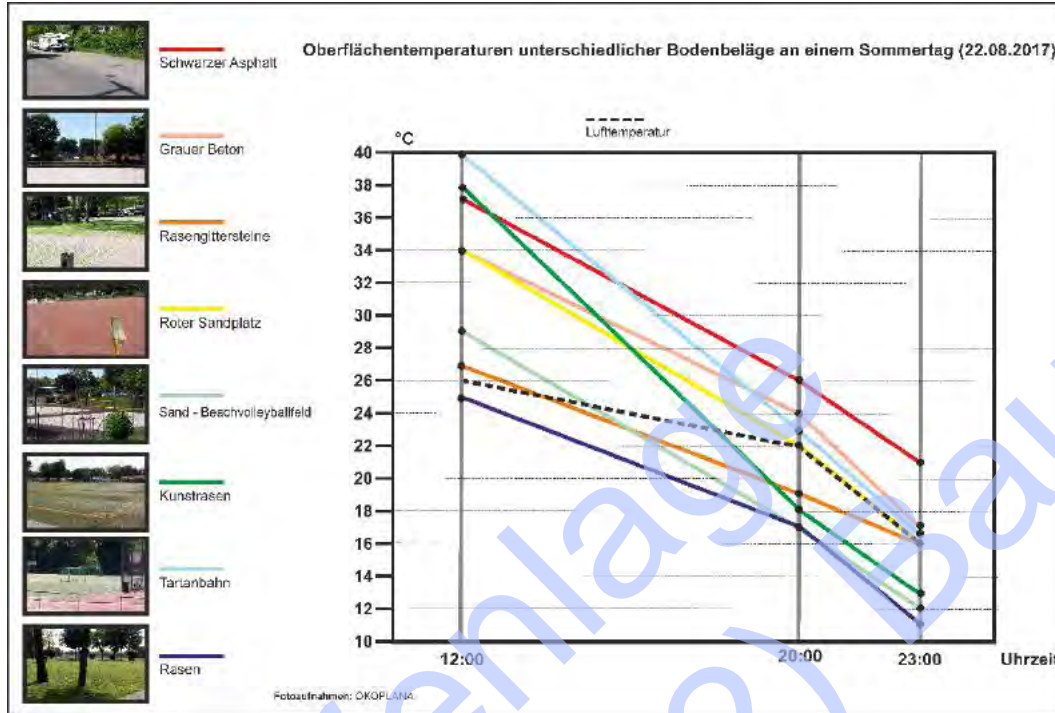
Bei Lufttemperaturen im Bereich schattenwerfender dichter Gehölzbestände bis ca. 33°C werden über breiteren versiegelten Straßenzügen/Stellplatzflächen (z.B. potenzielles Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße, Bayreuther Straße zwischen Heinrich-Pesch-Siedlung und Quartier Kopernikus) Lufttemperaturen bis ca. 35.0°C berechnet. Die thermische Gunstfunktion schattenwerfender Gehölzbestände wird offenbar. Über weitgehend schattenlosen Wiesenflächen / Landwirtschaftsflächen sind Lufttemperaturen von ca. $33.2 - 33.7^{\circ}\text{C}$ zu bestimmen. Die im Untersuchungsgebiet insgesamt recht geringen Lufttemperaturdifferenzen von ca. 2.0 K gegen 16:00 Uhr sind auf den am Tag vergleichsweise intensiven horizontalen und vertikalen Luftaustausch zurückzuführen.

Im **Plan-Zustand (Abbildung 20.2)** bewirken die geplanten Erschließungs- und Stellplatzflächen (Annahme: dunkelgrauer Pflasterbelag) sowie die potenziellen Kunstrasensportflächen im Osten und Nordwesten des Schulgeländes eine deutliche Modifikation der örtlichen Lufttemperaturverhältnisse. Über ihnen werden Lufttemperaturen bis 35°C simuliert. Wie IR-Messungen durch ÖKOPLANA am 22.08.2017 in Wiesbaden (ÖKOPLANA 2017, **Grafik 12**) zeigen, heizen sich neben schwarzen Asphaltflächen am Tag auch Kunstrasensportplätze sowie Tartanbahnen am Tag intensiv auf. Bei Lufttemperaturen von ca. 26°C werden über Asphaltflächen Oberflächentemperaturen von ca. 37°C gemessen. Kunstrasensportplätze und Tartanbahnen weisen am Mittag sogar Oberflächentemperaturen von ca. 38°C bzw. 40°C auf. Im Gegensatz zu Asphalt kühlen diese künstlichen Beläge nach Sonnenuntergang jedoch rasch ab. Durch fehlende Verdunstungsleistung tragen sie im Gegensatz zu Vegetationsflächen (Rasenflächen, Baumflächen) aber nicht aktiv zur Kaltluftbildung bei.

Im Bereich der Spielwiesen, Versickerungsflächen und im Baumschatten werden am Schulstandort gegen 16 Uhr Lufttemperaturen von ca. $33.2 - 33.8^{\circ}\text{C}$ bestimmt.

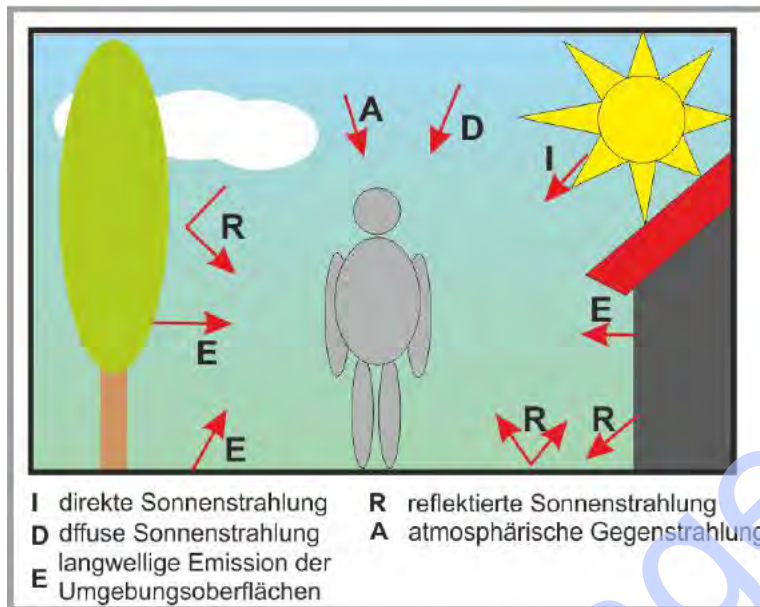
Die Differenzendarstellung zum Ist-Zustand (**Abbildung 20.3**) belegt, dass sich die planungsbedingten Lufttemperaturveränderungen weitgehend auf das Planungsgebiet selbst beschränken. Bei vorherrschenden Winden aus Südwesten werden in der Heinrich-Pesch-Siedlung und im geplanten Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße nur randlich Lufttemperaturzunahmen von ca. 0.2 – 0.4 K simuliert.

Eine markante Veränderung der thermischen Umgebungsbedingungen tritt somit im Planungsumfeld nicht ein.



Grafik 12: Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbeläge (Bildquelle: ÖKOPLANA 2017)

Ergänzend wird für die Tagsituation mit vorherrschendem Südwestwind wird nachfolgend als humanbioklimatisches Maß die physiologische Äquivalenttemperatur (engl. Physiological Equivalent Temperature, PET) berechnet, um die Aufenthaltsqualität im Bereich der vorgesehenen Schulfreiflächen vertiefend zu bewerten. Der PET-Wert ist ein biometeorologisches Bewertungsmaß (siehe VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2), das den aktuellen meteorologischen Atmosphärenzustand in thermischer Hinsicht für den Menschen bewertbar macht und neben der Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit auch die auf den Menschen einwirkende Wärmebelastung durch verschiedene Strahlungsflüsse [direkte und diffuse Sonnenstrahlung (I und D), reflektierte Sonnenstrahlung (R), atmosphärische Gegenstrahlung (A), Wärmeabstrahlung der Umgebungsoberflächen (= langwellige Emission E)] berücksichtigt – **Grafik 13**.



Grafik 13: Strahlungseinwirkungen auf den Menschen. Grafik modifiziert nach BAUMÜLLER (2017)

Die Standardperson (Klima-Michel) für den die PET- Berechnung aufgestellt ist, weist folgende Merkmale auf:

- Geschlecht: männlich
- Alter: 35 Jahre
- Gewicht: 75 kg
- Größe: 1,75 m
- Körperoberfläche: 1,9 m²
- metabolische Rate: 164 W (gehend)
- Kleidungsfaktor: 0,9 clo
- Gehend: 1.21 m/s

Die PET zeigt eine starke Abhängigkeit von der mittleren Strahlungstemperatur, die entscheidend von der direkten Sonneneinstrahlung geprägt wird. Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar.

Für die Bestimmung der PET-Werte wird der Zeitpunkt 14:00 Uhr gewählt, da in der Summenwirkung Lufttemperatur und Sonneneinstrahlungsintensität zu diesem Zeitpunkt die höchste bioklimatische Belastung zu erwarten ist.

In **Abbildung 21** sind die Ergebnisse von PET-Simulationen vergleichend für den **Ist-** und **Plan-Zustand** dargestellt.

Im **Ist-Zustand** erreichen die PET-Werte (~ gefühlte Temperatur) im Untersuchungsgebiet mit etwa 23.0°C bis 50.0°C eine Spanne von 27 K. Die niedrigsten PET-Werte werden im Baum- und Gebäudeschatten simuliert. Extreme bioklimatische Belastungen mit PET-Werten von über 41.0°C sind über versiegelten Flächen ohne Gebäude- und Baumschatten und mit abgeschwächter bodennaher Ventilation zu bilanzieren.

Im Bereich des Planungsgebiets werden über den Ackerflächen PET-Werte von ca. 38°C bestimmt.

Mit Realisierung der geplanten Bebauung am Schulstandort ist im Planungsumfeld bzgl. der bioklimatischen Umgebungsbedingungen mit keinen großflächigen Veränderungen zu rechnen, da der Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung die bioklimatische Belastung maßgeblich bestimmt.

Auf dem Schulgelände werden im **Plan-Zustand** über den versiegelten Erschließungsflächen, Pausenhöfen und Kunstrasensportplätzen die höchsten bioklimatischen Belastungen ermittelt (bis 50°C). Die hohen Oberflächentemperaturen führen ohne Gebäude- und Baumschatten zu ungünstigen Aufenthaltsverhältnissen. Hier muss es Ziel sein, durch ergänzende grünordnerische und bauliche/technische Maßnahmen die Wärmebelastung zu reduzieren.

Auch bei vorherrschenden Winden aus südsüdöstlichen Richtungen (**Abbildungen 22.1 – 22.3**) gehen an heißen Sommertagen von den nach Planungsentwurf möglichen Gebäude- und Flächennutzungsstrukturen am Schulstandort keine gravierenden thermischen Negativeffekte in Richtung der benachbarten Siedlungslagen aus. Allein nördlich des potenziellen Kunstrasenplatzes am Westrand des Planungsgebiets bildet sich eine Warmluftfahne in Richtung der Heinrich-Pesch-Siedlung aus. Diese kann durch ergänzende grünordnerische Maßnahmen jedoch weiter abgeschwächt werden.

5.4.2 Thermische Situation in einer warmen Sommernacht (23 Uhr / 04 Uhr) mit mäßiger westsüdwestlicher bzw. nordnordwestlicher Luftströmung

In den Nachtstunden ist in aller Regel kein Schulbetrieb, so dass bei den nachfolgenden Auswertungen der Modellrechnungen zu den nächtlichen Lufttemperaturverhältnissen die Umgebungsbebauung im Vordergrund der Analysen steht.

Wie bereits im amtlichen Gutachten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES von 1991 formuliert, befindet sich die Entwicklungsachse West zwischen den Wärmeinseln Oggersheim, Niederfeld und Ludwigshafen West. Ein Zusammenwachsen dieser Wärmeinseln ist zu vermeiden, um insbesondere die Flurwindeffekte aus westlichen Richtungen langfristig zu sichern. Dementsprechend weist der DEUTSCHE WETTERDIENST darauf hin, dass die nächtliche Lufttemperatur durch eine zunehmende Überbauung des Freiraumgefüge um nicht mehr als 2.5 K ansteigen sollte. Das Klimagutachten des ING.-BÜROS LOHMEYER GMBH & CO. KG (2020) zu den Bebauungsplänen Nr. 657 „Westlich Heinrich-Pesch-Haus“ und Nr. 686b „Mittelstandspark Mannheimer Straße“ belegt, dass die Gewerbeflächen im Mittelstandspark und die Heinrich-Pesch-Siedlung zu keinem Anstieg der nächtlichen Minimumtemperatur von mehr als 2.5 K führt.

Herrschen in den Nachtstunden kaltluftbedingte Westsüdwestwinde vor (**Abbildungen 23.1 – 23.3**), führt die geplante Bebauung am Schulstandort gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Lufttemperaturerhöhung um ca. 0.4 – 2.8 K. Durch die vom Schulstandort ausgehende Warmlufftahn in Richtung Osten steigt kleinräumig auch die Lufttemperatur im geplanten Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße an. Es sind daher ergänzende Maßnahmen zur Minimierung der Lufttemperaturzunahme am Schulstandort zu ergreifen (siehe Kap. 6).

Bestimmen im Laufe der Nachtstunden regional angelegte Nordnordwestwinde das Lufttemperaturgeschehen, so führt die geplante Bebauung am Schulstandort gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Lufttemperaturzunahme von ca. 0.4 – 2.1 K. Mit der vermehrt stabil geschichteten Luft wird die vom Schulstandort ausgehende Warmlufftahn ca. 500 m nach Süden geführt. Thermisch vermehrt belastete Wohnbebauung ist hiervon allerdings nicht betroffen, so dass die berechneten thermischen Zusatzbelastungen aus gutachterlicher Sicht akzeptiert werden können.

Die fingerartig von Westen nach Osten orientierte Gewerbegebietsbebauung östlich der Bayreuther Straße unterbindet bei vorherrschenden Nordnordwestwinden eine intensive ortsspezifische Durchlüftung, wodurch die örtliche Wärmeinselbildung verstärkt wird. Die in der Klimafunktionskarte der Stadt Ludwigshafen a. Rh. (**Abbildung 12**) angestrebte, auch thermische wirksame Belüftungsachse „Bayreuther Straße“ wird damit funktional geschwächt.

6 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen

In Ludwigshafen a. Rh. ist westlich der Bayreuther Straße in den Gewannen „Im stolzen Eck“ und „Remisen“ der Neubau eines Schulzentrums geplant.

Der geplante Schulstandort ist Bestandteil des Bebauungsplans 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ und umfasst im Wesentlichen Ackerflächen. Nur am Nord- und Ostrand bestehen entlang der Stadtbahntrasse und der Bayreuther Straße Gehölzflächen.

Die im Bebauungsplan 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ (Entwurf 27.07.2022) festgesetzte Gemeinbedarfsfläche für den Schulneubau umfasst eine Fläche von ca. 4.8 ha. Als GRZ ist ein Wert von 0.7 vorgesehen.

Für die Schulgebäude ist entsprechend des Bebauungsplanentwurfs eine max. Gebäudehöhe von 18 m anzunehmen. Bei den beiden Sporthallen werden Bauwerkshöhen von jeweils 10 m angesetzt. Den beiden Sportflächen werden im Rahmen der klimaökologischen Analysen Beläge mit Kunstrasen zu Grunde gelegt. Für die Pausenhöfe / Freiflächen und Erschließungsflächen werden dunkelgraue Pflasterbeläge angenommen.

Zur Gestaltung möglichst günstiger kleinklimatischer Verhältnisse sollen u.a. Baumpflanzungen und begrünte Versickerungsflächen dienen.

Ergänzend sind im Bebauungsplan 586c südöstlich des Schulstandorts zwei Gewerbegebietsflächen sowie eine Vorbehaltsfläche zur Erweiterung des Hauptfriedhofs ausgewiesen. Die GRZ ist in den Gewerbegebietsflächen jeweils auf 0.8 festgesetzt. Die max. Gebäudehöhen belaufen sich auf 15 m.

Im Allgemeinen herrschen im Bereich des geplanten Schulstandorts „Bayreuther Straße“ Winde aus südwestlichen Richtungssektoren vor. Ein sekundäres Maximum bilden nordnordwestliche bis nördliche Winde. Die mittlere Windgeschwindigkeit beläuft sich auf ca. 2.8 m/s.

In stadtklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungsnächten ist örtlich in der ersten Nachthälfte eine vermehrte Häufung von flurwindartigen Kaltluftbewegungen aus südwestlicher bis westlicher Richtung zu beobachten. Die Fließgeschwindigkeit der bodennahen Kaltluftbewegungen beträgt zumeist weniger als 1.5 m/s. In der zweiten Nachthälfte setzen sich vermehrt Regionalwinde aus nordnordwestlicher Richtung durch. Die Freiflächen am Schulstandort sind dann Teil von raugkeitsarmen Ventilationsflächen, die zur nächtlichen Belüftung südlich benachbarter Siedlungsbereiche (Stadtteile Gartenstadt, Süd) beitragen.

Ergebnisse von Lufttemperaturmessungen (DEUTSCHER WETTERDIENST 1991, ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000, ÖKOPLANA 2022) zeigen übereinstimmend, dass sich in sommerlichen Strahlungs Nächten zwischen dem geplanten Schulstandort „Bayreuther Straße“ und den Gewerbebegebietsflächen nördlich der K 8 Lufttemperaturdifferenzen bis ca. 4 K einstellen, was die thermische Gunst des Planungsgebiets unterstreicht.

Bei häufig vorherrschenden Flurwinden aus westlichen Richtungen neigt die Kaltluft in der ersten Nachthälfte am Straßendamm der Bayreuther Straße vermehrt zu Stagnation, so dass sich örtlich ein Kaltluftsee ausbildet. Nördlich der K 8 steht der nächtlichen Abkühlung die Wärmeabstrahlung der z.T. hochgradig versiegelten Gewerbebegebietsflächen gegenüber.

In Richtung Osten bildet der Hauptfriedhof eine „kühle Zunge“, wovon im Bereich der Valentin-Bauer-Siedlung allerdings nur die unmittelbar an den Hauptfriedhof angrenzenden Baustrukturen thermisch profitieren. Dort kommt es zu einer Forcierung der nächtlichen Abkühlung.

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der Stadtklimaanalyse Ludwigshafen a. Rh. 2000 (ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER 2000) weist die Klimafunktionskarte der Stadt Ludwigshafen a. Rh. darauf hin, dass das Planungsgebiet eine insgesamt nur geringe stadtklimatische Bedeutung aufweist. Über den Ackerflächen wird zwar Kaltluft gebildet, ihr Einwirkungsbereich in Richtung Bestandsbebauung im Norden, Osten und Süden wird aber als gering eingestuft. Allein unter dem Einfluss regional angelegter Nordnordwestwinde kann die örtliche Kaltluft in Richtung Südosten (Bebauung entlang der Bayreuther Straße) Wirkung in der Bebauung zeigen.

Mit zunehmender Überbauung des Freiraumgefüges in der Entwicklungsachse West gewinnen die verbleibenden Freiflächen allerdings an Bedeutung.

Daher ist bei baulichen Maßnahmen im Planungsgebiet darauf zu achten, ausreichend dimensionierte Zugbahnen für bodennahe Kaltluftbewegungen zu sichern und die Höhe baulicher Anlagen zu begrenzen. Zudem sind thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahmen im Planungsgebiet und in dessen näheren Umfeld zu empfehlen.

Um die Empfindlichkeit des Freiraumgefüges südlich der Stadtbahntrasse als Strömungsleitbahn in Richtung Ludwigshafener Innenstadt gegenüber den geplanten baulichen Veränderungen bewerten zu können, werden auf Grundlage der vorhandenen Kenntnisse zu den ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufen vergleichende Kaltluftströmungssimulationen zwischen Ist- und Plan-Zustand durchgeführt.

Beim Ist-Zustand werden im Bereich der Entwicklungsachse West bereits die Bauvorhaben Mittelstandspark, Heinrich-Pesch-Siedlung, Quartier Kopernikus sowie die angedachten Gewerbegebiete entlang der Bayreuther Straße berücksichtigt (siehe **Abbildung 13**). Beim Plan-Zustand findet dementsprechend als Ergänzung der Schulstandort Beachtung.

Die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen zeigen, dass am geplanten Schulstandort in der ersten Nachthälfte flurwindartige westliche Kaltluftbewegungen mit Geschwindigkeiten von ca. 0.5 – 1.0 m/s das bodennahe Luftaustauschgeschehen (2 m ü.G.) bestimmen. Am Damm der Bayreuther Straße (Überführungsbauwerk Stadtbahntrasse) staut sich die Kaltluft in Luv-Lage etwas auf, so dass die Strömungsgeschwindigkeit örtlich auf 0.2 – 0.5 m/s abnimmt.

Östlich der Bayreuther Straße und südlich des geplanten Schulstandorts bilden die potenziellen Gewerbegebietsflächen Kaltluftbarrieren. Durch die Sicherung von Abstandsflächen in ungefährer West-Ost-Richtung, die im geplanten Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße auch an eine Erschließungsstraße geknüpft sind, werden großflächige Kaltluftstagnationstendenzen zwar teilweise unterbunden, in Anbetracht des hohen Versiegelungsgrades in Gewerbegebieten ist jedoch eine deutliche Aufzehrung der lokalen Kaltluft zu erwarten.

Bei Realisierung des geplanten Schulzentrums an der Bayreuther Straße wird die aus Westen zuströmende Kaltluft vor den potenziellen Schulbauwerken aufgestaut, wodurch in Luv-Lage (Westen) die Strömungsgeschwindigkeit bis in eine Entfernung von ca. 250 m um 0.1 – 0.2 m/s abnimmt. Auch in Lee-Lage zum Schulstandort sind Windgeschwindigkeitsreduktionen von 0.1 – 0.2 m/s festzustellen, die jedoch weitgehend auf die Zone der Bayreuther Straße begrenzt bleiben. Im Bereich der nördlich benachbarten Heinrich-Pesch-Siedlung und im Quartier Kopernikus sind keine problematischen Einschränkungen bzgl. der kaltluftbedingten Belüftung zu bilanzieren. Vielmehr kommt es durch die zunehmend labile Luftschichtung über dem Schulstandort entlang der Stadtbahntrasse zu leichten Windbeschleunigungen. Eine planungsbedingte Einschränkung der kaltluftbedingten Belüftung in der Valentin-Bauer Siedlung östlich/südöstlich des Hauptfriedhofs ist nicht zu befürchten. Die in den geplanten Gewerbegebietsflächen vorgesehenen Belüftungsachsen in ungefährer West-Ost-Richtung sind ausreichend dimensioniert.

Auch in der zweiten Nachthälfte bewirkt die geplante Bebauung am Schulstandort in der Umgebungsbebauung keine problematischen Strömungsmodifikationen. Eine nachhaltige Beeinträchtigung der kaltluftbedingten Be- und Entlüftung in den benachbarten Siedlungslagen (z.B. Heinrich-Pesch-Siedlung, Valentin-Bauer-Siedlung) tritt nicht ein. Die angestrebte Bebauung am Schulstandort „Bayreuther Straße“ ist somit bzgl. der ortsspezifischen kaltluftbedingten Belüftung als unproblematisch einzustufen.

Die Ergebnisse der Windfeldsimulationen zur Tagsituation belegen, dass die Belüftungsintensität im Bereich des geplanten Schulstandorts gegenüber dem Ist-Zustand zwar geschwächt wird, der verbleibende Luftaustausch im Bereich der Schulfreianlagen (Sportflächen, Pausenhöfe, Spielwiesen) jedoch ausreichend bleibt, um Wärmestaus und somit ungenügende Aufenthaltsqualitäten zu vermeiden. Die Belüftung in den benachbarten Siedlungslagen (Heinrich-Pesch-Siedlung, Quartier Kopernikus) bleibt in ausreichendem Maße gewährleistet. Vorteilhaft ist, dass die maximal ausgeformte Bebauung im Planungsgebiet allseitig umströmbar gestaltet ist.

Die prognostischen Modellrechnungen zu den thermischen Umgebungsbedingungen an stadtklimatisch besonders relevanten heißen Sommertagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) dokumentieren, dass durch die bauliche Inanspruchnahme des Planungsgebiets die Lufttemperaturen tagsüber gegenüber dem Ist-Zustand zwar um ca. 0.2 – 1.4 K ansteigen, in der benachbarte Bebauung (z.B. Quartier Kopernikus, Heinrich-Pesch-Siedlung) aber keine relevanten thermischen Zusatzbelastungen bewirken.

Herrschen in den Nachtstunden kaltluftbedingte Westsüdwestwinde vor (erste Nachthälfte), führt die geplante Bebauung am Schulstandort gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Lufttemperaturerhöhung um ca. 0.4 – 2.8 K. Durch die vom Schulstandort ausgehende Warmluftfahne in Richtung Osten steigt kleinräumig auch die Lufttemperatur im geplanten Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße an. In der zweiten Nachthälfte geht die planungsbedingte Lufttemperaturzunahme unter dem Einfluss regionaler Nordnordwestwinde gegenüber dem Ist-Zustand auf Werte von 0.4 – 2.1 K zurück.

Wie im amtlichen Gutachten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES von 1991 formuliert, befindet sich die Entwicklungsachse West zwischen den Wärmeinseln Oggersheim, Niederfeld und Ludwigshafen West. Ein Zusammenwachsen dieser Wärmeinseln ist zu vermeiden, um insbesondere die Flurwindeffekte aus westlichen Richtungen langfristig zu sichern. Dementsprechend weist der DEUTSCHE WETTERDIENST darauf hin, dass die nächtliche Lufttemperatur durch eine zunehmende Überbauung des Freiraumgefüges um nicht mehr als 2.5 K ansteigen sollte.

Dementsprechend sind am Schulstandort ergänzende Maßnahmen zur Minimierung der Lufttemperaturzunahme zu ergreifen werden, die auch die Aufenthaltsqualitäten am Tag begünstigen. Diese werden nachfolgen skizziert.

Planungsempfehlungen

Angesichts der simulierten planungsbedingten Lufttemperaturzunahme am Planungsstandort von bis zu 2.8 K in sommerlichen Strahlungsnächten und der Prognosen zu den Klimawandelfolgen, die u.a. eine deutliche Zunahme von heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) erwarten lassen, muss es Ziel der Planung sein, insbesondere die thermische Ungunst der Bebauung im Planungsgebiet, trotz der räumlich eng begrenzten Klimamodifikationen, mit ergänzenden Ausgleichsmaßnahmen noch weiter zu reduzieren.

Hierzu werden nachfolgend klimawirksame Maßnahmen aufgezeigt (siehe **Abbildung 25**), die in Abstimmung mit weiteren Fachplanern in die Festsetzungen zum Bebauungsplan aufgenommen werden können.

Dachbegrünung

Durch eine Dachbegrünung kann das Kleinklima verbessert werden. Dachbegrünungen 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.

Grundsätzlich wird zwischen einer intensiven und extensiven Dachbegrünung unterschieden. Die extensive Dachbegrünung zeichnet eine geringmächtige Substratauflage und Bepflanzung mit Moosen, Sedum-Arten, Gräsern und Kräutern aus. Bei dieser Art der Dachbegrünung ist der Wartungsaufwand gering und eine Bewässerung nicht notwendig. Demgegenüber ist eine intensive Dachbegrünung in der Anlage und Pflege aufwendiger.

Eine besondere Form der Dachbegrünung stellt das Retentions Gründach dar. Hierbei wird der Ablauf der Dachfläche mit einem Drosselement versehen, wodurch gezielt eine größere Regenmenge auf dem Dach zurückgehalten werden kann, als bei „normalen“ Gründächern (die Dachkonstruktion muss auf die zeitweilige Belastung mit Wasser ausgelegt sein). Das gespeicherte Wasser kann einerseits zur Bewässerung der Dachbegrünung genutzt werden, aber auch zeitlich verzögert im Gebäudeumfeld einer Versickerungsanlage oder der Kanalisation zugeführt werden. Die Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers erfolgt in einem separaten Stauraum unterhalb der Begrünung, die entweder intensiv oder extensiv sein kann.

Da die Vegetation auf Gründächern Feinstaub und Schadstoffe binden kann, trägt die Maßnahme auch zur Verbesserung der Luftqualität bei.

Des Weiteren können Gründächer auch positive Wechselwirkungen zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz erzeugen. Eine Dachbegrünung schließt die energiewirtschaftliche Nutzung des Daches nicht aus. Durch die Verdunstungskühlung der Vegetation kann der Ertrag von Photovoltaikanlagen sogar gesteigert werden, da diese einen höheren Wirkungsgrad aufweisen, wenn sie sich weniger aufheizen.

Am Schulstandort bieten sich alle Flachdächer bzw. geneigten Dächer (bis ca. 15°) zur Begrünung an. Die Art der Dachbegrünung ist in Abstimmung mit weiteren Fachplanern (Baustatikern/Architekten, Ökologen etc.) zu wählen. Auch bei der Überdachung von Fahrradstellplätzen sollten extensive Dachbegrünungen Berücksichtigung finden.

Im Bereich der beiden Gewerbegebietsflächen sollten ebenfalls Dachbegrünungen festgesetzt werden. Die Mindestbegrünungsanteile sollten mindestens bei 50% liegen. Auf Dachbegrünung kann verzichtet werden, wenn die entsprechende Dachfläche statt für eine Begrünung für die Unterbringung von Anlagen zur Solarenergienutzung verwendet werden und eine Dachbegrünung dadurch nur schwer realisierbar ist.

Fassadenbegrünung

Durch eine Begrünung von Fassadenflächen kann ein weiterer Beitrag zur Reduktion der gebietsinternen Überhitzung geleistet werden.

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. Vor einer bodengebunden begrünten Wand (ohne künstliche Bewässerung) zeigen sich Temperaturreduktionen bis ca. 0.8 K.

Auf Fußgängerniveau ist Fassadenbegrünung in thermischer Hinsicht wirksamer als eine Dachbegrünung.

Für die Luftreinhaltung sind begrünte Wände ebenfalls von Vorteil. Die Vegetation filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft und verbessert dadurch die Luftqualität.

Im Bereich des Schulstandorts bieten sich u.U. fensterlose Fassaden (West-, Ost- oder Südfassade) der Sporthallen zur Begrünung an.

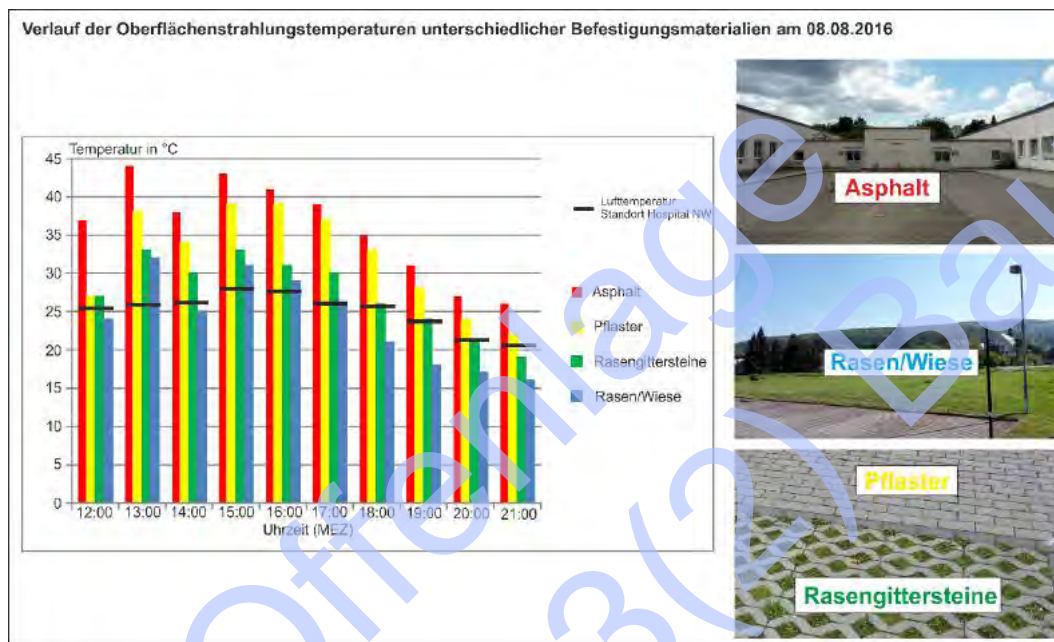
In den Gewerbegebietsflächen im Bebauungsplangebiet Nr. 586c sind ebenfalls Fassadenbegrünungen zu empfehlen. So könnten bspw. zusammenhängende geschlossene Fassadenflächen ab einer Größe von ca. 50 m², die nicht durch Fenster- oder Türöffnungen gegliedert sind, unter Berücksichtigung brandschutzrechtlicher Anforderungen flächig begrünt werden.

Vermeidung übermäßiger Bodenversiegelung.

Bei der Befestigung der oberirdischen Parkplätze sollten im Bereich des Schulstandorts als auch in den Gewerbegebietsflächen Rasengittersteine oder Pflastersysteme mit begrünten Rasenfugen Anwendung finden.

Die Vorteile geringerer Bodenversiegelungen sind u.a.:

- Reduktion vom Regenwasserabfluss und Wasserspeicherung im Boden,
- erhöhte Verdunstung vom Boden,
- geringere Oberflächentemperaturen (siehe **Grafik 14**)



Grafik 14: Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbedeckungsarten
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Pflanzung schattenspendender Bäume

In den textlichen Festsetzungen zum Bebauungsplan sind Pflanzgebote zur Gebietsdurchgrünung zu berücksichtigen. Insbesondere durch schattenspendende Laubbäume kann die thermische Belastung durch die direkte Sonneneinstrahlung am Tag spürbar reduziert werden. Dies wird anhand der durchgeführten Modellrechnungen zum Bioklima (**Abbildung 21**) belegt. Die beschatteten Flächen speichern weniger Wärme, wodurch der nächtliche Wärmeinseleffekt herabgesetzt wird. Die in **Abbildung 25** dargestellten Baumpflanzungen sind vor allem im Bereich der Pausenhöfe und Spielwiesen zu ergänzen. Hierdurch wird die Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen effektiv gesteigert.

Die in **Abbildung 5** entlang der Bayreuther Straße dargestellte Zahl der neuen Baumpflanzungen bildet das Minimum.

Der zusätzlich kühlende Verdunstungseffekt von Bäumen ist stark abhängig von der Wasserverfügbarkeit. Wird ein Baum in Trockenperioden bewässert, kann er mehr Wasser verdunsten und der Kühleffekt ist größer als bei einem unbewässerten Baum, dem der ausgetrocknete Boden kaum Wasser liefert. Daher kommt es zur Reduktion der Wärmebelastung auch auf die Wasserverfügbarkeit an. So kann zum Beispiel durch den Einsatz von Baumrigolen der Wasserhaushalt eines Baumes optimiert werden. In der Rigole kann Niederschlagswasser temporär zurückgehalten und gespeichert werden, so dass es zu einem späteren Zeitpunkt zur Bewässerung des Baumes eingesetzt werden kann. Vor allem in den ersten 5 Jahren nach der Pflanzung müssen Jungbäume bei anhaltender Trockenheit regelmäßig bewässert werden.

Im Bereich des Schulgeländes sollten sowohl im Bereich der Pausenhöfe als auch auf den Spielwiesen großkronige Einzelbäume / Baumgruppen gepflanzt werden, um insbesondere an heißen Sommertagen einen längeren Aufenthalt zu ermöglichen. Durch die Verschattungseffekte wird zudem die Aufheizung der Oberflächen reduziert, wodurch auch in den Nachtstunden der Wärmeinseleffekt abgeschwächt wird.

Konstruktive Elemente zur Verschattung bzw. mobiles Grün

Eine Alternative zur Verschattung durch Bäume stellen konstruktive Elemente wie Sonnensegel, Pavillons, Pergolen oder auch mobiles Grün dar. Konstruktive Elemente reduzieren kleinräumig die einfallende Sonneneinstrahlung und die Aufheizung der nun verschatteten Oberflächen. Beides bewirkt eine Verbesserung des thermischen Komforts und kann somit einen Beitrag zur Hitzevorsorge leisten. Die Kühlungswirkung von konstruktiven Elementen ist gegenüber Bäumen allerdings geringer, da der Effekt der Verdunstungskühlung entfällt.

Helle Fassadengestaltung

Zur Reduzierung einer intensiven Aufheizung von Fassaden empfiehlt es sich, eine möglichst hohe Rückstrahlung bzw. „Albedo“ anzustreben. Mögliche Blendeffekte können durch Schattenwürfe von Bäumen effektiv reduziert werden. Oberflächen mit hoher Albedo reflektieren einen großen Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung und absorbieren dementsprechend weniger Energie. Dadurch heizen sie sich weniger auf, was insbesondere in den Nachtstunden einen messbaren positiven thermischen Effekt auf den umliegenden Stadtraum hat. Anders als Grünflächen wirken Oberflächen mit hoher Albedo nicht direkt „kühlend“, jedoch deutlich weniger wärmeabstrahlend als Oberflächen mit geringer Albedo.

Die Fassaden der geplanten Schulneubauten und Gewerbebauten im Bebauungsplangebiet Nr. 586c sollten daher in möglichst hellen Farben ausgeführt werden.

Die im Planungsentwurf bereits berücksichtigten Versickerungsflächen sind aus klimaökologischer Sicht zu begrüßen. Die oberflächennahe Regenwasserbewirtschaftung fördert nach Regenfällen über Verdunstungseffekte zusätzlich die lokale Abkühlung.

Schlussfazit:

Die zur Bewertung des Planungskonzepts zum Schulstandort „Bayreuther Straße“ durchgeführten Klimaanalysen lassen in der Gesamtbilanz keine gravierenden klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung grundsätzlich entgegenstehen. Unvermeidbare strömungsdynamische Veränderungen bewirken in den nächstgelegenen Wohnlagen (z.B. Heinrich-Pesch-Siedlung) keine relevanten Beeinträchtigungen der Belüftungsintensitäten am Tag und der nächtlichen Kaltluftbewegungen in der Nacht. Die thermischen Zusatzbelastungen am Planungsstandort führen bei Berücksichtigung der o.a. Planungsempfehlungen nicht zu einer Überschreitung des angestrebten Klimaqualitätsniveaus, das vom DEUTSCHEN WETTERDIENST (1991) formuliert wurde. Gleiches gilt für die angedachten Gewerbegebietsflächen im Bebauungsplangebiet Nr. 586c.



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

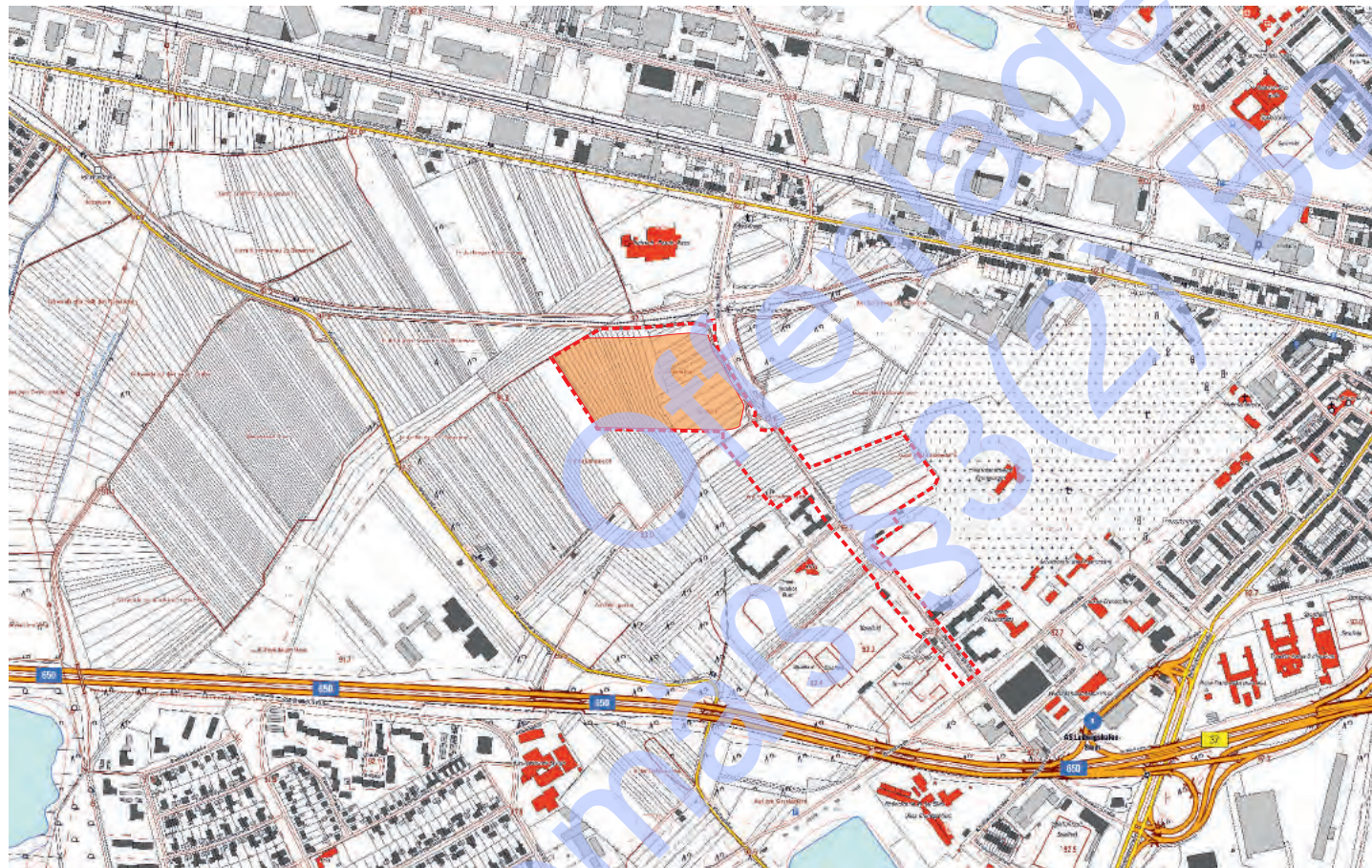
Mannheim, 15. November 2022

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften



- ARBEITSGRUPPE „KLIMA – LUFT – LÄRM“ UNIVERSITÄT TRIER (2000):** Klimagutachten 2000 für den Flächennutzungs- / Landschaftsplan der Stadt Ludwigshafen am Rhein. Trier.
- BMBAU, BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU (1979):** Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe 06.032. Bonn.
- BRUSE, M. (2002/2022):** 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.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1983):** Klimatologische Untersuchungen für den Raum Ludwigshafen-Roßlache. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1991):** Amtliches Gutachten zu den lokalklimatischen Auswirkungen einer Bebauung des Bereiches „Entwicklungsachse West“ in Ludwigshafen. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2005/2008):** Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 227. Offenbach a. M.
- EICHHORN, J. (2006/2016):** Miskam - Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2009):** Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar auf Basis einer GIS-gestützten Modellierung von stadtklimatisch und lufthygienisch relevanten Kenngrößen mit dem 3D-Klimamodell FITNAH. Hannover. Mannheim.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (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.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2021):** Stadtklimaanalyse Mannheim 2020. Hannover. Mannheim.
- GERICS (2021):** Klimaausblick Ludwigshafen am Rhein und angrenzende Landkreise. Hamburg.

- 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.
- ING. -BÜRO LOHMEYER GMBH & CO. KG (2020):** B-Plan Nr. 657 „Westlich Heinrich-Pesch-Haus“ und B-Plan Nr. 586b „Mittelstandspark Mannheimer Straße“ in Ludwigshafen a. Rh. – lokalklimatische Betrachtungen. Karlsruhe.
- IÖR (2011):** REGKLAM Ergebnisbericht. Regionales Klimaanpassungsprojekt Modellregion Dresden. Stadtstrukturabhängige Ausweisung sensibler Siedlungsräume bei thermischen Belastungen als Grundlage für die künftige Stadtentwicklung. Dresden.
- KING, E. (1973):** Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten (Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 130, Band 17).
- MUST STÄDTEBAU GMBH (2021):** Klimagerechte Stadt- und Freiraumgestaltung. Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas und des thermischen Komforts in Marburg. Köln.
- ÖKOPLANA, PROF. DR. G. GROSS (2018):** Klimagutachten zur Spätfrostgefährdung – Neubau eines EDEKA-Marktes in Neustadt-Hambach. Mannheim. Rinteln.
- ÖKOPLANA (2022):** Erfassung meteorologischer Daten in Ludwigshafen a. Rh. Mannheim.
- PFOSE ET AL. (2013):** Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld, Forschungsbericht, Technische Universität Darmstadt.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003):** VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2020):** VDI 3787, Bl. 8. Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2021):** VDI 3787, Bl. 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Düsseldorf.

Abb. 1 Lage des **Bebauungsplangebiets Nr. 586c** im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein **Standort „Bayreuther Straße“**



Plangrundlage bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

-  Bebauungsplangebiet Nr. 586c
-  Schulstandort

Projekt:
Klimagutachten zum Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

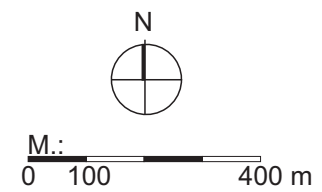
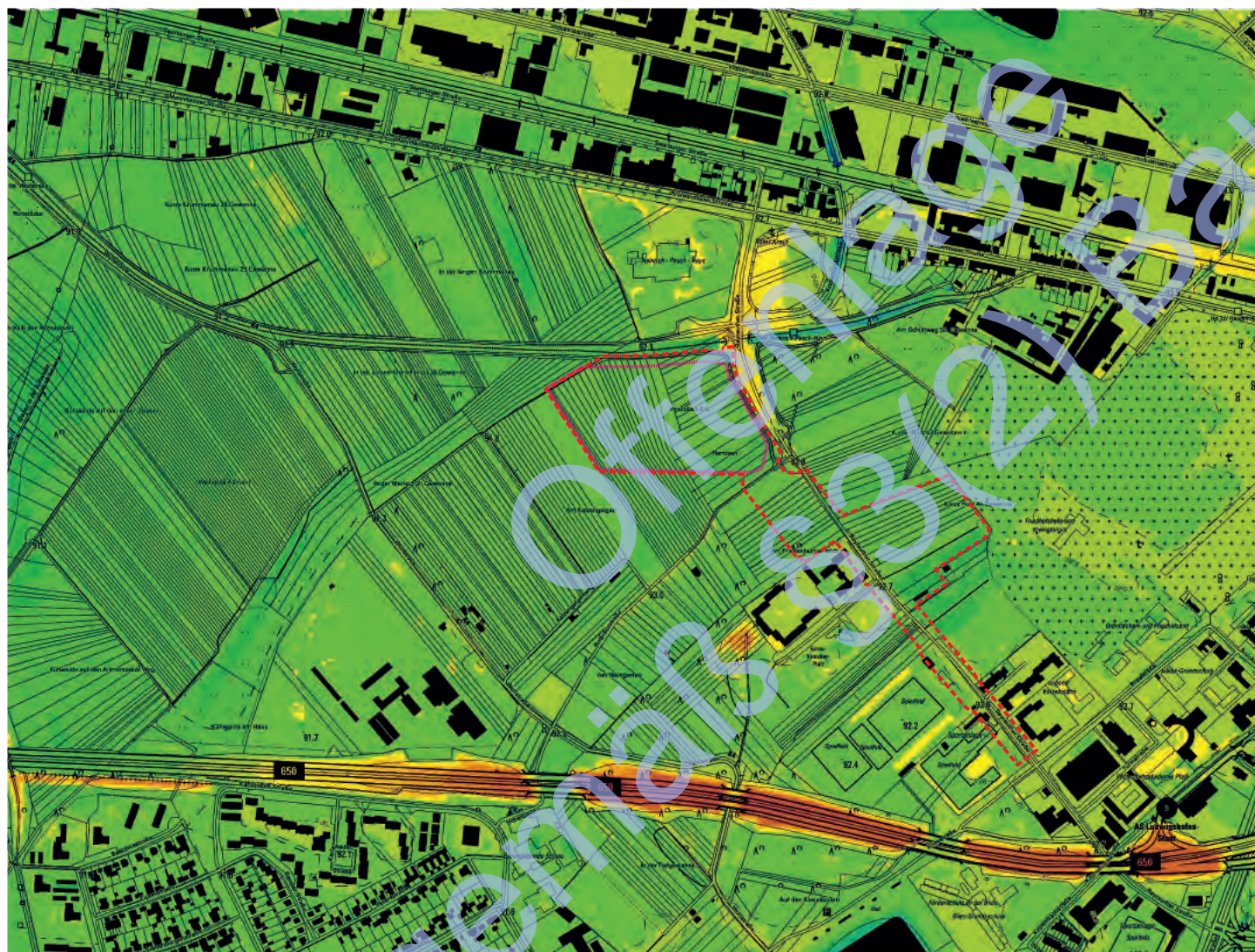




















Abb. 2 Geländehöhen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld



Plangrundlage und Reliefdaten
 bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Bebauungsplangebiet Nr. 586c
 Schulstandort

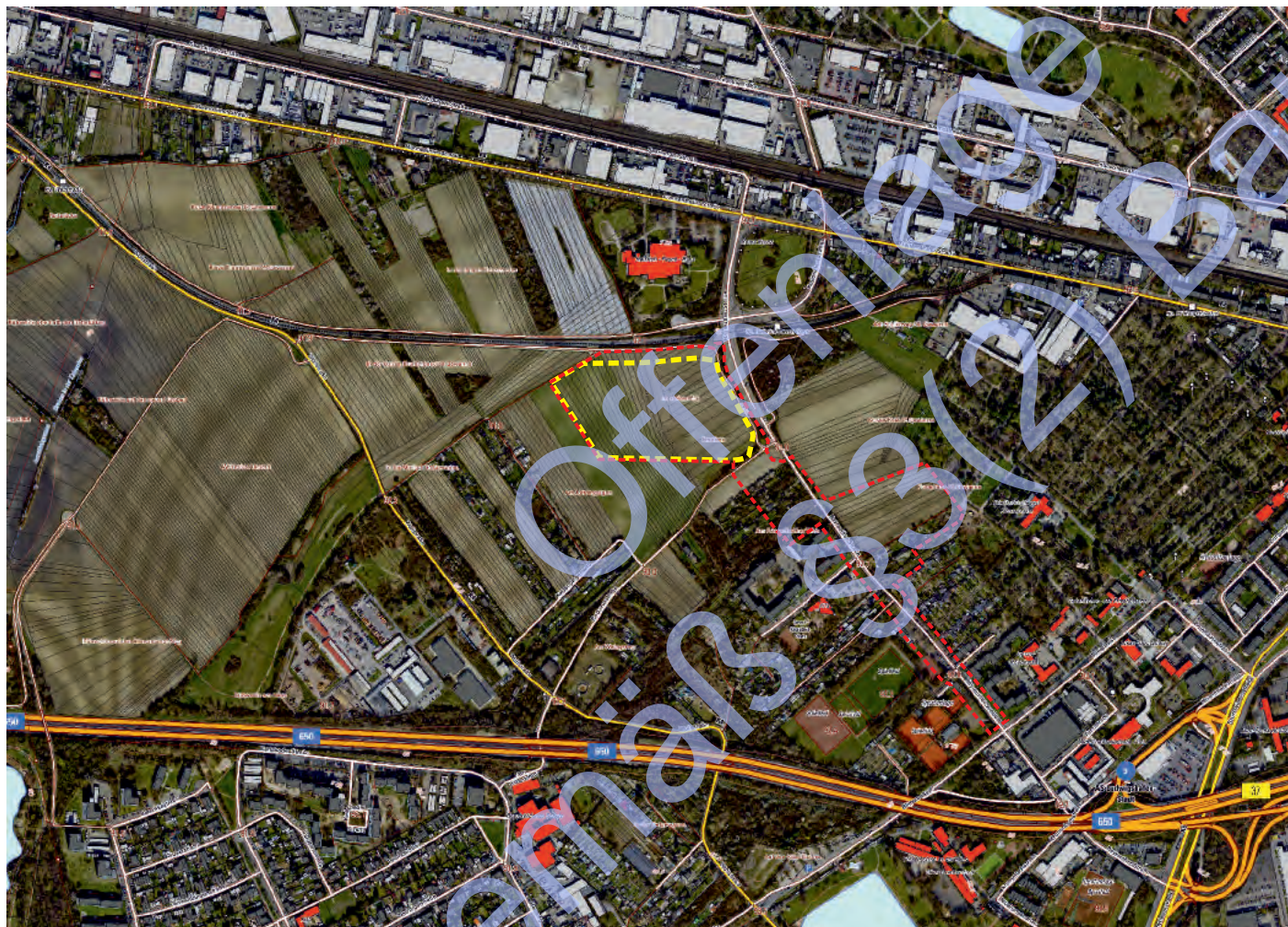
Geländehöhe in m ü. NHN

-  84 - 85
-  85,1 - 86
-  86,1 - 87
-  87,1 - 88
-  88,1 - 89
-  89,1 - 90
-  90,1 - 91
-  91,1 - 92
-  92,1 - 93
-  93,1 - 94
-  94,1 - 95
-  95,1 - 96
-  96,1 - 97
-  97,1 - 98
-  98,1 - 99
-  99,1 - 100


Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



Abb. 3 Luftbild vom Planungsgebiet und von dessen Umfeld



Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Bebauungsplangebiet Nr. 586c

 Schulstandort

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



M.:
0 100 400 m

ÖKOPLANA

Abb. 4 Fotografische Dokumentation vom Planungsgebiet

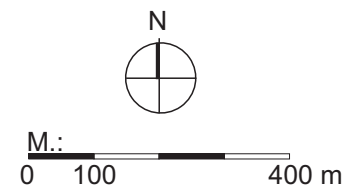


Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.
Fotoaufnahmen: ÖKOPLANA

Standorte der Fotoaufnahmen und Blickrichtung

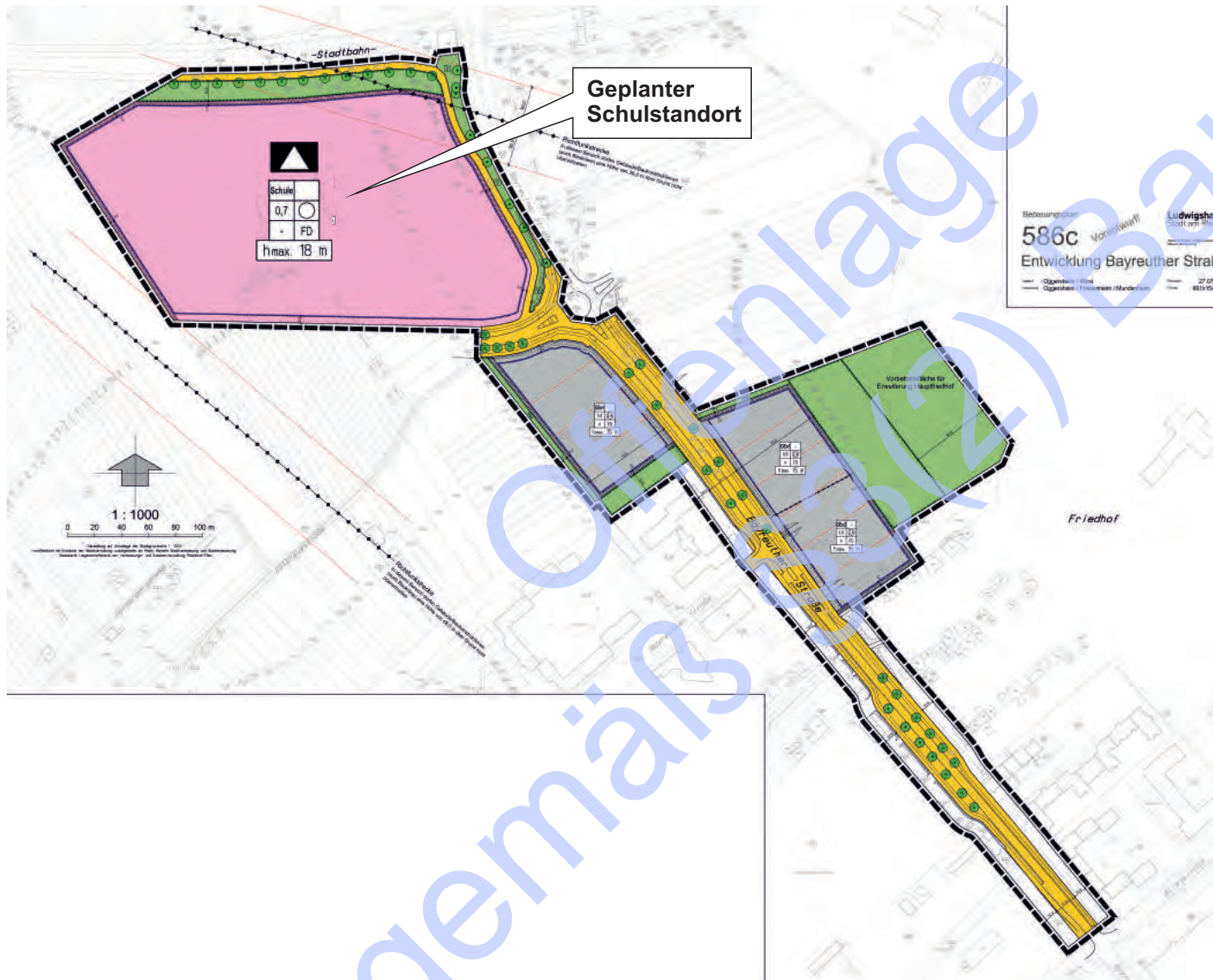


Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



ÖKOPLANA

Abb. 5 Bebauungsplan Nr. 586c „Entwicklung Bayreuther Straße“ (Vorentwurf, 27.07.2022)



Plan bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

PLANZEICHENERKLÄRUNG

- Art der baulichen Nutzung** (§ 9 (1) Nr. 1 BauGB, (V.m. § 4 BauVO)
 - Geb. Eingeschränktes Gewerbegebiet
- Bauweise, Baugrenzen** (§ 9 (1) Nr. 2 BauGB, (V.m. §§ 22 u. 23 BauVO)
 - Baugrenze
- Gemeinbedarfsflächen**
 - Flächen für den Gemeinbedarf
 - Schule
- Verkehrsflächen** (§ 9 (1) Nr. 11 BauGB)
 - öffentliche Straßenverkehrsflächen
- Grünflächen** (§ 9 (1) Nr. 18 BauGB)
 - öffentliche Grünflächen
 - Verkehrsbegleitgrün
- Anpflanzen und Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen** (§ 9 (1) Nr. 25 BauGB)
 - Flächen zum Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen
 - Anpflanzen: Bäume
 - Erhalten: Bäume
 - Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Erneuerung von Natur u. Landschaft
- Sonstige Planzeichen**
 - Grenze des räumlichen Geltungsbereichs des Bebauungsplans (§ 9 (7) BauGB)
 - Aufschöpfung
 - Abgrenzung untertechnischer Nutzung

Nachrichtliche Übernahme

- Richtungsstrasse mit Schutzstreifen

Zeichnerische Hinweise

- Straßenraumladung (nachrichtlich)

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

N

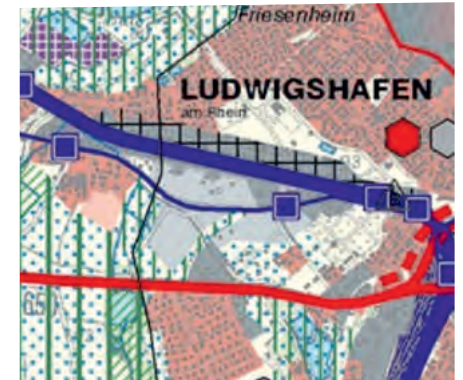
ÖKOPLANA

Abb. 6 Rahmenplan „Entwicklungssachse West“

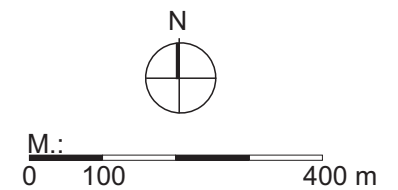


Plan bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Ausschnitt aus der Raumnutzungskarte des
Einheitlichen Regionalplans Rhein-Neckar (2013)

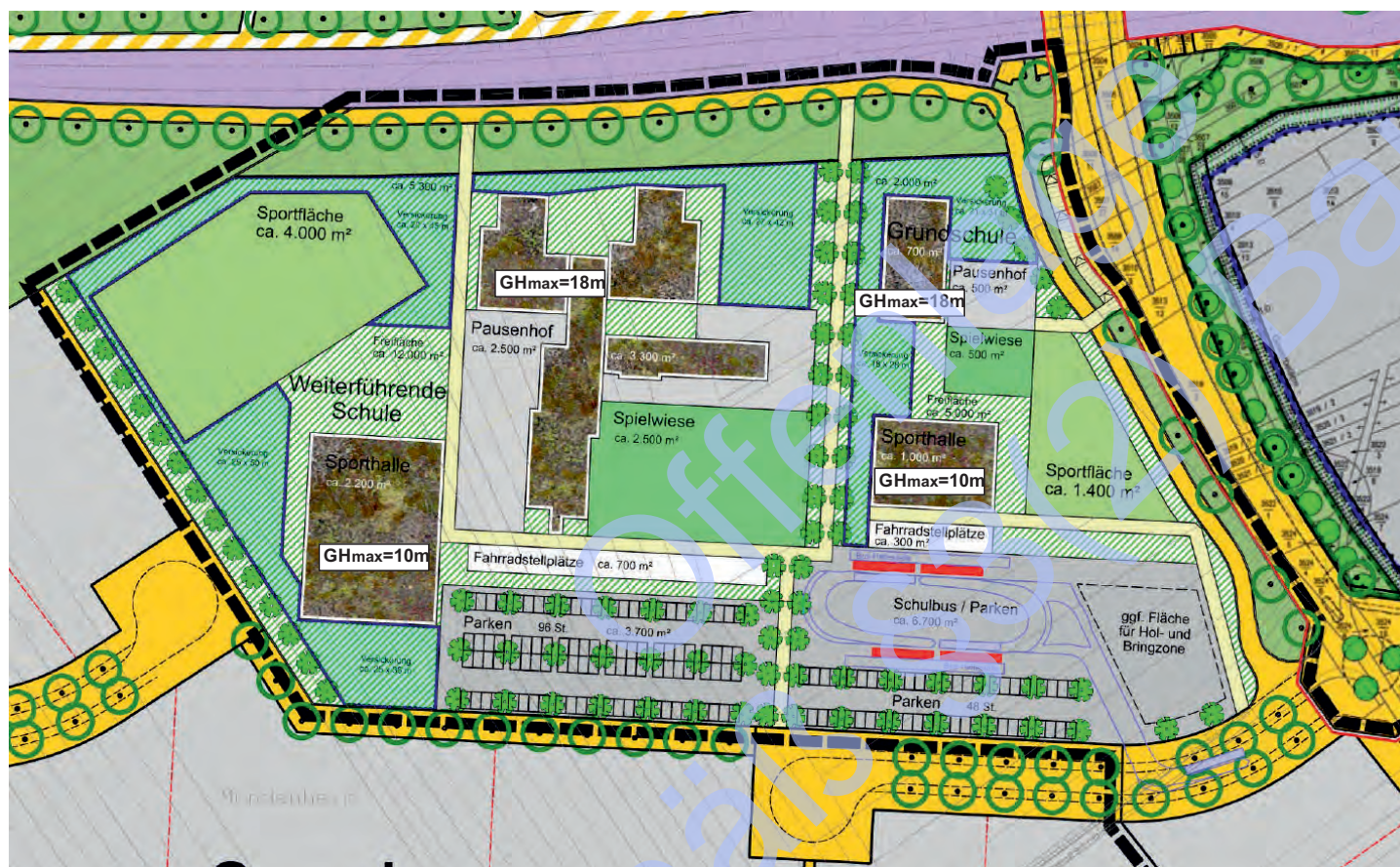


Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



ÖKOPLANA

Abb. 7 Planungsentwurf für den Schulstandort „Bayreuther Straße“



Grafik bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

BILANZIERUNG

Weiterführende Schule

Schulgebäude: ca. 3.300 m²
 Sporthalle: ca. 2.200 m²
 Sportfläche: ca. 4.000 m²
 Pausenhof: ca. 2.500 m²
 Spielwiese: ca. 2.500 m²
 Fahrradstellplätze: ca. 700 m²
 Freifläche: ca. 12.000 m²
 davon Versickerung: ca. 5.300 m²

Grundschnle

Schulgebäude: ca. 700 m²
 Sporthalle: ca. 1.000 m²
 Sportfläche: ca. 1.400 m²
 Pausenhof: ca. 500 m²
 Spielwiese: ca. 500 m²
 Fahrradstellplätze: ca. 300 m²
 Freifläche: ca. 5.000 m²
 davon Versickerung: ca. 2.000 m²

ca. 27.200 m²

ca. 9.400 m²

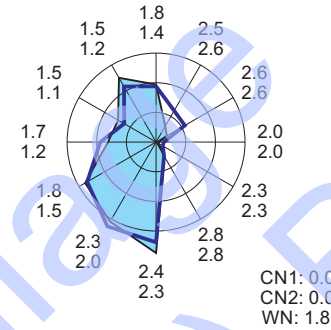
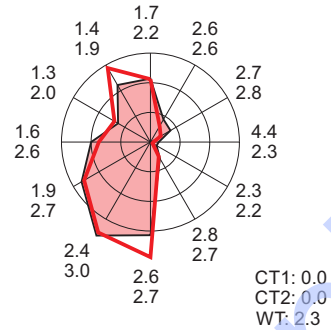
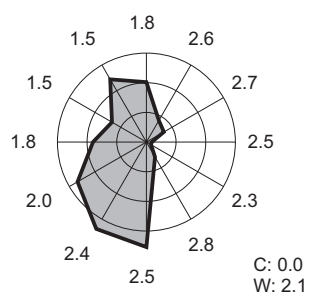
Schulbus/Parken: ca. 10.400 m² (144 St.)

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

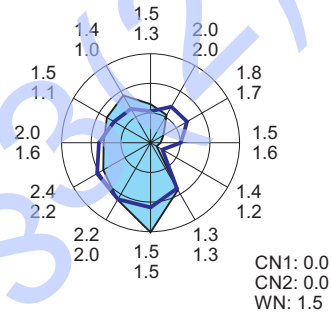
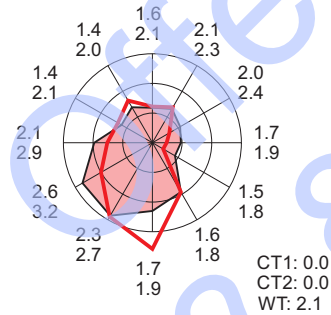
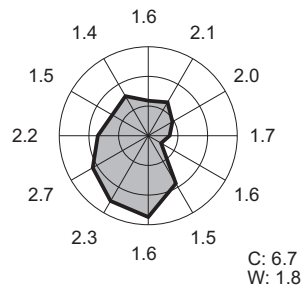


Abb. 8.1 10-jährige Windstatistiken (2011 - 2020) für die ZIMEN-Messtationen Mundenheim und Oppau sowie für den Messstandort BASF S801

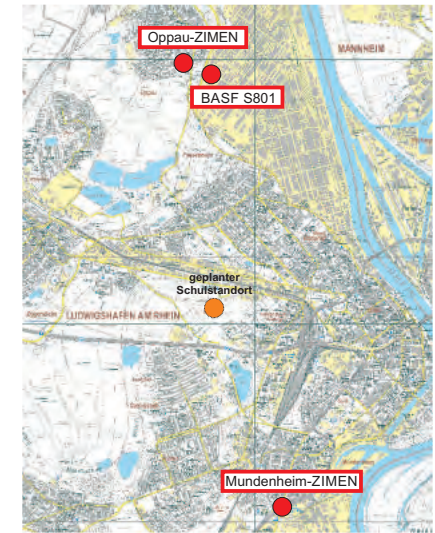
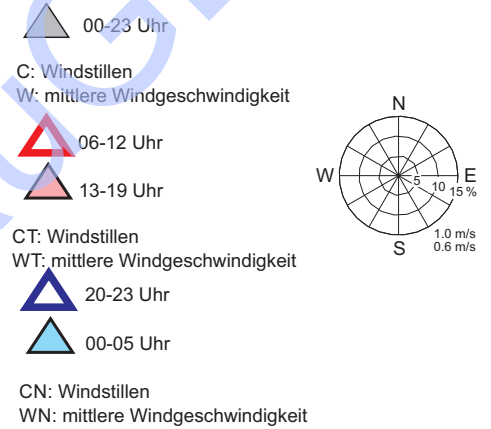
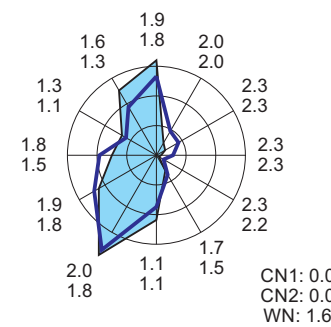
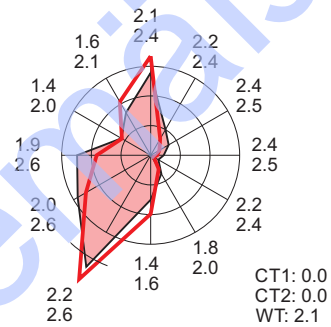
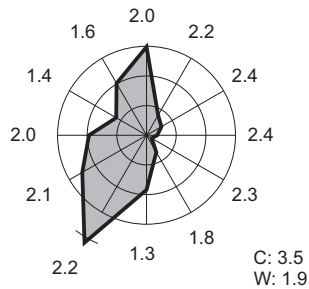
Standort: BASF S801 10m



Standort: ZIMEN Mundenheim



Standort: ZIMEN Oppau



Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

Abb. 8.2 Windstatistiken für das Datenkollektiv Strahlungstage (Juni - September 2021), ZIMEN-Messtationen Mundenheim und Oppau sowie Messstandort BASF S801

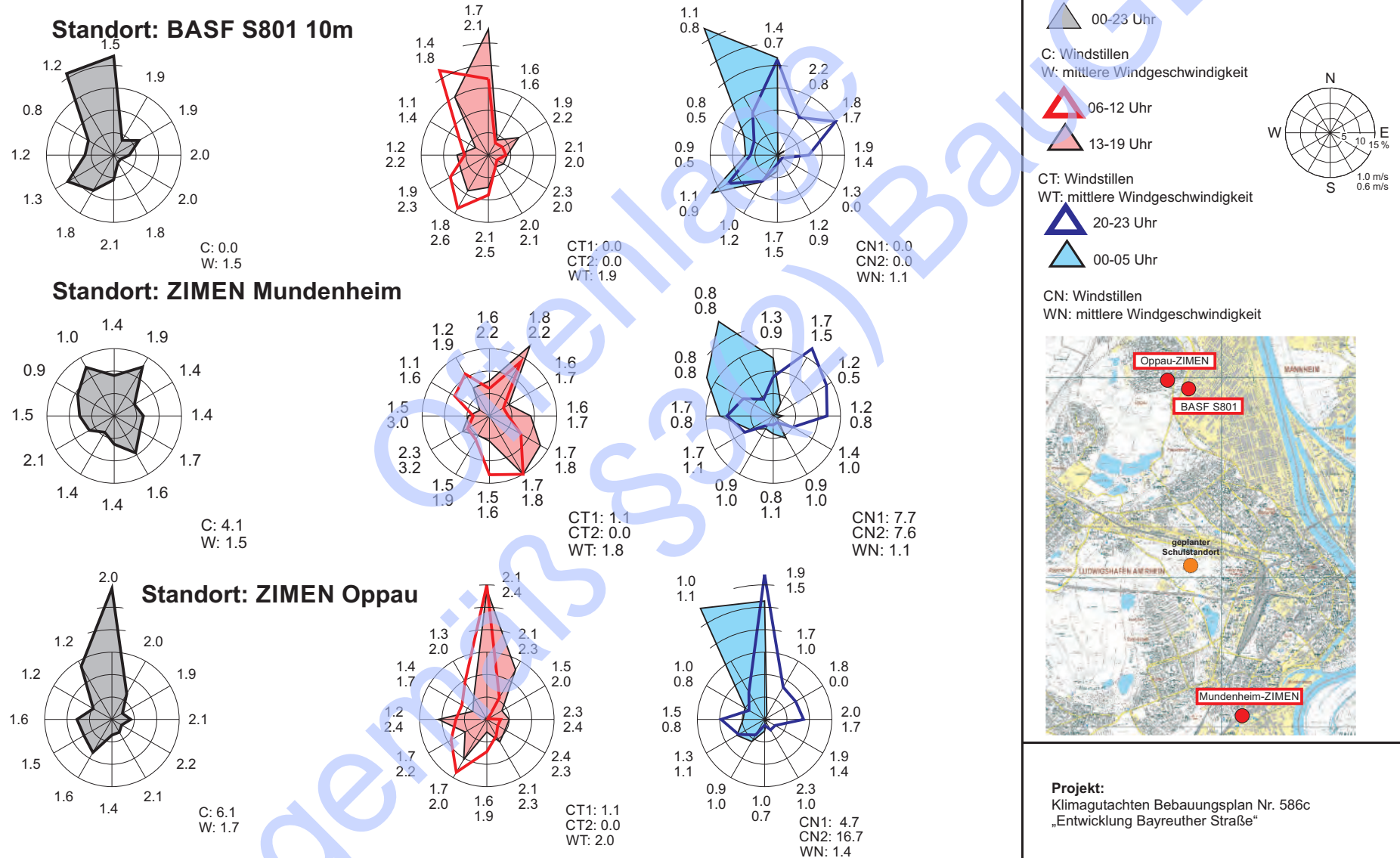
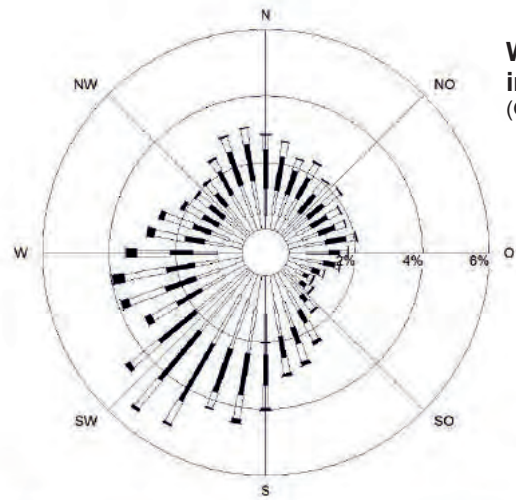


Abb. 9.1 Windstatistik für den Standort Bayreuther Straße
Zeitraum: 06/1998 - 05/1999

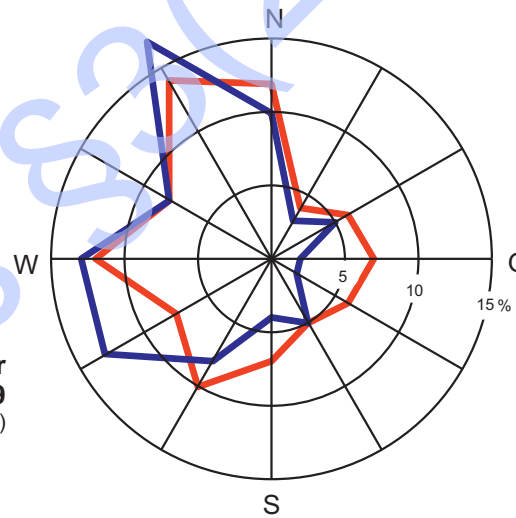


Windrichtung und Windstärke
im Messzeitraum 06/1998 - 05/1999
 (Grafik aus: Ing.-Büro Lohmeyer GmbH & Co. KG 2020)

Station : LU_BayStr
 Messhöhe : 10.0 m
 Windgeschw. : 2.8 m/s

- kleiner 1.4 m/s
- 1.4 bis 2.3 m/s
- 2.4 bis 3.8 m/s
- 3.9 bis 6.9 m/s
- 7.0 bis 10 m/s

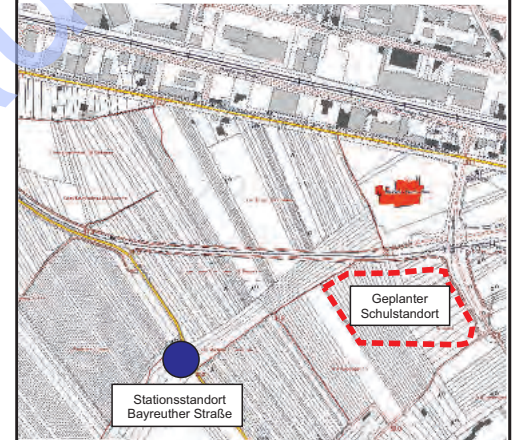
Windrichtungsverteilung während sommerlicher
Hochdruckwetterlagen 05 - 09/1999
 (Grafik aus: Univ. Trier 2000)




 Tagsituation


 Nachtsituation

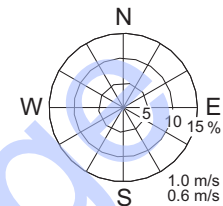
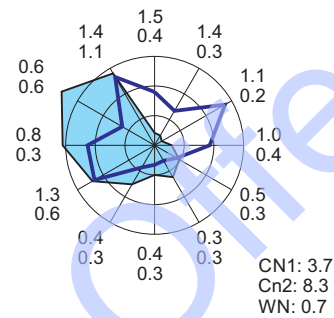
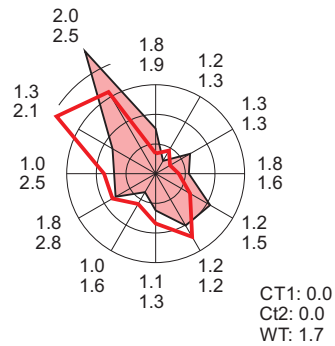
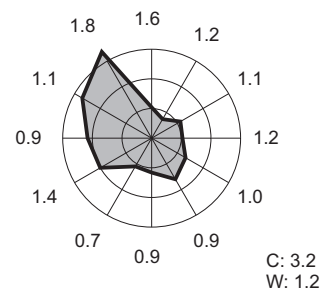
Datenerfassung:
 Universität Trier (2000)



Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



**Abb. 9.2 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit am Stationsstandort Rotkreuzstraße
Zeitraum: 06 - 09/2021, Strahlungstage**



▲ 00-23 Uhr

C: Windstillen
W: mittlere Windgeschwindigkeit

▲ 06-12 Uhr

▲ 13-19 Uhr

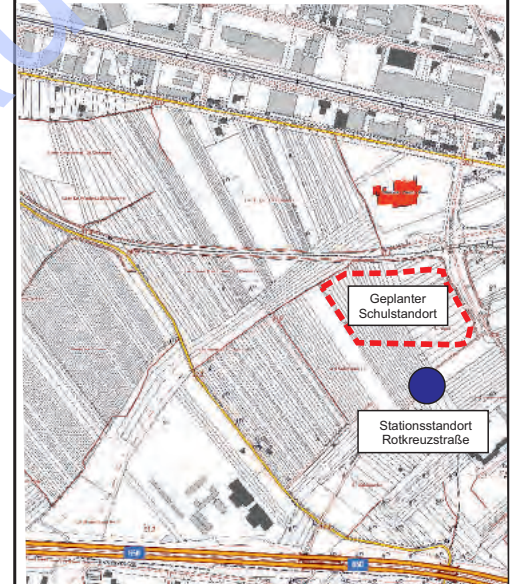
CT: Windstillen
WT: mittlere Windgeschwindigkeit

▲ 20-23 Uhr

▲ 00-05 Uhr

CN: Windstillen
WN: mittlere Windgeschwindigkeit

Datenerfassung:
ÖKOPLANA (2022)




Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“









Abb. 10 Ergebnisse mesokaliger Kaltluftströmungssimulationen
Nächtliche Kaltluftbewegungen/Fluwindeffekte (04 Uhr) in einer windstillen, sommerlichen Strahlungsnacht



Modellrechnungen:
 GEO-NET Umweltconsulting GmbH/ÖKOPLANA 2009

 Geplanter Schulstandort

Kaltluftfließgeschwindigkeit
 in m/s (2 m ü G)

-  ≤ 0.1
-  $0.1 - \leq 0.2$
-  $0.2 - \leq 0.3$
-  $0.3 - \leq 0.5$
-  $0.5 - \leq 1.0$
-  > 1.0

 Windvektoren

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



M.:
 0 250 1000 m

ÖKOPLANA

Abb. 11 Isothermenkarte Ludwigshafen a. Rh. 22.-23.07.2021, 00:00 Uhr



Stadtkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Messungen und Isothermenkarte:
ÖKOPLANA (2022)

Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$) um 00:00 Uhr
in einer Höhe von 2m über Grund



Geplanter Schulstandort

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



M:
0 250 1000 m

ÖKOPLANA

Abb. 12 Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte Ludwigshafen a. Rh. 2000



Grafik bereitgestellt von: Stadt Ludwigshafen a. Rh.
Entwurf: Univ. Trier

Siedlungsflächen / Wirkungsraum

- Gebiete mit sehr hoher klimaökologischer Belastung
- Gebiete mit hoher klimaökologischer Belastung
- Gebiete mit geringer bis mittlerer klimaökologischer Belastung

Freiflächen / Ausgleichsraum *

- Flächen mit hoher klimaökologischer Bedeutung
- Funktion als Ausgleichsfläche dominiierend
- Funktion als Abstandsfläche dominiierend
- Flächen mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung
- Flächen mit geringer klimaökologischer Bedeutung

Spezifische klimaökologische Wirkungen

- Grünanlagen in Siedlungsflächen: Mikroklimatisch positive Wirkung
- gering
- mittel
- hoch
- Waldflächen
- Filterfunktion
- Industrie- und Gewerbegebiete mit differenzierter klimaökologischer Belastung

- Hauptverkehrsstraßen: Verkehrsbelastung (DTV)
- hoch
- sehr hoch
- extrem hoch
- Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2000 nach 23. BImSchV

Wirksamkeit der Ausgleichsleistung

- gering
- mittel
- hoch

Luftleitbahn

- nachgewiesen
- potenziell

Durchlüftungsbahn

- nachgewiesen
- potenziell

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

Planungsstandort



Abb. 13 Modellgebiet der mesoskaligen Kaltluftströmungssimulationen.
Luftbild mit berücksichtigten baulichen Entwicklungsflächen



Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

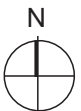


Abb. 14.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s

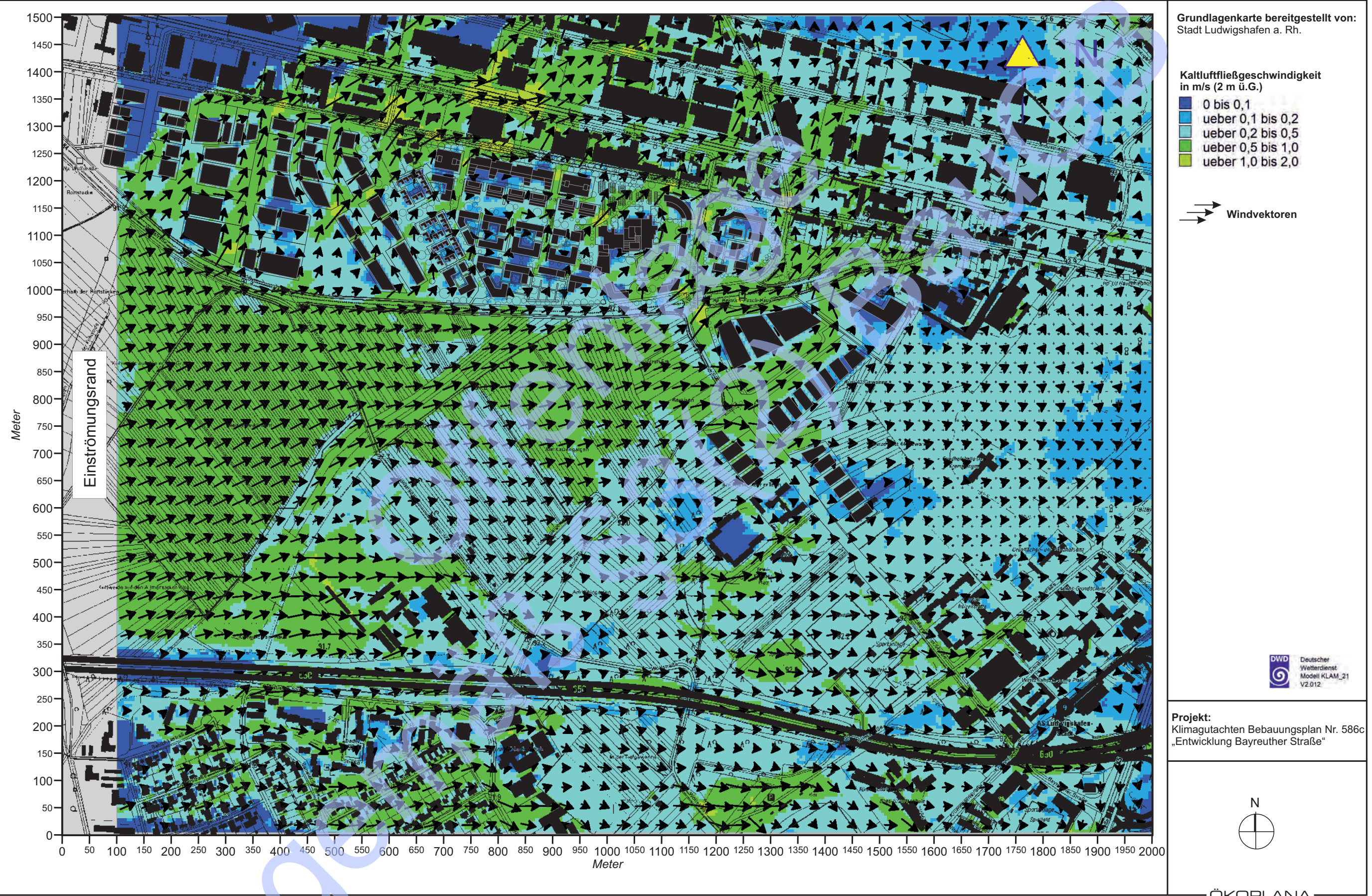


Abb. 14.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s

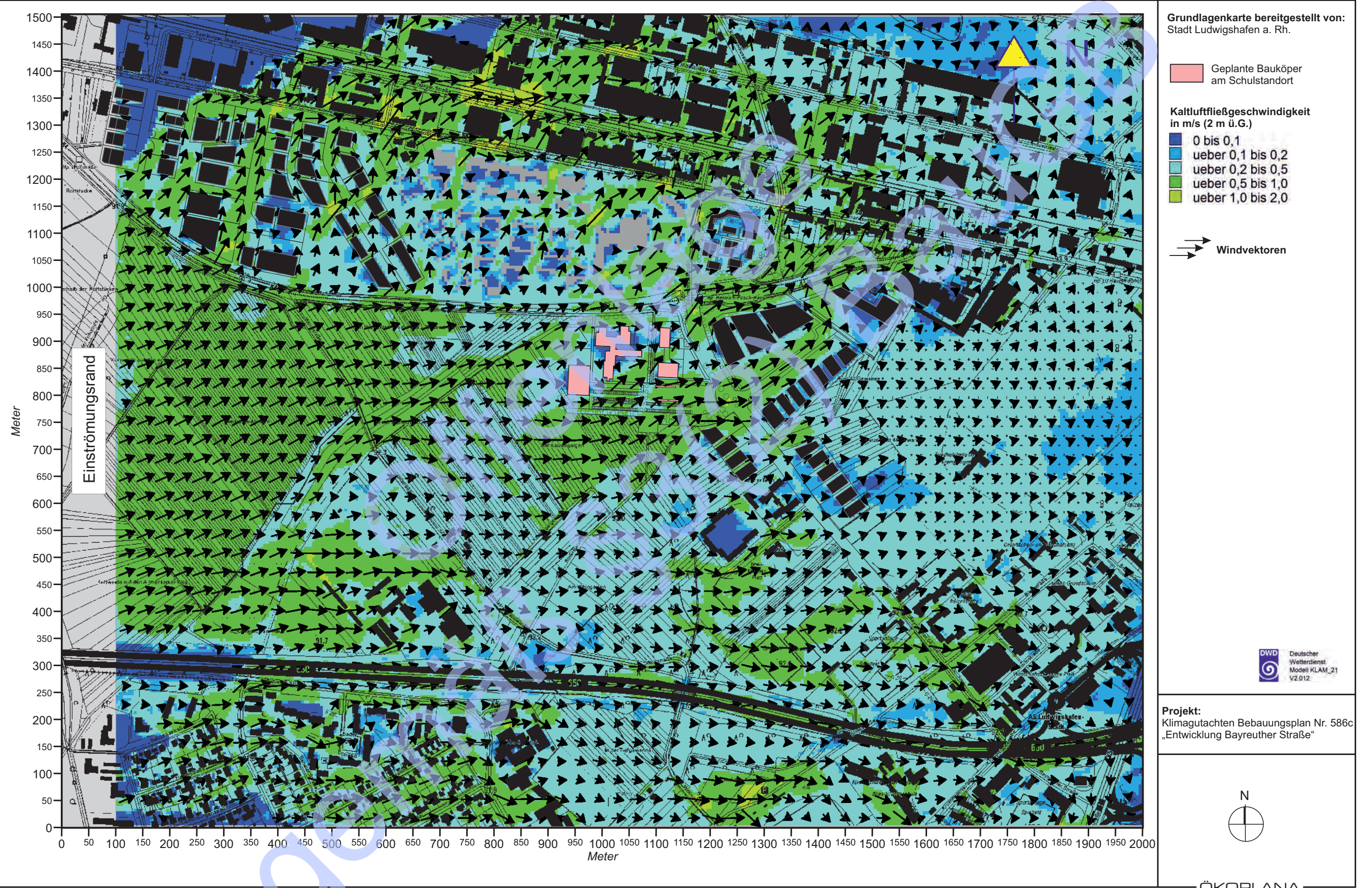
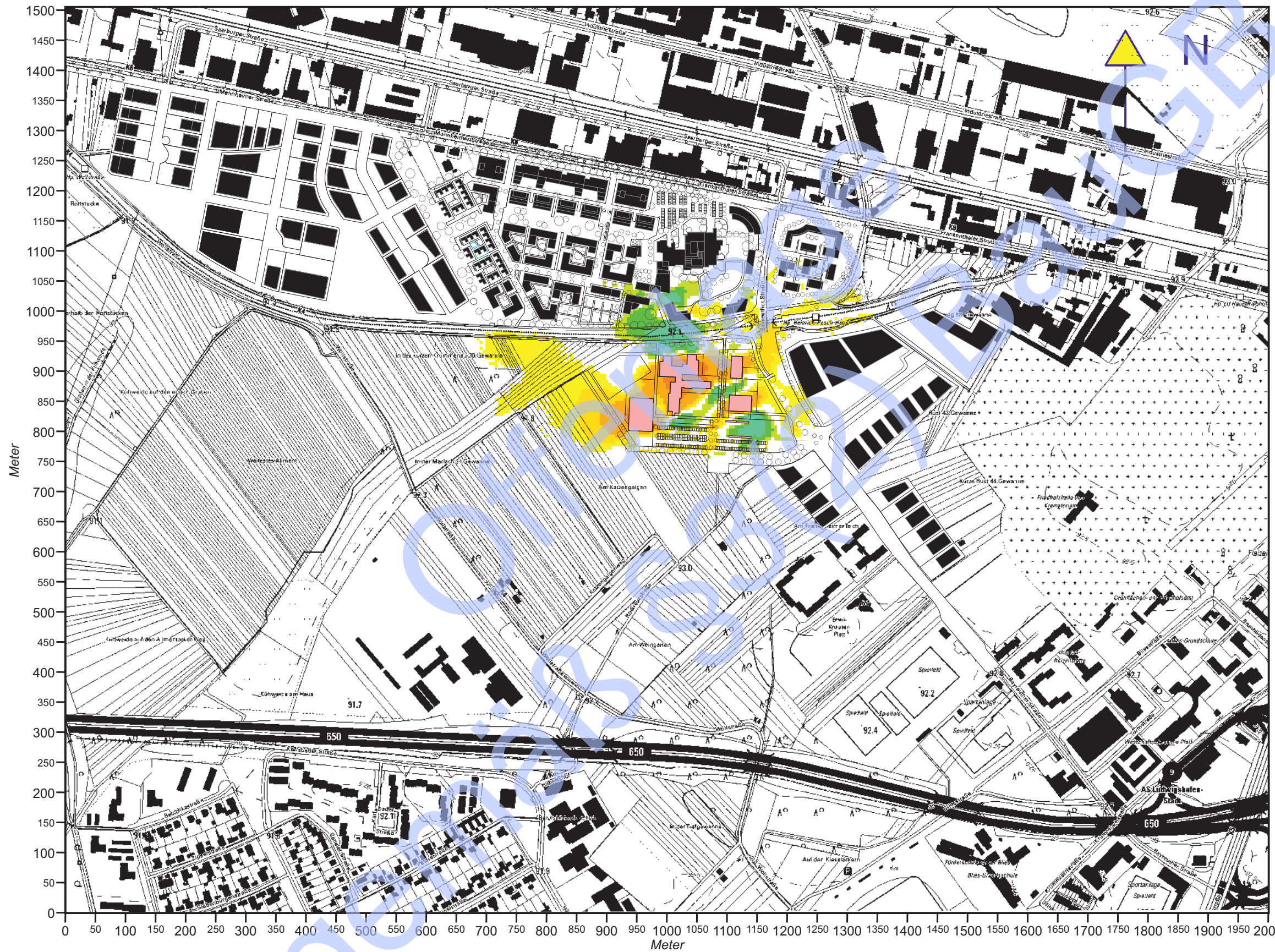


Abb. 14.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 1. Nachthälfte (3 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Westsüdwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
am Schulstandort

Planungsbedingte Veränderung
der Kaltluftfließgeschwindigkeit
in m/s (2 m ü.G.)

- ueber -1,0 bis -0,5
- ueber -0,5 bis -0,2
- ueber -0,2 bis -0,1
- ueber -0,1 bis -0,05
- ueber -0,05 bis 0,05
- ueber 0,05 bis 0,1
- ueber 0,1 bis 0,2
- ueber 0,2 bis 0,5



Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

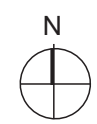
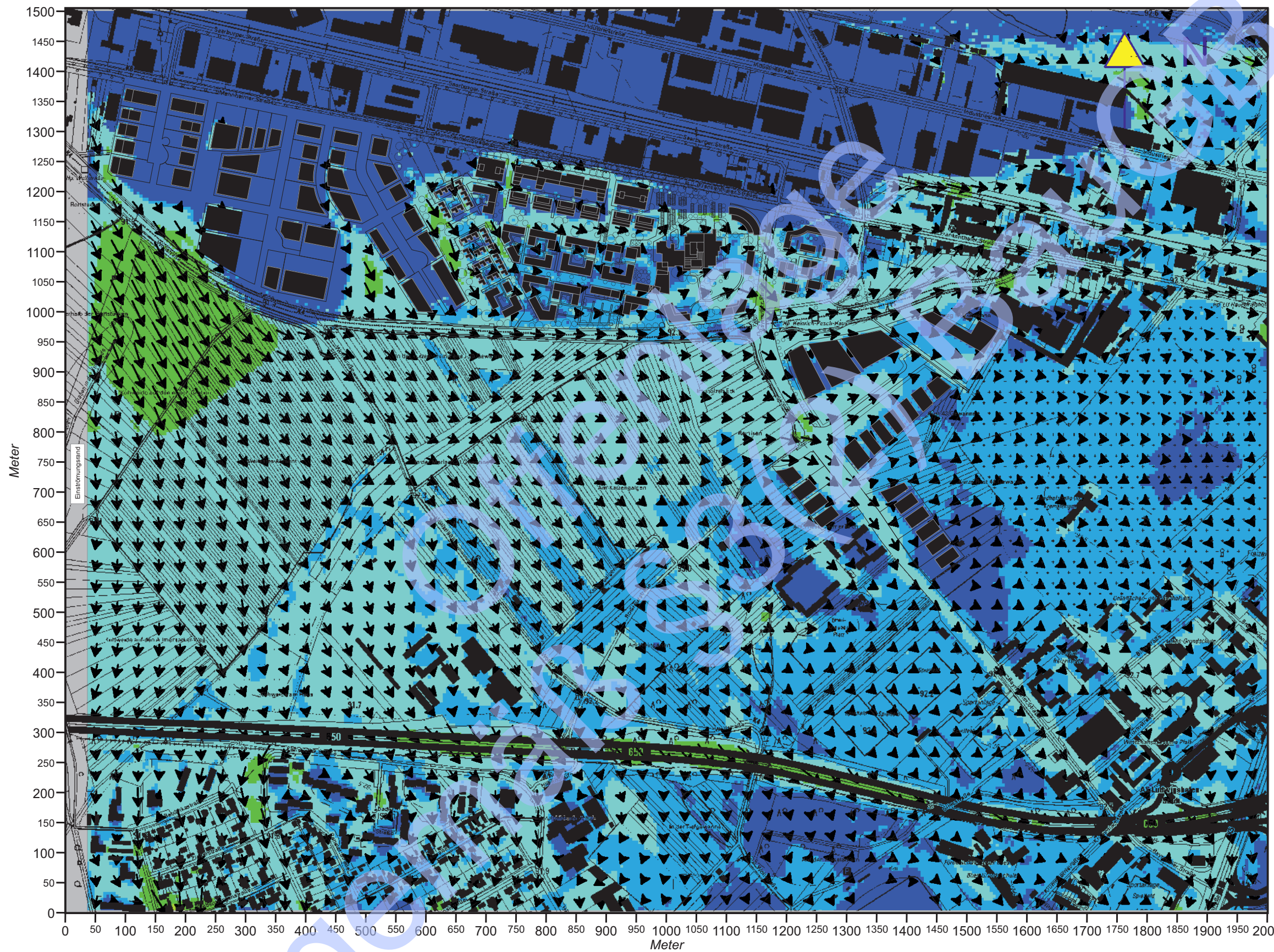


Abb. 15.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Kaltluftfließgeschwindigkeit
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

Windvektoren



Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

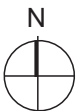


Abb. 15.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftfließgeschwindigkeit und -richtung (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s

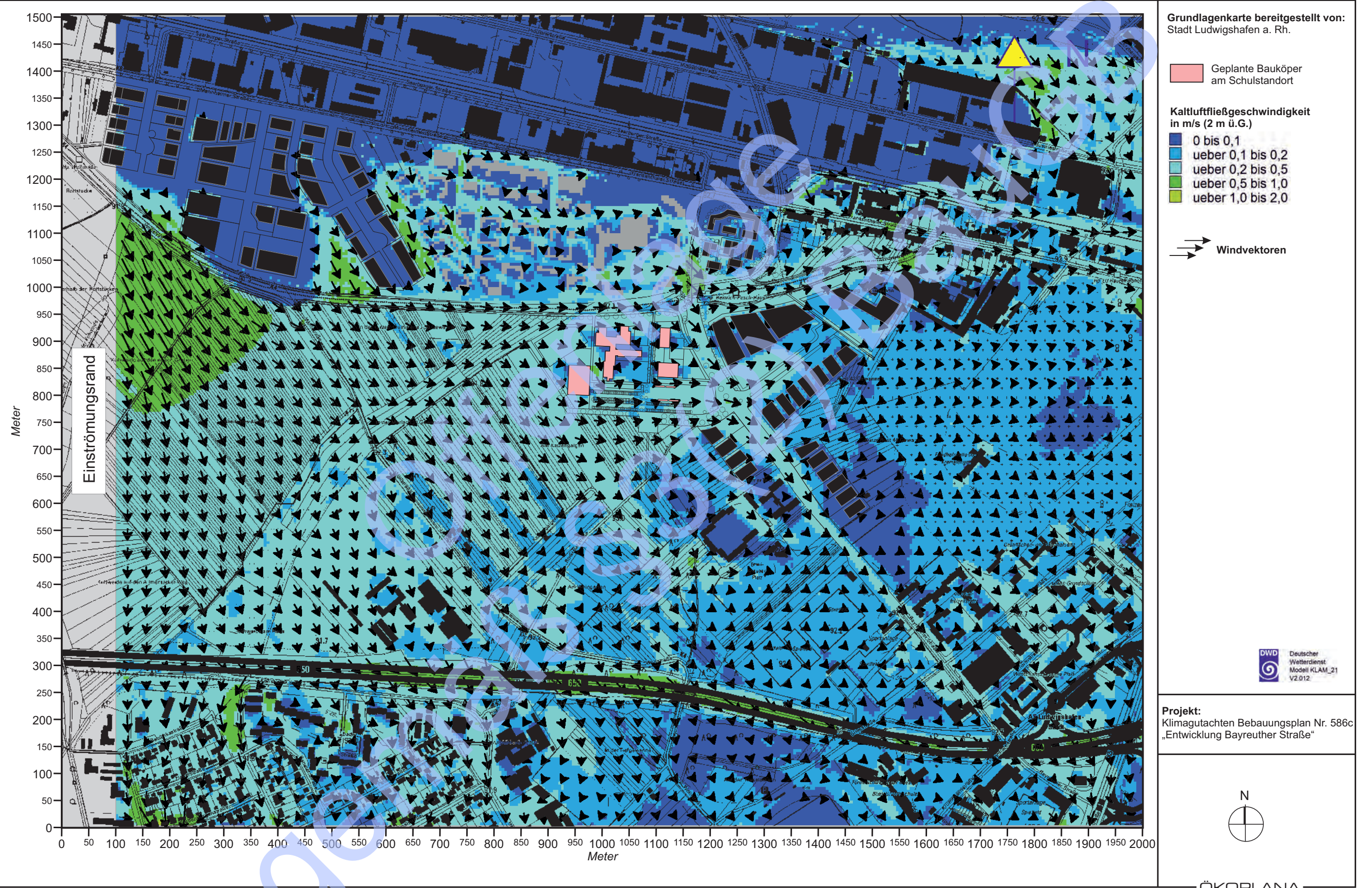


Abb. 15.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) in einer sommerlichen Strahlungsnacht / 2. Nachthälfte (6 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung). Antrieb über Nordnordwestwinde mit einer Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
am Schulstandort

Planungsbedingte Veränderung
der Kaltluftfließgeschwindigkeit
in m/s (2 m ü.G.)

- ueber -1,0 bis -0,5
- ueber -0,5 bis -0,2
- ueber -0,2 bis -0,1
- ueber -0,1 bis -0,05
- ueber -0,05 bis 0,05
- ueber 0,05 bis 0,1
- ueber 0,1 bis 0,2
- ueber 0,2 bis 0,5



Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

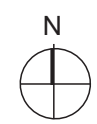
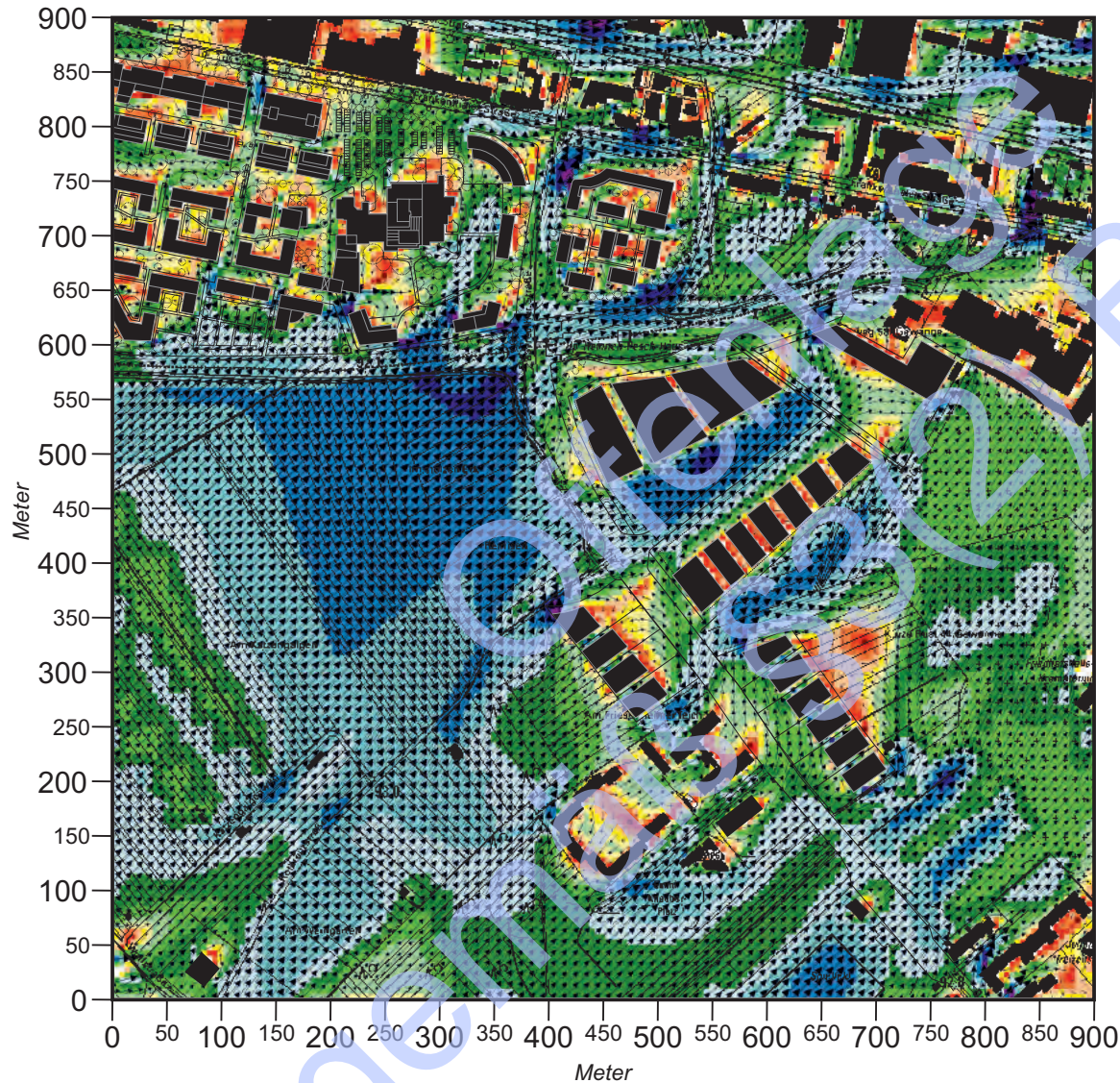
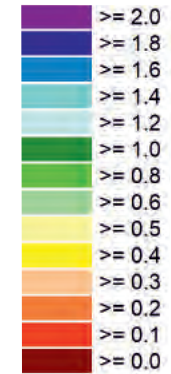


Abb. 16.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Windgeschwindigkeit
in m/s



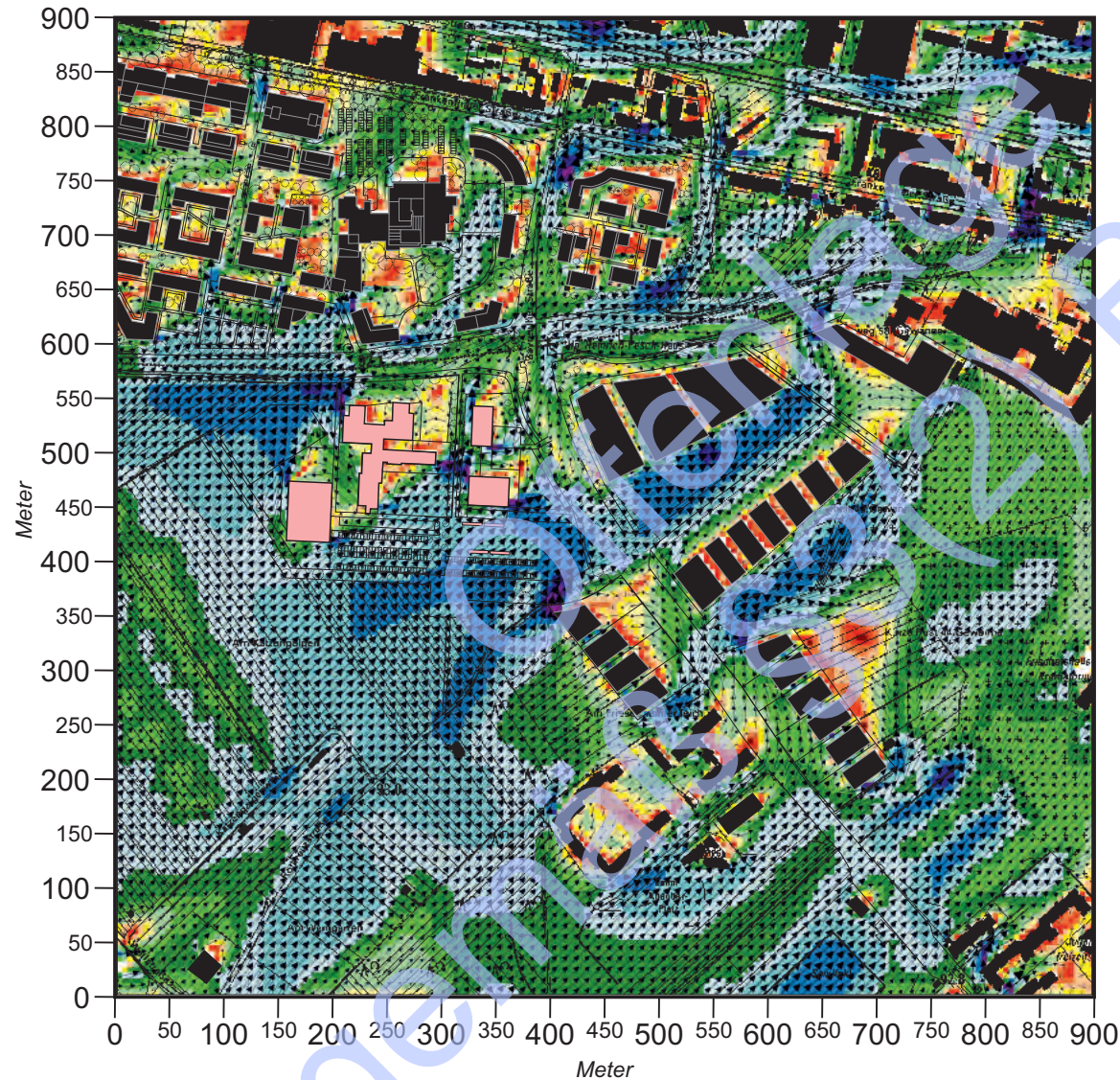
→ → → Windvektoren

↖ Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



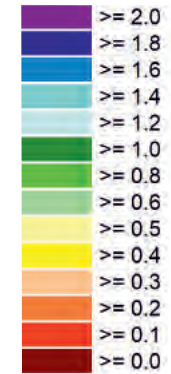
Abb. 16.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Windgeschwindigkeit
in m/s



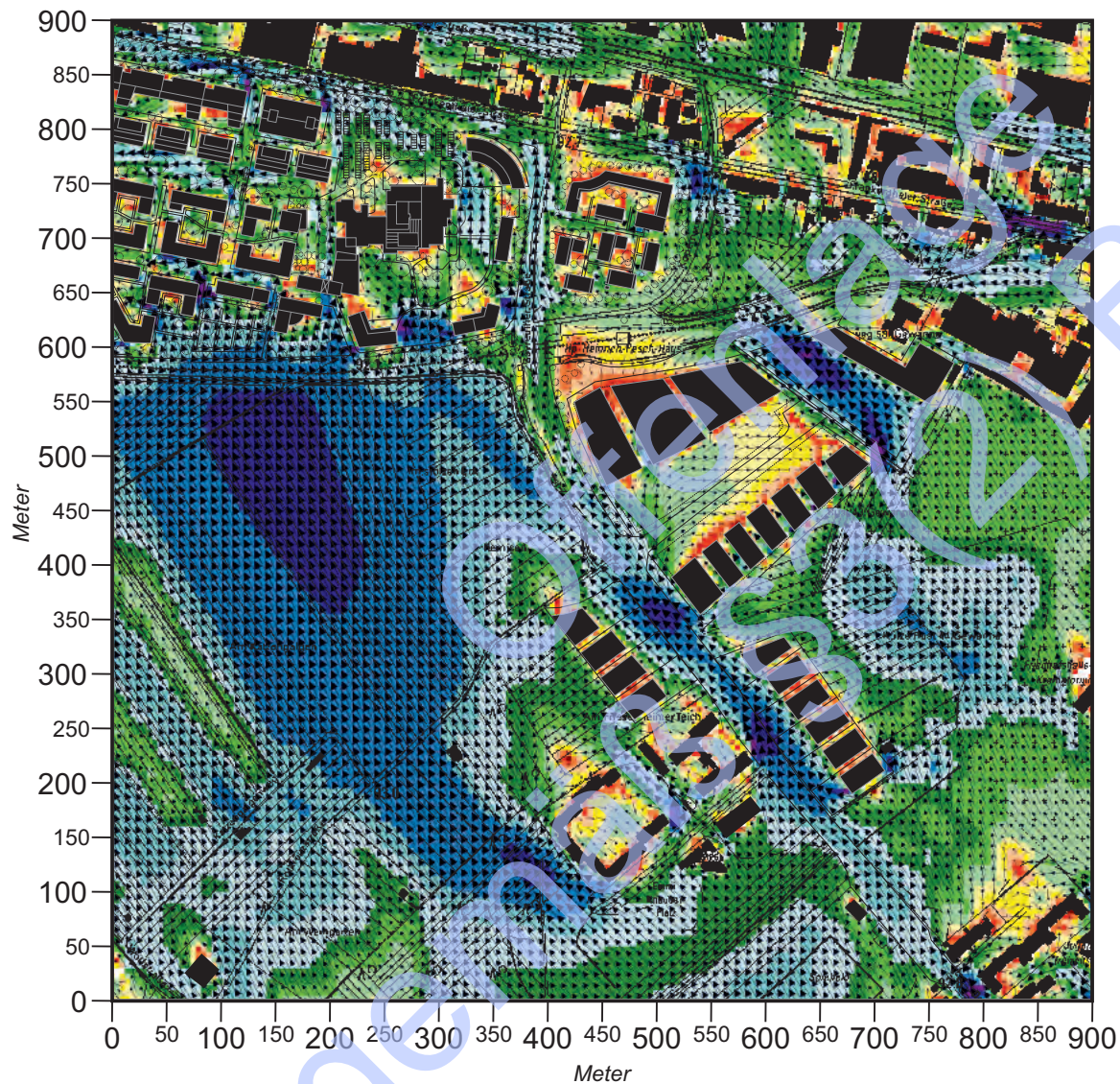
 Windvektoren

 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

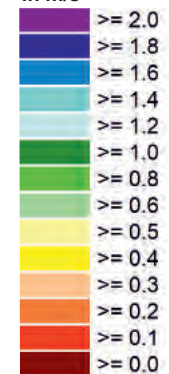


Abb. 17.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Windgeschwindigkeit
in m/s



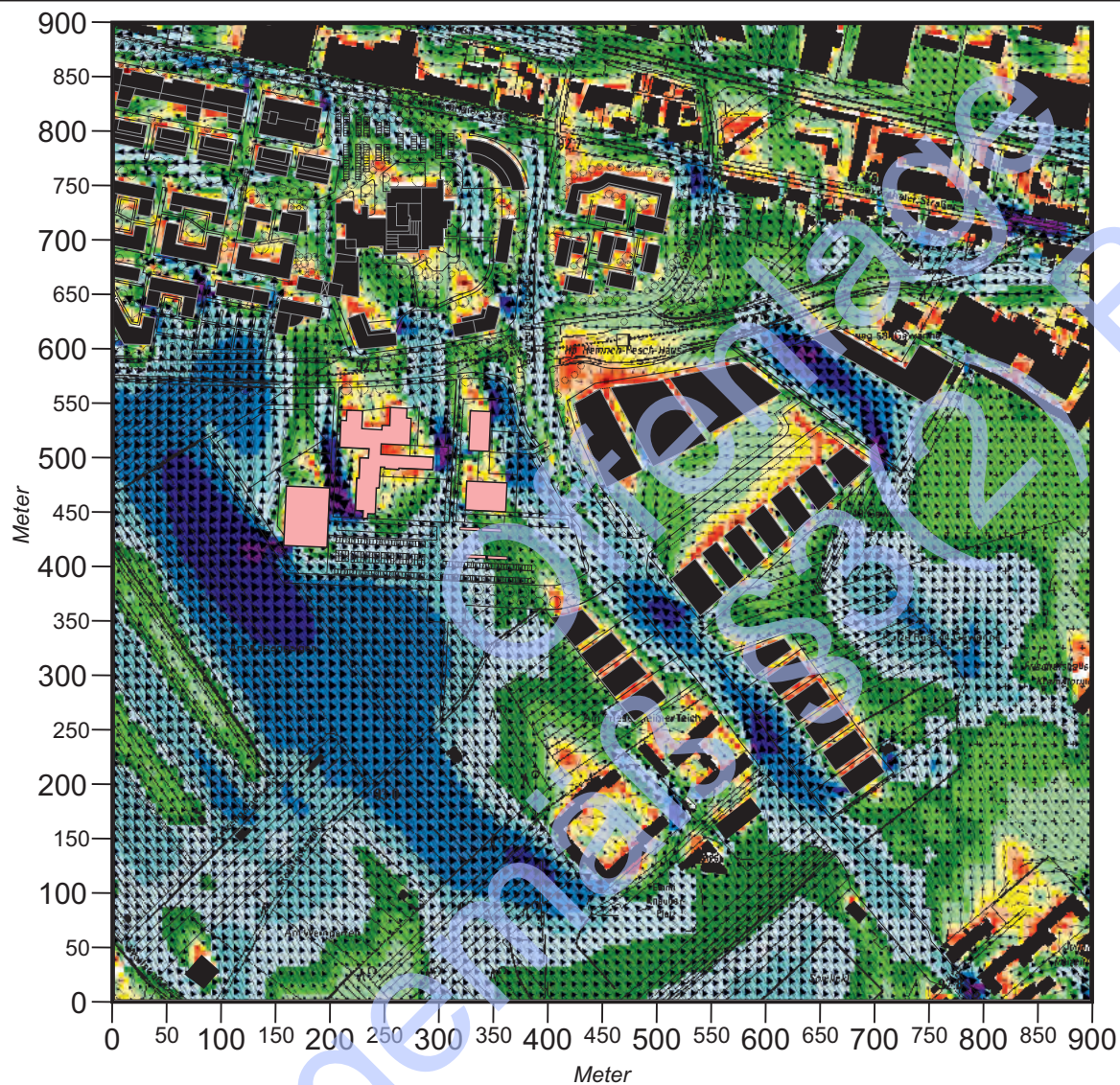
 Windvektoren

 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



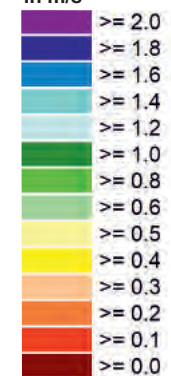
Abb. 17.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Windgeschwindigkeit
in m/s



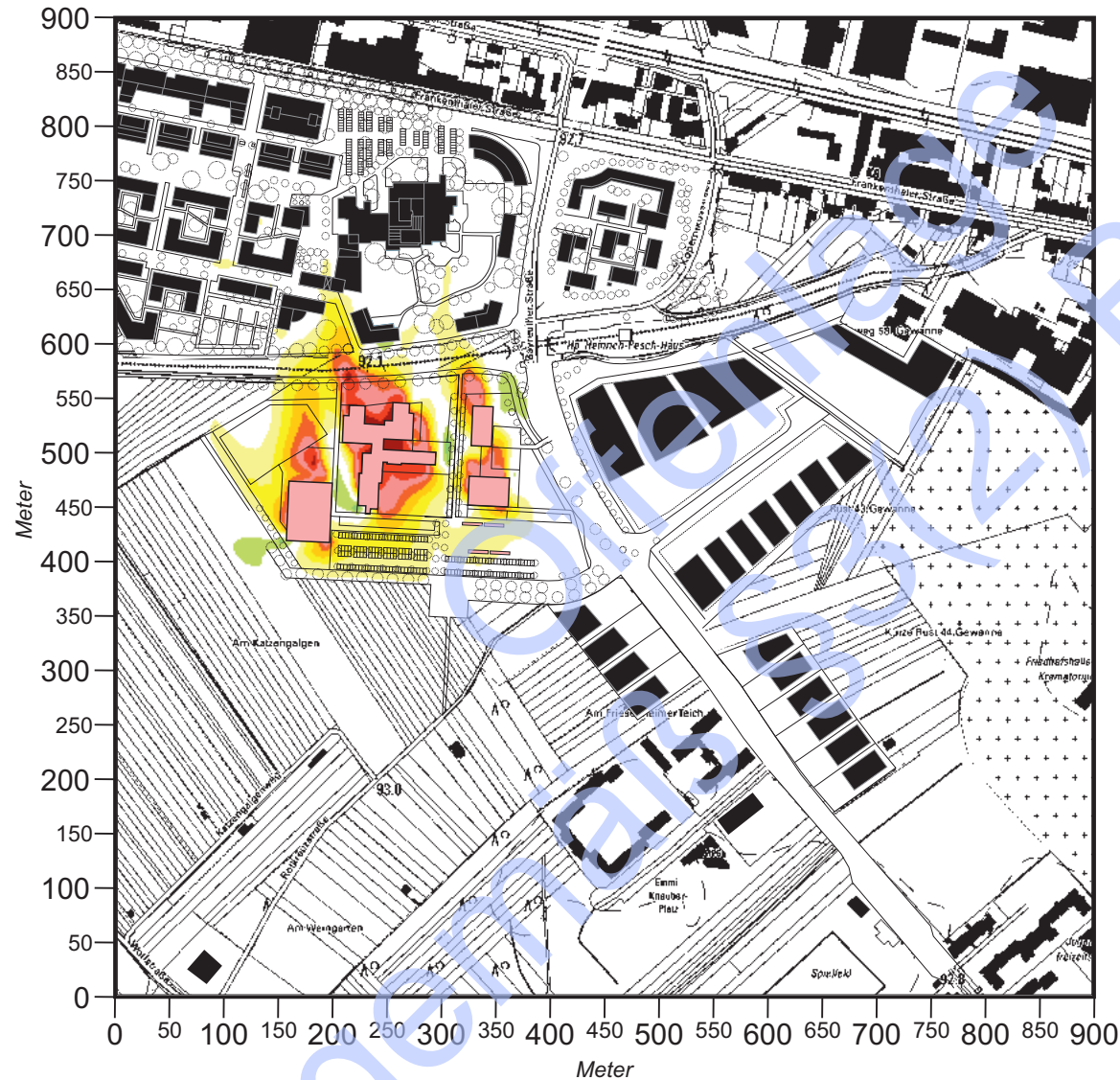
 Windvektoren

 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



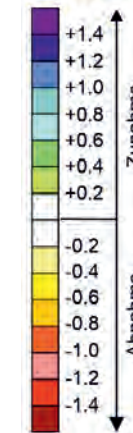
Abb. 17.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s



Zunahme

Abnahme

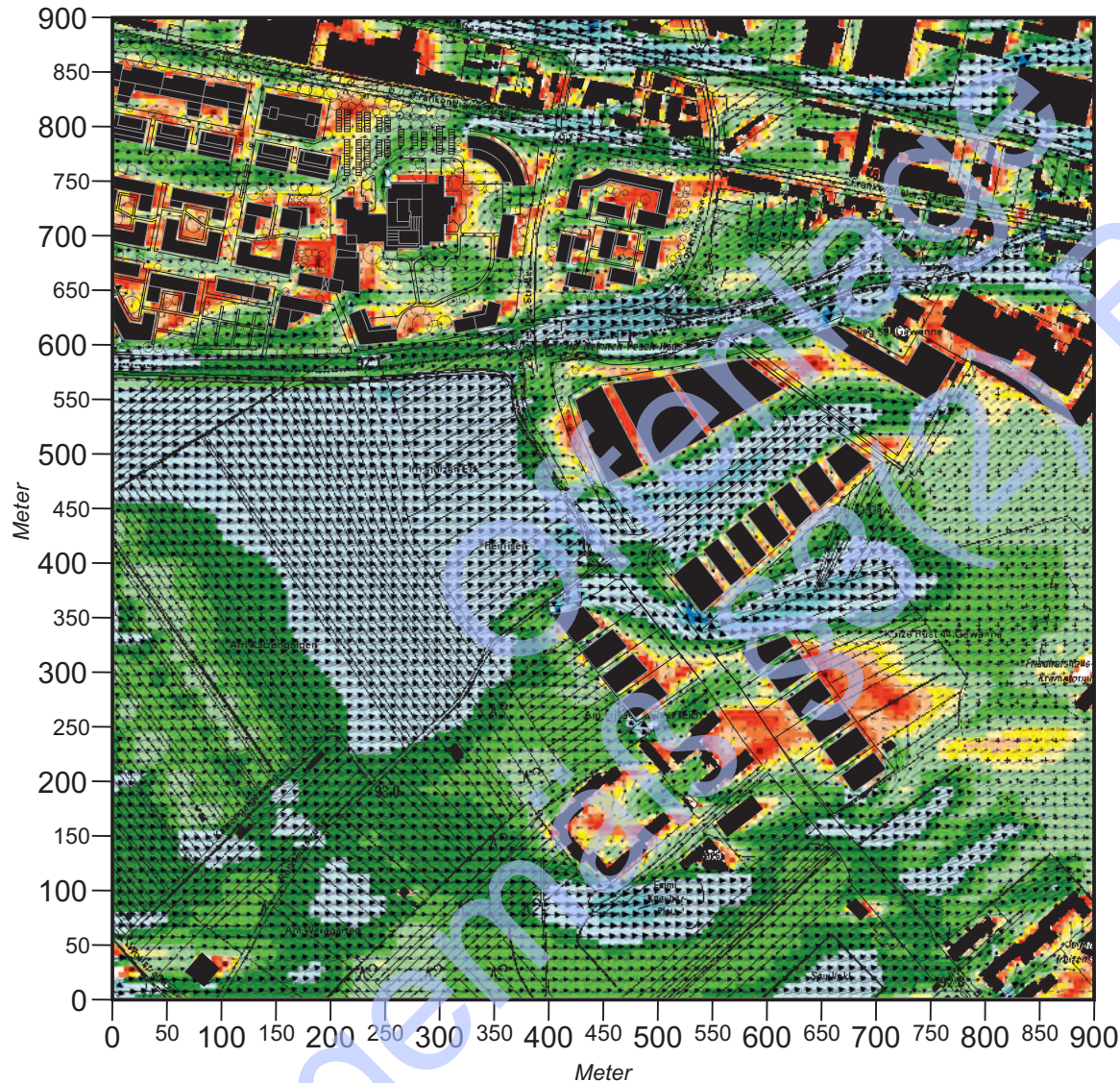


Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

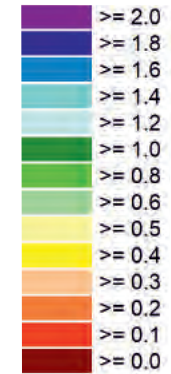


Abb. 18.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Windgeschwindigkeit
in m/s



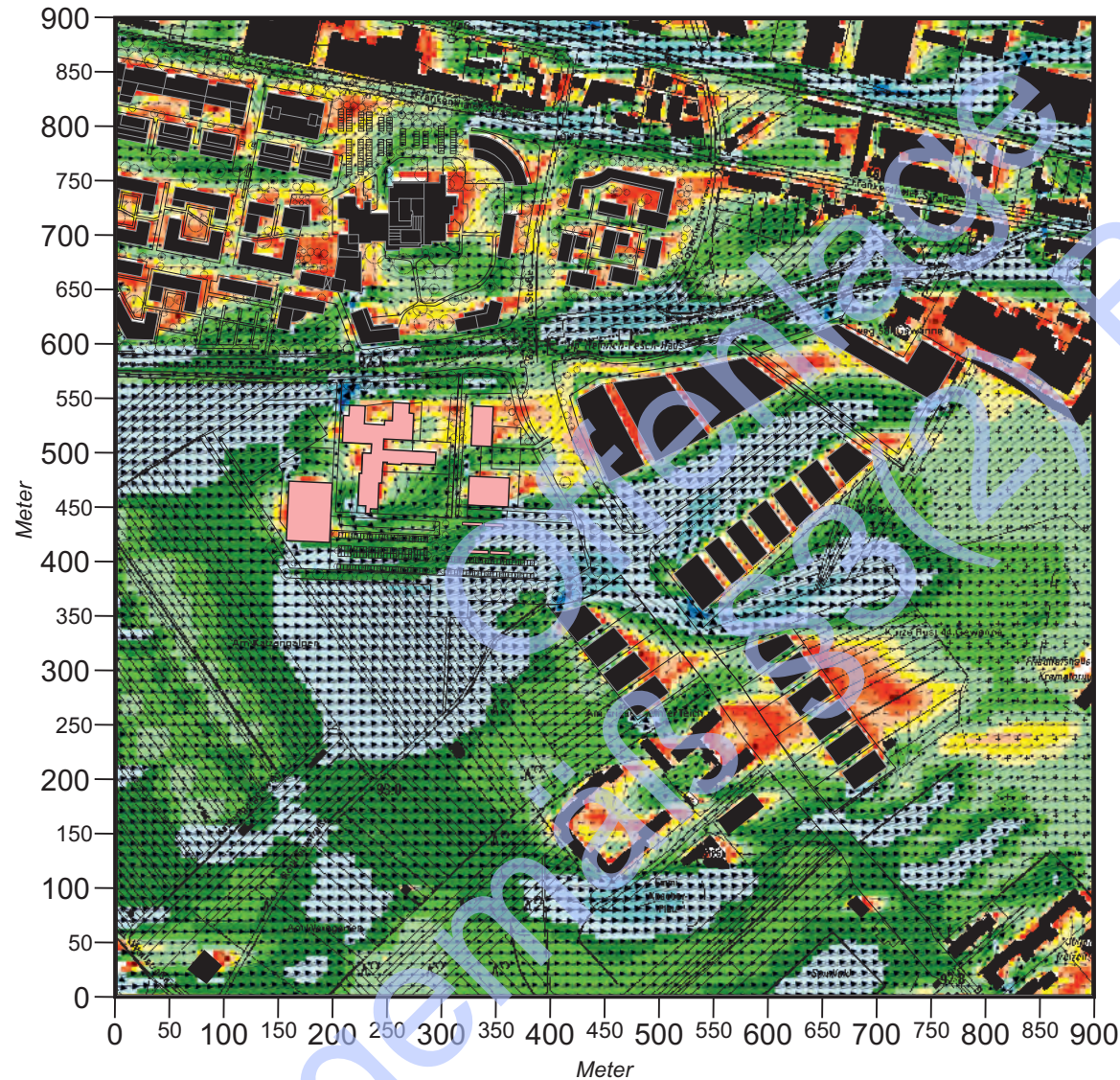
→ → → Windvektoren

→ Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



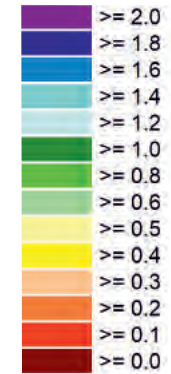
Abb. 18.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Windgeschwindigkeit
in m/s



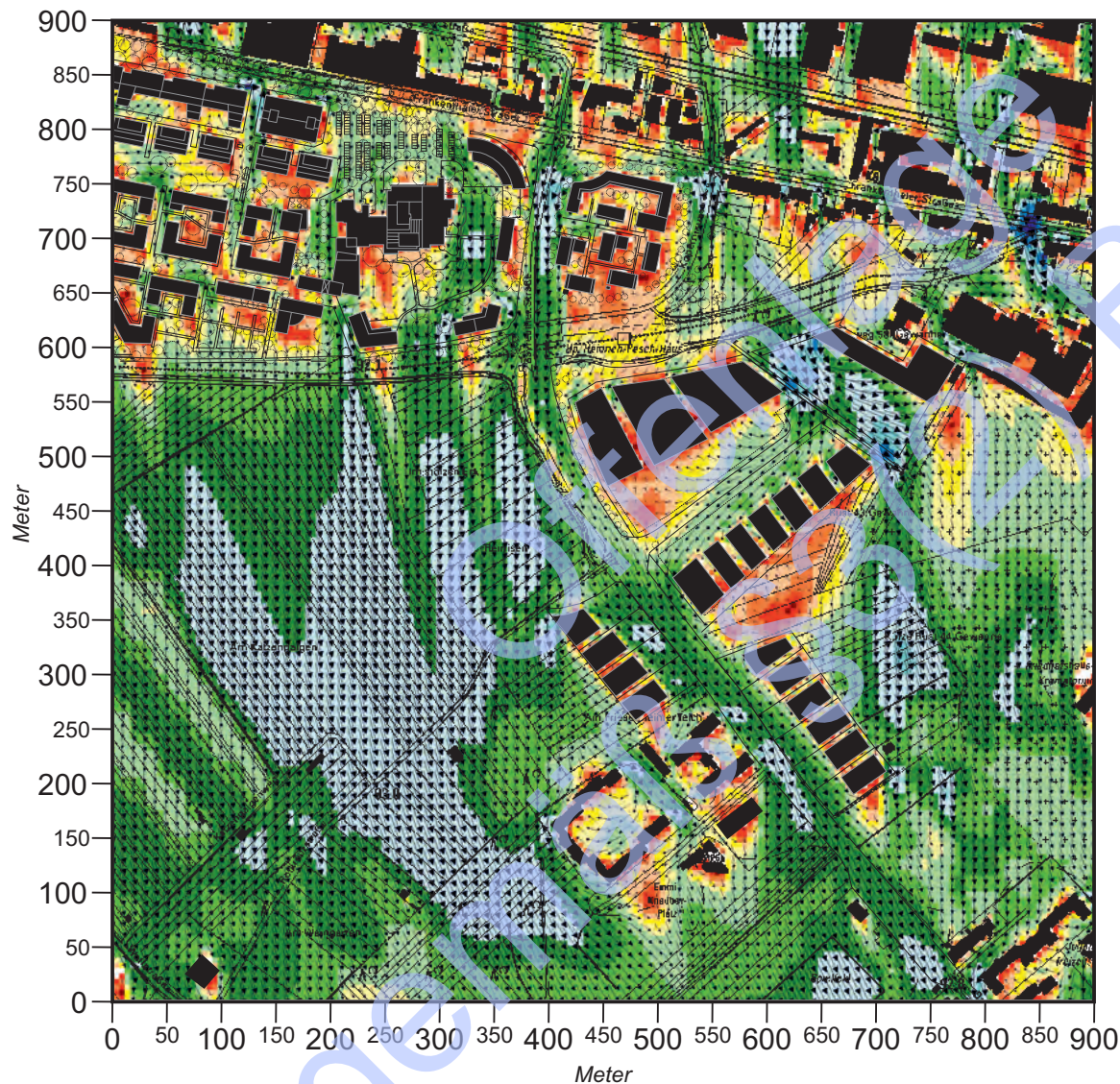
 Windvektoren

 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

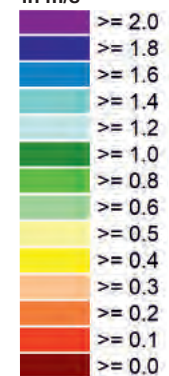


Abb. 19.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Windgeschwindigkeit
in m/s



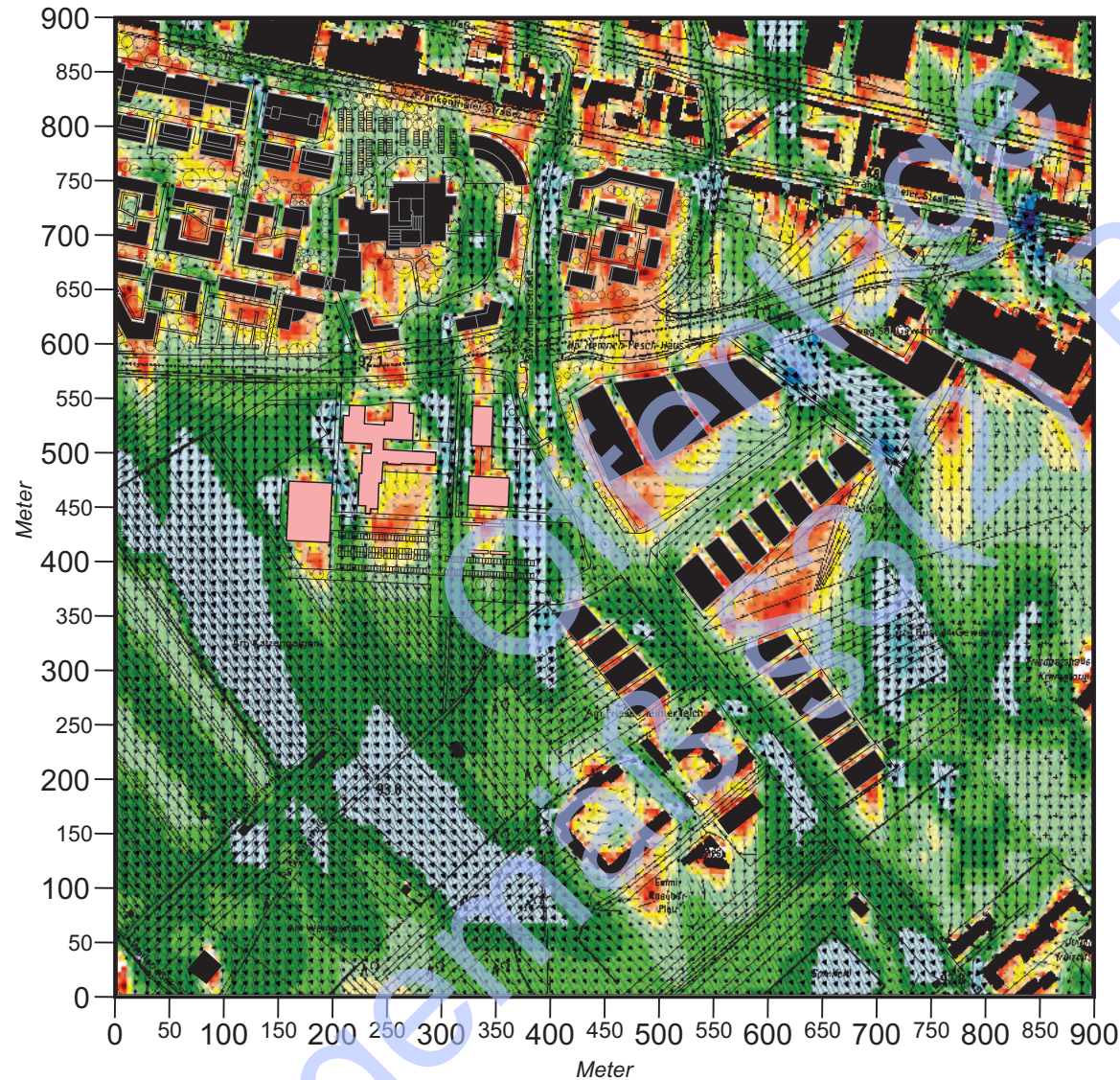
→ → → Windvektoren

↓ Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



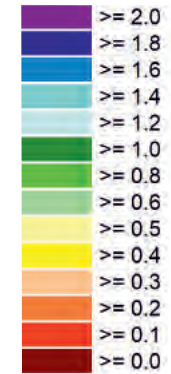
Abb. 19.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Windgeschwindigkeit und Windrichtung (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Windgeschwindigkeit
in m/s



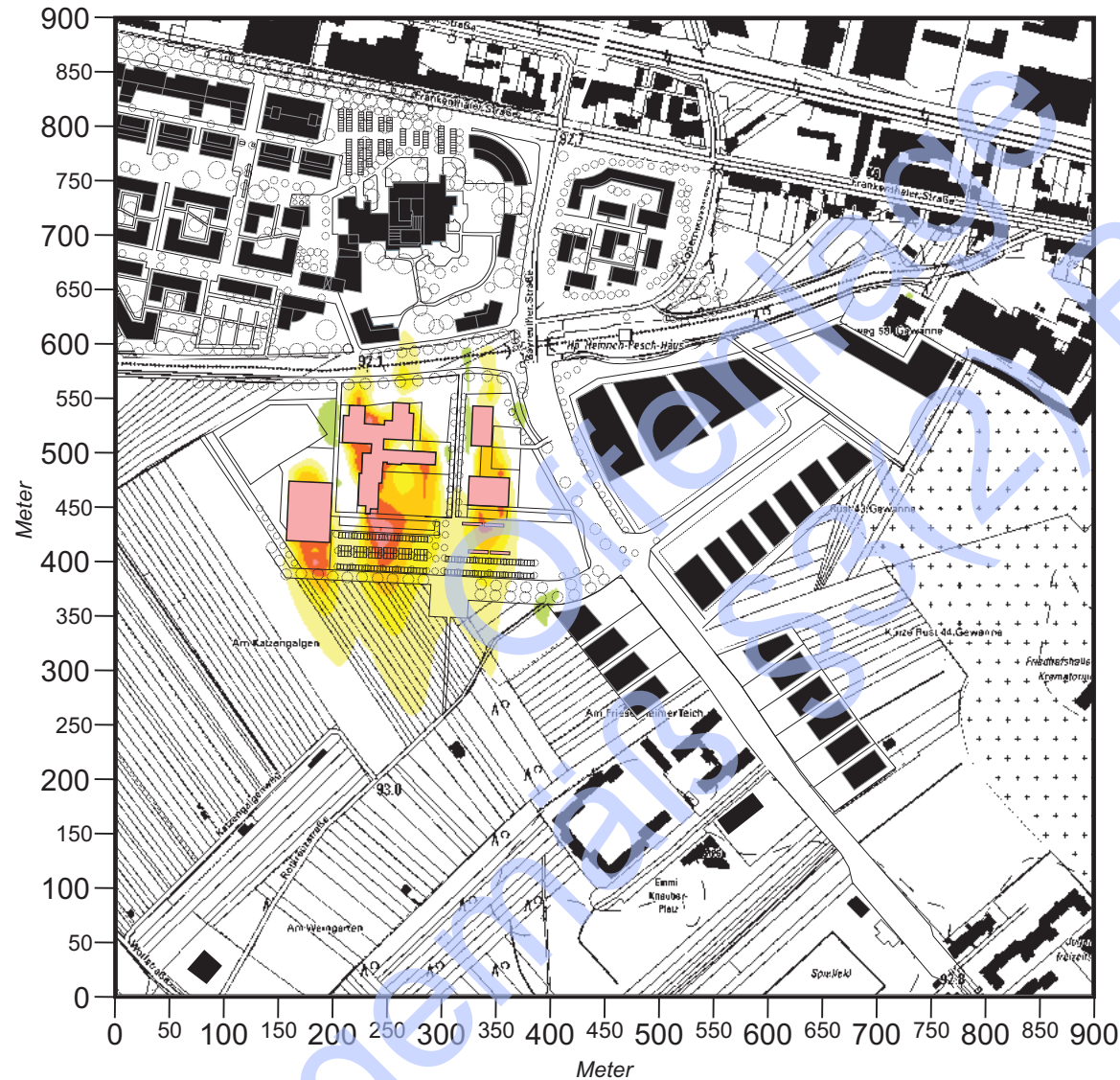
 Windvektoren

 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



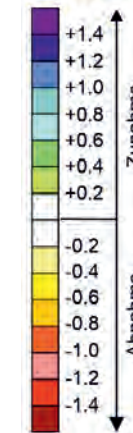
Abb. 19.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Simulationen zur Belüftungsintensität. Planungsbedingte Veränderung der Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s

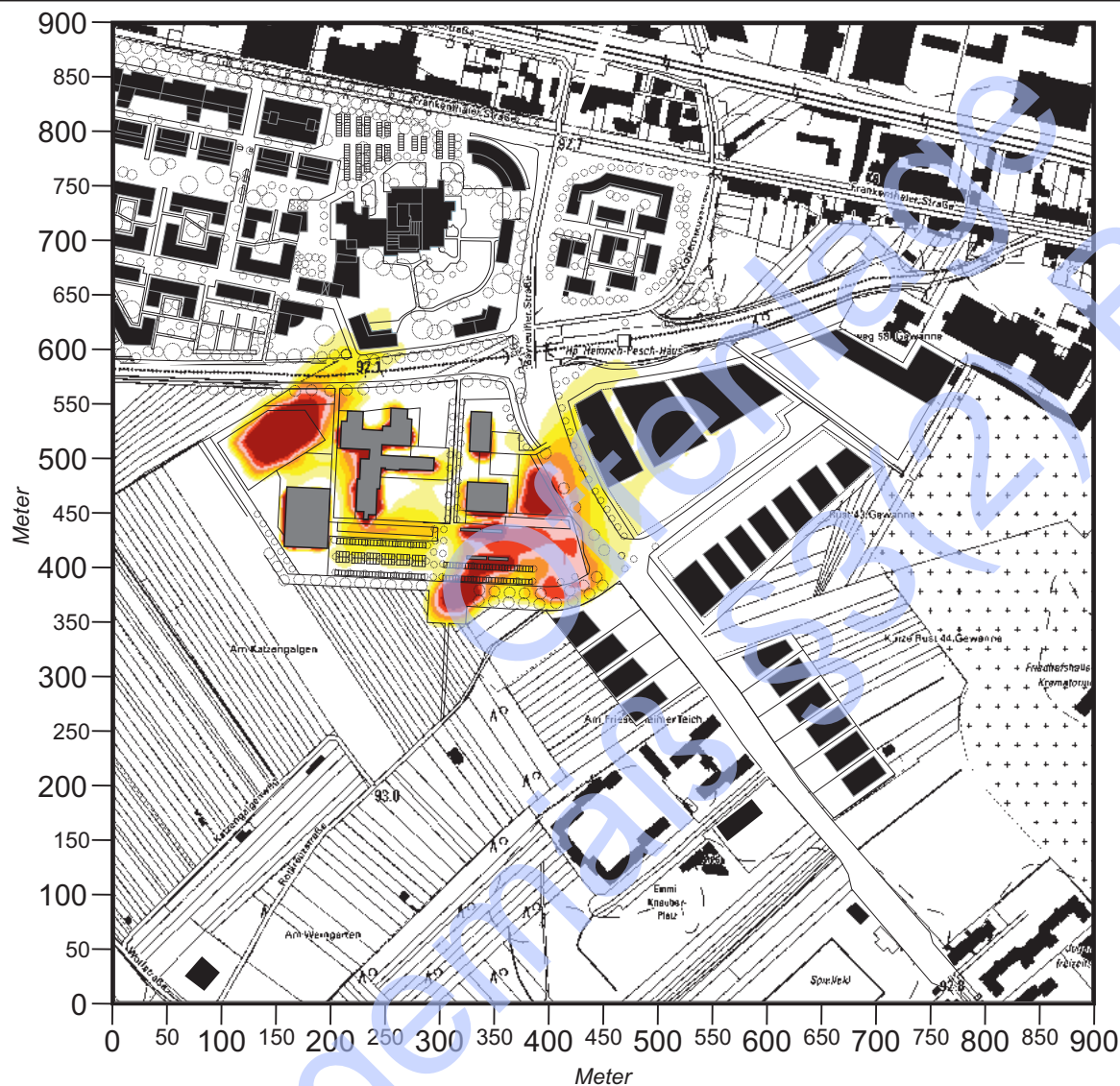


 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



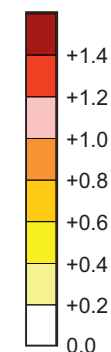
Abb. 20.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südwesten (220°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation, 16 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
 am Schulstandort

Zunahme der
 Lufttemperatur in K

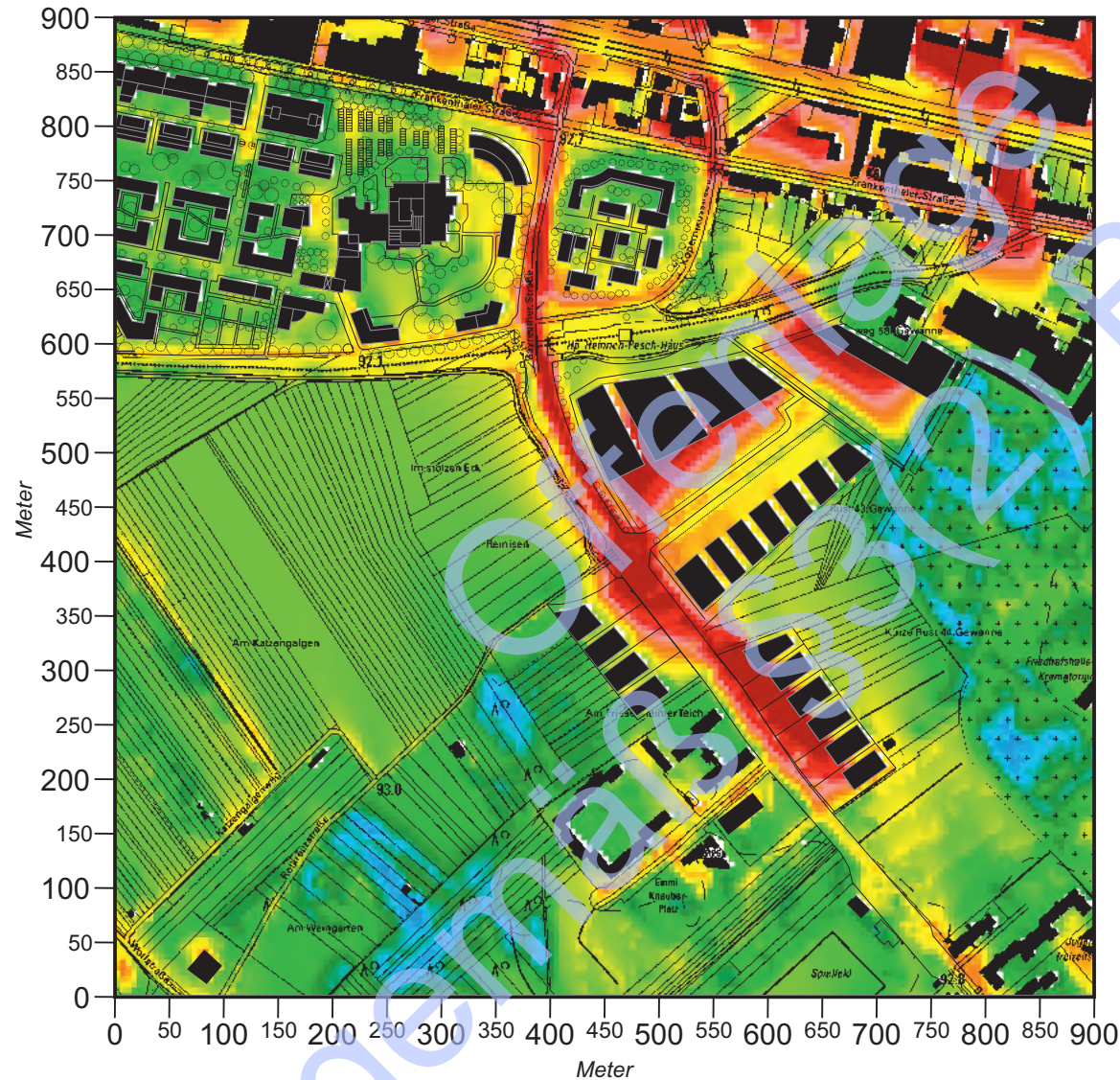


Windanströmung

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“

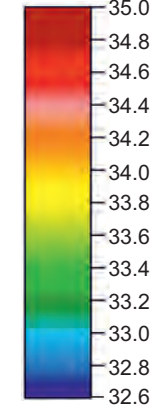


Abb. 22.1 Ist-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
 Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit
 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation, 16 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Lufttemperatur
 in °C

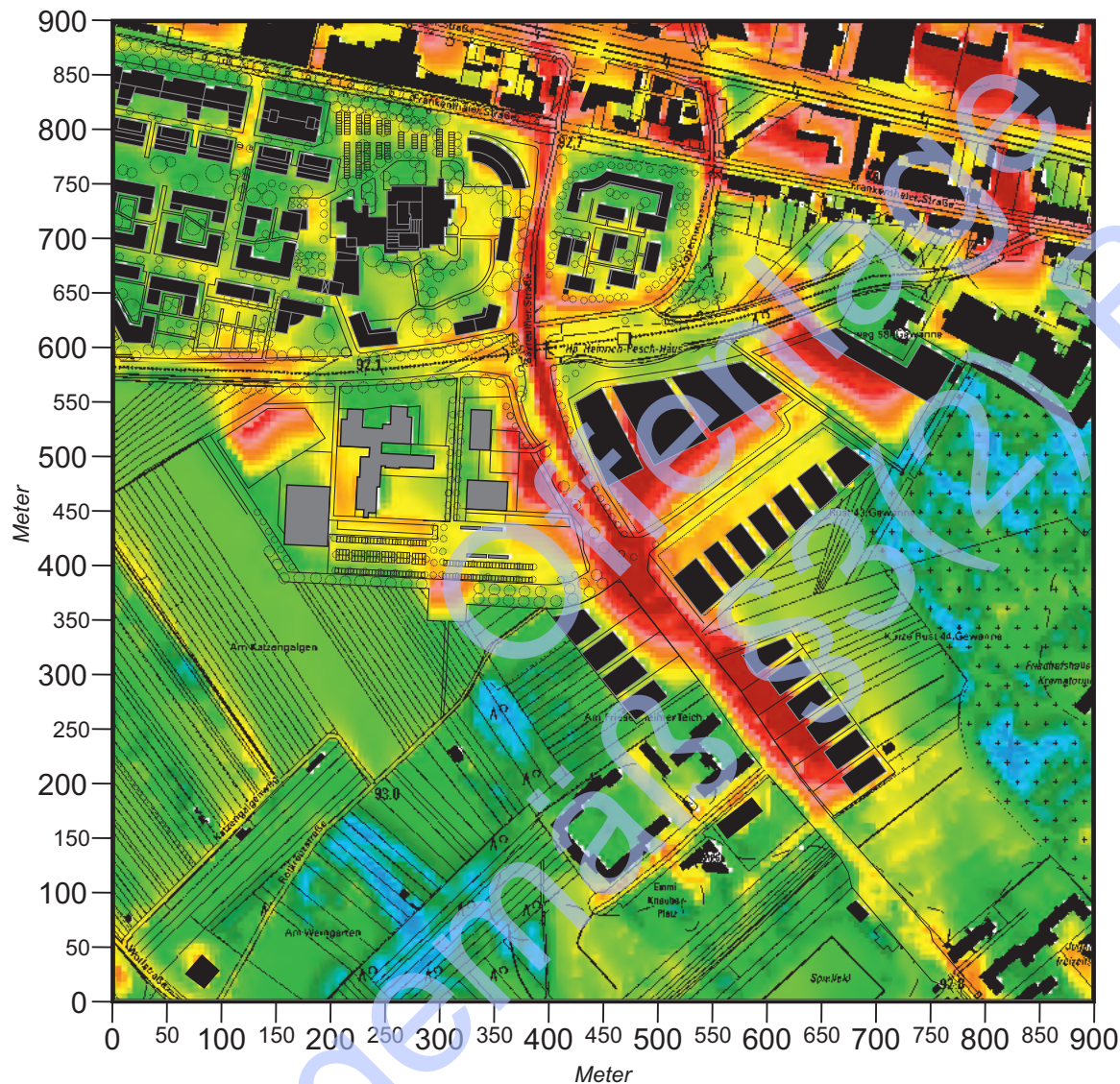


↖ Windanströmung

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



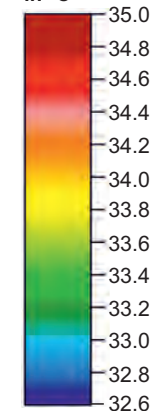
Abb. 22.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Südsüdosten (150°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Tagsituation, 16 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
am Schulstandort

Lufttemperatur
in °C

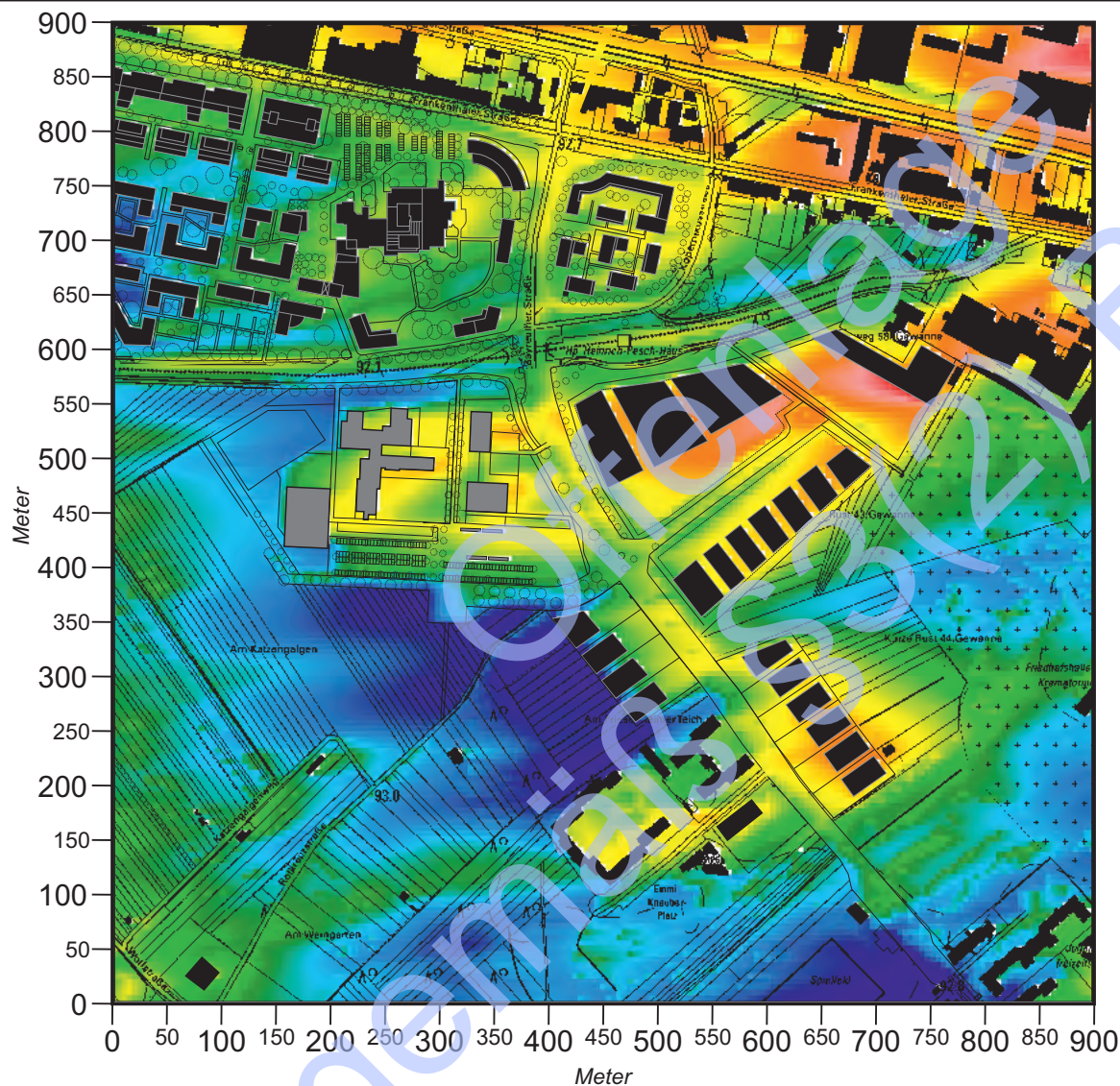


 Windanströmung

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“



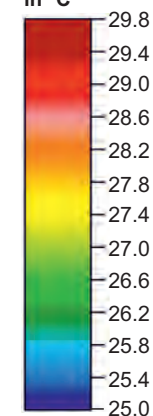
Abb. 23.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit
1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation, 23 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
 am Schulstandort

Lufttemperatur
 in °C

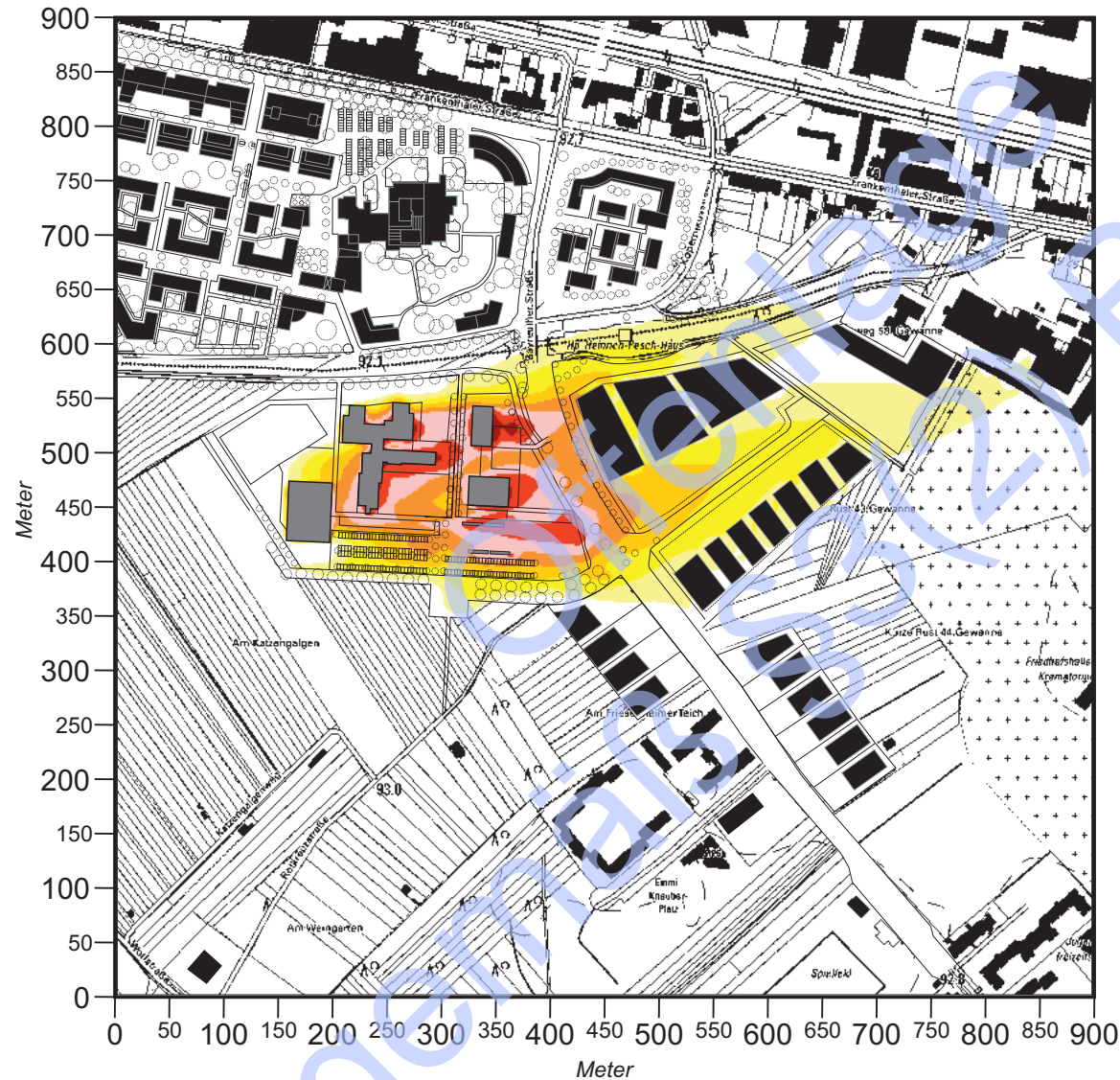


Windanströmung

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



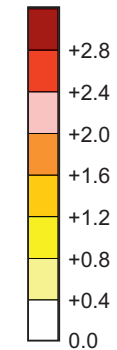
Abb. 23.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Westsüdwesten (260°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation, 23 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
 am Schulstandort

Zunahme der
 Lufttemperatur in K

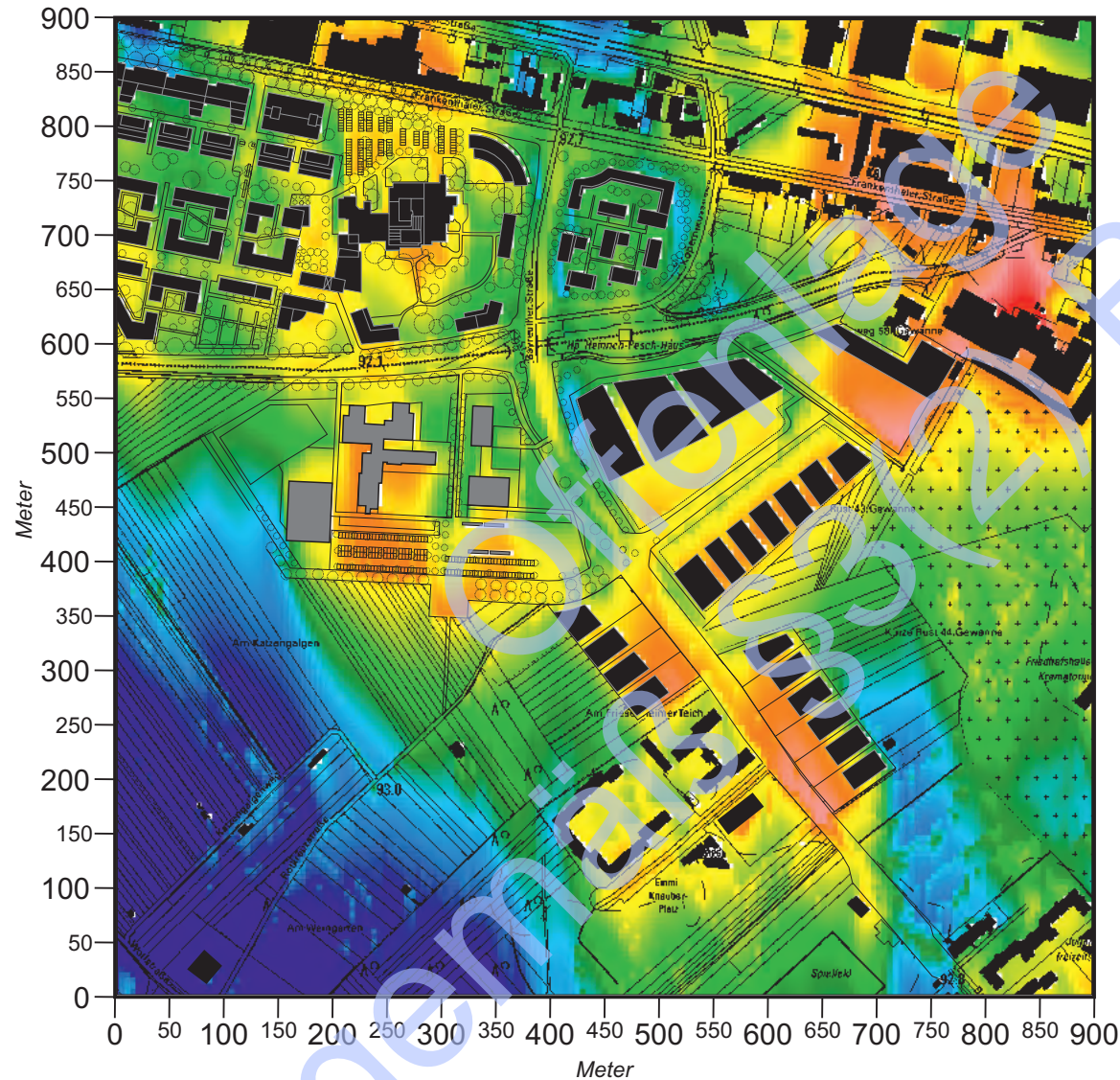


Windanströmung

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



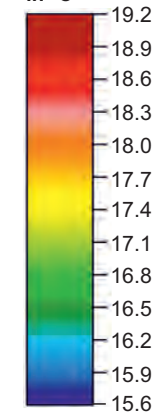
Abb. 24.2 Plan-Zustand - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit
1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation, 04 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

 Geplante Baukörper
 am Schulstandort

Lufttemperatur
 in °C



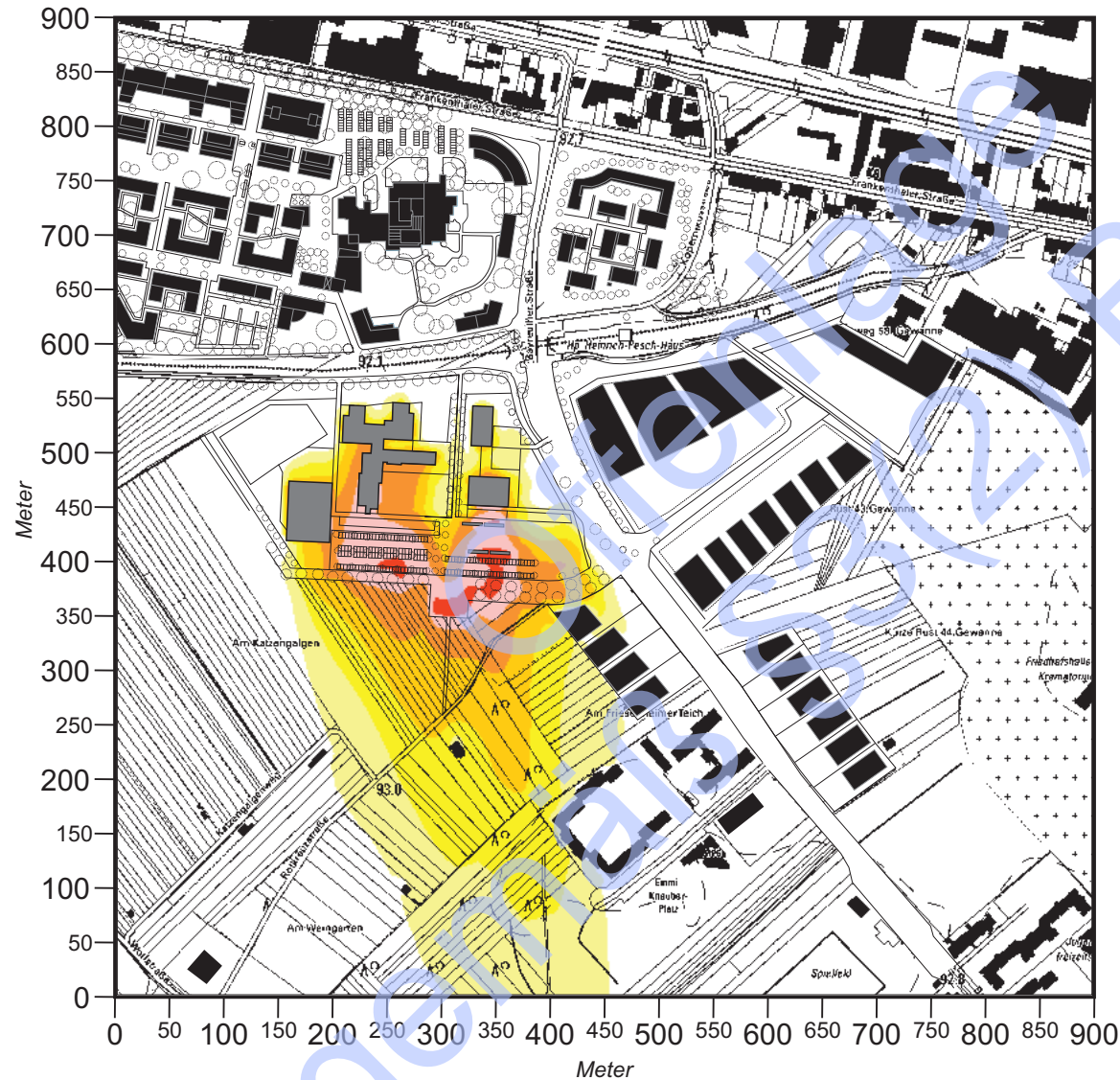
Windanströmung

Projekt:

Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



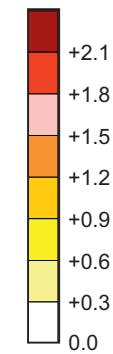
Abb. 24.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen.
Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperatur (2 m ü.G.) bei einer Anströmung aus Nordnordwesten (350°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. (Nachtsituation, 04 Uhr)



Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Ludwigshafen a. Rh.

Geplante Baukörper
 am Schulstandort

Zunahme der
 Lufttemperatur in K



Windanströmung

Projekt:
 Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
 „Entwicklung Bayreuther Straße“



Abb. 25 Ergänzende Planungsempfehlungen aus klimaökologischer Sicht



Planungsentwurf bereitgestellt von:
Stadt Ludwigshafen a. Rh.
Piktogramme: MUST Städtebau GmbH BDA

Projekt:
Klimagutachten Bebauungsplan Nr. 586c
„Entwicklung Bayreuther Straße“

