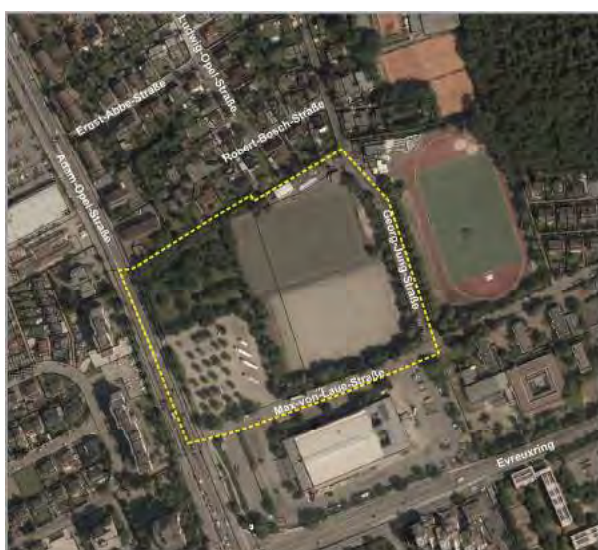

**ÖKOPLANA**

 KLIMAÖKOLOGIE  
 LUFTHYGIENE  
 UMWELTPLANUNG

## KLIMAGUTACHTEN ZUM BEBAUUNGSPLAN „QUARTIER AM OSTPARK“ IN RÜSSELSHEIM



### Vorhabenträger:

Terramag GmbH  
 Vorhabenträger der Stadt Rüsselsheim  
 Westbahnhofstraße 36  
 63450 Hanau

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst

Dr. Wolfgang Lähne

Mannheim, den 19. März 2019

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

Geschäftsführer:  
 Dipl.-Geogr. Achim Burst

www.oekoplana.de

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

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Planungsgebiet und Planungsentwurf</b>	<b>3</b>
<b>3 Untersuchungsmethodik</b>	<b>6</b>
<b>4 Klimatische Rahmenbedingungen im Raum Rüsselsheim und ihre prognostizierten Entwicklungen</b>	<b>8</b>
<b>5 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der strömungsdynamischen Verhältnisse am Planungsstandort und in dessen Umfeld</b>	<b>12</b>
5.1 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen in schwachwindigen, bewölkten Nächten	15
5.2 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen in schwachwindigen Strahlungsnächten mit stabiler Luftschichtung - Kaltluftströmungssimulationen	18
5.2.1 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Ostnordostwinde – Nachtsituation	19
5.2.2 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Südwinde – Nachtsituation	21
5.3 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen an schwachwindigen Tagen	22
5.3.1 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Ostnordostwinde – Tagsituation	23
5.3.2 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Südwinde – Tagsituation	24
<b>6 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der thermischen Verhältnisse am Planungsstandort und in dessen Umfeld</b>	<b>25</b>
6.1 Luftströmungen aus Ostnordosten	26
6.2 Luftströmungen aus Süden	27
<b>7 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen</b>	<b>28</b>
<b>Literaturverzeichnis / weiterführende Schriften</b>	<b>37</b>

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Lage des Planungsgebiets „Quartier am Ostpark“ im Stadtgebiet von Rüsselsheim. Ausschnitt aus dem Stadtplan Rüsselsheim
- Abb. 2:** Topografische Lagesituation – Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“
- Abb. 3:** Luftbild vom Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“
- Abb. 4:** Fotografische Dokumentation - Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“
- Abb. 5:** Ausschnitt aus dem Regionalen Flächennutzungsplan 2010
- Abb. 6:** Bebauungsplanentwurf „Quartier am Ostpark“, Stand: 01.2019
- Abb. 7:** Angedachte Grünstrukturen im Bebauungsplangebiet „Quartier am Ostpark“ im Stadtgebiet von Rüsselsheim und beispielhafte Kita-Kubatur
- Abb. 8:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeiten. DWD-Station Flugwetterwarte, Frankfurt a. M. Zeitraum: 2008 -2017
- Abb. 9.1:** Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 24.-25.07.2018 an der DWD-Station Frankfurt-Flugwetterwarte. Heißer Sommertag
- Abb. 9.2:** Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 03.-04.08.2018 an der DWD-Station Frankfurt-Flugwetterwarte. Heißer Sommertag
- Abb. 10:** Ist-Zustand. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeit 0 – 5 m ü.G. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)
- Abb. 11:** Ist-Zustand. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeit 0 – 5 m ü.G. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)

- Abb. 12:** Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Zunahme bzw. Abnahme der mittleren Kaltluftfließgeschwindigkeit (0 – 5 m ü.G.) durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)
- Abb. 13:** Ist-Zustand. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftvolumenstromdichte. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)
- Abb. 14:** Plan-Zustand. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftvolumenstromdichte. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)
- Abb. 15:** Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnis mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen. Zunahme bzw. Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Situation mit einer nordöstlichen Regionalströmung (1.5 m/s)
- Abb. 16:** Modellgebiet Ist-Zustand
- Abb. 17:** Modellgebiet Plan-Zustand
- Abb. 18.1:** Ist-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 18.2:** Ist-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 19.1:** Plan-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 19.2:** Plan-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.

- Abb. 20.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Nachtsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 20.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Nachtsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 21.1:** Ist-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 21.2:** Ist-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 22.1:** Plan-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 22.2:** Plan-Zustand, windschwache Nachtsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 23.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Nachtsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 23.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Nachtsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.

- Abb. 24.1:** Ist-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 24.2:** Ist-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 25.1:** Plan-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 25.2:** Plan-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 26.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Tagsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 26.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Tagsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 27.1:** Ist-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 27.2:** Ist-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 28.1:** Plan-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

- Abb. 28.2:** Plan-Zustand, windschwache Tagsituation. Ergebnis von mikroskaligen Windfeldsimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 4.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 29.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Tagsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 29.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Tagsituation. Modifikation der Windgeschwindigkeit 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Süden (180°) mit 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 30:** Ist-Zustand, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Ergebnis von mikroskaligen Lufttemperaturesimulationen. Lufttemperatur 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 31:** Plan-Zustand, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Ergebnis von mikroskaligen Lufttemperaturesimulationen. Lufttemperatur 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 32:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Modifikation der Lufttemperatur 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 33:** Ist-Zustand, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Ergebnis von mikroskaligen Lufttemperaturesimulationen. Lufttemperatur 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.
- Abb. 34:** Plan-Zustand, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Ergebnis von mikroskaligen Lufttemperaturesimulationen. Lufttemperatur 1.5 m ü.G. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.

**Abb. 35:** Vorher-Nachher-Vergleich, windschwache Sommernachtsituation (23:00 Uhr). Modifikation der Lufttemperatur 1.5 m ü.G. durch den Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand. Windanströmung aus Süden (180°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 30 m ü.G.



## 1 Aufgabenstellung

---

Im Südosten von Rüsselsheim (siehe **Abbildung 1**) soll östlich der Adam-Opel-Straße im Bereich von zwei ehemaligen Großspielfeldern des SC-Opel-Sportgeländes und auf den westlich angrenzenden Parkierungs- und Grünflächen ein neues Wohnquartier entwickelt werden.

Der vorgelegte Bebauungsplanentwurf (Stand: Januar 2019) sieht auf dem ca. 4.65 ha großen Areal insgesamt vier Wohnblöcke mit Grünhöfen (offene Blockrandbebauung) vor, die um einen zentralen Quartiersplatz angeordnet sind. Die Bebauung ist 2- bis 6-geschossig (teilweise zzgl. Staffelgeschoss) angelegt. Die Grünflächenanteil in den Innenhöfen ist mit ca. 70% angegeben. Die Flachdächer sollen zu ca. 80% begrünt werden.

In Teilen der Erdgeschosszonen sind Gewerbe und/oder Gastronomie angedacht.

Im südöstlichen Teilbereich ist zudem eine Kita (2-geschossig) geplant.

Die Hauptwegebeziehung im Quartier führt diagonal von Osten nach Westen. Das Quartier ist autofrei. Die erforderlichen Stellplätze werden größtenteils über Tiefgaragenparkplätze bereitgestellt.

Da sich das Planungsgebiet laut Regionalem Flächennutzungsplan 2010 (Planstand: 31.12.2017) innerhalb eines „Vorbehaltsgebiets für besondere Klimafunktionen“ befindet und es durch die geplante Flächennutzungsänderung im Planungsgebiet und in dessen Umfeld (z.B. innerhalb der angrenzenden Wohnbaustrukturen im Norden und Westen) zu Modifikationen bzgl. der lokalen Belüftungssituation und der thermischen/bioklimatischen Umgebungsbedingungen kommen wird, sind im Rahmen des Planungsprozesses zur Aufstellung des Bebauungsplans „Quartier am Ostpark“ klimaökologische Aspekte vertiefend zu analysieren und zu bewerten.

Die bislang von den raugkeitsarmen Sportplatzflächen ausgehenden Belüftungsverhältnisse sind für die thermischen Umgebungsbedingungen in der benachbarten Bebauung von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Auch die lokale Kaltluftzufuhr über den Ostpark ist als klimaökologischer Gunsteffekt zur Minimierung der örtlichen Wärmeinselbildung zu bilanzieren.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen Bebauung auf das örtliche klimaökologische Wirkungsgefüge sind somit auf Grundlage vorhandener Klimadaten (DWD-Station Flugwetterwarte Frankfurt) und mit Hilfe von meso- und mikroskaligen Modellrechnungen die klimatischen Positiv- und Negativeffekte zu bilanzieren. Über die Formulierung von Planungshinweisen sind klimatische Gunstfaktoren zu sichern bzw. zu entwickeln.

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

- Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens.
- Qualitative und quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen Freiflächen und Bebauung sowie der zu erwartenden klimatischen Veränderungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld mit Hilfe meso- und mikroskaliger Modellrechnungen (Belüftung, thermische Umgebungsbedingungen).
- Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer und thermischer Verhältnisse.

## 2 Planungsgebiet und Planungsentwurf

---

Das ca. 4.65 ha große Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“ befindet sich im südöstlichen Stadtgebiet von Rüsselsheim in einer Höhenlage von ca. 88 – 89 m ü. NHN (**Abbildung 2**).

Das Planungsgebiet setzt sich aus zwei Großspielfeldern (Kunstrasenplätze) im Osten, einer Parkierungsfläche im Südwesten und einer gehölzüberstellten Grünfläche im Nordwesten zusammen (siehe **Abbildungen 3** und **4**).

Im Norden grenzt das Planungsgebiet an die Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße/Ludwig-Opel-Straße. Sie ist locker durchgrünt und von 1- bis 2-geschossigen Wohnhäusern geprägt. Allein entlang der Adam-Opel-Straße im Westen bestehen 3-geschossige Zeilenhäuser.

Im Osten schließt das Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“ an die Georg-Jung-Straße und das Sportgelände (Kunstrasensportplatz mit Tartanbahn) der DJK SG Eintracht Rüsselsheim e.V. an.

Im Süden (Max-von-Laue-Straße) befindet sich die Walter-Köbel-Halle (Großsporthalle, OK Dach ca. +8.70 m) mit versiegelten Parkierungsflächen.

Westlich des Planungsgebietes verläuft die vielbefahrene Hauptverkehrsachse Adam-Opel-Straße die westlich von 8- bis 11-geschossigen Hochhausbauten begleitet wird.

Im aktuellen Regionalen Flächennutzungsplan 2010 (Planstand 2017) des REGIONALVERBANDES FRANKFURTRHEINMAIN ist das Bebauungsplangebiet „Quartier am Ostpark“ als *Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen* (Grünfläche/Sportanlage) gekennzeichnet. Zusammen mit den Sportanlagen östlich der Georg-Jung-Straße und dem nordnordöstlich anschließenden Ostpark/Waldfriedhof bilden die weitgehend unbebauten Flächen einen stadtklimatisch bedeutsamen Grünraum mit den Funktionen Kalt- und Frischluftbildung. Darauf weist auch die GIS-basierte Umweltprüfung des REGIONALVERBANDES FRANKFURTRHEINMAIN hin.

(<https://mapview.region-frankfurt.de/maps/resources/apps/sup/index.html?lang=de>.)

Mit dem vorgelegten Planungsentwurf zur Wohngebietsentwicklung „Quartier am Ostpark“ (**Abbildungen 6** und **7**) wird angestrebt, eine klimaverträgliche Bauungsstruktur zu entwickeln.

Zentrales Element des vorgelegten Planungsentwurfs ist eine von West nach Ost verlaufende Erschließungsfläche mit einer zentralen Grünfläche (locker gehölzüberstellte Parkanlage mit Spielplatz), um die sich insgesamt vier Wohnblöcke [WA1 – WA4, offene Blockrandbebauung] mit Grünhöfen sowie eine Kita [WA5] gruppieren. Die Flachdächer sollen begrünt werden.

Die einzelnen Planungsteilbereiche sind wie folgt zu charakterisieren:

**WA1:**

3- bis 4-geschossige (teilweise mit Staffelgeschoss) Bauweise.

GRZ I = 0.43, GRZ II<sup>1</sup> = 0.84, GFZ = 1.7

**WA2:**

2- bis 4-geschossige Bauweise.

GRZ I = 0.36, GRZ II = 0.81, GFZ = 1.3

**WA3:**

2- bis 4-geschossige (teilweise mit Staffelgeschoss) Bauweise.

GRZ I = 0.42, GRZ II = 0.90, GFZ = 1.7

Im Wohnblock WA3 ist im Nordosten eine aufgebrochene Bebauungsstruktur angedacht (siehe **Grafik 1**).



**Grafik 1** Mögliche Bebauungsstruktur im Baublock WA3  
(aus: Die LandschaftsArchitekten Bittkau – Bartfelder + Ingenieure GbR 2018)

<sup>1</sup> **GRZ I:** Bezieht sich auf alle Flächen der Hauptanlage (Hauptgebäude, Terrassen, Balkone, Loggien, Kellerabgänge).  
**GRZ II:** Bezieht sich auf Nebenanlagen wie bspw. die fußläufige Erschließung der Hauptanlage.

**WA4:**

4 bis 6-geschossige (teilweise mit Staffelgeschoss) Bauweise.

GRZ I = 0.46, GRZ II = 0.81, GFZ = 2.5

**WA5:**

2-geschossige Bauweise.

GRZ I = 0.44

Neben Wohnnutzungen sind in Teilen der Erdgeschosszonen verträgliches Gewerbe und/oder Gastronomie angedacht.

Das Quartier ist autofrei. Die erforderlichen Stellplätze werden größtenteils über Tiefgaragenparkplätze bereitgestellt.

Die netzartige Durchwegung des Planungsgebietes und die offenen Blockränder sollen eine möglichst intensive Belüftung gewährleisten.

Eine erste Bilanzierung der Grünstrukturen kann der **Abbildung 7** entnommen werden. Demnach beträgt der Flächenanteil des Grüns am Gesamtgeltungsbe- reich des Bebauungsplans ca. 33%. Grün mit Bodenanschluss umfasst eine Fläche am Gesamtareal von ca. 12%.

Berücksichtigt man bei der Bilanzierung zusätzlich die Gründächer (ca. 8.538 m<sup>2</sup>), so beläuft sich der „Flächenanteil Grün“ auf ca. 52%.

### 3 Untersuchungsmethodik

---

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

Hierbei wird im Wesentlichen auf Klimadaten der DWD-Station Flugwetterwarte Frankfurt a. M. (geografische Lage: Breitengrad 50.0496 / Längengrad 8.5887) zurückgegriffen, die sich ca. 13 km nordöstlich des Planungsgebiets befindet. Daneben finden Klimaanalysen der HLNUG HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE / HMU KL V HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ **Beachtung**<sup>2</sup>.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe meso- und mikroskaliger Modellrechnungen (Modellpakete KLAM\_21, MISKAM/ENVI-met<sup>3</sup>) die lokalen Kaltluftbewegungen, die kleinräumigen Belüftungsverhältnisse und die thermischen Umgebungsbedingungen im Planungsgebiet analysiert, um die örtlichen klimatischen Positiv- bzw. Negativeffekte aufzuzeigen.

Die Modelle entsprechen dem Stand der Technik und sind langjährig geprüft.

Die Modellrechnungen zu den lokalen nächtlichen Kaltluftbewegungen (stabile Luftschichtung) erfolgen mit dem 2-dimensionalen Kaltluftabflussmodell KLAM\_21. Das Modell berechnet auf Grundlage eines digitalen Geländemodells und der Flächennutzung die nächtliche Dynamik von Kaltluftbewegungen. Laut DWD (2005) hat sich das Modell in einer Vielzahl von Klimagutachten bewährt. KLAM\_21 simuliert u.a. die zeitliche Entwicklung von Kaltluftfließgeschwindigkeiten, Kaltluftfließrichtungen, Kaltluftmächtigkeiten und Kaltluftvolumenströmen.

---

<sup>2</sup> U.a. **HMUKLV (2015)**: 2. Fortschreibung. Luftreinhalteplan für den Belastungsraum Rhein-Main, Teilplan Rüsselsheim. Wiesbaden.

<sup>3</sup> **DEUTSCHER WETTERDIENST (2008)**: Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM\_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms. Offenbach a. M.

**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.

**BRUSE, M. (2002/2018)**: ENVI-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.

Da KLAM\_21 als ein zweidimensionales Modell nur eine einzige Kaltluftschicht kennt, wird die Temperaturänderung mit der Höhe innerhalb dieser Schicht durch ein universelles Temperaturprofil beschrieben, das auf Kenntnissen aus empirischen Studien beruht und auf die jeweilige Situation (Kälteinhalt und Dicke der Kaltluft) an den Punkten im Rechengitter angewandt wird.

Die Simulation der örtlichen Belüftungsverhältnisse (neutrale bis labile Luftschichtung) erfolgt mit dem 3-dimensionalen prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Die Bau- und Flächennutzungsstrukturen werden in einem Gitter abgebildet. Vegetationsflächen werden über ihre Wuchshöhe, Blattflächendichte und Bedeckungsgrad definiert.

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

ENVI-met ist ein Mikroklimamodell, das auf Grundlage der numerischen Strömungsdynamik die Wechselwirkung zwischen Gebäuden, Vegetation, natürlichen und künstlichen Oberflächen in einer virtuellen Umgebung simuliert. Dabei werden die wichtigsten atmosphärischen Prozesse nachgebildet. Die mathematischen Berechnungen beruhen nach BRUSE (1999) auf den Gesetzen der Strömungs- (Windfeld) und Thermodynamik (Temperaturberechnungen) sowie der allgemeinen Atmosphärenphysik (z.B. Turbulenzprognose). Die Bebauung wird durch einfache Basiselemente (Würfel in ENVI-met: Grid) nachgebaut / modelliert. 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, 66).

Weitere Details zu den Klimamodellen KLAM\_21, MISKAM und ENVI-met können folgenden Internetseiten entnommen werden:

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

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

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

Auf Grundlage der klimaökologischen Analysen erfolgt eine abschließende klimaökologische Bewertung des Planungsentwurfs.

## 4 Klimatische Rahmenbedingungen im Raum Rüsselsheim und ihre prognostizierten zukünftigen Entwicklungen

---

Der Jahresmittelwert der Lufttemperatur liegt im Raum Rüsselsheim nach Berechnungen des POTSDAM-INSTITUTS FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG E.V. ([www.klimafolgenonline.com](http://www.klimafolgenonline.com)) für den Zeitraum 1981 – 2010 bei einem Wert von ca. 11.0°C an. Die Anzahl der Sommertage ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) liegt bei 55.7 Tagen (1981 – 2010). Die Anzahl der heißen Tage ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) wird mit 14.2 (1981 – 2010) angegeben.

Das Stadtgebiet von Rüsselsheim gehört mit seiner Lage im Rhein-Main-Tiefland / Untermainebene nach CHRISTOFFER ET AL. (1989) zu einer der windschwächsten Regionen Deutschlands.

Analysiert man die mehrjährigen Winddaten (2008 – 2017) der Station *DWD Flugwetterwarte Frankfurt a. M.*<sup>4</sup> (**Abbildung 8**), so zeigt sich deutlich der Einfluss des von Südwest nach Nordost verlaufenden Taunus, durch den die ausgeprägte Häufigkeit der südwestlichen (ca. 33.6% der Jahresstunden) und nordöstlichen (ca. 29.5% der Jahresstunden) Richtungssektoren hervorgerufen wird.

Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten (4.0 – 4.8 m/s) werden großwetterlagenbedingt bei Winden aus südwestlichen Richtungen registriert. Bei Winden aus nordöstlichen Richtungen (Nebenmaximum) stellen sich mittlere Windgeschwindigkeiten von 2.0 – 3.1 m/s ein. Die geringeren Windgeschwindigkeiten deuten darauf hin, dass die Nordostwinde häufig mit schwächer ausgeprägt Lokal- und Regionalströmungen in Verbindung zu bringen sind.

Der Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit liegt bei ca. 3.2 m/s.

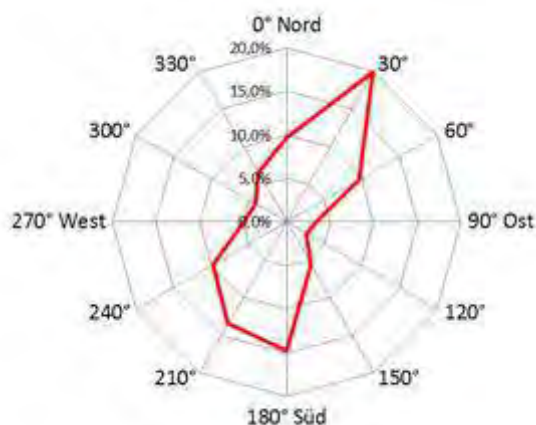
Ähnliche Windrichtungsverteilungen zeigen auch Windmessungen aus dem Jahr 2013 an der HLNUG-Luftmessstation Raunheim (**Grafik 2**), die sich ca. 3.3 km nordöstlich des Planungsgebiets befindet.

Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit beträgt ca. 1.7 m/s (2017). Ein derartiger Wert dürfte auch in der Bebauung von Rüsselsheim zu erwarten sein.

---

[www.dwd.de](http://www.dwd.de)





**Grafik 2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an der HLNUG-Luftmessstation Raunheim Januar – Dezember 2013 (aus **HMUKLV (2015): 2.** Fortschreibung. Luftreinhalteplan für den Belastungsraum Rhein-Main, Teilplan Rüsselsheim. Wiesbaden.)

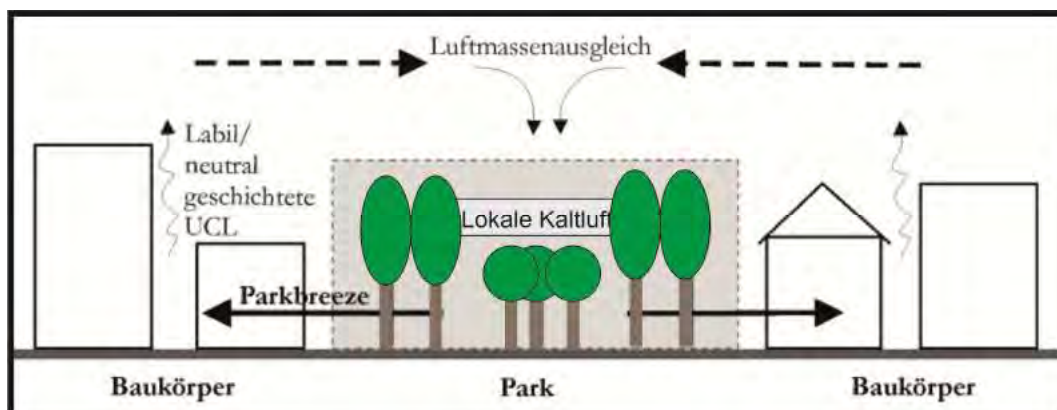
Für die Betrachtung der Auswirkungen des Planungsvorhabens „Quartier am Ostpark“ auf die ortsspezifischen kleinklimatischen Verhältnisse wird das Augenmerk vermehrt auf thermisch belastende Sommertage/Tropennächte gelegt.

In den **Abbildungen 9.1** und **9.2** sind exemplarisch die Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes an der DWD-Station Flugwetterwarte Frankfurt a. M. dargestellt. Beide Tagesgänge (24.-25.07.2018, 03.-04.08.2018) zeigen den Lufttemperaturverlauf im Zuge eines heißen Sommertags. Die Tageshöchsttemperaturen werden gegen 16:00 Uhr bzw. 17:00 Uhr erreicht.

In den Nachtstunden flaut der Wind zunehmend ab und es häufen sich nordöstliche Windrichtungen, was auf regionale/lokale Strömungsprozesse in der Untermainebene zurückzuführen ist.

Derartige tagesperiodische Windrichtungsdrehungen sind an sogenannten Strahlungstagen, an denen sich bevorzugt kaltauflandinduzierte Regional- und Lokalwindssysteme ausbilden können, verstärkt zu beobachten.

So sind in Rüsselsheim in Strahlungsnächten (ca. 22% der Nächte im Jahr) auch entlang des Ostparks vermehrt nordöstliche Luftbewegungen zu erwarten. Sie tragen in der angrenzenden Bebauung wesentlich zur Belüftung bei. Von Seiten der Regional- und Stadtplanung wird daher in besonderem Maße darauf geachtet, dass zwischen dem Freiraumgefüge Ostpark und der Bebauung eine möglichst offene räumliche Verzahnung gesichert bleibt (siehe Kennzeichnung „Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen“ im Regionalen Flächennutzungsplan 2010). Damit kann die Kaltluft auch über Mikrozirkulationen (Parkbreeze, Flurwinde) in die Bebauung einströmen (siehe **Grafik 3**) und die dortige thermische Belastung nachhaltig herabsetzen.



**Grafik 3:** Schematische Darstellung der Parkbreeze (aus: BONGARDT 2005)

Die Sicherstellung günstiger thermischer Umgebungsverhältnisse wird zukünftig an Bedeutung zunehmen, da die sommerliche Wärmebelastung infolge des globalen Klimawandels weiter ansteigen wird.

Nach Berechnungen des POSTDAM-INSTITUTS FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG E.V. ([www.klimafolgenonline.com](http://www.klimafolgenonline.com)) wird die mittlere Jahresmitteltemperatur im Raum Rüsselsheim im Zeitraum 2031 – 2060 gegenüber der Zeitspanne 1981 – 2010 um ca. 1.7 K auf 12.7°C zunehmen. Die Anzahl der Sommertage wird um ca. 27 Tage ansteigen und auch bei den heißen Tagen wird sich eine prägnante Häufung (+11 Tage) einstellen. Den Projektionen liegt das Antriebsszenario RCP8.5 (mittlere Temperaturzunahme) zu Grunde, die hohe zukünftige Treibhausgasemissionen berücksichtigen.

Da zugleich die Anzahl der Tropennächte zunimmt, steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit lang anhaltender Hitzewellen. Die erhöhte Wärmebelastung führt insbesondere bei alten und kranken Menschen sowie Kleinkindern zu gesundheitsgefährdendem Hitzestress.

Um Städte langfristig tolerant gegenüber den prognostizierten Hitzeereignissen zu entwickeln, werden in der Stadtplanung aktuell in vielen deutschen Städten (vgl. FRIEDRICH, S. ET AL. 2014) klimaökologische Zielvorstellungen formuliert. Es sollen insbesondere Maßnahmen

- zum Erhalt oder zur Schaffung günstiger Belüftungseffekte,
- zum Erhalt oder zur Schaffung von Freiflächen (Klimaoasen) und Frischluftschneisen,
- zur Flächenentsiegelung, zur Begrünung (Verschattung) von Straßenzügen und Freiflächen,
- zur Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen,
- zum Erhalt oder zur Schaffung offener Wasserflächen und
- zur Optimierung der Gebäudeausrichtung

ergriffen werden.

Diesen Forderungen stehen bauliche Verdichtungen in Stadtgebieten entgegen.

Die Modifikationen der örtlichen Belüftungsintensität und der thermischen Belastung durch die geplanten Baumaßnahmen „Quartier am Ostpark“ werden daher mit den nachfolgenden numerischen Modellrechnungen aufgezeigt und bewertet.

## 5 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der strömungsdynamischen Verhältnisse am Planungsstandort und in dessen Umfeld

---

Wie in Kap. 3 bereits angeführt, werden zur Bilanzierung der klimaökologischen Folgeerscheinungen einer Bebauung nach vorgelegtem Planungskonzept „Quartier am Ostpark“ numerische Modellrechnungen durchgeführt. Dem aktuellen Ist-Zustand (u.a. Sportanlagen mit Kunstrasenplätzen) wird dabei der Plan-Zustand gegenüber gestellt. Da im Baublock WA3 im Norden die genaue Baustruktur (reihenhausartig) mit Gebäudezwischenräumen noch nicht feststeht, wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios eine geschlossene Bebauung angenommen.

Die angestrebte bauliche Neustrukturierung wird insbesondere die lokalen Kaltluftbewegungen / Belüftungsverhältnisse und die thermischen Umgebungsbedingungen (Lufttemperaturfeld) modifizieren.

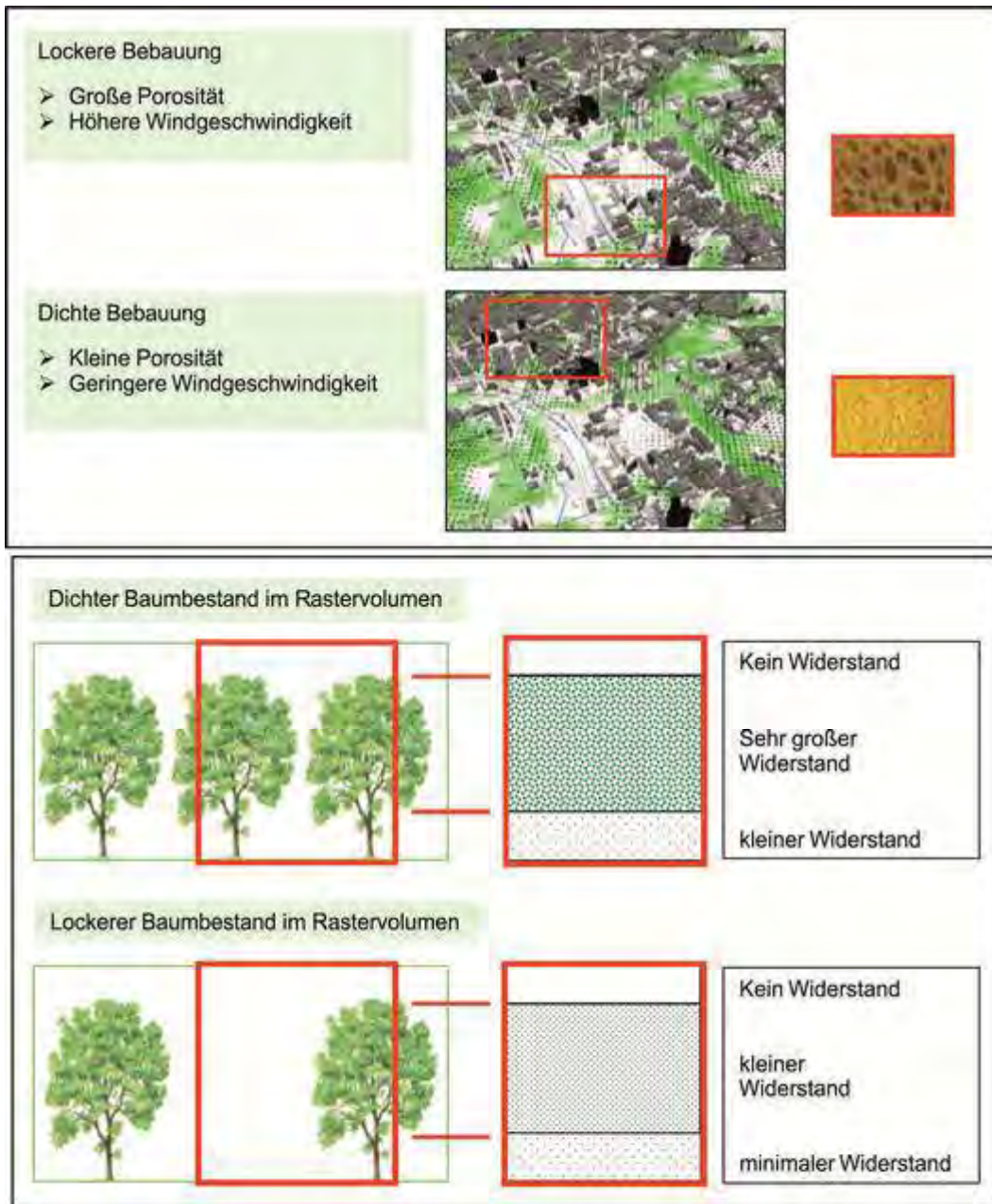
Es werden daher für eine stadtklimatisch besonders relevante sommerliche Strahlungsnacht mit schwacher nordöstlicher Regionalströmung (1.5 m/s) vertiefende mesoskalige Kaltluftsimulationen mit dem Modell KLAM\_21, Vers. 2012<sup>5</sup> durchgeführt.

Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Es werden neun Landnutzungsklassen berücksichtigt: Dichte Bebauung, lockere Bebauung, Friedhof, versiegelte Flächen, unversiegelte Freiflächen, teilversiegelte Flächen, Buschflächen, Gehölzflächen/Wald und Wasser.

Größere bebaute Flächen im weiteren Umfeld des Planungsstandorts werden als teilweise durchströmbare (poröse) Hindernisse im Modell berücksichtigt (DEUTSCHER WETTERDIENST 2008). Damit gelingt es, die Strömungsverdrängung durch die Baukörper sowie die bremsende Wirkung der Gebäude in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu modellieren (siehe **Grafik 4**).

---

<sup>5</sup> **DEUTSCHER WETTERDIENST (2008):** Das Kaltluftabflussmodell KLAM\_21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 277. Offenbach a. M.



**Grafik 4:** Porosität von Bau- und Grünstrukturen  
(AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH; ÖKOPLANA 2015)

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen (stabile Luftschichtung) beinhalten die Richtung und die Geschwindigkeit der Kaltluftbewegungen sowie die Mächtigkeit der Kaltluft. Daraus wird die Kaltluftvolumenstromdichte berechnet.

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstromdichte versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite).

Das betrachtete Rechengebiet umfasst eine Gebietsgröße von 2.56 x 2.83 km (7.24 km<sup>2</sup>). Die Gitterauflösung des zu Grunde gelegten digitalen Geländemodells beträgt 10 m. Es wurde von der STADT RÜSSELSHEIM bereitgestellt. Die geplante Bebauung im Planungsgebiet wird mit ihrer max. Gebäudehöhe explizit als undurchströmbares Hindernis eingestellt.

Zusätzlich erfolgt eine vergleichende Betrachtung der Belüftungsverhältnisse bei schwachen Windbewegungen in bewölkten Nächten (neutrale bis labile Luftschichtung) und für eine windschwache Tagsituation. Hierbei kommt das Mikroskalenmodell MISKAM zum Einsatz.

Das betrachtete Modellgebiet umfasst eine Ausdehnung von jeweils 450 m (zzgl. Randzellen) in Ost-West-Richtung und in Süd-Nord-Richtung. Die vertikale Erstreckung des Modells beträgt 100 m. Die Berechnungen werden mit einer horizontalen Gitterauflösung von 2 m durchgeführt.

In vertikaler Richtung beträgt die Rechenauflösung min. 0.5 m und steigt bis zur Modelloberkante nicht-äquidistant auf 20 m an.

Die mikroskaligen Modellrechnungen zum Lufttemperaturfeld erfolgen für das gleiche Modellgebiet für zwei sommerliche Nachtsituationen, die bioklimatisch besonders relevant sind. Am Tag sind die klimatischen Auswirkungen der geplanten Bebauung geringer, da der horizontale und vertikale Luftaustausch deutlich intensiver ist.

Die Modellierung wird mit dem Programmpaket ENVI-met durchgeführt.

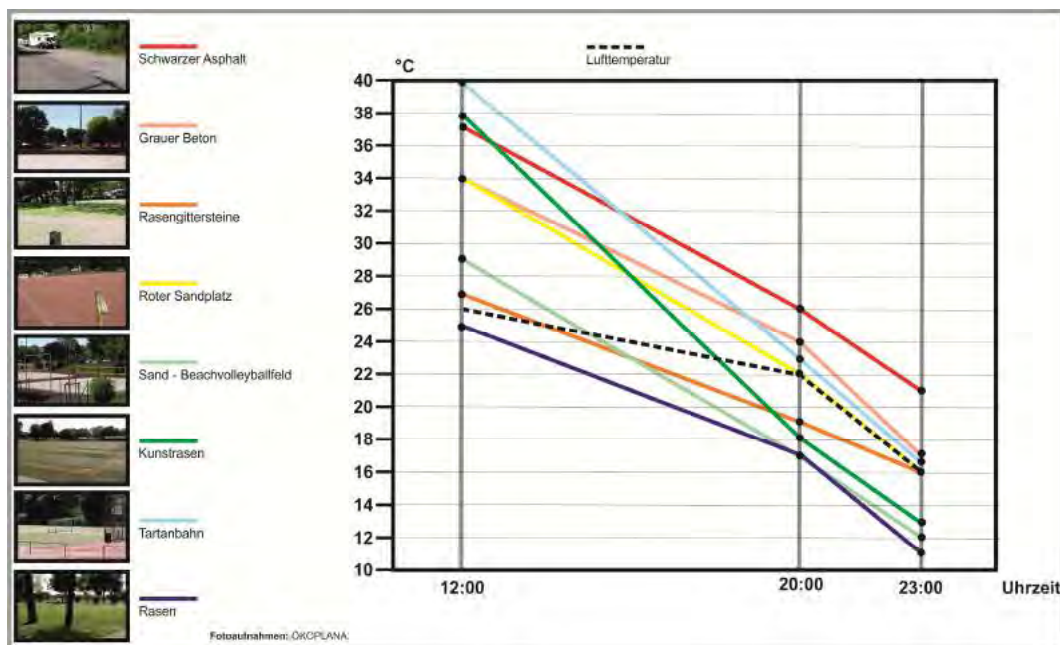


## 5.1 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen in schwachwindigen Strahlungs Nächten mit stabiler Luftschichtung - Kaltluftströmungssimulationen

In klaren, windschwachen Strahlungsnächten, d.h. bei autochthonen Wetterlagen, kühlen sich die Erdoberfläche und die bodennahe Luftschicht intensiv ab. Grund für die Abkühlung ist die effektive Ausstrahlung, d.h. die Differenz zwischen der Wärmeausstrahlung der Oberfläche und der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre. Letztere ist zu gering, um die Ausstrahlung zu kompensieren, so dass ein Wärmeverlust entsteht. Der Wärmeaustausch zwischen der sich abkühlenden Oberfläche und der Atmosphäre führt dann dazu, dass die abgestrahlte Wärme teilweise der bodennahen Luftschicht entzogen wird, d.h. es kommt zur Produktion von Kaltluft (vgl. DWD 2017).

Grünflächen mit entsprechendem Kaltluftbildungspotenzial (z.B. Wald, Wiesen, Hausgärten) sind im Planungsumfeld zu finden (z.B. Ostpark).

Auch Kunstrasensportplätze kühlen in den Nachtstunden im Vergleich zu versiegelten Flächen (Asphalt, Beton) deutlich ab. Ihre Oberflächentemperaturen liegen trotz hoher Werte am Tag bereits in der ersten Nachthälfte deutlich unter den Lufttemperaturwerten (siehe **Grafik 5**). Sie stehen somit einer nächtlichen Abkühlung der Luft nicht entgegen.



**Grafik 5:** Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbeläge. Messungen durch ÖKOPLANA am 22.08.2017 in Wiesbaden

Nach KING (1973) weisen Freiflächen (Wiese, Acker, Brachland etc.) eine Kaltluftproduktionsrate von etwa 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h auf. Demgegenüber liefern Gewässer, versiegelte Oberflächen und dicht bebaute Siedlungs-, Gewerbe- und Industriegebiete keinen Beitrag oder einen negativen Beitrag zur Kaltluftbildung. Die Materialien derartiger Flächen (Wasser, Beton, Asphalt etc.) speichern tagsüber große Wärmemengen, die sie nachts sukzessive wieder an die Atmosphäre abgeben. Areale solcher Flächennutzung sind deshalb während windschwacher Strahlungsnächte wärmer als ihr Umland.

Horizontale Temperaturunterschiede und Geländere relief sind die treibenden Kräfte für lokale, thermisch bedingte Windsysteme. Da kältere Luft (bei gleichem Umgebungsdruck) schwerer ist als warme, beginnt sie abzusinken. Die Folge ist ein Druckanstieg am Boden unter dem Absinkbereich und eine Druckabnahme in der Höhe, was wiederum zu Ausgleichsströmungen mit zirkulierendem Charakter führt, siehe **Grafik 3** (vgl. DWD 2017).

Die Ergebnisse der durchgeführten Kaltluftberechnungen werden für den Zeitpunkt drei Stunden<sup>6</sup> nach einsetzender Kaltluftbildung dargestellt.

Bioklimatisch ist vor allem eine möglichst rasche nächtliche Abkühlung von Bedeutung, damit tagsüber überwärmte Wohnungen in den Nachtstunden durchgelüftet werden können und kühle Umgebungsverhältnisse die bioklimatische Entlastungswirkung intensivieren.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zu den Kaltluftfließgeschwindigkeiten und Kaltluftfließrichtungen (**Abbildungen 10 – 12**) zeigen, dass sich am Planungsstandort im Ist-Zustand in den Höhenschichten 0 – 5 m ü.G. nordöstliche Kaltluftbewegungen mit Geschwindigkeiten von ca. 0.2 – 0.5 m/s einstellen, die Kalt- / Frischluft über den Ostpark heranzuführen. Allein im nordwestlichen Planungsteilbereich, der von dichten Gehölzbeständen geprägt ist, liegen die Fließgeschwindigkeiten nur bei 0.1 – 0.2 m/s. Höhere autochthone Kaltluftfließgeschwindigkeiten sind aufgrund des fehlenden Geländegefälles nicht zu erwarten.

Mit potenzieller Realisierung des „Quartiers am Ostpark“ nimmt die örtliche Oberflächenrauigkeit zu, wodurch es flächenhaft zu einer Abschwächung der Kaltluftfließgeschwindigkeit kommt. Anhand der Differenzendarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustand wird offenbar, dass es insbesondere in den Blockinnenbereichen der Neubebauung stellenweise zu Stagnationstendenzen kommt.

---

<sup>6</sup> In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 23:00 (MEZ)



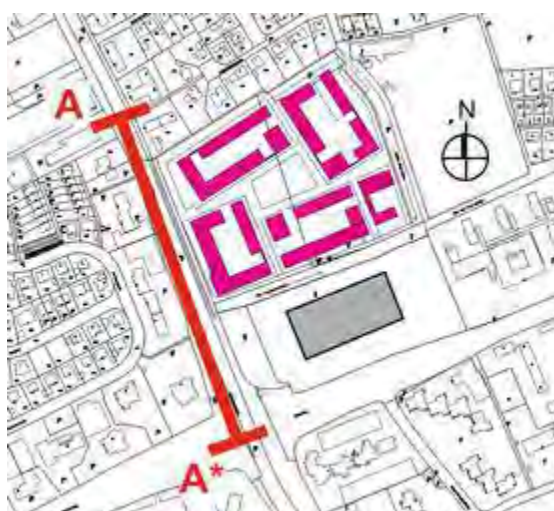
Dies gilt insbesondere für den Baublock WA4, der großflächig mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten von unter 0.1 m/s zeigt.

Im Bereich der anderen Baublöcke sichern die offenen Blockränder eine günstigere Be- und Entlüftung der Innenhöfe.

Während es am Nord- und Südrand des neuen Quartiers durch Labilisierungseffekte gegenüber dem Ist-Zustand zu leichten Windbeschleunigungen (= klimaökologischer Positiveffekt) kommt, sind in direkten Luv- und Leelagen Kaltluftstau bzw. Windschatteneffekte zu bilanzieren. Sie beschränken sich allerdings auf die unmittelbaren Nahbereiche (Teilbereiche der Sportflächen und der Wohnbebauung östlich der Georg-Jung-Straße und Hochhausbebauung westlich der Adam-Opel-Straße). Eine weiterreichende Schwächung der lokalen, kaltluftbedingten Belüftungsintensität ist nicht festzustellen.

Auch bzgl. der Kaltluftvolumenstromdichte (**Abbildungen 13 – 15**) führt die Planung in ihrem Umfeld zu keiner erheblichen Schwächung. Bei einer berechneten Kaltfluthöhe von 15 – 19 m (drei Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung) nimmt die Kaltluftvolumenstromdichte innerhalb des Planungsgebiets um ca. 1 – 2 m<sup>3</sup>/m·s ab.

Ermittelt man in Leelage zum Planungsgebiet entlang der Adam-Opel-Straße die planungsbedingte relative Veränderung des nach Südwesten weiterfließenden Kaltluftvolumenstroms, so ergibt sich über das Bewertungsprofil (siehe **Grafik 6**) mit einer Länge von ca. 350 m Länge ein Wert von -9.5%. Während im Ist-Zustand noch ein Kaltluftvolumenstrom von ca. 839 m<sup>3</sup>/s nach Südwesten strömt, reduziert sich dieser Wert nach potenzieller Realisierung des Wohngebiets „Quartier am Ostpark“ auf ca. 759 m<sup>3</sup>/s.



**Grafik 6:** Lage des Bewertungsprofils A – A\* entlang der Adam-Opel-Straße.  
Grundlagenkarte: Stadt Rüsselsheim

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist in einer stadtklimatisch relevanten Kaltluftleitbahn eine großflächige Verringerung der Abflussvolumina oder der Abflussgeschwindigkeit erst ab einem Wert von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als „gravierender Eingriff“ mit nachteiligen Folgen im Kaltluftzielgebiet (Wohnbebauung in Leelage zum Planungsgebiet) zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 6 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ zu bewerten und somit im Allgemeinen noch zu akzeptieren.

Eine stadtklimatisch bedeutsame Schwächung der Kaltluftströmung im Bereich des „Vorbehaltsgebiets für besondere Klimafunktionen“ (siehe **Abbildung 5**) tritt damit nicht ein.

## **5.2 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen in schwachwindigen, bewölkten Nächten**

Neben der Sicherung der kaltluftbedingten Belüftungseffekte ist auch die Beibehaltung einer ausreichenden Belüftungsintensität in schwachwindigen Nächten mit leichter bis starker Bewölkung (neutrale bis labile Luftschichtung) von Bedeutung. Zur Analyse werden nachfolgend die Ergebnisse von Strömungssimulationen mit dem mikroskaligen Strömungsmodell MIKSAM betrachtet. Durch die gewählte Modellauflösung von 2 x 2 m (horizontales Gitter) lassen sich auch detailliert die Belüftungsverhältnisse innerhalb des Planungsgebiets beschreiben.

Bei den Berechnungen werden zwei Strömungssituationen betrachtet, bei denen sich Wohnbebauung im Lee des Planungsgebiets befinden (Ostnordost-Wind – 60° und Südwind 180°). Als Eingangsgeschwindigkeit wird den Berechnungen typischerweise jeweils ein Wert von 1.5 m/s (30 m ü.G.) zu Grunde gelegt.

Höhere Vegetation (Bäume, Gehölze) wird bei den Windfeldberechnungen mit Hilfe von Rauigkeitsfaktoren berücksichtigt. Den Gehölzbeständen wird ein Blattbedeckungsgrad von 40 – 60% zugeordnet.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten (1.5 und 4.5 m ü.G.; ~ EG und 1. OG). Die Schnitte geben die mittlere Windgeschwindigkeit für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe  $\pm$  0.5 m) wieder.

Zur Verdeutlichung der Strömungsmodifikationen durch den potenziellen Plan-Zustand erfolgt eine Differenzendarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustand.

### 5.2.1 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Ost-nordostwinde - Nachtsituation

Als konstante Randbedingung wird zunächst eine Luftströmung aus Ostsüdosten gewählt. Hierbei erfolgt die Belüftung des Bebauungsplangebiets vorwiegend über das Sportgelände/Ostpark östlich der Georg-Jung-Straße.

Die **Abbildungen 18.1** und **18.2** zeigen die berechneten Windfelder des **Ist-Zustands** in Höhen von 1.5 m ü.G. und 4.5 m ü.G.

Deutlich erkennbar sind auf dem Bild des Ist-Zustandes die Luv- und Lee-Effekte von Gebäuden und die windabbremsende Wirkung von dichten Gehölzbeständen. Die im bodennächsten Luftraum (1.5 m ü.G.) durch die Oberflächenrauigkeit des Bodens und der Vegetation von 1.5 m/s (30 m ü.G.) in freien Lagen auf Werte zwischen 0.7 und 1.2 m/s reduzierte Windgeschwindigkeit wird durch höhere Vegetationsbestände und bauliche Strömungshindernisse weiter verringert.

Breite, strömungsparallele Straßenzüge sowie die Sportplatzflächen treten aufgrund ihrer geringen Oberflächenrauigkeit als Ventilationsflächen hervor, über welchen der Höhenwind bodennah durchgreift und die u.U. mit negativen Eigenschaften (Wärme, Luftschadstoffe) belastete Luft vermehrt ausräumen bzw. durchmischen kann.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 19.1 und 19.2)** ist durch die Überbauung der Sportanlage, des Parkplatzes und der Grünfläche an der Adam-Opel-Straße eine deutliche Veränderung des kleinräumigen Strömungsgeschehens zu bestimmen.

Während es am Nordrand (Übergang zur Wohnbebauung in der Robert-Bosch-Straße) durch den Wegfall eines Teils der Gehölze gegenüber dem Ist-Zustand zu einer leichten Intensivierung der bodennahen Belüftung kommt (siehe **Abbildungen 20.1 und 20.2**), die bis zur Adam-Opel-Straße Wirkung zeigt, nimmt die Windgeschwindigkeit innerhalb des neuen Quartiers um ca. 0.2 – 1.0 m/s ab.

Die „Grüne Mitte“ mit ihrer Ost-West-Durchwegung tritt bei vorherrschenden Ostrundost-Winden als Belüftungsachse mit vergleichsweise hohen Windgeschwindigkeiten (bis 0.7 m/s ) hervor. Luftstagnation mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.2 m/s tritt kleinräumig nur in unmittelbaren Windschattenbereichen von Gebäuden auf.

Die Blockinnenbereiche WA1, WA2 und WA3 zeigen sich ausreichend belüftet. Eine großflächige Tendenz zu Luftstagnation (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) ist nicht gegeben. Bei WA3 ist zudem zu berücksichtigen, dass am Nordrand die bislang vorgelegten Detailentwürfe eine aufgebrochene Bebauungsstruktur vorsehen, die zusätzliche Be- und Entlüftungsmöglichkeiten bietet. Die gewählten Blocköffnungen mit Breiten von ca. 9 – 15 m sind ausreichend, um eine funktionierende Be- und Entlüftung zu gewährleisten. Voraussetzung ist hierbei, dass in den Blocköffnungen keine großkronigen Bäume platziert werden, die an diesen Stellen als Strömungshindernis funktionieren.

Strömungsdynamisch ungünstig ist die Situation im Blockinnenbereich WA4 zu bewerten. Die beiden gewählten Blocköffnungen von jeweils ca. 12 m Breite sind zu gering dimensioniert, um eine ausreichende Be- und Entlüftung zu gewährleisten. Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen im Innenhof nahezu flächendeckend mittlere Windgeschwindigkeiten unter 0.2 m/s. Dies kann im Sommer bioklimatisch ungünstig zu bewertende Wärmestaus hervorrufen. Die mikroskaligen Strömungssimulationen bestätigen somit die Ergebnisse der mesoskaligen Kaltluftströmungssimulationen, die für den Wohnblock WA4 ebenfalls ungünstige Belüftungsverhältnisse zeigen.

Im Bereich der Kita (WA5) sind ausreichende Belüftungsbedingungen zu bestimmen.

Die Bebauung westlich der Adam-Opel-Straße unterliegt im Plan-Zustand keinen relevanten Windfeldmodifikationen. Kleinräumigen Windabschwächungen stehen an anderer Stelle Windbeschleunigungen entgegen.

## 5.2.2 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Südwinde - Nachtsituation

Die Messdaten an der DWD-Station Flugwetterwarte Frankfurt a. M zeigen, dass an bewölkten Tagen in den Nachtstunden im Planungsgebiet häufig auch südliche Windrichtungen vorherrschen. Die geplante Bebauung „Quartier am Ostpark“ wirkt dann in Richtung der Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße als Strömungsbarriere.

Im **Ist-Zustand (Abbildungen 21.1 und 21.2)** fungieren am Planungsstandort das Sportgelände und der Parkplatz im Südwesten als Ventilationsflächen mit vergleichsweise hohen mittleren Windgeschwindigkeiten. Hierdurch wird auch eine günstige nächtliche Belüftungssituation im Bereich der Wohnbebauung nördlich des Planungsgebiets gewährleistet.

Etwas ungünstiger ist die Situation nördlich der „Gehölzinsel“ an der Adam-Opel-Straße. Die Bäume und Sträucher wirken als Strömungsbarriere, so dass auch in Lee-Lage die mittlere Windgeschwindigkeit herabgesetzt ist. Klimaökologisch positiv ist jedoch ihr Beitrag zur nächtlichen Kalt- und Frischluftbildung zu bewerten, der in der klimaökologischen Gesamtbilanz die strömungsdynamischen Negativwirkungen ausgleicht.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 22.1 – 23.2)** kommt es entlang der Adam-Opel-Straße und im Bereich der Max-von-Laue-Straße durch bebauungsbedingte Führungseffekte zu leichten Windbeschleunigungen, die klimaökologisch positiv zu bewerten sind. Diesen stehen jedoch im Planungsgebiet und in dessen Lee-lage im Norden Windabbremungen gegenüber.

Wie die Differenzendarstellungen zur Windgeschwindigkeit zwischen Ist- und Plan-Zustand veranschaulichen (**Abbildungen 23.1 und 23.2**), betreffen die planungsbedingten Windschatteneffekte allerdings nur einen kleinen Teilbereich der Wohnbebauung an der Robert-Bosch-Straße (Robert-Bosch-Straße 5, 7, 9, 11 und 13). Die bodennahe Windgeschwindigkeit (1.5 und 4.5 m ü.G.) wird um ca. 0.2 – 0.6 m/s herabgesetzt, eine prägnante Zunahme der Flächengröße mit Luftstagnationstendenzen (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) wird jedoch nicht bilanziert. Die Be- und Entlüftungsintensität entspricht weiterhin noch dem ortsspezifischen Niveau. Die Höhenbegrenzung der geplanten Bebauung am Nordrand auf 10.5 m macht sich positiv bemerkbar.

Innerhalb des Planungsgebietes sind bei vorherrschenden Schwachwinden aus südlichen Richtungen im Wohnblock WA3 vermehrt Luftstagnationstendenzen zu bilanzieren. Bei Realisierung der angedachten „durchbrochenen“ Randbebauung im Norden entfällt diese Negativwirkung.

### 5.3 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den lokalen Belüftungsverhältnissen an schwachwindigen Tagen

Zur Sicherstellung günstiger kleinklimatischer Verhältnisse im Planungsgebiet und in dessen Umfeld ist auch am Tag eine ausreichende Belüftungsintensität zu gewährleisten.

Die bodennahe Belüftungsintensität ist bzgl. des Bioklimas von Bedeutung, da das Wärmeempfinden des Menschen neben den Strahlungsflüssen und der Lufttemperatur wesentlich von der Windgeschwindigkeit abhängig ist. Dies wird anhand der nachfolgenden **Tabelle 1** verdeutlicht.

Die Bewertungsgröße  $PET^7$  (Physiologisch Äquivalente Temperatur) berücksichtigt neben den Strahlungsflüssen und der Lufttemperatur auch die mittlere Windgeschwindigkeit und bildet somit ein realistisches Maß für das Wärmeempfinden des Menschen.

Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)	PET (°C)
0.2	29.73
0.4	28.73
0.6	27.99
0.8	27.39
1.0	26.87
1.2	26.43
1.4	26.03
1.6	25.67
1.8	25.36
2.0	25.05
2.2	24.79
2.4	24.54
2.6	24.30
2.8	24.07
3.0	23.85

**Tabelle 1:** Beispielhafter Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und dem Wärmeempfinden des Menschen anhand der Physiologisch Äquivalenten Temperatur - PET. Lufttemperatur 25 °C, mittlere Strahlungstemperatur 35°C

<sup>7</sup> Die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) ist für eine beliebige Stelle im Freien definiert als diejenige Lufttemperatur, bei der in einem Innenraum die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist wie bei den Bedingungen im Freien (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2).

Reduziert sich bei den in **Tabelle 1** angeführten klimatischen Verhältnissen die mittlere Windgeschwindigkeit um 0.4 m/s (von 1.2 auf 0.8 m/s), so empfindet man dies wie eine Steigerung der Umgebungstemperatur um ca. 1 K.

Bei den Berechnungen werden wiederum zwei Strömungssituationen betrachtet, bei denen sich Wohnbebauung im Lee des Planungsgebiets befinden (Ostnordost-Wind – 60° und Südwind 180°). Als Eingangsgeschwindigkeit wird den Berechnungen typischerweise jeweils ein Wert von 2.0 m/s (10 m ü.G.) zu Grunde gelegt).

### **5.3.1 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Ostnordostwinde - Tagsituation**

Als konstante Randbedingung wird zunächst wiederum eine Luftströmung aus Ostsüdosten gewählt.

Wie der **Abbildung 8** zu entnehmen ist beträgt die Häufigkeit der Windrichtung Ostnordost ca. 14% der Stunden im Messzeitraum 2008 – 2017. Hierbei erfolgt die Belüftung des Bebauungsplangebietes vorwiegend über das Sportgelände / Ostpark östlich der Georg-Jung-Straße.

Legt man den Modellrechnungen den **Ist-Zustand (Abbildungen 24.1 und 24.2)** zu Grunde, so fungieren die Sportplatzflächen und die Parkierungsfläche im Südwesten zusammen mit dem Straßenzug Max-von-Laue-Straße als wirksame bebauungsinterne Ventilationsachse, über welcher der Höhenwind bodennah durchgreifen kann. Reduziert ist die Belüftungsintensität über den Gehölzflächen im nordwestlichen Teilbereich des Planungsareals.

Die Ergebnisse der vergleichenden Modellrechnungen für den **Plan-Zustand (Abbildungen 25.1 - 26.2)** belegen, dass auch am Tag im Umfeld des Planungsgebiets keine gravierende Schwächung der bodennahen Belüftungsintensitäten zu erwarten sind.

Allein am Planungsstandort selbst sind markante Strömungsmodifikationen zu bestimmen. Die geplante Durchwegung des neuen Wohnquartiers und die offen gestalteten Baublockstrukturen sichern größtenteils ausreichende Belüftungsintensitäten. **Allein im Baublock WA4 zeigen sich auch am Tag recht großflächig (> 50% Flächenanteil) Tendenzen zu Luftstagnation (= Wärmeakkumulation). Hier fehlt ein strömungsdynamisch ausreichend funktionierender Bezug zur zentralen Grün-/Platzfläche.**



### 5.3.2 Ergebnisse der Modellrechnungen für vorherrschende Südwinde - Tagsituation

Die Windstatistiken (**Abbildung 8, Grafik 1**) belegen, dass am Planungsstandort am Tag häufig Winde aus südlichen Richtungssektoren zu verzeichnen sind. Bei derartigen Situationen ist die strömungsdynamische Barrierewirkung einer potenziellen Bebauung am Planungsstandort in Richtung der Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße gerichtet.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Ist-Zustand (Abbildungen 27.1 und 27.2)** zeigen wiederum die strömungsdynamische Gunstwirkung der raugkeitsarmen Sportplatzflächen. Sie fungieren als bebauungsinterne Ventilationsflächen. Bei Windgeschwindigkeiten von 2.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. werden dort in den bodennächsten Luftschichten (1.5 und 4.5 m ü.G.) noch mittlere Windgeschwindigkeiten von über 1.0 m/s berechnet. Tendenzen zu Luftstagnation (Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) liegen im Untersuchungsgebiet nur sehr kleinräumig in unmittelbaren Gebäudeleelagen und im Bereich dichter Vegetationsbestände vor.

Bei Realisierung des **Plan-Zustands (Abbildungen 28.1 – 29.2)** kommt es nördlich des potenziellen „Quartiers am Ostpark“ zu bebauungsbedingten Windschatteneffekten, wodurch die Belüftungsintensität insbesondere im Bereich der Grundstücke Robert-Bosch-Straße 5, 7, 9, 11 und 13 um bis zu ca. 50% abnimmt. Die sich einstellende Belüftungsintensität entspricht jedoch weiterhin dem ortsspezifischen Niveau, wie es bspw. im Bereich der Ernst-Abbe-Straße vorzufinden ist. Eine großflächige Tendenz zu Luftstagnation (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) ist nicht zu befürchten.

Innerhalb des Neubauquartiers ist die Be- und Entlüftung durch die Blockstrukturen gegenüber lockerer Einzelhausbebauung zwar herabgesetzt, **großflächige Luftstagnationstendenzen sind bei vorherrschenden Südwinden jedoch allein im Bereich der zentralen Grünfläche festzustellen. Die einzelnen Baublöcke sind in noch ausreichendem Maße belüftet.**



## **6 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der thermischen Verhältnisse am Planungsstandort und in dessen Umfeld**

---

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

Bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen (ca. 22% der Tage im Jahr) ergeben sich im Untersuchungsraum auffallende kleinräumige Differenzierungen. Typisch für diese Situationen ist, dass sich in der Bebauung durch die Aufheizung von Baukörpern und befestigten Flächen starke Erwärmung und Wärmestaus (→ Tendenz zu bioklimatischen Belastungen) einstellen. Nach Sonnenuntergang kommt es innerhalb der Bebauung zu verzögerter Abkühlung, im Freiland hingegen zu intensiver Kaltluftproduktion vegetationsbedeckter Flächen und zur Ausbildung stabiler Luftschichtung (Bodeninversionen).

In der Stadt- und Regionalplanung ist man zunehmend bestrebt, angesichts des Klimawandels mit erhöhter sommerlicher Wärmebelastung (siehe Kap. 4), einer Überbauung von klimaökologischen Ausgleichsräumen (z.B. *Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen*) nur dann zuzustimmen, wenn die Planungen zu keinen großflächigen thermischen Zusatzbelastungen in der Bestandsbebauung führen.

Aus Sicht der Klimaökologie ist somit bei der baulichen und grünordnerischen Gestaltung des „Wohnquartiers am Ostpark“ darauf zu achten, dass der von der Neubebauung und von den versiegelten Flächen ausgehende Wärmeineffekt sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung („Wärmeaura“) gegenüber dem Ist-Zustand derart begrenzt wird, dass sich in der bestehenden Bebauung keine gravierenden Zusatzbelastungen einstellen.

Eine Analyse der Temperaturverteilung erfolgt in der Stadtklimatologie vorwiegend nach Sonnenuntergang, da sich im Verlauf der nächtlichen Abkühlungsphase die durch unterschiedliche Flächennutzung bzw. Oberflächenmaterialien (vegetationsbedeckte Oberflächen bzw. Baukörper) bedingten thermischen Unterschiede am stärksten ausbilden. Am Tag führt die labilere Luftschichtung über Konvektion zu einer geringeren Temperaturzonierung.

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

Die Modellrechnungen zur Bestimmung des ortsspezifischen Lufttemperaturfeldes mit dem Programmpaket ENVI-met (siehe Kap. 3) werden ebenfalls für zwei örtlich besonders relevante Windrichtungen (60° und 180°) durchgeführt.

Da im vorgelegten Planungskonzept die detaillierte Lage der Grünflächen und Wege in den geplanten Wohnblockhöfen noch nicht verortet ist, wurden im Zuge der Modellrechnungen die in den **Abbildungen 30 – 35** gekennzeichneten beispielhaften Grünflächen den Modellierungen zu Grunde gelegt. Im Innenhofbereich wurde von einem ca. 70%-igen Grünflächenanteil ausgegangen.

Zudem muss nochmals erwähnt werden, dass im Baublock WA3 im Norden die genaue Baustruktur (reihenhausartig) mit Gebäudezwischenräumen nicht feststeht und daher im Sinne eines Worst-Case-Szenarios eine geschlossene Bebauung angenommen wird.

## 6.1 Luftströmungen aus Ostnordosten

Die **Abbildung 30** zeigt für den Ist-Zustand die berechnete Lufttemperaturverteilung gegen 23:00 Uhr (intensive nächtliche Abkühlungsphase an einem heißen Sommertag –  $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ).

Bei Lufttemperaturen von ca. 23.2 – 24.0 °C entlang der Robert-Bosch-Straße und über 25.0°C im Nahbereich der Walter-Köbel-Halle zeigen sich über den Vegetationsflächen westlich der Georg-Jung-Straße und über der Grünfläche im nordwestlichen Planungsteilgebiet Lufttemperaturen von ca. 21.8 – 22.8°C. Die thermische Gunstfunktion der Vegetationsflächen wird offenbar. Die größtenteils gehölzüberstellten Grünflächen heizen sich an Sommertagen durch die Baum Schatten weniger stark auf und die Verdunstungsleistung der Vegetation (→ Bindung latenter Energie) forciert in den Nachtstunden die örtliche Abkühlung bzw. Kaltluftbildung. Die örtlich entstehende Kaltluft wird mit den vorherrschenden Ostnordostwinden in die Bestandsbebauung verfrachtet und unterstützt dort die nächtliche Abkühlung.

Die Kunstrasenplätze nehmen eine Mittelstellung zwischen Vegetationsflächen und versiegelten Arealen ein. Sie heizen sich am Tag zwar ähnlich stark auf wie schwarze Asphaltflächen, kühlen nach Sonnenuntergang jedoch rasch ab und die Oberflächentemperaturen sinken im Gegensatz zu Asphaltflächen unter die Werte der Lufttemperatur (siehe **Grafik 4**).

Mit potenzieller Realisierung des Wohngebietes „Quartier am Ostpark“ (**Abbildung 31**) geht am Planungsstandort thermisches Gunstpotenzial verloren.

Die gewählten grünordnerischen Maßnahmen (Baumpflanzungen, Anlage von Rasenflächen und Hausgärten, extensive Dachbegrünung) tragen jedoch dazu bei, dass die Intensität der nach Südwesten reichenden Warmluftfahne auf unter 1.0°C begrenzt bleibt (**Abbildung 32**). Somit wird dort das ortsspezifische Niveau der bioklimatischen Belastung nicht überschritten.

Innerhalb des Planungsgebiets bilden die zentrale Grünfläche und die begrünten Blockinnenbereiche wirksame Lufttemperatursenken. **Im Wohnblock WA4 könnte durch eine zusätzliche Öffnung in Richtung Ostnordosten die thermischen Situation noch effektiv verbessert werden.**

## 6.2 Luftströmungen aus Süden

Herrschen in den Nachtstunden Winde aus südlichen Richtungen vor, macht sich am Planungsstandort die thermischen Negativwirkung der großflächig versiegelten Flächen im Umfeld der Walter-Köbel-Halle bemerkbar.

Wie die Modellrechnungen für den Ist-Zustand dokumentieren (**Abbildung 33**), führt die Wärmeabstrahlung der versiegelten Stellplatzflächen zu einer deutlichen Wärmeinselausprägung. Mit den vorherrschenden Südwinden wird die dort lagernde Warmluft nach Norden in Richtung der Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße verfrachtet. Die Sportplatzflächen bilden dann thermisch wirksame Pufferflächen.

Mit Realisierung des neuen Wohnquartiers gehen einerseits diese lufttemperatursenkenden Pufferflächen verloren, andererseits bildet es auch eine Barriere gegenüber dem Warmlufteintrag aus dem Umfeld der Walter-Köbel-Halle.

Wie den **Abbildungen 34** und **35** zu entnehmen ist, entwickelt die geplante Bebauung eine eigene Warmluftfahne in Richtung Norden. Dabei übernehmen die Hausgärten im Bereich der Bestandsbebauung an der Robert-Bosch-Straße die thermische Pufferfunktion. Diese sichern ein weiterhin ortstypisches Lufttemperaturniveau. Die Intensität der nach Norden reichenden Warmluftfahne wird auch hier weitgehend auf unter 1.0°C begrenzt, was den klimaökologischen Zielvorstellungen entspricht.

Innerhalb des neuen Wohnquartiers stellt sich gegenüber der durchgrünten Wohnbebauung im Norden ein um ca. 0.8 – 2.0 K höheres Lufttemperaturniveau ein. Durch zusätzliche klimaökologische Ausgleichsmaßnahmen (z.B. helle Farbgebung der Fassaden, Verwendung möglichst heller Oberflächenbeläge bei den Erschließungswegen) lassen sich die örtlichen Lufttemperaturverhältnisse noch etwas verbessern (siehe Kap. 7).

## **7 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen**

---

Im Südosten von Rüsselsheim ist östlich der Adam-Opel-Straße im Bereich von zwei ehemaligen Großspielfeldern des SC-Opel-Sportgeländes und auf den westlich angrenzenden Parkierungs- und Grünflächen ein neues Wohnquartier geplant.

Der Planungsentwurf für das ca. 4.65 ha große Areal „Quartier am Ostpark“ zwischen der Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße / Ludwig-Opel-Straße im Norden, der Adam-Opel-Straße im Westen, der Max-von-Laue-Straße und der Walter-Köbel-Großsporthalle im Süden sowie dem Sportgelände der DJK SG Eintracht Rüsselsheim e.V. sieht insgesamt vier Wohnblöcke mit Grünhöfen (offene Blockrandbebauung) vor, die um einen zentralen Quartiersplatz mit Grünfläche angeordnet sind. Die Bebauung ist 2- bis 6-geschossig (teilweise zzgl. Staffelgeschoss) angelegt.

Die Grünflächenanteil in den Innenhöfen ist mit ca. 70% angegeben. Die Flachdächer sollen zu ca. 80% begrünt werden.

In Teilen der Erdgeschosszonen sind Gewerbe und/oder Gastronomie angedacht.

Im südöstlichen Teilbereich ist zudem eine Kita (2-geschossig) geplant.

Die Hauptwegebeziehung im Quartier führt diagonal von Osten nach Westen. Das Quartier ist autofrei. Die erforderlichen Stellplätze werden größtenteils über Tiefgaragenparkplätze bereitgestellt.

Im aktuellen Regionalen Flächennutzungsplan 2010 (Planstand 2017) des REGIONALVERBANDES FRANKFURTRHEINMAIN ist das Bebauungsplangebiet „Quartier am Ostpark“ als *Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen* (Grünfläche/Sportanlage) gekennzeichnet. Zusammen mit den Sportanlagen östlich der Georg-Jung-Straße und dem nordnordöstlich anschließenden Ostpark/Waldfriedhof bilden die weitgehend unbebauten Flächen einen stadtklimatisch bedeutsamen Grünraum mit den Funktionen Kalt- und Frischluftbildung.

Im Rahmen der erforderlichen Prüfung der Umweltbelange sind daher mit Hilfe eines Klimagutachtens die ortsspezifischen stadtklimatischen Umgebungsbedingungen unter besonderer Beachtung der kleinräumigen Belüftungsverhältnisse zu analysieren und die klimaökologischen Folgeerscheinungen der Planung zu bilanzieren und zu bewerten.

Wie sich aus den Klimadaten der DWD-Station Flugwetterwarte Frankfurt a. M. und der HLNUG-Luftmessstation Raunheim entnehmen lässt, herrschen am Planungsstandort in der Regel Winde aus südlichen bis südwestlichen und nordöstlichen Richtungssektoren vor. Durch bauliche Führungs- und Umlenkungseffekte kann es kleinräumig zu Richtungsverschiebungen kommen. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in Rüsselsheim je nach Lagesituation ca. 1.7 - 3.2 m/s (Bebauung / Freiland), wobei am Tag durch den allgemein intensiveren vertikalen Luftaustausch gegenüber den Nachtstunden höhere Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind.

In stadtklimatisch besonders relevanten windschwachen Strahlungs Nächten (ca. 22% der Tage im Jahr) wird das örtliche Luftaustauschgeschehen zunehmend durch lokal und regional angelegte Luftströmungen bestimmt.

Wie Ergebnisse von mesoskaligen Kaltluftströmungssimulationen auf Basis eines DGM\_10 (Digitales Geländemodell im 10 m-Raster) zeigen, entwickeln sich entlang des Ostparks in Strahlungsnächten aus der örtlichen Kaltluftentstehung und flurwindartige Nordostwinde, die auch das Planungsgebiet „Quartier am Ostpark“ überstreichen. Die mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeit in den bodennächsten Luftschichten (0 – 5 m ü.G.) ist aufgrund des fehlenden Gefälles allerdings gering (unter 1.0 m/s).

Bei potenzieller Realisierung des „Quartiers am Ostpark“ kommt es am Nord- und Südrand des neuen Quartiers durch Labilisierungseffekte gegenüber dem Ist-Zustand zu leichten Windbeschleunigungen (= klimaökologischer Positiverfekt), während in direkten Luv- und Leelagen Kaltluftstau bzw. Windschatteneffekte auftreten. Sie beschränken sich allerdings auf die unmittelbaren Nahbereiche (Teilbereiche der Sportflächen und der Wohnbebauung östlich der Georg-Jung-Straße und Hochhausbebauung westlich der Adam-Opel-Straße). Eine weiterreichende Schwächung der lokalen, kaltluftbedingten Belüftungsintensität ist nicht festzustellen.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist in einer stadtklimatisch relevanten Kaltluftleitbahn (hier: „Vorbehaltsgebiets für besondere Klimafunktionen“) eine großflächige Verringerung des Kaltluftvolumenstroms ab einem Wert von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als „gravierender Eingriff“ mit nachteiligen Folgen im Kaltluftzielgebiet (Wohnbebauung in Leelage zum Planungsgebiet) zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 6 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ einzustufen und können somit im Allgemeinen noch akzeptiert werden.

Ermittelt man in Leelage zum Planungsgebiet entlang der Adam-Opel-Straße die planungsbedingte relative Veränderung des nach Südwesten weiterfließenden Kaltluftvolumenstroms, so ergibt sich über das Bewertungsprofil (siehe **Grafik 6**, S. 17) mit einer Länge von ca. 350 m Länge ein Wert von -9.5%. Während im Ist-Zustand noch ein Kaltluftvolumenstrom von ca. 839 m<sup>3</sup>/s nach Südwesten strömt, reduziert sich dieser Wert nach potenzieller Realisierung des Wohngebiets „Quartier am Ostpark“ auf ca. 759 m<sup>3</sup>/s.

Eine stadtklimatisch bedeutsame Schwächung der Kaltluftströmung im Bereich des „Vorbehaltsgebiets für besondere Klimafunktionen“ tritt damit nicht ein.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen weisen zudem darauf hin, dass es insbesondere in den Blockinnenbereichen der Neubebauung stellenweise zu Stagnationstendenzen kommt. Ungünstig ist insbesondere die kaltluftbedingte Belüftungssituation im Baublock WA4, wo großflächig mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten von unter 0.1 m/s berechnet werden.

Auch die mikroskaligen Strömungssimulationen für bewölkte Nächte mit Nordostwind weisen auf ungünstige Belüftungsverhältnisse im Blockinnenbereich WA4 hin. Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen im Innenhof nahezu flächendeckend mittlere Windgeschwindigkeiten unter 0.2 m/s. Dies kann im Sommer bioklimatisch ungünstig zu bewertende Wärmestaus hervorrufen. Die beiden geplanten Blocköffnungen von jeweils ca. 12 m Breite sind nicht ausreichend, um eine ausreichende Be- und Entlüftung zu gewährleisten. Eine zusätzliche Blocköffnung (Breite min. 12 m, u.U. auch als überbauter Durchgang) nach Nordosten in Richtung der zentralen Grünfläche wäre anzustreben.

Die Blockinnenbereiche WA1, WA2 und WA3 zeigen sich hingegen ausreichend belüftet. Eine großflächige Tendenz zu Luftstagnation (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) ist nicht gegeben. Die gewählten Blocköffnungen mit Breiten von ca. 9 – 15 m sind ausreichend, um eine funktionierende Be- und Entlüftung zu sichern. Voraussetzung ist hierbei, dass in den Blocköffnungen keine großkronigen Bäume platziert werden, die an diesen Stellen als Strömungshindernis funktionieren.

Im Bereich der Kita (WA5) sind bei häufig vorherrschenden Nordostwinden ebenfalls ausreichende Belüftungsbedingungen zu bestimmen.

Herrschen am Planungsstandort Winde aus südlichen Richtungssektoren (Tag/Nacht) vor, so fungieren derzeit das Sportgelände und der Parkplatz im Südwesten als Ventilationsflächen mit vergleichsweise hohen mittleren Windgeschwindigkeiten. Hierdurch wird auch eine günstige Belüftungssituation im Bereich der Wohnbebauung nördlich des Planungsgebiets gewährleistet.

Mit Realisierung der Planung kommt es entlang der Adam-Opel-Straße und im Bereich der Max-von-Laue-Straße durch bebauungsbedingte Führungseffekte zu leichten Windbeschleunigungen, die klimaökologisch positiv zu bewerten sind. Diesen stehen jedoch im Planungsgebiet und in dessen Leelage im Norden Windabbremungen gegenüber.

Die planungsbedingten Windschatteneffekte betreffen allerdings nur einen kleinen Teilbereich der Wohnbebauung an der Robert-Bosch-Straße (Robert-Bosch-Straße 5, 7, 9, 11 und 13). Die bodennahe Windgeschwindigkeit (1.5 und 4.5 m ü.G.) wird um ca. 0.2 – 0.6 m/s herabgesetzt, eine prägnante Zunahme der Flächengröße mit Luftstagnationstendenzen (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.2 m/s) wird jedoch nicht bilanziert. Die Be- und Entlüftungsintensität entspricht weiterhin noch dem ortsspezifischen Niveau. Die Höhenbegrenzung der geplanten Bebauung am Nordrand auf 10.5 m macht sich positiv bemerkbar.

Innerhalb des Planungsgebietes sind bei vorherrschenden Schwachwinden aus südlichen Richtungen im Bereich der zentralen Grünfläche sowie im Wohnblock WA3 vermehrt Luftstagnationstendenzen zu bilanzieren. Wird im Baublock WA3 im Norden eine aufgebrochene Bebauungsstruktur realisiert, treten die Luftstagnationserscheinungen zurück.

Die Ergebnisse der mikroskaligen Modellrechnungen zur Lufttemperaturverteilung dokumentieren, dass bei Realisierung einer Bebauung nach vorgelegtem am Planungsstandort thermisches Gunstpotenzial verloren geht. Die gewählten grünordnerischen Maßnahmen (Baumpflanzungen, Anlage von Rasenflächen und Hausgärten, extensive Dachbegrünung) tragen jedoch dazu bei, dass in sommerlichen Strahlungs Nächten mit häufig vorherrschenden Nordostwinden die Intensität der nach Südwesten reichenden Warmluftfahne auf unter 1.0 K begrenzt bleibt. Somit wird dort das ortsspezifische Niveau der bioklimatischen Belastung nicht überschritten.

Innerhalb des Planungsgebiets bilden die zentrale Grünfläche und die begrün-ten Blockinnenbereiche wirksame Lufttemperatursenken. Im Wohnblock WA4 könnte durch eine zusätzliche Öffnung in Richtung Ostnordosten die thermischen Situation noch effektiv verbessert werden.

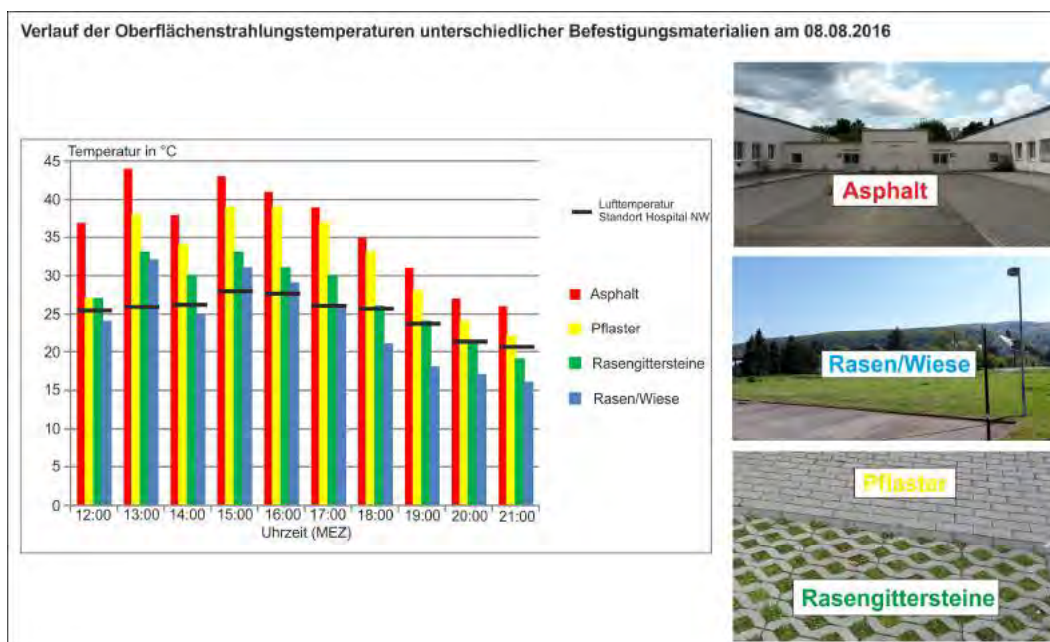
Bestimmen in den Nachtstunden Winde aus südlichen Richtungen die ortsspezifische klimaökologische Situation, wird mit Realisierung des neuen Wohnquartiers die bestehende Wohnbebauung entlang der Robert-Bosch-Straße zusätzlich mit „Warmluft“ aus dem Planungsgebiet beaufschlagt. Die berechnete Zunahme der Lufttemperatur ist aber auch hier weitgehend auf unter 1.0 K begrenzt, was den klimaökologischen Zielvorstellungen entspricht.



Innerhalb des neuen Wohnquartiers stellt sich gegenüber der durchgrünten Wohnbebauung im Norden ein um ca. 0.8 – 2.0 K höheres Lufttemperaturniveau ein.

Wie in Kap. 4 angeführt, wird im Zuge des globalen Klimawandels im Raum Rüsselsheim die Anzahl der heißen Tagen ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) und Sommertage ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) in den nächsten Jahrzehnten deutlich ansteigen. Auch mit einer Häufung von Tropennächten ( $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ) muss gerechnet werden. Es sind daher trotz der Bilanzierung nur recht kleinräumiger strömungsdynamischer und geringerer thermischer Zusatzbelastungen im Planungsumfeld möglichst über das Normalmaß hinaus thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahmen in der Bebauung anzustreben. Diese werden nachfolgend angeführt und können als Festsetzungen im Bebauungsplan aufgenommen werden.

Damit günstige thermische/bioklimatische Umgebungsbedingungen gesichert werden, sollten befestigte Erschließungswege auf das nur notwendige Maß reduziert werden. Zudem sollten die Wege- und Platzflächen mit möglichst hellen Oberflächenbelägen (z.B. hellgrauer Belag) ausgestaltet werden. Wie **Grafik 7** zeigt, weisen graue Pflasterbeläge gegenüber schwarzen Asphaltflächen deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen auf. Bei Parkplätzen sind Rasengittersteine zu wählen.



**Grafik 7:** Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbedeckungsarten  
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)



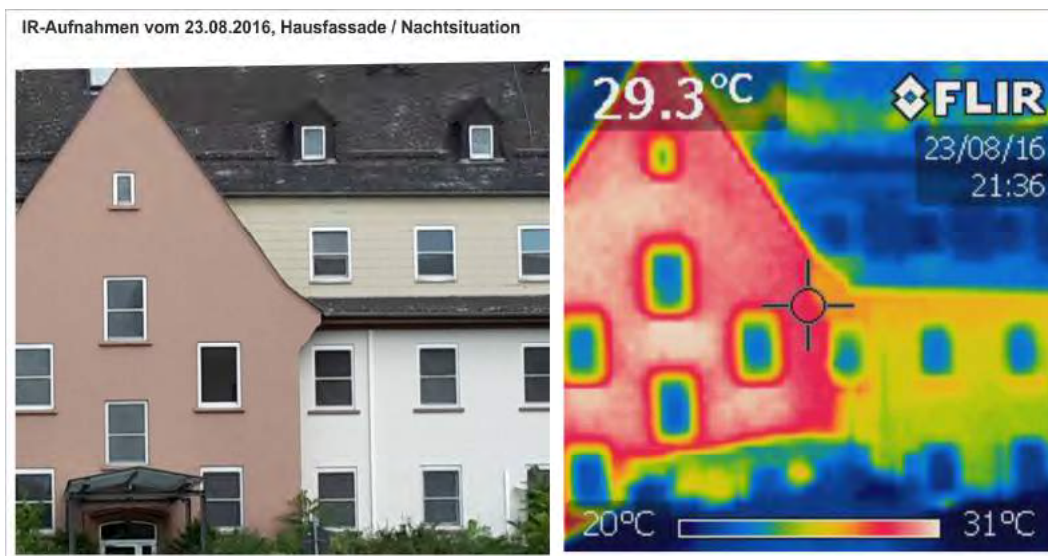
Im Bereich der zentralen Grünfläche ist ein Spielplatz geplant. Er sollte möglichst **naturnah** gestaltet werden (siehe **Grafik 8**).



**Grafik 8:** Kinderspielplatz mit Sandflächen als Absturzsicherung (Aufnahme: ÖKOPLANA)

Mögliche Tartanbeläge zur Vermeidung von Sturzverletzungen sollten ggf. auf die Bereiche **der Spielgeräte eng beschränkt bleiben**. Wie **Grafik 5** (S. 15) zeigt, können sich derartige Beläge (dunkelroter/blauer Tartanbelag) an warmen Sommertagen extrem aufheizen können. Bei Lufttemperaturen von 26°C zeigen sich Oberflächentemperaturen bis 40°C (besontnt). Rasenflächen und Sandflächen zeigen bei gleichen Einstrahlungsbedingungen Werte von 25°C und 34°C.

Auch durch die Wahl heller Fassadenfarben kann die bioklimatische Belastung im Nahbereich der Gebäude wirksam herabgesetzt werden. So führt die hohe Absorptionsfähigkeit dunkler Fassadenanstriche gegenüber **hellen Fassaden** zu deutlich höheren Oberflächentemperaturen (siehe **Grafik 9**).



**Grafik 9:** Oberflächentemperaturen unterschiedlich heller Fassaden  
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Zur weiteren Minimierung thermischer Negativeffekte sollten möglichst extensive Dachbegrünungen Berücksichtigung finden. Auf dem 2-geschossigen Kitagebäude wäre aus klimaökologischer Sicht sogar eine **intensive Dachbegrünung anzustreben**. Dachbegrünungen weisen folgende klimaökologischen Positiveffekte auf:

- Reduzierung der Luftschadstoffbelastung – insbesondere von Feinstaub – durch Erhöhung der schadstoffspezifischen Depositionsgeschwindigkeiten partikel- und gasförmiger Spurenstoffe. Durch die geringere Aufheizung der Luft über begrünten Dächern ist die vertikale Auftriebsströmung und somit die Staubaufwirbelung geringer.
- Dämpfung von Extremwerten der Oberflächentemperaturen durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen. An heißen Sommertagen sind extensive begrünte Dächer um ca. 17 – 33 K kühler als unbegrünte Dächer. Bei intensiv begrünten Dächern werden ca. 62-67% der eingestrahlten Energie in latente Wärme umgesetzt. Diese steht dann nicht mehr zur Erwärmung der Umgebungsluft zur Verfügung. Die Lufttemperatur über den Dächern (0.5 m) ist daher um ca. 0.6 – 1.5 K kühler (PFOSE ET AL. 2013).  
Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche. Es ist jedoch anzunehmen, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die Nachbarschaft aufweist.

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

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

Die in **Abbildung 17** skizzierte Lage von Bäumen im Planungsgebiet (nach: DIE LANDSCHAFTSARCHITEKTEN BITTKAU – BARTFELDER + INGENIEURE GBR 2018) kann unterstützt werden. Die Baumkronen erzeugen eine Beschattung, wodurch eine übermäßige Aufheizung am Boden unterbunden wird.

Im Bereich der Baublocköffnungen sollte auf die Anpflanzung großkroniger Bäume zugunsten der Durchströmbarkeit möglichst verzichtet werden.

Zusätzlich können ggf. weitere Verschattungselemente, z.B. (temporäre) Pergolen etc. (**Grafik 10**) in den warmen Sommermonaten als kühlere Aufenthaltsbereiche die Freiraumqualität in den geplanten „Wohnhofbereichen“ steigern.



**Grafik 10:** Pergola als Verschattungselement (Aufnahme: ÖKOPLANA)

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

**Fazit:**

Das vorgelegte Bebauungsplankonzept lässt keine klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung entgegenstehen. Unvermeidbare Beeinträchtigungen, die sich aus dem Projekt ergeben, können durch grünordnerische Maßnahmen derart aufgefangen werden, dass es im Planungsumfeld nicht zu einer gravierenden Verschlechterung des stadtklimatischen Qualitätsniveaus kommt.



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

Mannheim, den 19. März 2019

## Literaturverzeichnis/weiterführende Schriften

- BRUSE, M. (2003):** Stadtgrün und Stadtklima – Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. In: LÖBF-Mitteilungen 1/2003. S. 66 – 70.
- BRUSE, M. (2002/2018):** Envi-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (2013):** KLAMIS. Modellgestützte Klimaanalysen und –bewertungen für die Regionalplanung. Grundlagen für einen Leitfaden. Berlin.
- CHRISTOFFER, J.; ULBRICHT-EISSING, H. (1989):** Die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Nr. 147. Offenbach a. M.
- DIE LANDSCHAFTSARCHITEKTEN BITTKAU – BARTFELDER + INGENIEURE GBR (2018):** Quartier am Ostpark – Rüsselsheim am Main. Präsentation – Bebauungsplan-Vorentwurf. Wiesbaden.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2008):** Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM\_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2017):** Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz. Berichte des Dt. Wetterdienstes Nr. 249. Offenbach a. M.
- FRIEDRICHS, J. ET AL. (2014):** Klimaanpassung in Kommunen und Regionen – eine Praxishilfe des Umweltbundesamtes. In: UVP-Report 28 (3 + 4). Hamm. S. 133 - 138
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2015):** Stadtklimagutachten für die Stadt Heidelberg. Hannover, Mannheim.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2017):** Planungsempfehlungen für die (stadt-)klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg. Reihe KLIMOPASS-Berichte. Hrsg.: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- GIESE-EICHHORN (1998/2016):** Handbuch zum prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Wackernheim.
- 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.
- HMUKLV (2015):** 2. Fortschreibung. Luftreinhalteplan für den Belastungsraum Rhein-Main, Teilplan Rüsselsheim. Wiesbaden.
- MANN ET AL. (2000):** Wasserhaushalt begrünter Dächer. In: Dach + Grün. 1/2000
- PFOSER 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.

**Internetinformationen:**

<https://www.deutschesklimaportal.de>

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

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

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

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

<https://hlnug.de>

<https://www.klimafolgenonline.com>