

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

**KLIMAGUTACHTEN IM RAHMEN DES
BEBAUUNGSPLANVERFAHRENS „GUTENBERGSTRASSE“
DER STADT MAINTAL**



Auftraggeber:

TTSP HWP Consultants GmbH
Hanauer Landstraße 166
60314 Frankfurt am Main

Erstellt von ÖKOPLANA in Kooperation mit



GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Mannheim, 28. April 2026
Version 05

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	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet	4
3	Planungsentwurf	9
4	Untersuchungsmethodik	16
5	Klimaökologische Situation am Planungsstandort und Folgen des Klimawandels	18
5.1	Lokalklimatische Verhältnisse	18
5.2	Klimawandelfolgen	31
6	Numerische Modellrechnungen zum lokalen Klima- geschehen	36
6.1	Kaltluftprozessgeschehen	40
6.1.1	Nächtliche Kaltluftfließbewegungen	44
6.1.2	Nächtliche Lufttemperaturverteilung	50
6.2	Belüftungssituation am Tag	54
6.3	Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen am Tag	57
7	Schwadenbildung / Wolkenmodifikation	63
8	Zusammenfassung und Bewertung	67
9	Planungsempfehlungen	75
	Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften	83

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Lage des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“ im Stadtteil Bischofsheim der Stadt Maintal
- Abbildung 2:** Räumlicher Geltungsbereich des Bebauungsplangebiets „Gutenbergstraße“
- Abbildung 3:** Luftbild vom Bebauungsplangebiet „Gutenbergstraße“
- Abbildung 4:** Fotografische Dokumentation – derzeitige Nutzungen im Planungsgebiet
- Abbildung 5:** Topografische Lagesituation des Planungsgebiets „Rechenzentrum Hanau“
- Abbildung 6:** Ausschnitt aus dem Regionalen Flächennutzungsplan des Regionalverbands FrankfurtRheinMain 2010
- Abbildung 7:** Masterplan zum geplanten Rechenzentrumscampus im Gebiet „Gutenbergstraße“. Unverbindlicher Planungsstand 06.03.2026
- Abbildung 8:** Planungsentwurf des Rechenzentrumscampus – Schnitte (Brandklassifizierung – Ansichten Ost und West). Unverbindlicher Planungsstand 06.02.2026.
- Abbildung 9:** Luftaustrittstemperaturen bei den Rückkühlern in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur
- Abbildung 10:** Planungsentwurf des Rechenzentrums – 3D-Ansicht. Unverbindlicher Planungsstand 06.02.2026
- Abbildung 11:** Gemittelter Jahresgang der Temperatur und des Niederschlags im Zeitraum 1971-2000.
- Abbildung 12:** Ausschnitt aus der Starkregenhinweiskarte der HLNUG (2001 – 2020)
- Abbildung 13:** Windstatistik DWD Offenbach Wetterpark Offenbach
- Abbildung 14:** Windrichtungsverteilung den Stationen DWD-Offenbach-Wetterpark und Mainwiese im Zeitraum 01.04.2012 – 01.20.213

- Abbildung 15:** Schematische Darstellung von Kaltluftbewegungen in Siedlungslagen am Übergang Bergland – Ebene
- Abbildung 16:** Berechneter Kaltluftvolumenstrom in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht im Planungsgebiet und in dessen Umfeld
- Abbildung 17:** Klimatopkarte für Maintal, Nidderau und Schöneck
- Abbildung 18:** Klimatopkarte für Maintal, Nidderau und Schöneck unter Berücksichtigung bekannter Planungen zur Stadtentwicklung
- Abbildung 19:** Betroffenheit der allgemeinen Bevölkerung von sommerlicher Hitze)
- Abbildung 20:** Planungshinweiskarte von Maintal
- Abbildung 21:** Entwicklungspfade von Emissionen an Treibhausgasen der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien
- Abbildung 22:** Auswirkungen des Klimawandels auf die Lufttemperatur in der Region von Maintal unter Betrachtung des RCP-Szenarios 8.5 für Zeithorizonte im 21. Jahrhundert
- Abbildung 23:** Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen
- Abbildung 24.1:** Flächennutzung im Modellgebiet, Ist-Zustand
- Abbildung 24.2:** Flächennutzung im Modellgebiet, Plan-Zustand
- Abbildung 25:** Prinzipskizze Kaltluftvolumenstromdichte
- Abbildung 26:** Kaltluftproduktionsraten - Ist-Zustand
- Abbildung 27:** Kaltluftproduktionsraten - Plan-Zustand
- Abbildung 28:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der Kaltluftproduktionsraten
- Abbildung 29:** Ist-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 30:** Plan-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 31:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

- Abbildung 32:** Ist-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte (bis 50 m ü. G. aggregiert) und Kaltluftfließrichtung (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 33:** Plan-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte (bis 50 m ü. G. aggregiert) und Kaltluftfließrichtung (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 34:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung des Kaltluftvolumenstroms in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 35:** Ist-Zustand. Lufttemperaturverteilung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 36:** Plan-Zustand. Lufttemperaturverteilung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 37:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abbildung 38:** Ist-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)
- Abbildung 39:** Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)
- Abbildung 40** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)
- Abbildung 41** Beispielhafter Tagesgang der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) an einem warmen Sommertag
- Abbildung 42:** Ist-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)
- Abbildung 43:** Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)
- Abbildung 44** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der bioklimatischen Belastung (PET-Werte) 1.1 m ü.G. an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)

- Abbildung 45:** Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Kaminen.
- Abbildung 46:** Deckblatt der HLNUG-Broschüre „Gewerbegebiete – klimaangepasst und fit für die Zukunft“
- Abbildung 47:** Beispielhafte Darstellung einer Stellplatzüberdachung mit extensiver Dachbegrünung
- Abbildung 48:** Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen
- Abbildung 49:** Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne und beispielhafter Pflastersteine
- Abbildung 50:** Oberflächentemperaturen heller und dunkler Fassaden

1 Einleitung und Aufgabenstellung

In der Stadt Maintal soll im südwestlich gelegenen Gewerbegebiet Maintal-West des Stadtteils Bischofsheim die planungsrechtliche Grundlage für die Errichtung eines Rechenzentrumscampus geschaffen werden.

Das Vorhaben umfasst den Neubau eines hochmodernen Rechenzentrumscampus, ergänzt durch zugehörige Bürogebäude sowie die für den Betrieb eines Rechenzentrums erforderlichen Notstromgeneratoren. Darüber hinaus ist im westlichen Bereich des Plangebietes die Errichtung eines Umspannwerks zur Sicherstellung der Stromversorgung des Rechenzentrumscampus geplant. Das Vorhaben dient der Stärkung der flächenhaften Digitalisierung und leistet einen wichtigen Beitrag zur Sicherung und Weiterentwicklung des Wirtschaftsstandortes Maintal sowie der Metropolregion FrankfurtRheinMain.

Die Lage des Planungsgebiets, das sich ca. 1.5 km südwestlich des Zentrums von Bischofsheim befindet und eine Flächengröße von ca. 10.6 ha aufweist, kann der **Abbildung 1** entnommen werden. Es befindet sich zwischen der A 66 im Norden und der südlich des Gebiets verlaufenden Bahnlinie Frankfurt am Main – Hanau. Östlich des Planungsareals grenzen bestehende Gewerbebauten an.

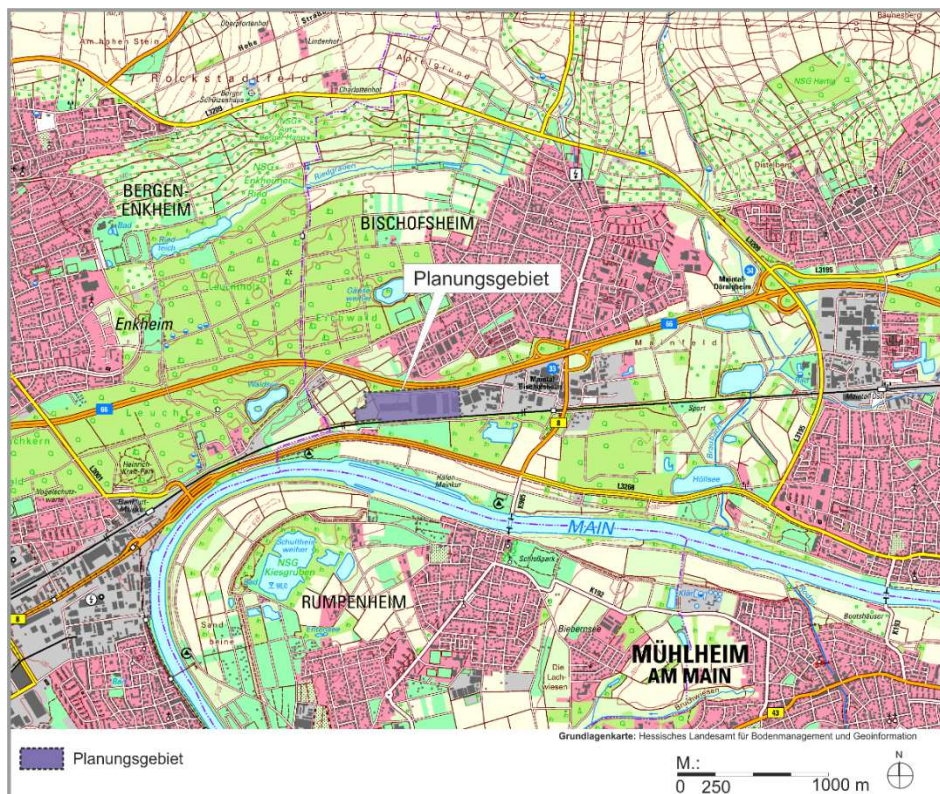


Abbildung 1: Lage des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“ im Stadtteil Bischofsheim der Stadt Maintal

Das Plangebiet ist im Regionalen Flächennutzungsplan FrankfurtRheinMain (2010) zum Großteil als bestehende gewerbliche Baufläche dargestellt. Ein kleiner Teilbereich im Westen des Plangebietes ist als geplante gewerbliche Baufläche dargestellt. Die geplante Ausweisung eines Gewerbegebietes innerhalb des Plangebietes gilt somit gem. § 8 Abs. 2 BauGB als aus dem Regionalen Flächennutzungsplan 2010 entwickelt und entspricht gem. § 1 Abs. 4 BauGB den Zielen des Regionalplans Südhessen.

Der westliche Teilbereich des Plangebietes befindet sich im räumlichen Geltungsbereich des Bebauungsplans „Gewerbegebiet Maintal West, Flur 22“. Dieser setzt für das Plangebiet ein Gewerbegebiet mit einer Grundflächenzahl (GRZ) von 0.8 und einer maximal zulässigen Gebäudehöhe von 117.0 m ü. NHN fest. Technische Aufbauten werden auf die festgesetzte maximal zulässige Gebäudehöhe nicht angerechnet.

Der mittlere Teilbereich des Plangebietes befindet sich im räumlichen Geltungsbereich des Bebauungsplans „Erweiterung des Gewerbegebietes Maintal-West“. Dieser setzt für das Plangebiet ein Gewerbegebiet mit einer GRZ von 0.6 und einer maximal zulässigen Gebäudehöhe von 17.0 m fest.

Der östliche Teilbereich des Plangebietes befindet sich im ungeplanten Innenbereich. Die planungsrechtliche Zulässigkeit von Vorhaben richtet sich hier nach § 34 BauGB – Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile.

Das geplante Vorhaben ist auf der Grundlage der für Teilbereiche des Plangebietes rechtskräftigen Bebauungspläne nicht genehmigungsfähig.

Zur Realisierung eines Rechenzentrumscampus ist im Hinblick auf das Maß der baulichen Nutzung eine GRZ von 0.8 erforderlich. Für die max. zulässige Gebäudehöhe inklusive der Technikaufbauten auf den Dachflächen ist ein Maß von 27.0 m über dem geplanten Höhengniveau des Gewerbegebiets GE (102.50 m ü. NHN).

Im Rahmen des anstehenden Planungsprozesses sind die klimaökologischen Folgeerscheinungen des geplanten Rechenzentrumscampus zu analysieren und zu bewerten.

Mit den geplanten baulichen Veränderungen im Bebauungsplangebiet „Gutenbergstraße“ ist mit einer Modifikation des lokalen Kaltluftprozessgeschehens zu rechnen. Des Weiteren ist nicht auszuschließen, dass sich im Planungsumfeld durch die veränderten Baustrukturen und die zu erwartenden Wärmeemissionen der Rechenzentren die lokalen Belüftungsverhältnisse am Tag sowie die thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen verändern.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen Baumaßnahmen auf das örtliche klimatische Wirkungsgefüge sind auf Grundlage vorhandener Klimadaten [u.a. DEUTSCHER WETTERDIENST, MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)¹] und numerischer Modellrechnungen die klimaökologischen Positiv- und Negativeffekte zu bilanzieren und zu bewerten. Dabei wird der Plan-Zustand dem Ist-Zustand gegenübergestellt.

Über die Formulierung von ergänzenden Planungshinweisen / Leitplanken werden ggf. Maßnahmen zur Sicherung günstiger strömungsdynamischer und thermischer / bioklimatischer Verhältnisse aufgezeigt.

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

- 1 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 numerischer Modellrechnungen (Kaltluftdynamik, Belüftungsintensitäten, thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen).
 - a) Vergleichende Beurteilung des lokalen Kaltluftströmungsgeschehens in windschwachen sommerlichen Strahlungsnächten (Ist- und Plan-Zustand).
 - b) Vergleichende Beurteilung des Austauschverhaltens / Belüftungsintensität am Tag (Ist- und Plan-Zustand).
 - c) Vergleichende Beurteilung bzgl. der thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen (Ist- und Plan-Zustand).
- 3 Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer und thermischer/bioklimatischer Umgebungsbedingungen (Planungsempfehlungen).

¹ MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024): Stadtklimaanalyse für die Städte Nidderau und Maintal sowie für die Gemeinde Schöneck. Planegg.

2 Planungsgebiet

Das Plangebiet besitzt eine Größe von 106.486 m² (ca. 10.6 ha) und liegt am südlichen Rand des Stadtteils Bischofsheim der Stadt Maintal innerhalb des Gewerbegebietes Maintal-West. Das Plangebiet ist über die Gutenbergstraße vollständig erschlossen und befindet sich teilweise in der Flur 21 (Flurstücke 65/27 tlw., 75/9, 75/12, 88/2 tlw., 88/3) und teilweise in der Flur 22 (Flurstücke 74, 75, 76, 89 tlw. und 92 tlw.) der Gemarkung Bischofsheim (siehe **Abbildungen 2** und **3**).

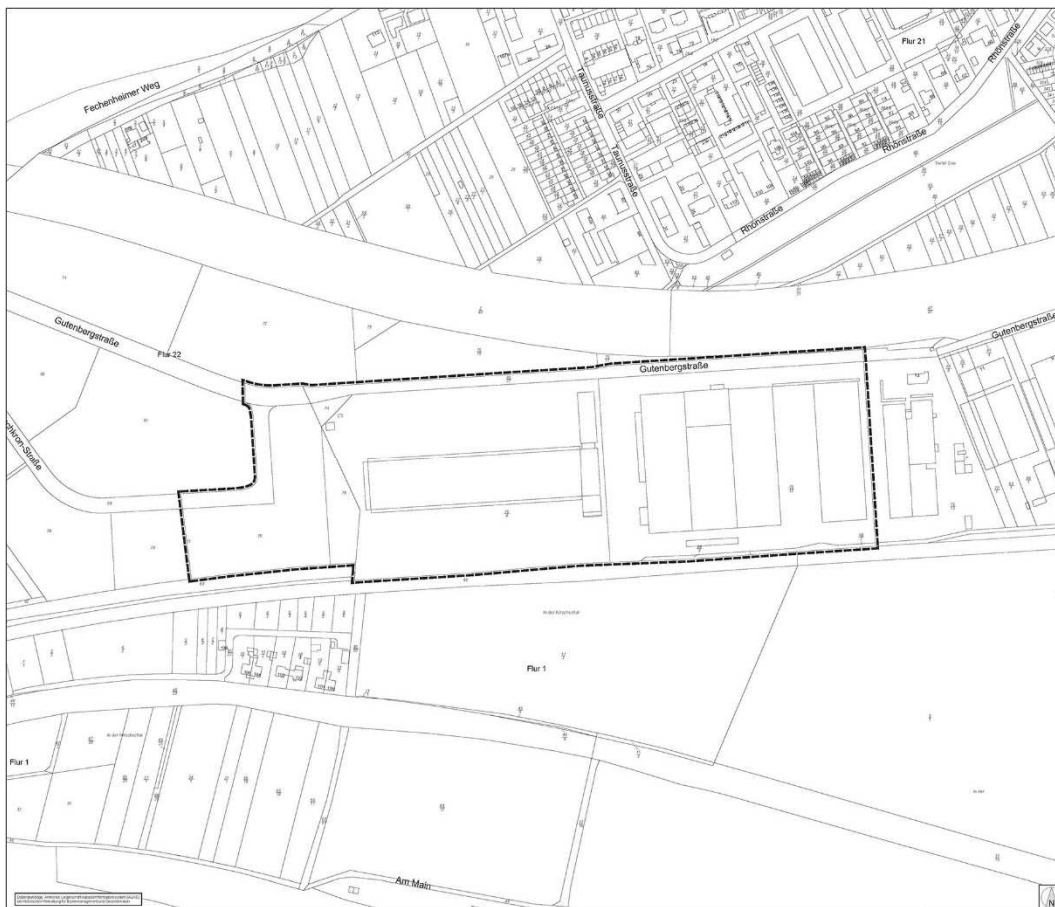


Abbildung 2: Räumlicher Geltungsbereich des Bebauungsplangebiets „Gutenbergstraße“
(Grafik bereitgestellt von: PLANERGRUPPE ROB GMBH)

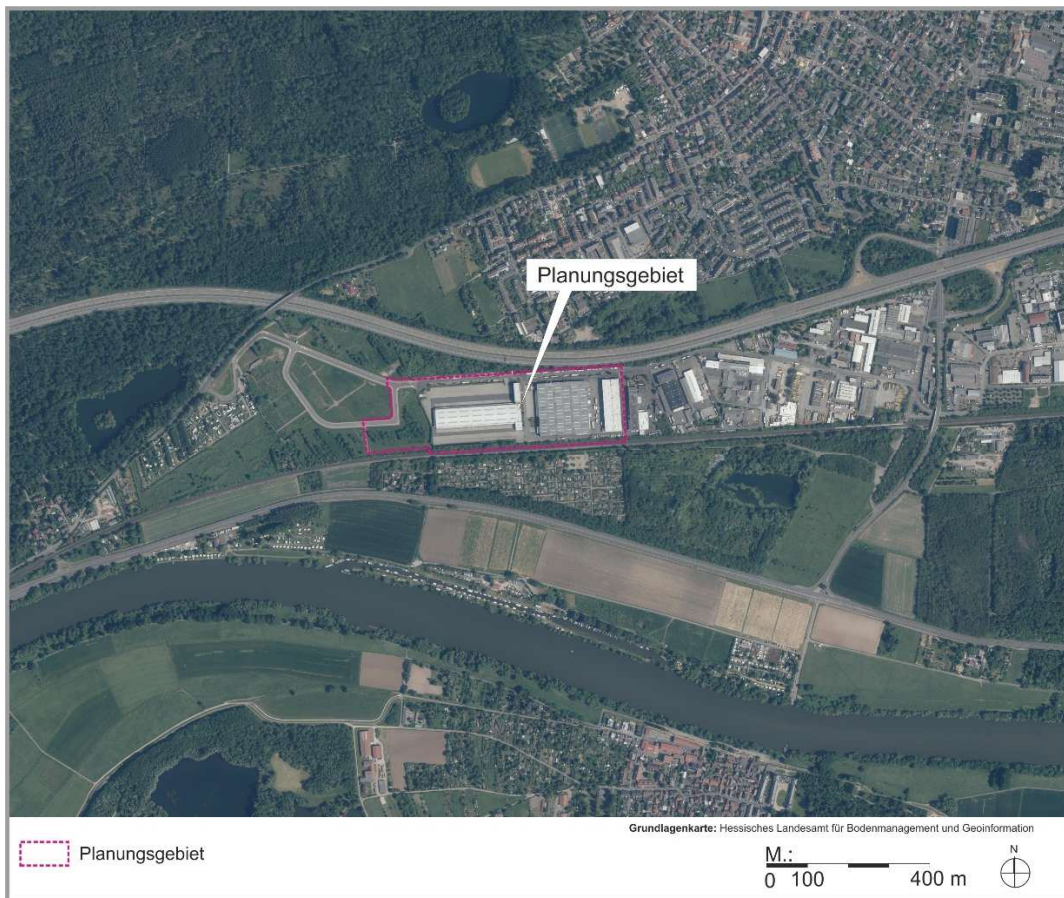


Abbildung 3: Luftbild vom Bebauungsplangebiet „Gutenbergstraße“

Abbildung 4 vermittelt einen Eindruck von der bisherigen Bebauung am Planungsstandort. Neben langgestreckten Logistikgebäuden mit großflächig versiegelten Erschließungs- und Stellplatzarealen bestehen 2- bis 3- geschossige Bürogebäude. Damit liegt bereits heute entlang der Gutenbergstraße eine deutliche strömungsdynamische Barrierewirkung in Nord-Süd-Richtung vor.

Im Süden wird das Plangebiet durch die Bahnlinie Frankfurt am Main – Hanau begrenzt. Nördlich des Plangebiets befindet sich die Bundesautobahn A 66. Östlich des Plangebiets grenzen bestehende Gewerbeflächen des Gewerbegebietes Maintal-West an. Westlich des Plangebiets befinden sich bislang noch unbebaute Flächen des Gewerbegebietes Maintal-West.

Die Entfernung des Planungsgebiets zu den nächstgelegenen Wohngebäuden an der Ecke Taunusstraße / Rhönstraße im Norden beträgt etwa 130 m, wobei zwischen Planungsgebiet und Wohngebiet durch die dazwischen verlaufende A 66 eine räumliche Trennung gegeben ist.



Abbildung 4: Fotografische Dokumentation – derzeitige Nutzungen im Planungsgebiet.

Die Geländehöhe im Planungsgebiet bewegt sich zwischen ca. 100 und 101 m ü. NHN (siehe **Abbildung 5**) und damit ca. 5 m über dem Niveau des ca. 500 m südlich des Gebiets verlaufenden Mains.

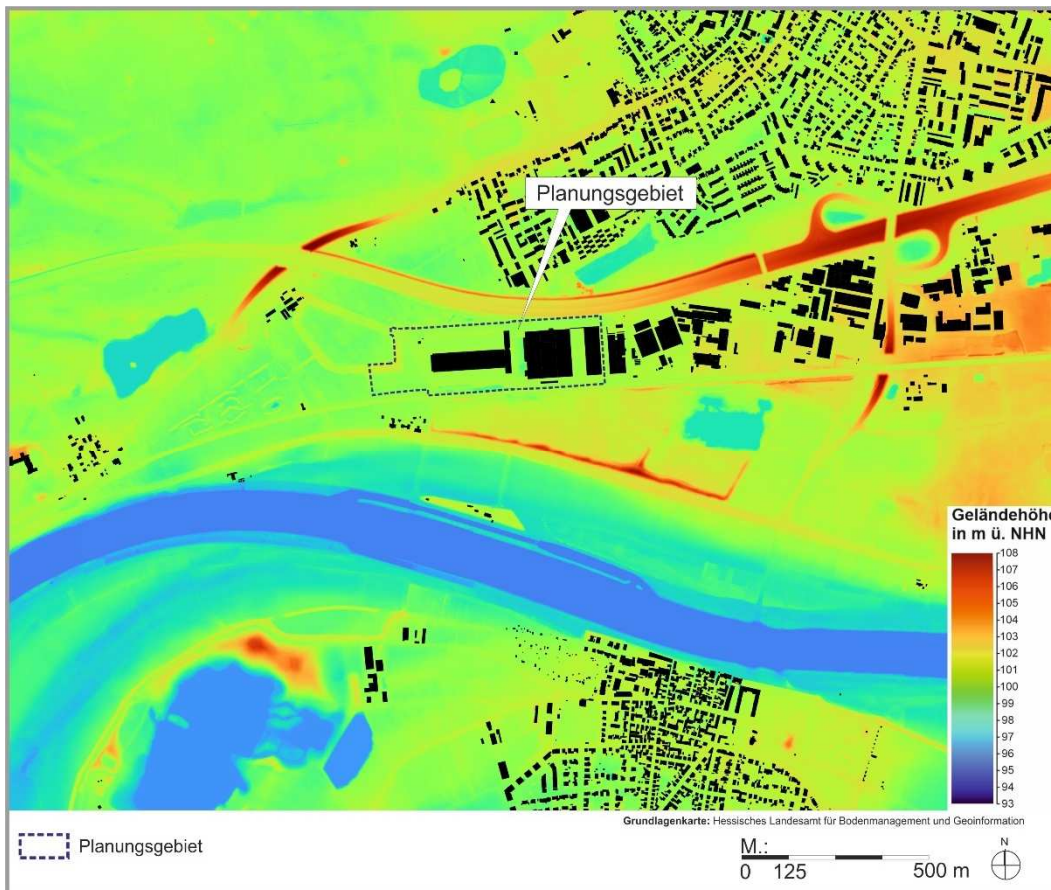


Abbildung 5: Topografische Lagesituation des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“

Der Regionale Flächennutzungsplan 2010 (RegFNP) des REGIONALVERBANDS FRANKFURTRHEINMAIN (**Abbildung 6**) weist das Planungsgebiet als bestehende gewerbliche Baufläche aus. Ein kleiner Teilbereich im Westen wird als gewerbliche Baufläche dargestellt.

Unmittelbar nördlich des Planungsgebiets und der A 66 befindet sich ein Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen. Gleiches gilt für die Flächen südlich und westlich des Planungsgebiets, wobei große Teile des Umfelds als Vorranggebiet Regionaler Grünzug gekennzeichnet sind.

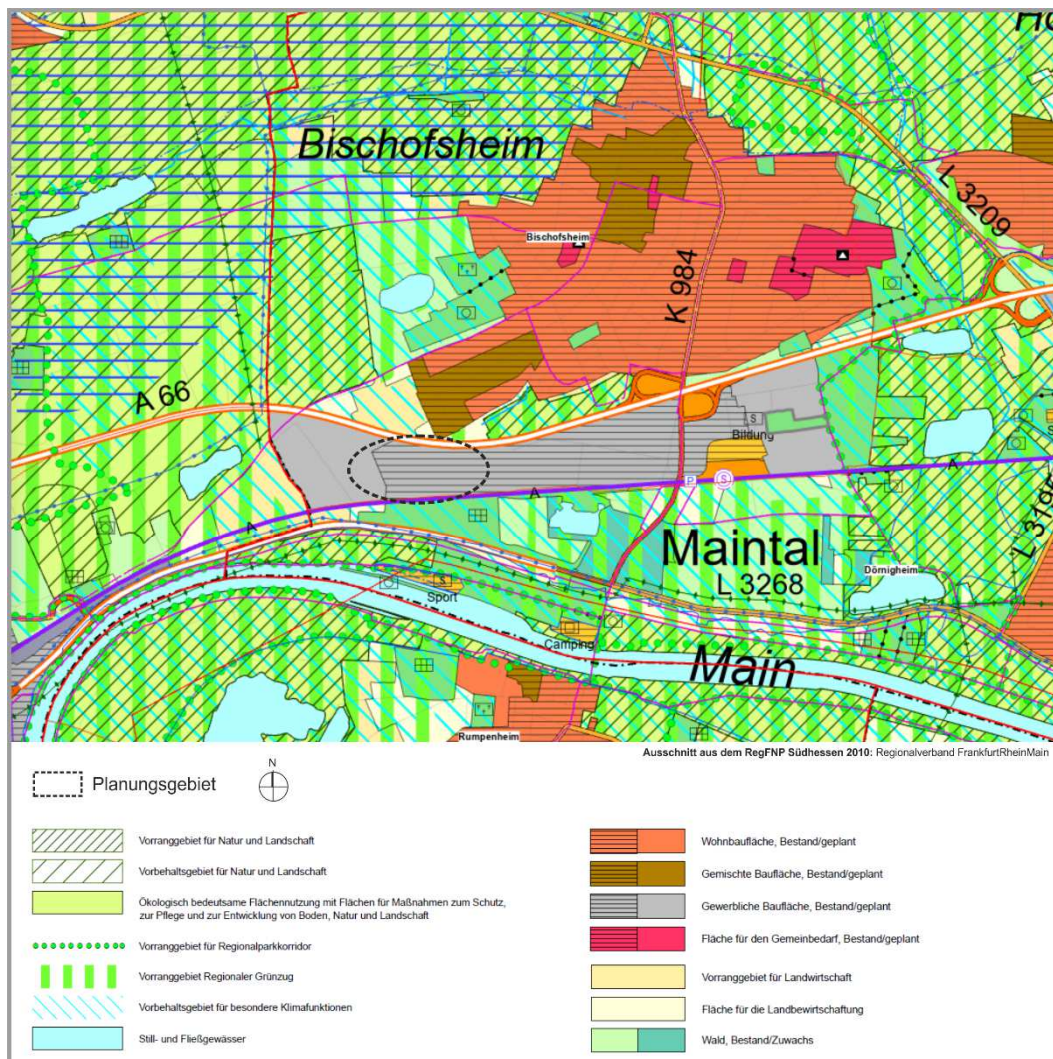


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Regionalen Flächennutzungsplan des Regionalverbands FrankfurtRheinMain 2010. Grafikquelle: REGIONALVERBAND FRANKFURTRHEINMAIN (<https://www.region-frankfurt.de/Unsere-Themen-Leistungen/Regionaler-Fl%C3%A4chennutzungsplan/G%C3%BCltiger-RegFNP-2010/>)

3 Planungsentwurf

Im Hinblick auf die städtebauliche Zielsetzung ist es beabsichtigt, ein Gewerbegebiet planungsrechtlich vorzusehen. Innerhalb des festzusetzenden Gewerbegebiets soll neben weiteren gewerblichen Nutzungen auch die Errichtung eines Rechenzentrumscampus möglich sein. Bei einem Rechenzentrum handelt es sich um eine gewerbliche Nutzung, die in einem Gewerbegebiet allgemein zulässig ist. Jedoch ist u.a. das Maß der baulichen Nutzung im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen eines Rechenzentrumscampus zu definieren.

Zur Genehmigungsfähigkeit und Ansiedlung eines Rechenzentrumscampus sollen innerhalb des Plangebietes eine Grundflächenzahl (GRZ) von 0,8, eine ausreichend dimensionierte überbaubare Grundstücksfläche sowie eine abweichende Bauweise mit einer maximalen Gebäudebreite festgesetzt werden. Zudem sind für das Maß der baulichen Nutzung Angaben zur Geschossflächenzahl (GFZ), Baumassenzahl (BMZ), der zulässigen Gebäudehöhen sowie der Überschreitung der Gebäudehöhe durch Schornsteine und Abluftkanäle vorgesehen. Durch die Ermöglichung einer hohen baulichen Ausnutzung innerhalb des Gewerbegebiets soll dem Grundsatz des sparsamen Umgangs mit Grund und Boden Rechnung getragen werden. Ebenso sollen zur stadtgestalterischen Eingliederung des Rechenzentrumscampus sowie aus umwelt- und naturschutzrechtlichen Gründen grünordnerische Festsetzungen zur Begrünung von Grundstücksfreiflächen, Tiefgarabegrünung sowie Dach- und Fassadenbegrünung getroffen werden. Zur Berücksichtigung der Anforderungen an den Artenschutz sollen zudem fachspezifische Festsetzungen in den Bebauungsplan aufgenommen werden.

Ziel der Aufstellung des Bebauungsplans ist die Sicherstellung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung gem. § 1 Abs. 3 BauGB unter Berücksichtigung u.a. von Umwelt-, Immissions-, Verkehrs- und Klimaschutzbelangen sowie die Gewährleistung von Planungssicherheit für die Stadt Maintal, den Vorhabenträger sowie die Anlieger.

Der Masterplan (**Abbildung 7**) zeigt zwei Rechenzentrumsgebäude, die durch bauliche Nebenanlagen (u. a. Umspannwerk im Westen und Büro-/Lagerräume je am westlichen Randbereich der Rechenzentren) ergänzt werden. Die mögliche Höhenentwicklung der potenziellen Rechenzentren kann der **Abbildungen 8** (unverbindlicher Planungsstand) entnommen werden.

Laut Bebauungsplanvorentwurf vom 23.03.2026 beträgt die maximal zulässige Gebäudehöhe 27.00 m. Die Festsetzung der maximal zulässigen Gebäudehöhe bemisst sich anhand des oberen Abschlusses des Gebäudes einschließlich technischer Aufbauten und Schallschutzanlagen. Der untere Bezugspunkt wird mit 102.50 m über NHN festgesetzt. Schornsteine und Abluftkanäle dürfen die festgesetzte maximal zulässige Gebäudehöhe überschreiten.

Die Haupteerschließung des Gesamtgeländes erfolgt über einen neuen Straßenzug im Westen des Planungsgebiets.

Zur inneren verkehrlichen Erschließung des Rechenzentrums dient eine Ringstraße, an welcher die erforderlichen Pkw-Stellplatzflächen bereitgestellt werden.

Darüber hinaus ist im westlichen Bereich des Plangebietes die Errichtung eines Umspannwerks (Substation) zur Sicherstellung der Stromversorgung des Rechenzentrumscampus geplant. Im südlichen Teil des Plangebietes befinden sich außerdem einzelne Tanks zur Speicherung von Wasser.

Zur Gestaltung günstiger lokalklimatischer Umgebungsbedingungen sind im Planungsgebiet nachfolgende Maßnahmen vorgesehen:

- 1) Die Grundstücksfreiflächen sind beispielsweise mit Bäumen, Sträuchern, Stauden oder Rasen- und Wiesenflächen zu begrünen. Je angefangene 200 qm der Grundstücksfreifläche oder je 5 angefangene Abstellplätze ist ein standortgerechter Baum (Laubbaum) mit einem Stammumfang von mindestens 18 cm – gemessen in 1 m Höhe - anzupflanzen, zu pflegen und dauerhaft zu erhalten. Die Grundstücksfreiflächen sind wasserdurchlässig zu belassen oder herzustellen.
- 2) Das auf den Grundstücken anfallende Niederschlagswasser ist, soweit wasserrechtliche und wasserwirtschaftliche Belange nicht entgegenstehen, auf dem Grundstück zurückzuhalten und durch geeignete Anlagen zu sammeln und zu verwerten.
- 3) Bei der Farbgebung der Gebäudefassaden und Oberflächenbefestigungen (Beton, Asphalt, Pflaster, wassergebundene Wegedecken) sind Materialien und Farbtöne mit geringer Wärmespeicherung zu verwenden. Der L-Wert des RAL Design Systems muss mindestens 50 oder heller sein. Von der Festsetzung ausgenommen sind:
 - Verkehrsflächen,
 - untergeordnete Fassadenbekleidungen oder -elemente, die der Außengestaltung bzw. Gliederung der Fassade dienen,

- Fassadenbekleidungen aus Naturstein und Holz, sowie
 - Photovoltaikanlagen.
- 4) Alle Dächer mit einem Neigungswinkel von bis zu 8° sind mit mindestens 6 cm Vegetationsschicht zuzüglich Filter- und Drainageschicht vollständig zu begrünen. Ausgenommen sind technische Anlagen und nutzbare Freibereiche auf den Dächern. Eine Kombination der Begrünung mit Solaranlagen ist zulässig.
- 5) Fassadenflächen sind ausschließlich bei Neubauten bis zu einer Höhe von 3 m abzüglich der Fenster- und Türöffnungen zu mindestens 50% flächig zu begrünen.

Sofern eine Begrünung von Dachflächen und Fassaden aus technischen/statischen Gründen nicht möglich ist, sind alternative Begrünungen nachzuweisen oder herzustellen.



Abbildung 7: Masterplan zum geplanten Rechenzentrumscampus im Gebiet „Gutenbergstraße“. Unverbindlicher Planungsstand 06.03.2026 (Grafik bereitgestellt von TTSP HWP CONSULTANTS GMBH)

Auf den Dachflächen der beiden Rechenzentren sind technische Aufbauten platziert, die zur ständigen Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen. Je nach eingesetzter Technik dienen dazu Abluftventilatoren oder Rückkühler.

Laut Vorhabenträger kann von nachfolgender Technik ausgegangen werden:

Number of Equipment	FRA174	FRA175
Exhaust Fans	148	172
Chillers	3	3
CRAC Condensers	52	60
VRF Condensers	2	2
Split Unit Condensers	8	8

Die Luftaustrittstemperatur beträgt bei den Abluftventilatoren bis zu ca. 43°C. Die vertikale Austrittsgeschwindigkeit beläuft sich auf ca. 11.6 m/s.

Da die detaillierte Technik noch nicht vorliegt, wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios bei den nachfolgenden Modellrechnungen vom Einsatz sog. Rückkühler ausgegangen. Wie der **Abbildung 9** entnommen werden kann, ist die Austrittstemperatur der Luft aus den Rückkühlern nicht konstant. Sie hängt von der Umgebungstemperatur ab. In der Regel liegen die Luftaustrittstemperaturen bei ca. 25 – 30°C. An heißen Tagen mit Lufttemperaturen über 31°C steigen die Werte bis auf ca. 51°C an. Die Luftaustrittsgeschwindigkeit liegt bei 8 – 10 m/s. Die letztgenannten Werte werden bei den Modellrechnungen zu Grunde gelegt. Die Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar.

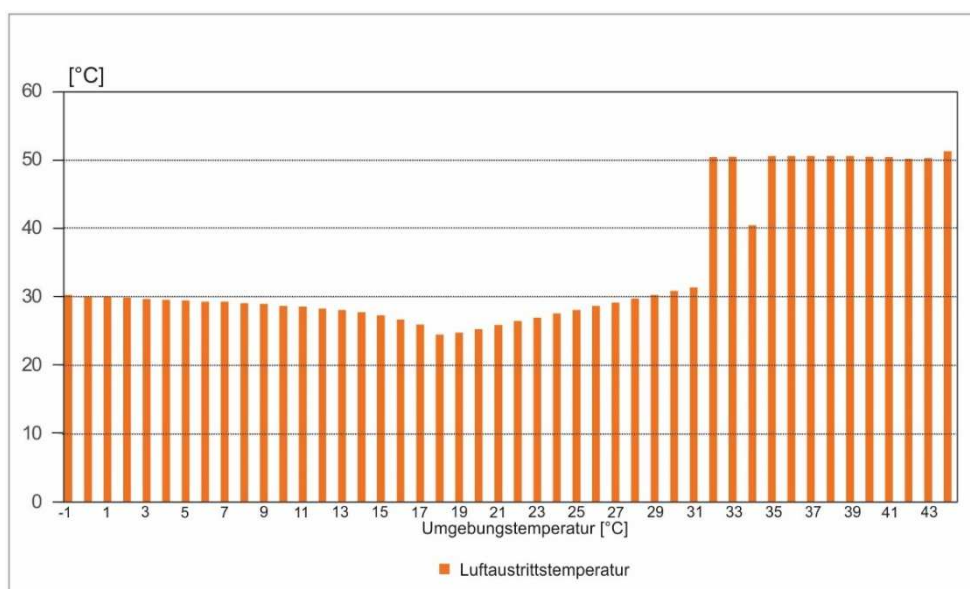


Abbildung 9: Luftaustrittstemperaturen bei den Rückkühlern in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur. Daten bereitgestellt von TTSPHWP CONSULTANTS GMBH

Die erforderlichen Kamine, die die Abgase von Notstromaggregaten bündeln, sind in der aktuellen Planungsphase im südlichen Bereich des Gewerbegebietes untergebracht, damit ein möglichst großer Abstand zu dem nördlich der Bundesautobahn A 66 gelegenen Wohngebiet hergestellt wird (siehe **Abbildung 10**).

Bei den Kaminen wird von einer Austrittstemperatur von ca. 550 °C und einer Austrittsgeschwindigkeit von ca. 11.1 m/s ausgegangen.

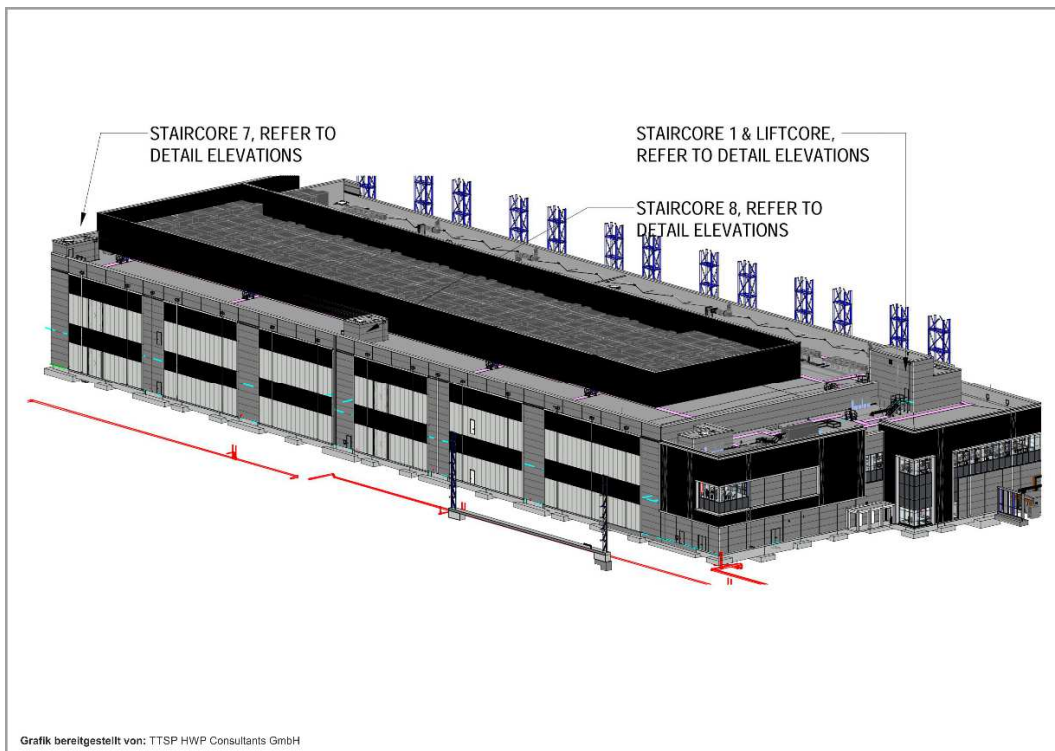


Abbildung 10: Planungsentwurf des Rechenzentrums – 3D-Ansicht. Unverbindlicher Planungsstand 06.02.2026. Grafik bereitgestellt von TTSP HWP CONSULTANTS GMBH

Die Notstromaggregate werden in der Regel nur tagsüber zu Überprüfungszwecken (12 – 15 mal im Jahr), für einen „Black Building Test“ (einmal pro Jahr) sowie bei Messungen im Rahmen der 44. BImSchV in Betrieb genommen. Die Tests sind somit über das Gesamtjahr gesehen nur Kurzzeitereignisse.

Ausnahme kann der Ausfall des Stromnetzes sein, der den Start der Generatoren erforderlich macht. Die Häufigkeit und der Zeitpunkt dieses Ereignisses ist nicht vorherzusagen.

4 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens erfolgt zur Beurteilung der lokalklimatischen Situation und zur Erarbeitung klimatisch relevanter Planungsempfehlungen zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe. Hierbei wird u.a. auf Klimadaten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES [DWD] und von MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) zurückgegriffen. Des Weiteren werden Daten zu den lokalen Klimawandelfolgen ausgewertet.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe des seit vielen Jahren im Gutachtensektor eingesetzten und vielfach geprüften Klimamodells FITNAH-3D (GROSS, G. 1992, 2017²) für den Ist- und Plan-Zustand numerische Modellsimulationen durchgeführt. Als Plan-Zustand wird die vorliegende Planung zu Grunde gelegt. Dabei finden im Sinne eines Worst-Case-Szenarios die Wärmeemissionen potenzieller Rechenzentren Beachtung (Annahme: Rückkühler; Kamine). Mögliche Dach- und Fassadenbegrünung bleiben im Rahmen des betrachteten Worst-Case-Szenarios unberücksichtigt.

Neben den bioklimatischen und strömungsdynamischen Verhältnissen am Tag wird auch das komplexe lokale Kaltluftprozessgeschehen analysiert.

Das Grundgerüst des Modells FITNAH-3D besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen. Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird. Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen im realen Gelände müssen neben der Orographie insbesondere der Einfluss unterschiedlicher Flächennutzungsstrukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH-3D besondere Parametrisierungen vorgesehen.

² **GROSS, G. (1992):** Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

GROSS, G. (2017): Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2

Ein Wald oder Baumbestand findet beispielsweise über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe oder Bestandsdichte Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren.

Die Bebauung wird durch rechtwinklige Modellquader (Auflösung in der Horizontalen 5 m x 5 m) nachgebaut / modelliert. Numerisch werden diese Modellquader von der Sonne beschienen und vom Wind umströmt sowie deren Wechselwirkungen (z.B. Strahlungswärme) mit den Oberflächen und Strukturen simuliert.

Unter Berücksichtigung bebauungsspezifischer Größen wie Gebäudehöhe, Versiegelungs- sowie Überbauungsgrad und anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der bebauungsbedingten Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden.

FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3783, Bl.7 (VDI 2017) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern.

Das Modellgebiet umfasst ein Fläche von 3.000 m x 3.000 m (= 9 km²). Die Rechenauflösung beträgt in der Horizontalen 5 m x 5 m, womit eine sehr kleinräumige Berücksichtigung der Bebauungs- und Flächennutzungsstrukturen sowie der Topografie gesichert ist.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass eine Prognose 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.

Abschließend wird ein Katalog mit klimaökologisch positiv wirksamen Planungshinweisen bereitgestellt, der die Gestaltung eines klimawandelgerechten Gewerbegebiets unterstützen kann.

5 Klimaökologische Situation am Planungsstandort und Folgen des Klimawandels

Nachfolgend wird das Klima im Planungsgebiet und in dessen Umfeld auf Grundlage von Daten des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (DWD), des HESSISCHEN LANDESAMTES FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE (HLNUG), des CLIMATE SERVICE CENTER GERMANY (GERICS) und auf Basis von Daten aus MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) beschrieben und die mit dem Klimawandel prognostizierten Veränderungen aufgezeigt.

5.1 Lokalklimatische Verhältnisse

Das Planungsgebiet befindet sich mit seiner Lage im Maintal in der warmgemäßigten, feuchten Westwindzone. Das Klima wird überwiegend von milden, feuchten und damit wolkenreichen Luftmassen geprägt, die mit den am häufigsten vorkommenden Südwest- bis Westwinden herangeführt werden.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt in der Region Maintal im mehrjährigen Mittel von 2011 - 2020 ca. 11.2°C. Die wärmsten Monate sind dabei Juli und August.

Laut der Stadtklimaanalyse für die Städte Nidderau und Maintal sowie für die Gemeinde Schöneck [MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)] sind für die Region um Maintal im Mittel der Jahre 2011 - 2020 nachfolgende Werte zu registrieren:

- 6 Eistage/Jahr ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 59 Frosttage/Jahr ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 16 heiße Tage/Jahr ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- 63 Sommertage/Jahr ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)
- 1 Tropennacht/Jahr ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)

Im deutschlandweiten Durchschnitt 1981 – 2020 beläuft sich die Anzahl der Sommertage auf 35. Die mittlere Anzahl an heißen Tagen beträgt deutschlandweit in selbigem Zeitraum 7. Damit wird die allgemein wärmebelastete Lage von Maintal offenbar.

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt nach GERICS (2021) für den Main-Kinzig-Kreis ca. 845 mm/Jahr (Mittel des Zeitraums 1971-2000). Der niederschlagsreichste Monat ist der Dezember, gefolgt vom Juni und dem Mai. In letzteren beiden Monaten kommt es durch hohe Einstrahlungsintensität und der daraus folgenden Konvektion mit Wolkenbildung verstärkt zu Schauern und Gewittern. Die geringsten Niederschläge treten in den Monaten Februar und April auf (**Abbildung 11**).

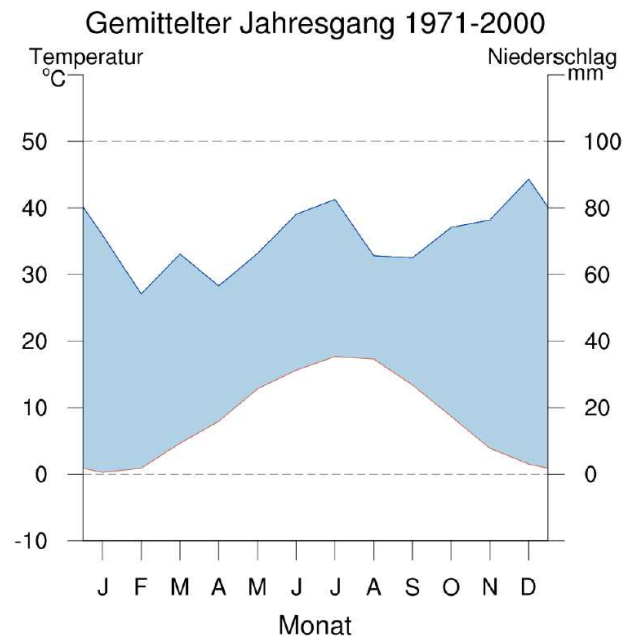


Abbildung 11: Gemittelter Jahresgang der Temperatur und des Niederschlags im Zeitraum 1971-2000. Grafik aus: GERICS (2021)

Tage mit Starkniederschlag (≥ 20 mm/Tag) stellen sich im Mittel der Jahre 1971 – 2000 an ca. 5 Tagen/Jahr ein.

Hinsichtlich der Starkregengefahr befindet sich das Planungsgebiet nach Darstellungen des HESSISCHEN LANDESAMTES FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE (HLNUG) in einem hoch gefährdeten Gebiet. Der Vulnerabilitätsindex ist mittel bis stark erhöht (siehe **Abbildung 12**).

Bei Neubaumaßnahmen sind daher ausreichende Retentionsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

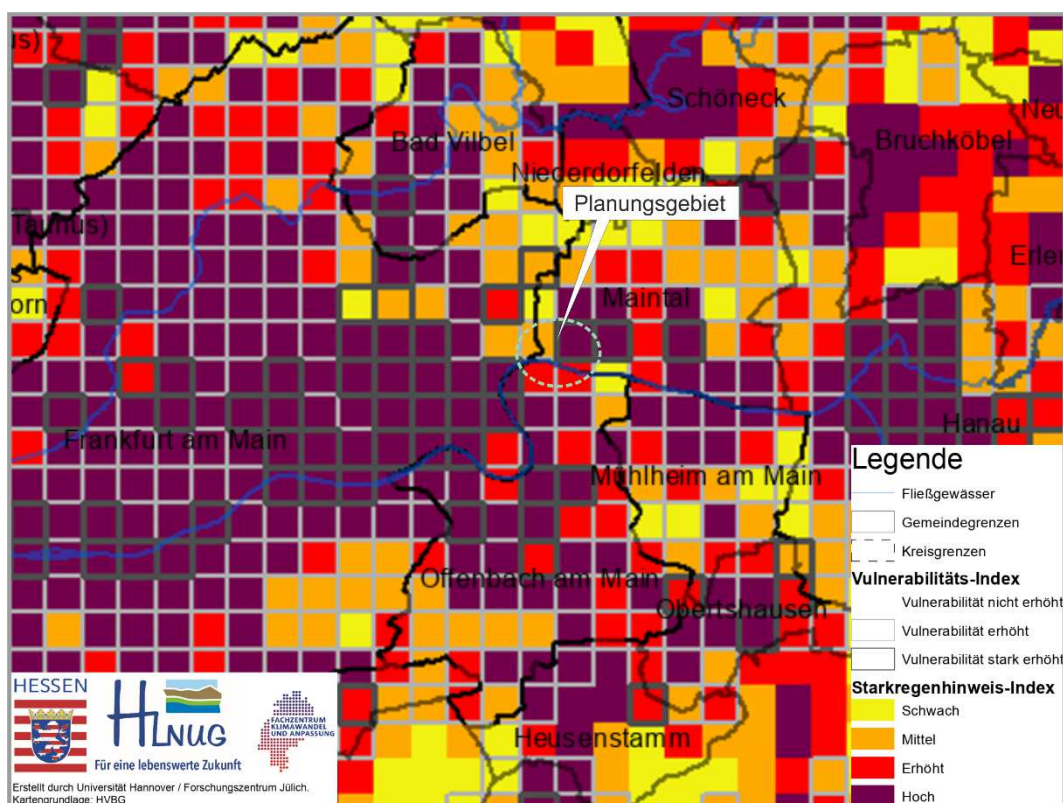


Abbildung 12: Ausschnitt aus der Starkregenhinweiskarte der HLNUG (2001 – 2020).
Grafikquelle: <https://www.hlnug.de>

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens finden stadtklimatisch besonders relevante windschwache Strahlungsnächte Beachtung, da sich bei derartigen Situationen die deutlichsten flächennutzungsspezifischen Klimadifferenzierungen einstellen. Diese Annahmen entsprechen dem Idealtypus einer sog. autochthonen Wetterlage. Derartige Wetterlagen treten nach Messungen des DWD im langjährigen Mittel der Messstation Frankfurt an 29 Tagen/Jahr auf, an der Messstation Offenbach an 31 Tagen/Jahr (vgl. **Tabelle 2**).

Dauer	1 Std	2 Std	4 Std	6 Std	8 Std	12 Std
Frankfurt (DWD 1420) 1950 - 2022	29 Tage	19 Tage	11 Tage	6 Tage	3 Tage	1 Tag
Offenbach (DWD 7341) 2005 - 2022	31 Tage	18 Tage	11 Tage	9 Tage	7 Tage	4 Tage

Tabelle 1: Anzahl, Tage und Dauer von Wetterlagen mit wolkenfreiem Himmel und Windgeschwindigkeiten kleiner als 2.6 m/s. Grafik: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

Das Stadtgebiet von Maintal gehört mit seiner Lage in der Untermainebene nach CHRISTOFFER ET AL. (1989) zu einer der windschwächsten Regionen Deutschlands.

Analysiert man die mehrjährigen Winddaten (2022 – 2024) an der DWD-Station Offenbach (**Abbildung 13**), ca. 6 km südlich des Planungsgebiets, so zeigt sich, dass die vorherrschenden Windrichtungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen Südsüdwest bis Südwest und Nord- bis Nordnordost sind, wobei es durch die Flächennutzung und das Relief lokal zu leichten Differenzierungen kommen kann. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt ca. 2.2 m/s (15 m ü.G.).

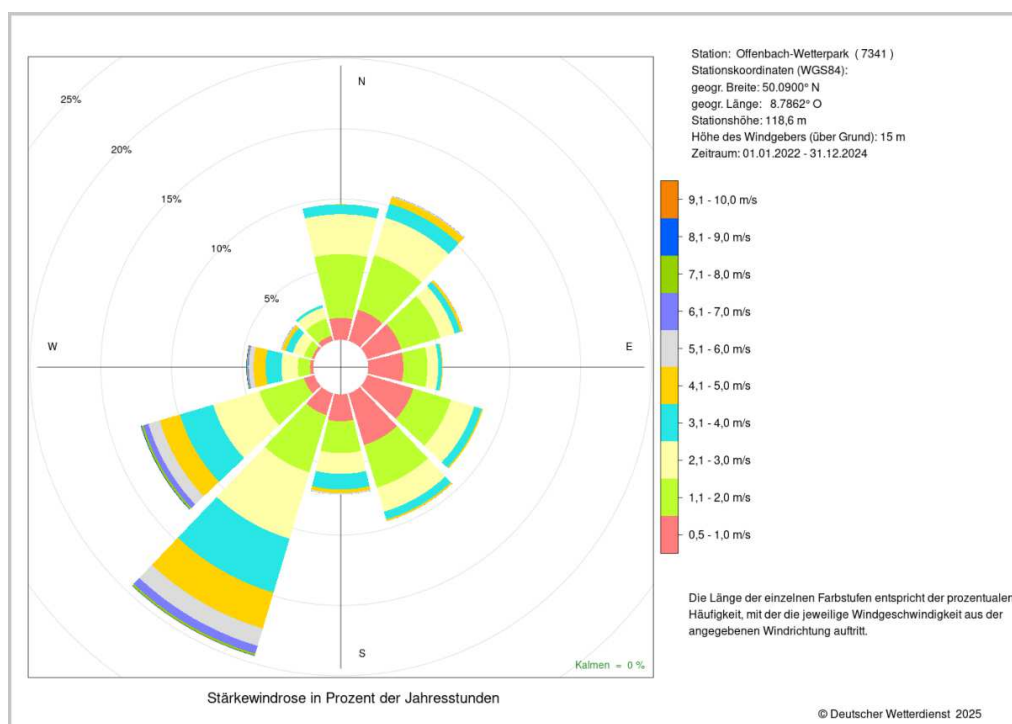


Abbildung 13: Windstatistik DWD Offenbach Wetterpark Offenbach

Messungen durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (2014)³ im Bereich der Mainwiese zwischen Rumpfenheimer / Bürgeler Kiesgruben und Main (ca 1.3 km südwestlich des Planungsgebiets) – **Abbildung 14** – zeigen vergleichbare Windverhältnisse, wobei im Bereich der Mainwiese mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2.1 m/s gegenüber der DWD-Station Offenbach etwas niedrigere mittlere Windgeschwindigkeiten gemessen wurden.

³ DEUTSCHER WETTERDIENST (2014): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main. Offenbach am Main.

Nutzung	Kaltluftproduktionsrate in m ³ /m ² ·h
Grünland, Ackerland	~ 15 - 20
Wald	~ 12 - 15
Gartenbau, Mischflächen	~ 10 – 15
Kleingärten	~ 6
Friedhofflächen	~ 6
Sport-/Freizeitflächen	~ 3 - 6
Wasseroberflächen	0

Tabelle 2: Kaltluftproduktionsraten unterschiedlicher Flächennutzungstypen
(BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2013, ÖKOPLANA 2010)

In reliefiertem Gelände nimmt die Kaltluftmächtigkeit im Allgemeinen hangabwärts zu, da von höheren Geländelagen kommend immer mehr Kaltluft in den Abfluss mit einbezogen wird. Die Intensität des Kaltluftabflusses ist von der Talzug- / Hangneigung sowie von der Oberflächenrauigkeit des Bewuchses und der Bebauung abhängig. Die Reibungskraft der Oberflächen bremst die Strömungsdynamik. Bei Hangneigungen von unter 2° sind in der Regel Impulse von übergeordneten Windströmungen (z.B. Regionalströmungen) erforderlich, um innerhalb der bodennahen Kaltluftschicht Fließbewegungen auszulösen. Auch Flurwindeffekte zwischen kühlen und deutlich überwärmten Gebieten (z.B. Landwirtschaftsflächen ↔ Bebauung) vermögen die bodennahe Kaltluft in Bewegung zu setzen (siehe **Abbildung 15**).

Kaltluftbewegungen zeigen in der ersten Nachthälfte die größten Fließgeschwindigkeiten, da zu diesem Zeitpunkt die vertikale Mächtigkeit der stabil geschichteten Luftmassen noch geringer ist und somit regionale und überregionale Winde höherer Geschwindigkeit noch vermehrt bodennah durchgreifen können.

Kaltluftstaus bilden sich im Luv von natürlichen und anthropogenen Hindernissen (Wald- und Siedlungsrand, einzelne Baukörper, Straßendämme etc.). Die kalte Luft staut sich bis zur Hindernishöhe oder etwas darunter auf, bis bei weiterem Nachfließen von Kaltluft das Hindernis schließlich überströmt wird (KING, 1973).

Kleinere Hindernisse werden von der abfließenden Kaltluft ohne nennenswerte Staubbildung um- oder überströmt. Kaltluftseen entstehen durch Ansammlung kalter Luft in Mulden und Senken.

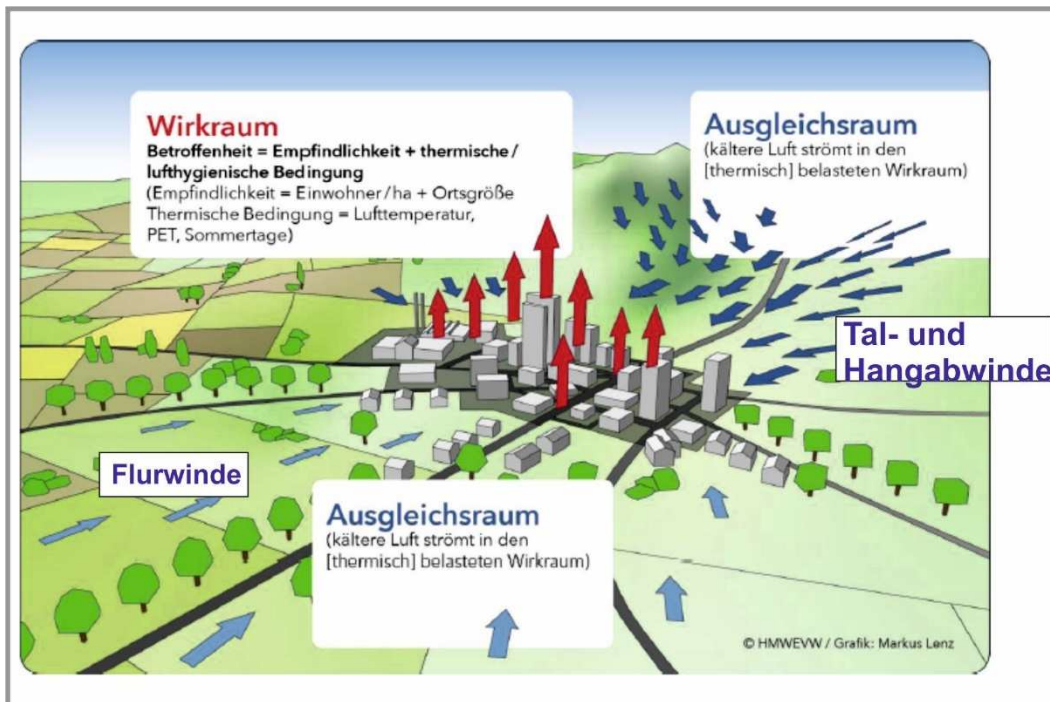


Abbildung 15: Schematische Darstellung von Kaltluftbewegungen in Siedlungslagen am Übergang Bergland – Ebene. Grafikquelle: IMA RICHTER & RÖCKLE (2022)

Nach Berechnungen von MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) entstehen in windschwachen sommerlichen Strahlungsnächten Kaltluftvolumenströme entlang der Taleinschnitte nördlich von Bischofsheim, die sich ins Maintal bewegen (siehe **Abbildung 16**).

Für das Planungsgebiet relevant ist dabei die Schneise westlich von Bischofsheim zum Enkheimer Ried. Wie in der **Abbildung 16** erkennbar ist, umfließt die Kaltluft den Stadtteil Bischofsheim Nordwesten/Westen, ohne in der Bebauung wirksam einströmen zu können. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, die im Bereich des Enkheimer Waldes an der Grenze zu Frankfurt am Main eine Höhe von knapp 30 m aufweist, überschreitet kaum eine Fließgeschwindigkeit von 1.0 m/s. Lediglich in steileren Hanglagen nördlich von Bischofsheim, erreicht die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft einen Wert von ca. 2.0 m/s.

Die Kaltluftvolumenstromdichte beträgt nach MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) in weiten Teilen des Planungsgebiets ca. 0 – 10 m³/(m·s). Lediglich im westlichen Randbereich, der derzeit durch Freiflächen geprägt ist, beträgt die Kaltluftvolumenstromdichte 10 – 20 m³/(m·s). Laut **Tabelle 3** liegt damit in den unbebauten Teilbereichen des Planungsgebiets ein mäßiges bis gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial vor, wohingegen der überbaute Bereich ein geringes bis mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial aufweist.

Der Main trägt nicht zur Kaltluftproduktion bei. Die Temperaturunterschiede zwischen Wasser und Luft bewirken lediglich tagsüber eine lokale Abkühlung der Luft in den Uferbereichen.

- mindestens $50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: extrem gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $25 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: sehr gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- unter $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: geringes Kaltluftdurchlüftungspotenzial

Tabelle 3: Bewertung der Kaltluftvolumenstromdichte bezogen auf die Belüftungsfunktion von Siedlungsbereichen. Aus: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2026) „Lokale Kaltluft“, S. 31.

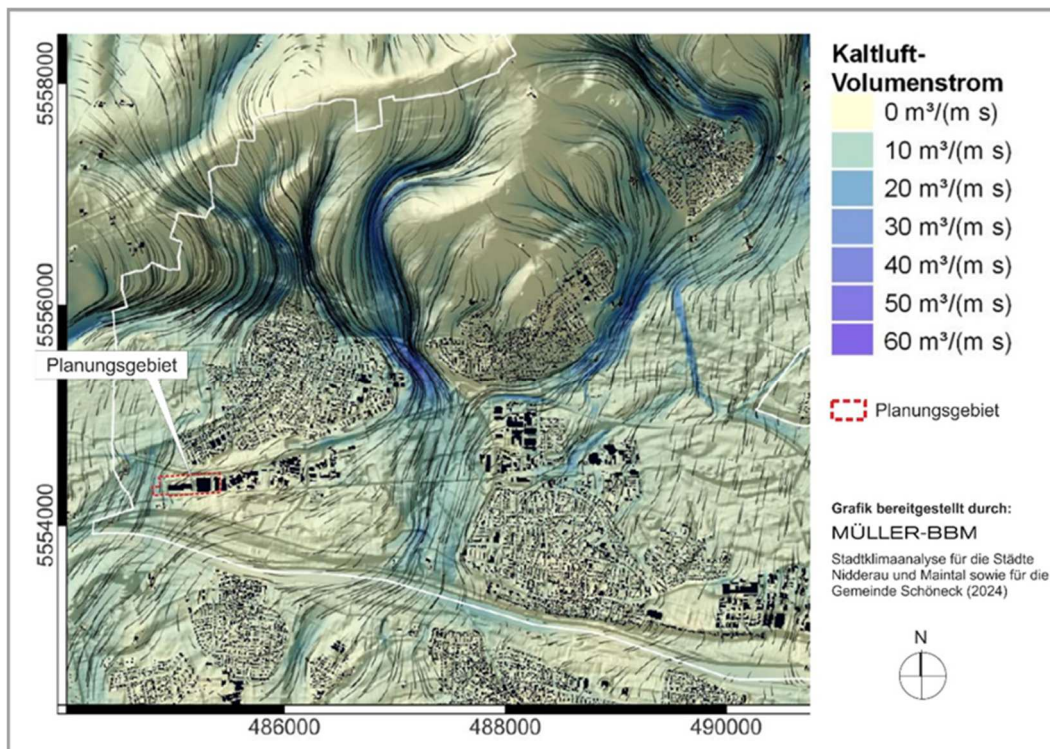


Abbildung 16: Berechneter Kaltluftvolumenstrom in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht im Planungsgebiet und in dessen Umfeld. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

Insbesondere an sommerlichen Strahlungstagen sind im Planungsgebiet und in dessen Umfeld auffallende lokalklimatische Differenzierungen zu erwarten. Bereits vor Sonnenuntergang setzt die Abkühlung ein und ist im Allgemeinen in der ersten Nachthälfte am stärksten. Die thermische Situation wird dabei vermehrt durch die Flächennutzung und durch die innerhalb der Bebauung graduell unterschiedlich wirksamen Ventilationseffekte lokal, regional und überregional angelegter Luftströmungen beeinflusst. Dabei ist anzumerken, dass die stärkste Abkühlung meist zu allen Jahreszeiten in den gleichen Lagen auftritt.

Zur Verdeutlichung der Situation im Planungsumfeld kann wiederum auf Ergebnisse der Stadtklimaanalyse für die Städte Nidderau und Maintal sowie für die Gemeinde Schöneck [MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)] zurückgegriffen werden.

Die stadtklimatische Situation wird lokal durch unterschiedliche Flächennutzungen modifiziert. Dieser Umstand kann mithilfe von Klimatopen dargestellt werden, welche in **Abbildung 17** gezeigt werden.

Das Planungsgebiet ist weitgehend als „Gewerbe-Industrieklimatop“ gekennzeichnet. Ein derartiges Klimatop wird von Gewerbebetrieben mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten geprägt. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen der Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen.

Der Siedlungsbereich von Bischofsheim nördlich des Planungsgebiets ist größtenteils als Stadtklimatop gekennzeichnet. Stadtklimabiotope zeichnen sich durch überwiegend dichte Bebauung und einen hohen Versiegelungsgrad mit geringem Grünflächenanteil aus. Tagsüber kann es durch hohe Temperaturen zu Hitzestress kommen, bzw. können zeitweise ungünstige human-biometeorologische Verhältnisse auftreten.

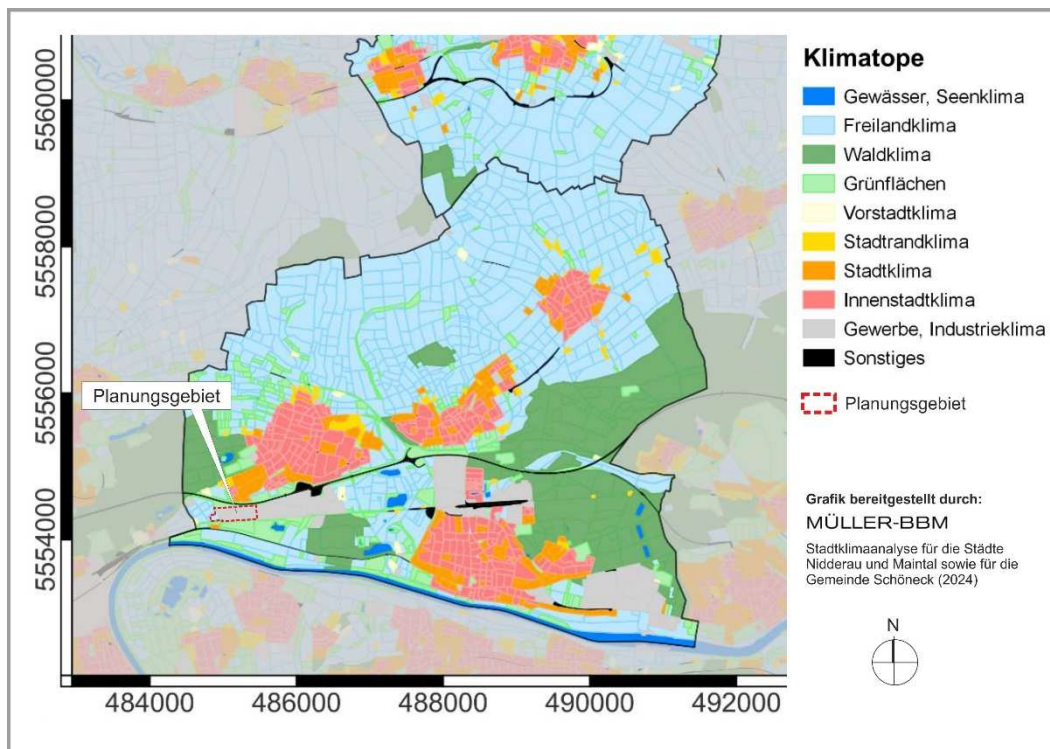


Abbildung 17: Klimatopkarte für Maintal, Nidderau und Schöneck. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

Bei **Abbildung 18** wurden zukünftige Gebietsentwicklungen mitberücksichtigt. Dabei wurde je eine maximale Überbauung der Flächen angenommen, da noch keine Gebäudeumrisse der Planungen vorlagen. Zu erkennen ist, dass es im Planungsumfeld zu einer Ausweitung des Stadtklimatops kommen wird.

Nach MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) haben die geplanten Stadtentwicklungen zwar nachweisbare Auswirkungen auf den Kaltluftvolumenstrom ($\max -5 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$), zusätzlich gravierende stadtklimatische Negativeffekte sind aber nicht zu erwarten.

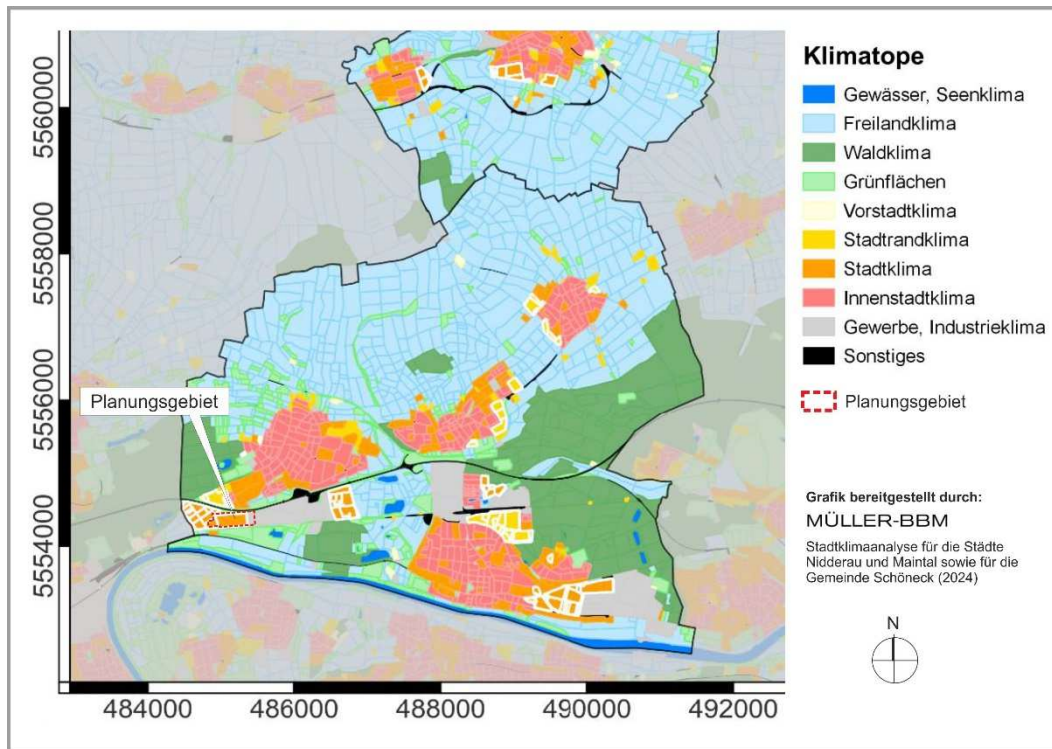


Abbildung 18: Klimatopkarte für Maintal, Nidderau und Schöneck unter Berücksichtigung bekannter Planungen zur Stadtentwicklung. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

In **Abbildung 19** ist die Betroffenheit [nähere Informationen hierzu finden sich in MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)] gegenüber sommerlicher Hitze für die Siedlungsbereiche von Bischofsheim dargestellt. In nördlicher Nachbarschaft zum Planungsgebiet besteht in den Wohngebietslagen eine hohe Belastung. Hier wohnen vergleichsweise viele alte (> 80 Jahre) und junge (<10 Jahre) Menschen, die als besonders klimasensibel gelten.

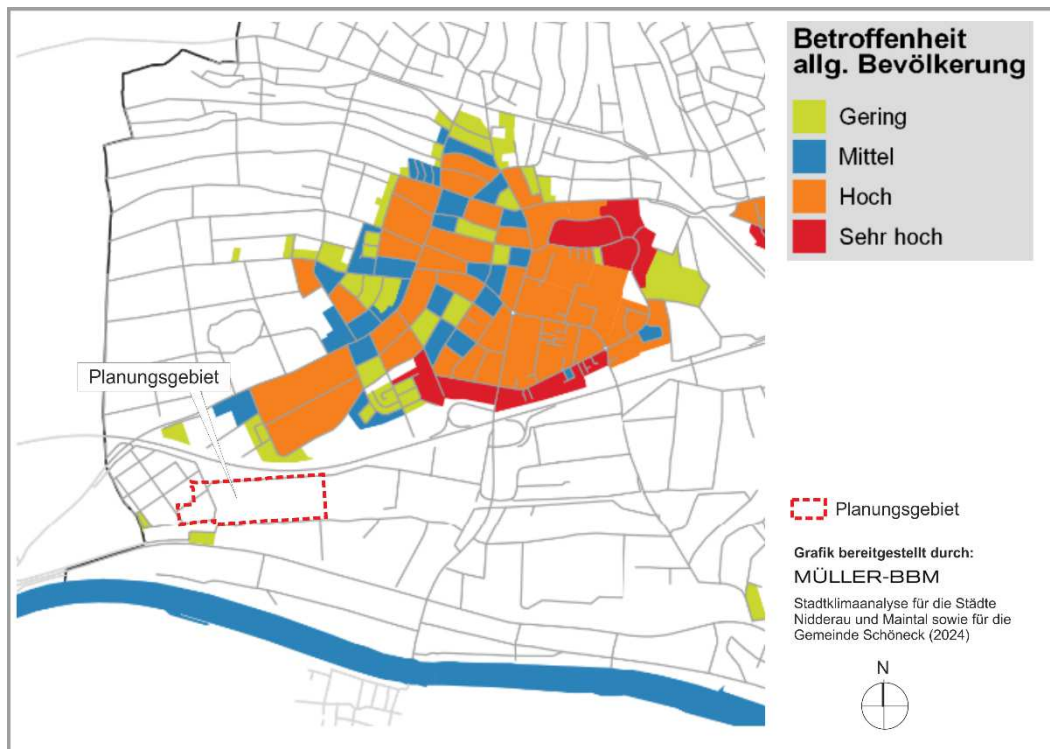


Abbildung 19: Betroffenheit der allgemeinen Bevölkerung von sommerlicher Hitze. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

Der Ausschnitt der Planungshinweiskarte in **Abbildung 20** zeigt einerseits die bewohnten Wirkflächen von Bischofsheim, andererseits die ausgleichende Bedeutung der Grün- und Freiflächen des Umlands. Das Planungsgebiet ist weitgehend als Gewerbe-, Industrieklima (offen) dargestellt. Lediglich ein kleiner westlicher Teilbereich ist als Grün- und Freifläche mit geringer Bedeutung ausgewiesen. Eine mittlere bis hohe Bedeutung zeigt das Enkheimer Ried im Norden.

Die Planungen betreffen damit keine klimaökologisch empfindlichen Siedlungsbe-
reiche.

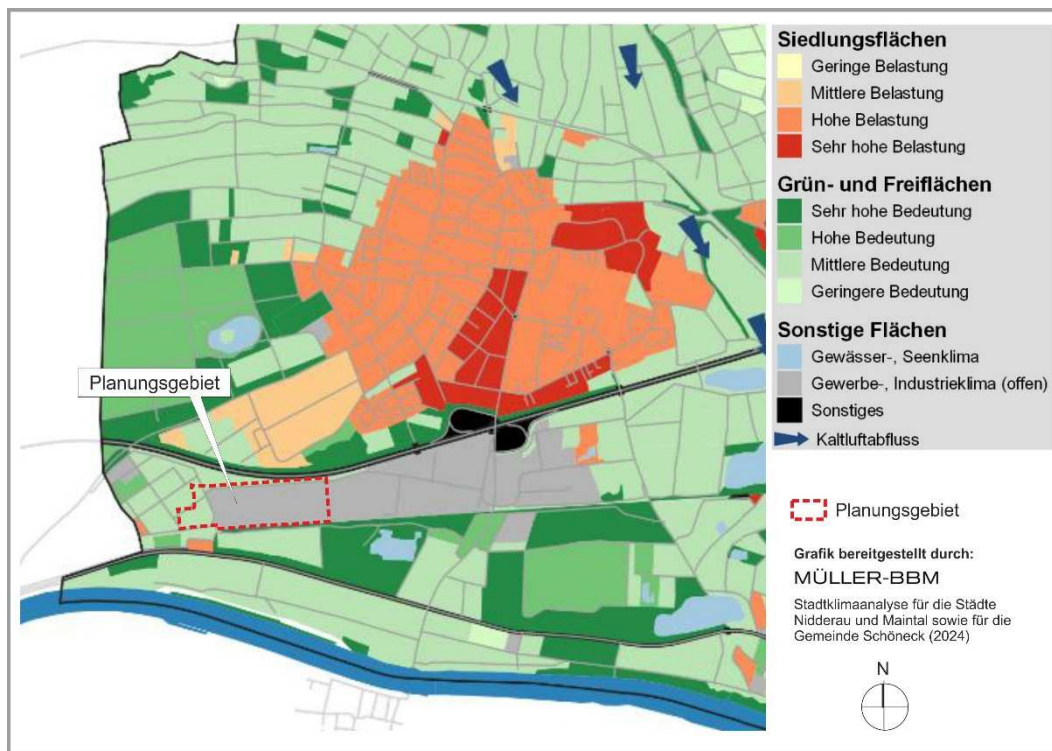


Abbildung 20: Planungshinweiskarte von Maintal. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

5.2 Klimawandelfolgen

Nach Klimaausblick für den Main-Kinzig-Kreis vom Climate CLIMATE SERVICE CENTER GERMANY (GERICS, 2021) wird im Zuge des globalen Klimawandels die sommerliche Wärmebelastung deutlich zunehmen. Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO₂-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*).

Die Zahl in der Bezeichnung der RCP-Szenarien (siehe **Abbildung 21**) benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (MOSS ET AL. 2010⁴)

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m². Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4 °C gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher Szenario“ bezeichnet.

Die weltweiten CO₂-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. In den letzten Dekaden befanden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO₂-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (BODEN ET AL. 2017⁵).

⁴ MOSS R. H., EDMONDS J. A., HIBBARD K. A., MANNING M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN D. P., CARTER T. R., EMORI S., KAI-NUMA M., KRAM T., MEEHL G. A., MITCHELL J. F. B., NAKICENOVIC N., RIAHI K., SMITH S. J., STOUFFER R. J., THOMSON A. M., WEYANT J. P., WILBANKS T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756.

⁵ BODEN T. A., MARLAND G., ANDRES R. J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen.

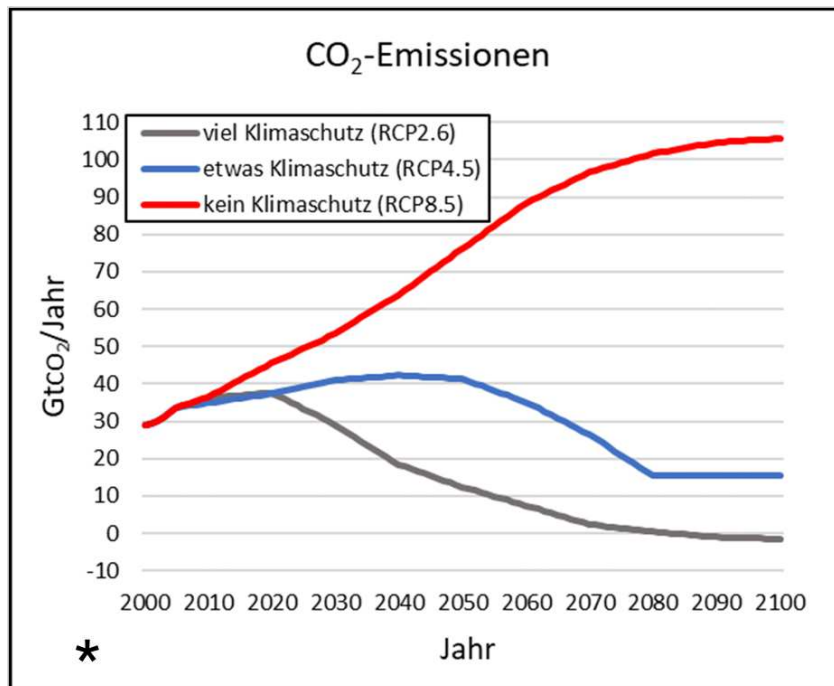


Abbildung 21: Entwicklungspfade von Emissionen an Treibhausgasen der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (Grafik: GERICS 2021)

Nach Auswertungen von MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) trat für die Region Maintal seit dem Zeitraum von 2001 eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur von 1.9°C gegenüber des Zeitraum 1881 - 1910 statt.

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden unter Annahme des RCP Szenarios 8.5 Zunahmen der Lufttemperatur im Jahresmittel von +4.0°C prognostiziert, wie aus **Abbildung 22** hervorgeht.

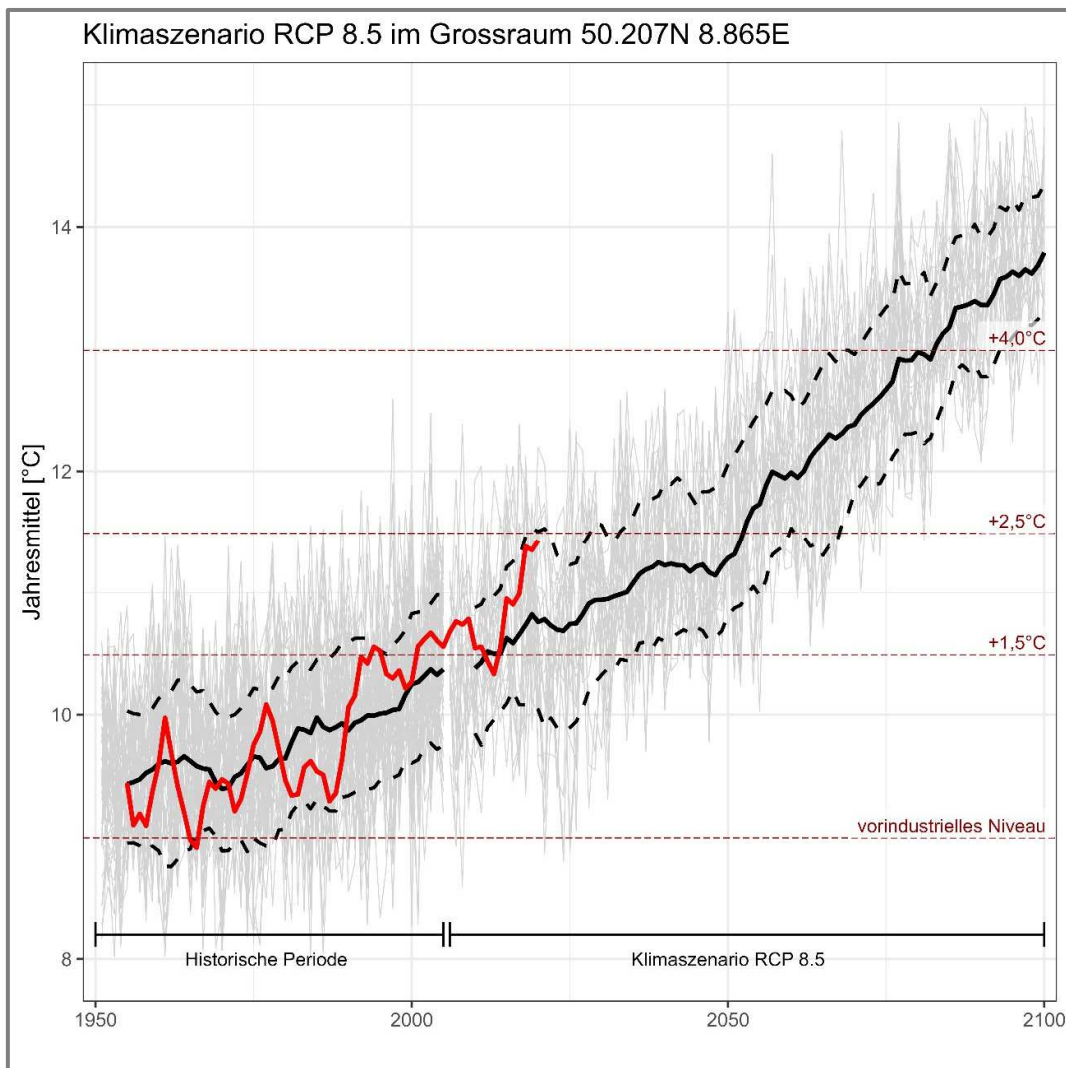


Abbildung 22: Auswirkungen des Klimawandels auf die Lufttemperatur in der Region von Maintal unter Betrachtung des RCP-Szenarios 8.5 für Zeithorizonte im 21. Jahrhundert (MÜLLER-BBM 2024)

Die Auswirkungen des Klimawandels auf weitere Klimakennzahlen sind für die unterschiedlichen RCP-Szenarien in **Tabelle 4** für die nahe Zukunft zwischen 2031 und 2050 aufgeführt.

	1951 - 1960	2011 - 2020	RCP 2.6 2031 - 2060			RCP 4.5 2031 - 2060			RCP 8.5 2031 - 2060		
			P15	P50	P85	P15	P50	P85	P15	P50	P85
Meteorologische Kennzahlen											
Jahresmitteltemperatur	9,7	11,2	10,4	11,1	11,8	10,6	11,3	12	10,8	11,5	12,2
Meteorologische Kenntage											
Eistage	10	6	2	6	14	2	6	14	1	5	12
Frosttage	74	59	37	52	68	36	50	66	30	47	62
Sommertage	34	63	39	56	76	43	60	80	42	60	80
Heiße Tage	6	16	7	15	27	8	17	30	8	17	31
Tropennächte	0	1	0	1	3	0	1	4	0	2	6

Tabelle 4: Klimakennzahlen der nahen Zukunft 2031 bis 2060 im Vergleich zu Klimakennzahlen aus den Dekaden 1951 bis 1969 und 2011 bis 2020 [MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024), S. 64]

So wird ein Anstieg der Anzahl von Sommertagen ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) gezeigt. Hingegen wird die Anzahl der Frost- und Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ bzw. $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) abnehmen. Diese Entwicklungen schlagen sich besonders stark im Szenario RCP 8.5 nieder, für welches **Tabelle 5** die prognostizierten Entwicklungen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zeigt.

	RCP 8.5									
	1951- 1960	2011- 2020	2021- 2030	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100
Meteorologische Kennzahlen										
Jahresmitteltemperatur	9,7	11,2	10,8	11,2	11,4	11,9	12,3	12,8	13,3	13,8
Meteorologische Kenntage										
Eistage	10	6	8	5	5	4	3	2	1	0
Frosttage	74	59	57	52	47	41	35	29	25	19
Sommertage	34	63	49	55	59	67	73	79	88	90
Heiße Tage	6	16	11	14	15	21	24	27	33	36
Tropennächte	0	1	1	1	2	3	5	7	10	12

Tabelle 5: Klimakennzahlen verschiedener 10-Jahresperioden im Klimaszenario RCP 8.5 [MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024), S. 71]

Bei der künftigen Entwicklung des Niederschlags ist für das Szenario RCP 8.5 Szenario nach GERICS (2021) eine Tendenz zur Erhöhung der Tage mit Starkniederschlägen bis Ende des 21. Jahrhunderts anzunehmen. Es werden aber auch längere Trockenperioden im Sommer sowie generell trockenere Sommer erwartet.

Änderungen der Windsituation sind nicht sicher durch Klimamodellierungen nachweisbar, es gibt allerdings Tendenzen zur Zunahme von Sturmintensitäten.

6 Numerische Modellrechnungen zum lokalen Klimageschehen

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens werden für den Ist- und Plan-Zustand das lokale Kaltluftprozessgeschehen, die thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen sowie die Belüftungssituationen am Tag detailliert analysiert. Hieraus lassen sich für das Planungsgebiet Hinweise zu einer klimaökologisch verträglichen Bebauung ableiten.

Den Modellrechnungen mit dem Modell FITNAH 3D liegt dem Stand der Technik entsprechend, ein sogenannter autochthoner Sommertag ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) mit einer nachfolgenden Tropennacht ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) als meteorologische Rahmenbedingung zugrunde.

Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen, großräumig (allochthon) bedingten Luftaustauschs zu Situationen, die im Jahresverlauf in Siedlungsgebieten die höchsten thermischen Belastungen mit sich bringen. Modelliert wird ein Tagesgang mit Start um 21:00 bis 14:00 Uhr des Folgetages zum Datum des Sonnenhöchststandes (21. Juni). Die Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten besonders gut ausprägen.

In **Abbildung 23** sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage typischen tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Wald-/Gehölzflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

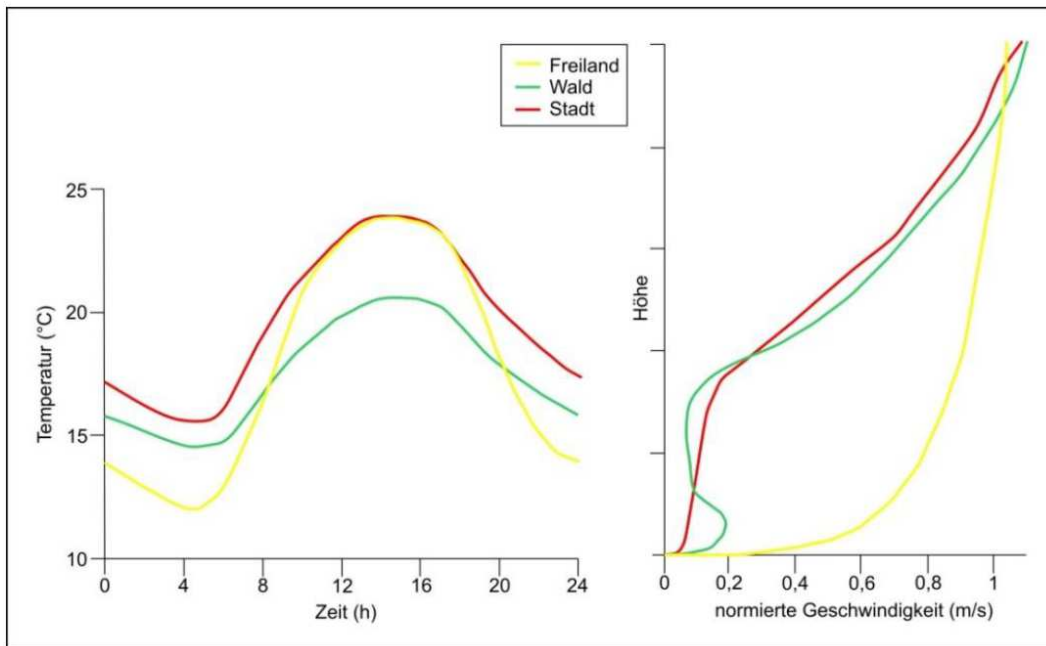


Abbildung 23: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen (eigene Darstellung nach GROSS, G. 1992⁶)

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 (**Abbildungen 24.1** und **24.2**). Es werden 11 Landnutzungsklassen berücksichtigt:

- Gebäude,
- unbebaut versiegelt,
- naturferner Boden,
- Baum über Versiegelung,
- Baum über Rasen,
- Baum über naturfernem Boden,
- Sand,
- Bauwerk mit erhöhter Abwärme (= Prozessemissionen),
- Gleisfläche,
- Freiland, Rasen,
- Gewässer.

⁶ GROSS, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

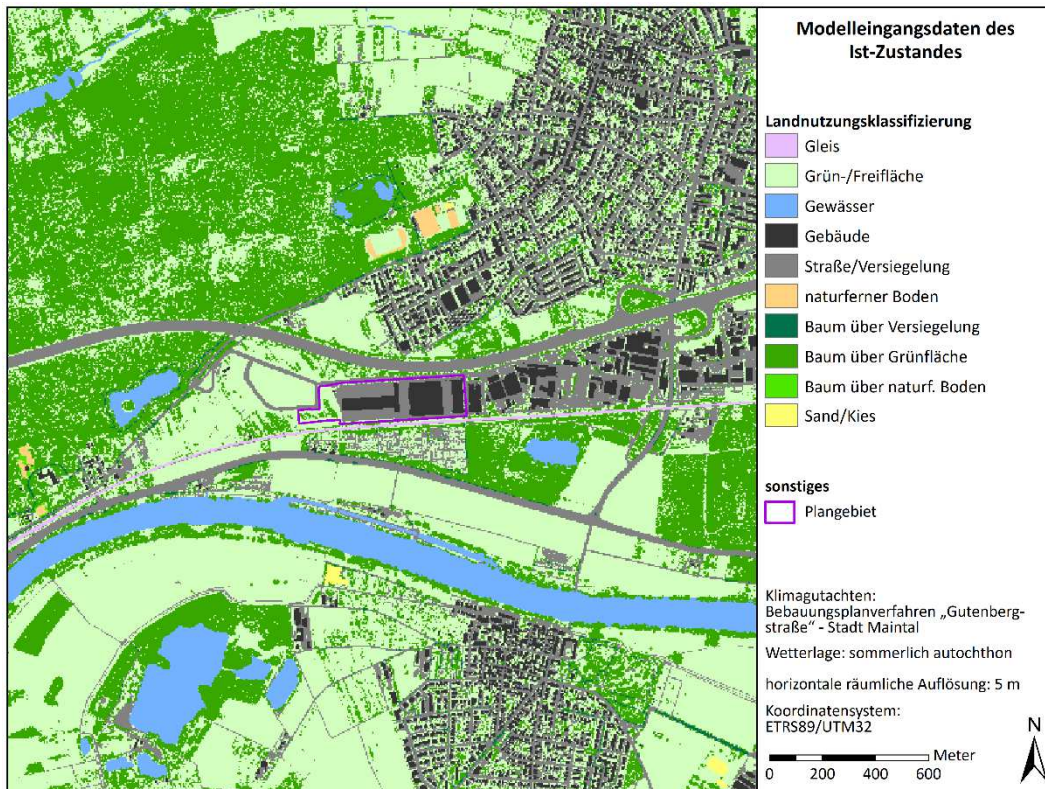


Abbildung 24.1: Flächennutzung im Modellgebiet, Ist-Zustand



Abbildung 24.2: Flächennutzung im Modellgebiet, Plan-Zustand

6.1 Kaltluftprozessgeschehen

Die potenzielle Ausgleichsleistung der Kaltluftströmung lässt sich recht umfassend aus zwei miteinander gekoppelten Parametern des Kaltluftprozessgeschehens ableiten:

- Aus dem **Kaltluftvolumenstrom**, der das in einer bestimmten Zeiteinheit transportierte Gesamtvolumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung angibt.
Dabei wird das Luftvolumen über die variable absolute Höhe der Kaltluftschicht aufsummiert (integriert), während die horizontale Breite der Fläche stets einem Meter entspricht („Kaltluftvolumenstromdichte“, siehe **Abbildung 25**). Geschwindigkeit und Richtung können innerhalb der Luftsäule veränderlich sein.

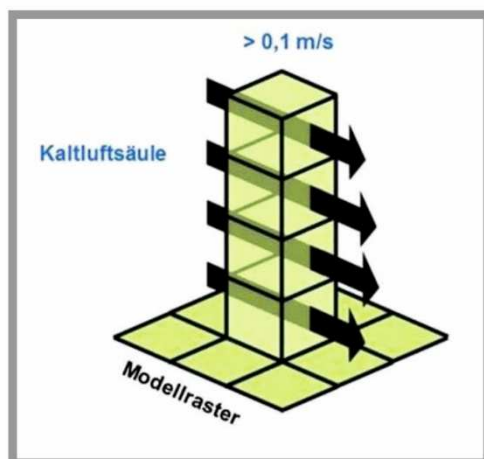


Abbildung 25: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstromdichte (nach: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021⁷)

- Aus der **bodennahen Strömungsgeschwindigkeit**, 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.

⁷ GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2021): Stadtklimaanalyse Mannheim 2020. Hannover, Mannheim.

Die **Abbildungen 26 – 28** zeigen für den Ist- und Plan-Zustand die Ergebnisse der Berechnungen zu den örtlichen Kaltluftproduktionsraten. Die Differenzkarte veranschaulicht die planungsbedingte Modifikation.

Die Kaltluftproduktionsraten von unversiegelten Böden und Grünflächen bestimmt maßgeblich die Intensität des lokalen Kaltluftvolumenstroms. Die Kaltluftproduktionsraten sind im Ist-Zustand im Planungsgebiet nur sehr gering ($0 - 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$). Über den großflächig versiegelten Flächen wird die Kaltluft vermehrt aufgezehrt. Im Bereich der Randeingrünung entlang der Gutenbergstraße und im Süden werden kleinflächig Kaltluftproduktionsraten von mehr als $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ berechnet. Ein größeres Kaltluftproduktionsgebiet bilden allein die bestehenden Freiflächen am Westrand des Planungsgebiets.

Im Planungsumfeld bilden neben den Freiflächen zwischen Planungsgebiet und Waldsee auch die Wiesen und Landwirtschaftsflächen zwischen A 66 und Fechenheimer Weg (westlich der Ortslage Bischofsheim) Areale mit hohen Kaltluftproduktionsraten von ca. $20 - >40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Südlich des Planungsgebiets bilden die Landwirtschaftsflächen entlang des Mains lokal bedeutsame Kaltluftentstehungsgebiete.

Im Plan-Zustand steigt die örtliche Kaltluftproduktionsrate an den Gebietsrändern um ca. $3.0 - 29.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ an, da bei der Planung in diesen Bereichen zusätzliche Grünflächen Berücksichtigung finden.

Planungsbedingte Abnahmen der örtlichen Kaltluftproduktionsraten um $1.0 - 33.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ sind nur im westlichen Teilbereich des Planungsgebiets zu bilanzieren, wo durch die geplante Substation und die neue Gebietszufahrt der Versiegelungsgrad ansteigt.

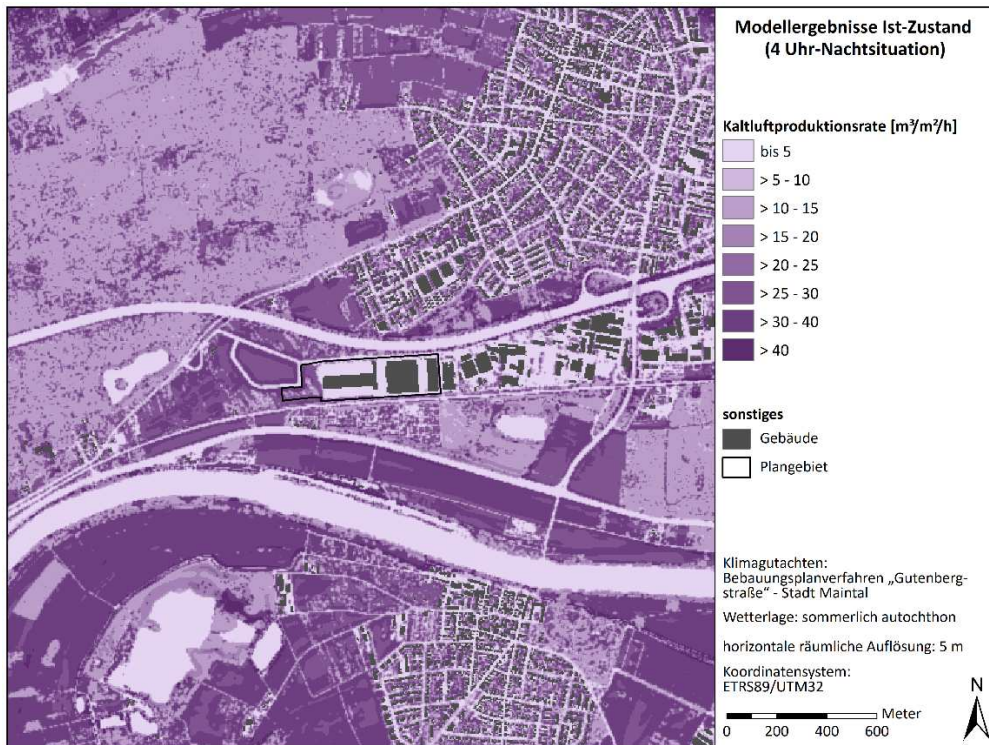


Abbildung 26: Kaltluftproduktionsraten - Ist-Zustand

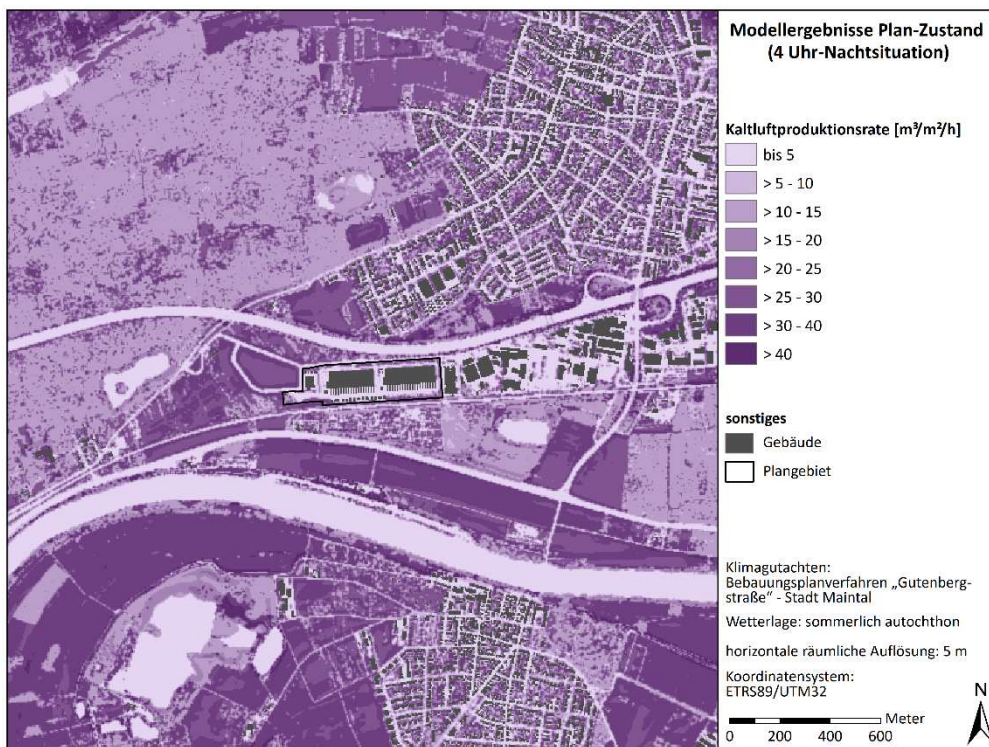


Abbildung 27: Kaltluftproduktionsraten - Plan-Zustand



Abbildung 28: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der Kaltluftproduktionsraten

6.1.1 Nächtliche Kaltluftfließbewegungen

Die **Abbildung 29** zeigt für den Ist-Zustand die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen zum bodennahen Windfeld (2 m ü.G.) gegen 04:00 Uhr (kurz vor Sonnenaufgang).

In dieser Kaltluftbildungsphase bestimmen im Planungsgebiet entlang der Gutenbergstraße erwartungsgemäß schwache Kaltluftbewegungen aus nördlichen bis nordöstlichen Richtungen das bodennahe Luftaustauschgeschehen (0.1 – 0.5 m/s). Wie die Windvektoren verdeutlichen, entwickeln sich im Freiraumgefüge westlich von Bischofsheim (Eichwald) schwache Kaltluftbewegungen aus nördlichen Richtungssektoren, die über die A 66 hinweg im Planungsraum Wirkung zeigen. Herrscht großräumig eine windschwache Situation vor, strömt in geringer Intensität auch über die Freiflächen südlich des Planungsgebiets (Kleingartenpark Dörnigheim 2000 / Gartensee) flurwindartig Kaltluft in Richtung des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“.

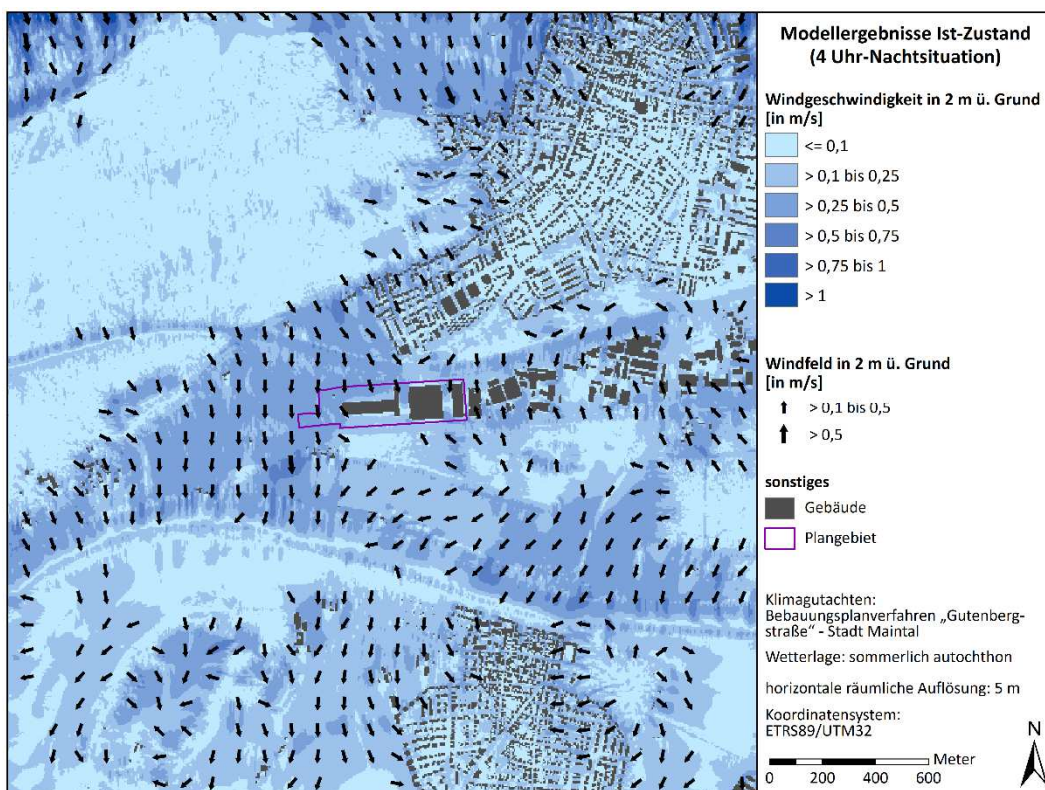


Abbildung 29: Ist-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

Die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen zu den bodennahen Kaltluftfließgeschwindigkeiten für den Plan-Zustand (**Abbildungen 30 und 31**) dokumentieren, dass gegen 04:00 Uhr der potenzielle Bau der Rechenzentren (inkl. Wärmeemissionen) nach Abriss der Bestandsbebauung nur im Planungsgebiet und in dessen unmittelbarer Umgebung zu Windgeschwindigkeitsänderungen führt. Im Planungsgebiet stehen örtlichen Windbeschleunigungen durch den Abriss der Bestandsbebauung in nahezu vergleichbarer Intensität Windabschwächungen durch die Neubauten und deren Wärmeemissionen gegenüber. Nördlich der A 66 sind im Wohngebiet zwischen Rhönstraße und Spessartstraße durch die planungsbedingt vermehrte Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht gegenüber dem Ist-Zustand geringfügige Windbeschleunigungen (+0.05 bis +0.3 m/s) zu verzeichnen. Westlich der Taunusstraße sind hingegen kleinflächige Windabschwächungen zu bilanzieren, die aber zu keiner stadtklimatisch nennenswerten Veränderung der Kaltluftströmungsrichtungen führen. Das Planungsvorhaben „Rechenzentrum Gutenbergstraße“ hat somit keine stadtklimatisch bedenkliche Schwächung der kaltluftbedingten Belüftungsintensitäten zur Folge.

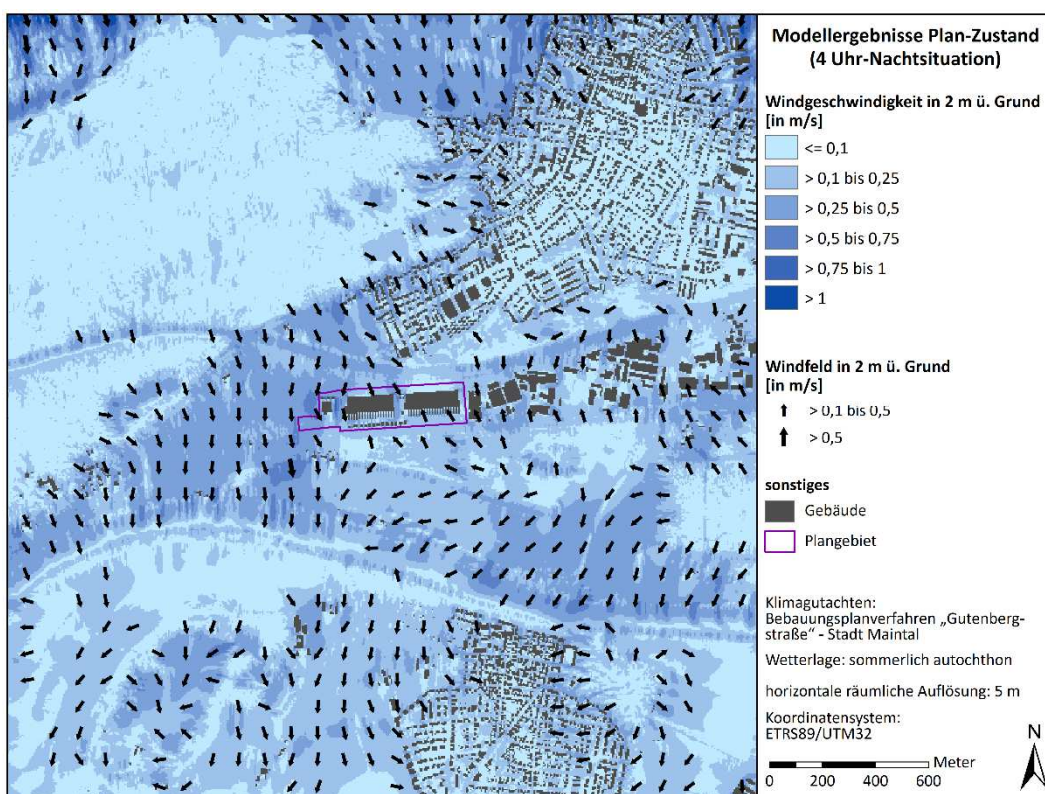


Abbildung 30: Plan-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

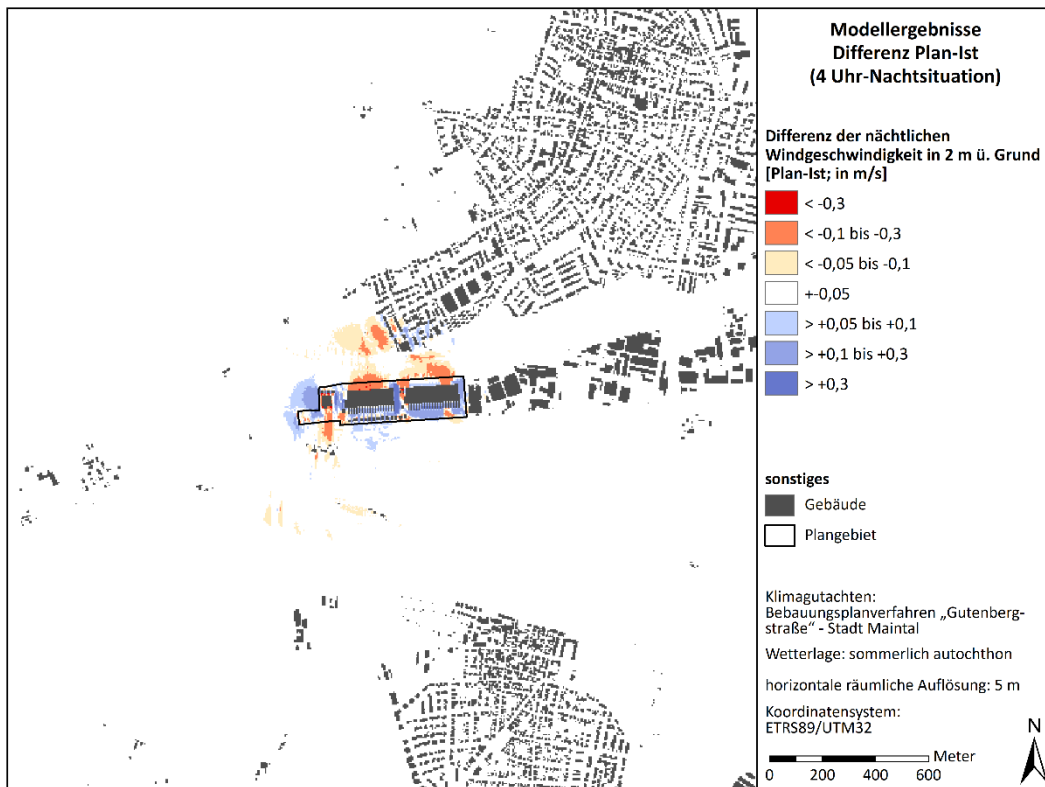


Abbildung 31: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

In den **Abbildungen 32 – 34** sind die Ergebnisse der Modellrechnungen für die **Kaltluftvolumenstromdichte** (04:00 Uhr) dokumentiert. Hierbei werden die Daten bis 50 m ü.G. ausgewertet.

Die Kaltluftvolumenstromdichte wird wesentlich durch die Kaltluftfließgeschwindigkeit und die lokale Kaltluftmächtigkeit bestimmt. So werden im Ist-Zustand (**Abbildung 32**) im Planungsgebiet „Gutenbergstraße“ gegen 04:00 Uhr größtenteils Kaltluftvolumenstromdichten von ca. 5 – 15 m³/(m·s) berechnet., was auf ein geringes bis mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial hinweist [VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2026)]. Am bislang unbebauten Westrand des Planungsgebiets weist die Kaltluftvolumenstromdichte Werte von ca. 20 – 25 m³/(m·s) auf. Damit ist ein gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial gegeben (siehe **Tabelle 3**).

In der Ortslage Bischofsheim sind nördlich des Planungsgebiets Kaltluftvolumenstromdichten von ca. 5 – 15 m³/(m·s) zu bestimmen (= geringes bis mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial). Nur an den Siedlungsrandbereichen im Norden und Westen werden Werte von 15 – 20 m³/(m·s) simuliert (= gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial).

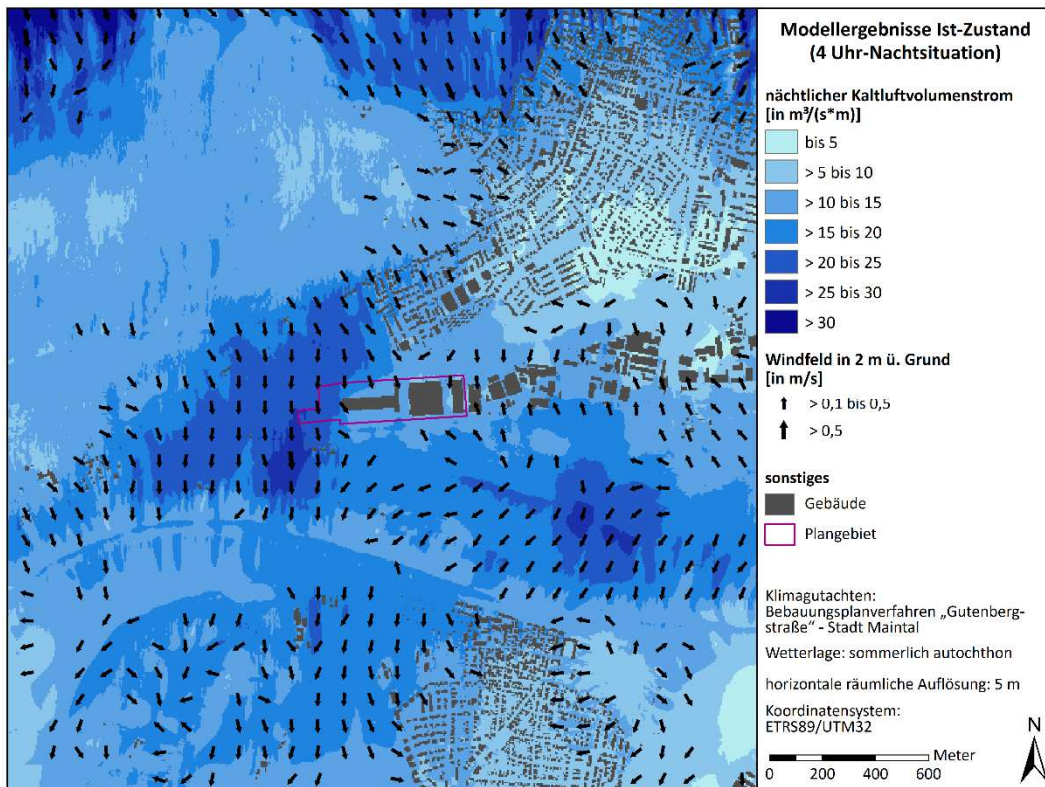


Abbildung 32: Ist-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte (bis 50 m ü. G. aggregiert) und Kaltluftflussrichtung (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

Die **Abbildungen 33** und **34** zeigen die planungsbedingten Veränderungen des lokalen Kaltluftvolumenstroms.

Im Sinne eines Worst-Case-Szenarios wird bei den Modellrechnungen davon ausgegangen, dass alle wärmeemittierenden Anlagen des geplanten Rechenzentrums in Betrieb sind.

Die Ergebnisse für dieses seltene Ereignis (siehe Kap. 3) zeigen, dass durch die neuen Baustrukturen (Rechenzentren) und die aufsteigende Prozesswärme über dem Planungsgebiet Kaltluftvolumen aufgezehrt wird (rote Farbtöne in **Abbildung 35**). An den Randbereichen / Gebäudezwischenräumen der beiden Rechenzentren kommt es durch das Zusammendrängen der Stromlinien zu leichten Beschleunigungseffekten und damit zu einer Zunahme des Kaltluftvolumens um ca. 5 % bis über 20%. Durch die Wärmeemissionen der Rückkühler bzw. Ventilatoren und Kamine erhöht sich in der lokalen Kaltluftschicht die Turbulenz, wodurch auch in entfernteren Lagen Zu- bzw. Abnahmen von Kaltluftvolumen simuliert werden.

So zeigen sich in der Ortslage in Bischofsheim entlang der Spessartstraße einerseits relative Zunahmen des Kaltluftvolumenstroms ($>+5$ bis $+10\%$), andererseits ist am Südwestrand der Ortslage Bischofsheim im Bereich der Rhönstraße eine relative Abnahme von -5% bis -22% zu bilanzieren.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Bl. 5 „Lokale Kaltluft“ (2026, S. 35) sind relative Änderungen des Kaltluftvolumenstroms bis -5% als geringe bzw. unwesentliche Änderung aufzufassen. Gravierende Änderungen des Kaltluftdurchlüftungspotenzials liegen vor, wenn es zu einer Änderung um mindestens 30% kommt. Bei dazwischen liegenden Werten, wie sie in der Ortslage von Bischofsheim zu bestimmen sind, können die dortigen Änderungen als mäßig angesehen und aufgrund der Siedlungsrandlage mit vergleichsweise geringer nächtlicher Wärmebelastung (siehe Kap. 6.2, **Abbildungen 35** und **36**) als akzeptabel eingestuft werden. Die Veränderung des Kaltluftvolumenstroms ist somit aus gutachterlicher Sicht kein Ausschlusskriterium für die Planung. Diesbezüglich ist nochmals hervorzuheben, dass mit den Modellrechnungen ein Worst-Case-Szenario mit Betrieb aller wärmeemittierender Anlagen aufgezeigt wird.

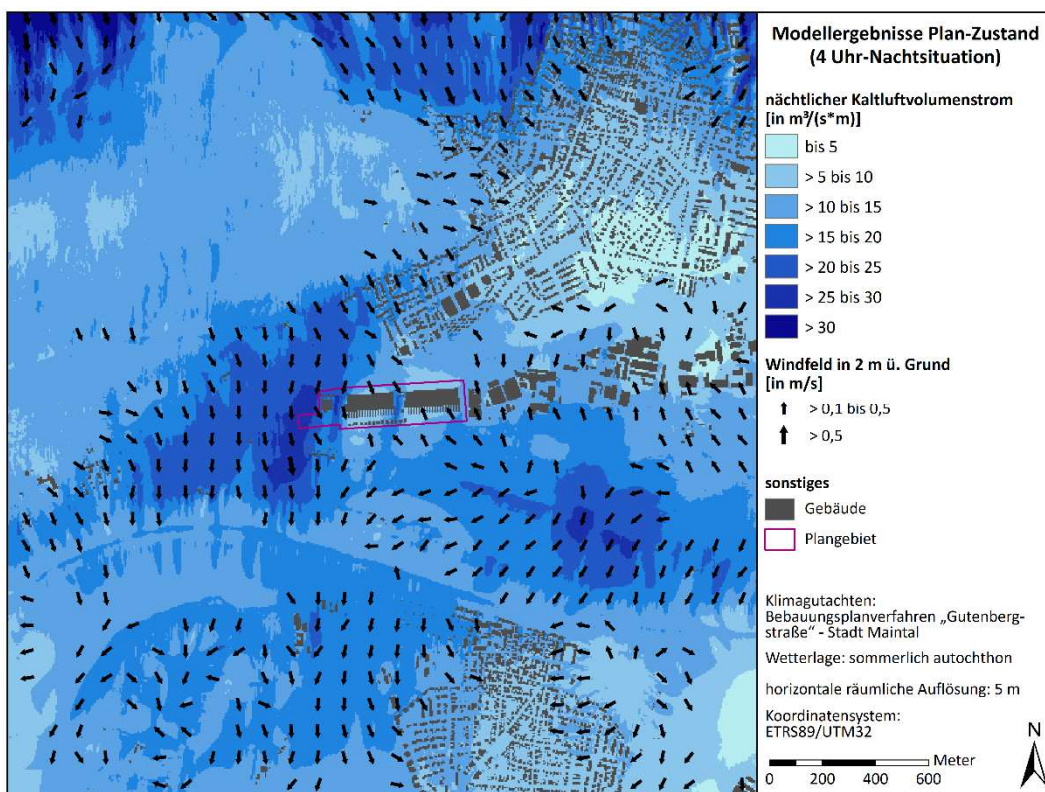


Abbildung 33: Plan-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte (bis 50 m ü. G. aggregiert) und Kaltluftfließrichtung (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

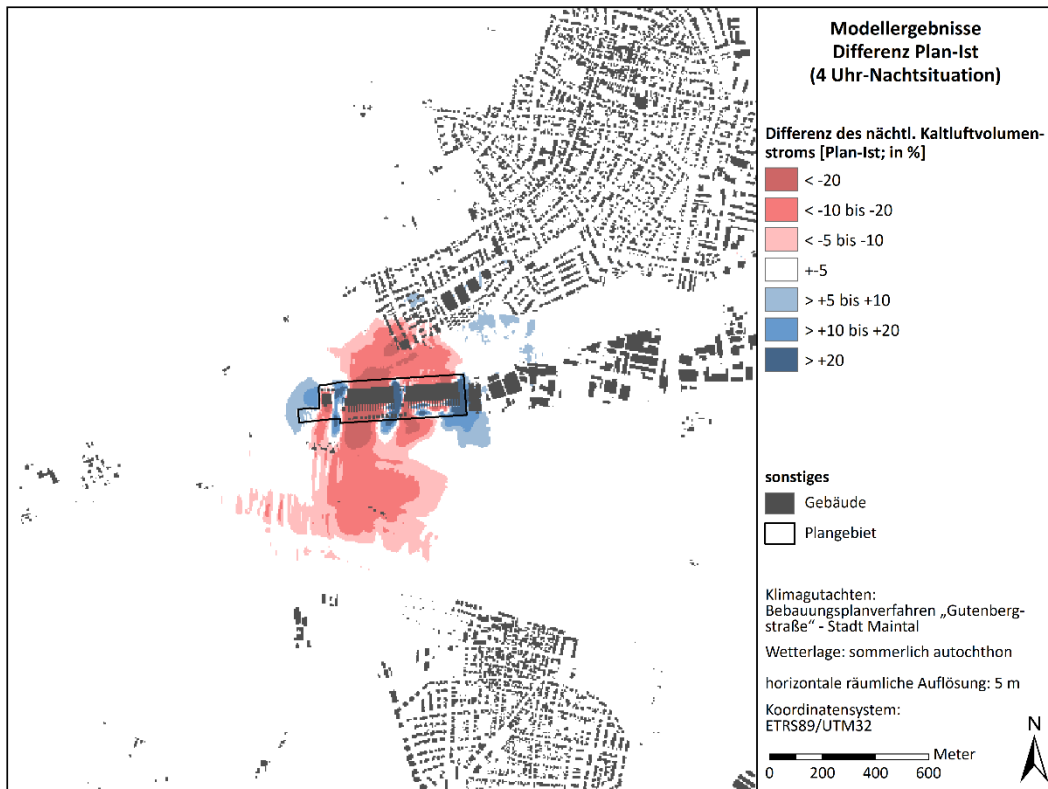


Abbildung 34: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung des Kaltluftvolumenstroms in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

6.1.2 Nächtliche Lufttemperaturverteilung

Die Ermittlung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur 2 m ü.G. (04:00 Uhr) ermöglicht es, überwärmte Stadt-/Siedlungsbereiche (sogenannte Wärmeinseln) zu identifizieren, und die räumliche Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die nachfolgend aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die relativen Unterschiede innerhalb der Stadt-/Siedlungsgebiete bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten auch während Strahlungswetterlagen zu anderen Jahreszeiten.

In Abhängigkeit von der Landnutzung bzw. von den Boden- und Oberflächeneigenschaften kühlen Flächen in den Abend- und Nachtstunden unterschiedlich stark ab. So reicht die bodennahe nächtliche Lufttemperaturspanne im Modellergebnis für den Ist-Zustand (**Abbildung 35**) gegen 04:00 Uhr von ca. 15.0 – 16.0°C über Wiesen- und Landwirtschaftsflächen (= Kaltluftentstehungs-, Kaltluftsammel- und Kaltluftbewegungsflächen) bis zu ca. 19.0 – 21.0° über großflächig versiegelten Gewerbegebietsflächen (z.B. Planungsgebiet) und dicht bebauten Ortslagen in Bischofsheim (Schäfergasse / Alt Bischofsheim). Hier macht sich zusätzlich die abgeschwächte Intensität bodennaher Kaltluftzuflüsse aus umliegenden Freiraumgefüge thermisch negativ bemerkbar.

Die zum Planungsgebiet nächstgelegenen Wohngebiete in Bischofsheim nördlich der A 66 (Rhönstraße, Taunusstraße) zeigen sich gegen 04:00 Uhr durch die Siedlungsrandlage thermisch begünstigt. Über den Hausgärten werden Lufttemperaturen von ca. 16.0 – 17.5°C simuliert.

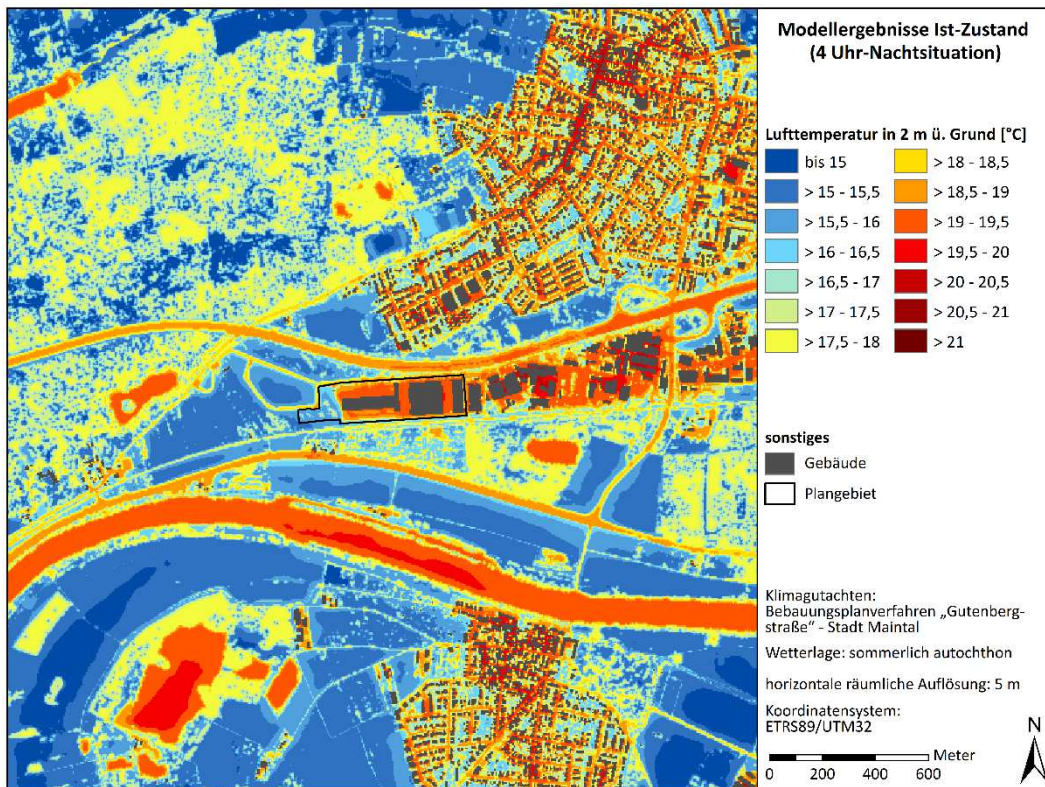


Abbildung 35: Ist-Zustand. Lufttemperaturverteilung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

Mit Realisierung der geplanten Bebauung (Betrachtung eines Worst-Case Falles, **Abbildungen 36** und **37**) kommt es in Strahlungs Nächten allein im Planungsgebiet selbst und in dessen unmittelbaren Nahbereichen zu Änderungen der Lufttemperaturverteilung (2 m ü.G.). Durch die vermehrte Grünausstattung des Planungsgebiets entlang der Gutenbergstraße und im südöstlichen Planungsteilbereich wird die nächtliche Abkühlung auf diesen Arealen leicht forciert, so dass gegenüber dem Ist-Zustand um ca. 1.0 – 2.0 K niedrigere Lufttemperaturen berechnet werden. Im westlichen Teilbereich des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“ nimmt durch die bauliche Inanspruchnahme des bisherigen Freiraums die Lufttemperatur um bis zu ca. 3.0 K zu. Eine bedeutsame Warmluftverfrachtung ist durch die Kleinräumigkeit der Temperaturänderung nicht festzustellen.

Die Ergebnisse der Lufttemperatursimulationen weisen darauf hin, dass die in Kap. 6.1.1 beschriebene Abnahme des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Planungsumfeld (z.B. nördlich der A 66) mit keinen relevanten Klimaänderungen in den bodennächsten Luftschichten verbunden ist. Die von den Wärmeemissionen der potenziellen Rechenzentren verursachte Abnahme des Kaltluftvolumenstroms im Planungsumfeld beschränkt sich im Wesentlichen auf die Höhenschichten von ca. 20 – 50 m ü.G.

Die bodennahe Kaltluftbildung über dem Freiraumgefüge nördlich, südlich und westlich des Planungsgebiets wird durch die planungsbedingte Prozesswärme nicht auffallend gestört.

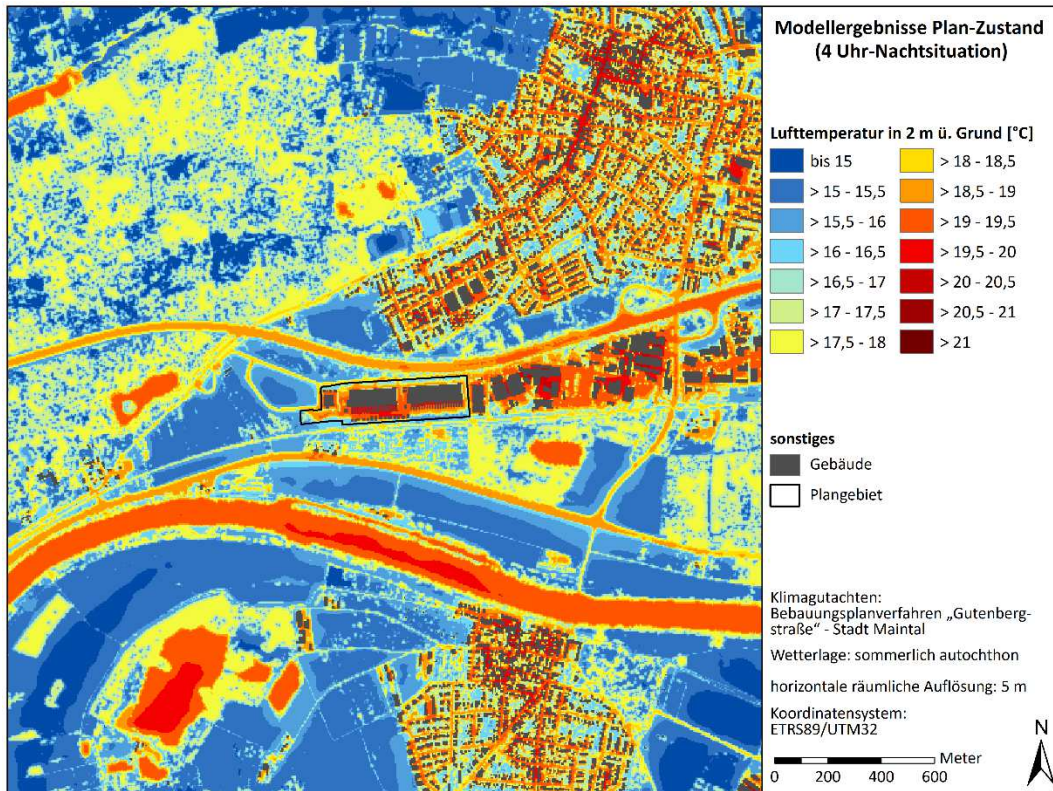


Abbildung 36: Plan-Zustand. Lufttemperaturverteilung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

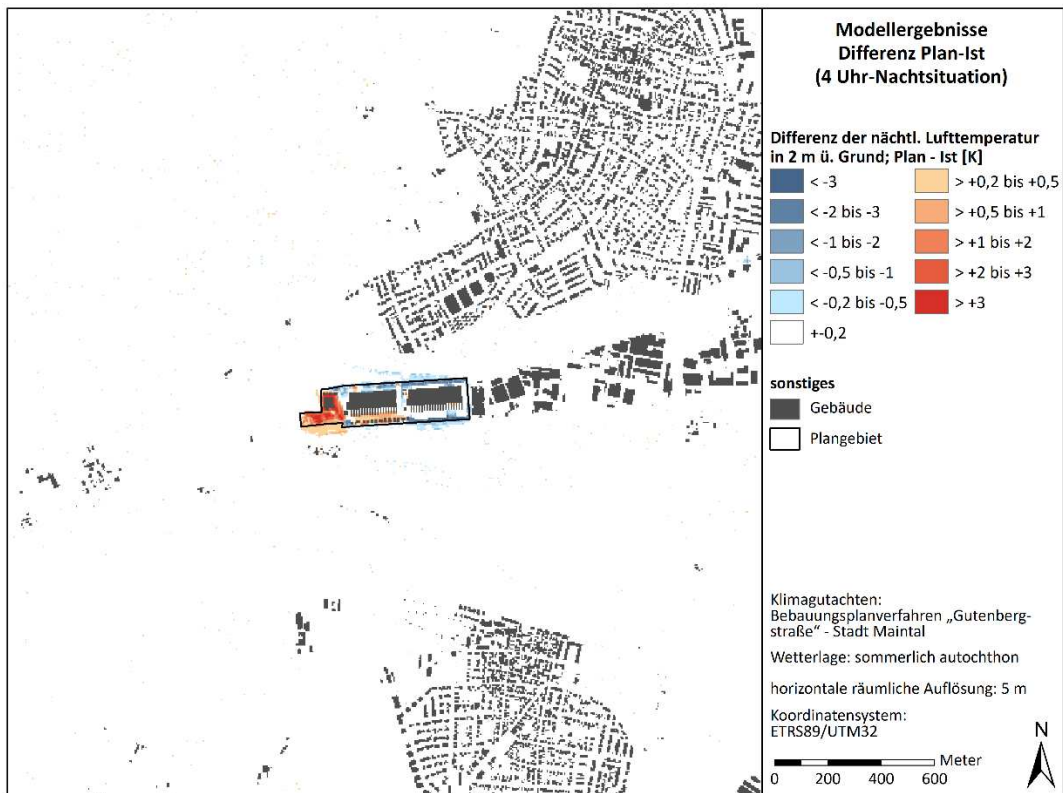


Abbildung 37: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)

6.2 Belüftungssituation am Tag

Wie in Kap. 5.1 beschrieben, herrschen im Planungsgebiet im Allgemeinen süd-südwestliche bis südwestliche und nördliche bis nordnordöstliche Luftströmungen vor, wobei es durch die Flächennutzung und das Relief lokal zu leichten Differenzierungen kommen kann. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt ca. 2.1 m/s.

Zur Begutachtung des Einflusses des Planungsvorhabens auf die örtliche Belüftungssituation wird bei den nachfolgenden Modellrechnungen ein typischer windschwacher Sommertag zu Grunde gelegt. Durch die am Tag turbulente Durchmischung der bodennahen Luftschichten zeigen sich flächennutzungs- und reliefbedingt recht unterschiedliche Windrichtungen.

Wie die Ergebnisse für den **Ist-Zustand (Abbildung 38)** belegen, zeigt sich das Planungsgebiet und dessen Umfeld mit Windgeschwindigkeiten von ca. 1.0 – 3.0 mäßig bis gut gut belüftet. Windgeschwindigkeiten unter 1.0 m/s, die auf einen deutlich abgeschwächten bodennahen Luftaustausch schließen lassen, bleiben auf die unmittelbaren Gebäudelee- und Gebäudeluvlagen sowie auf den Nahbereich dichter Gehölzbestände bzw. auf Waldflächen begrenzt.

Mit Realisierung der potenziellen Rechenzentren an der Gutenbergstraße (**Plan-Zustand, Abbildungen 39 und 40**) ist durch die Wärmeemissionen im Planungsumfeld mit einer leichten Windbeschleunigung (+0.05 bis +0.40 m/s) zu rechnen. Durch die Wärmeemissionen wird der vertikale Luftaustausch intensiviert, wodurch kräftigere Winde aus höheren Luftschichten vermehrt bodennah Wirkung zeigen. Planungsbedingte Abnahmen der horizontalen Windgeschwindigkeiten bleiben im Wesentlichen auf die unmittelbaren Windschattenlagen der Rechenzentren und auf die Nahbereiche der wärmeemittierenden Anlagen mit deutlichen vertikalen Auftriebsbewegungen beschränkt.

Nördlich der A 66 sind am Südwestrand von Bischofsheim nur geringfügige planungsbedingte Windgeschwindigkeitsreduzierungen (-0.1 bis -0.3 m/s) festzustellen. Angesichts der strömungsdynamischen Gunstlage am Siedlungsrand, ist diese Einbuße an Strömungsintensität als vertretbar einzustufen. Das ortsspezifische Belüftungsniveau wird nicht unterschritten.

Innerhalb des Planungsgebiets fungieren die Gebäudeabstandsflächen in Nord-Süd-Richtung als Belüftungsflächen, über welchen der Höhenwind vermehrt bodennah durchgreifen kann.

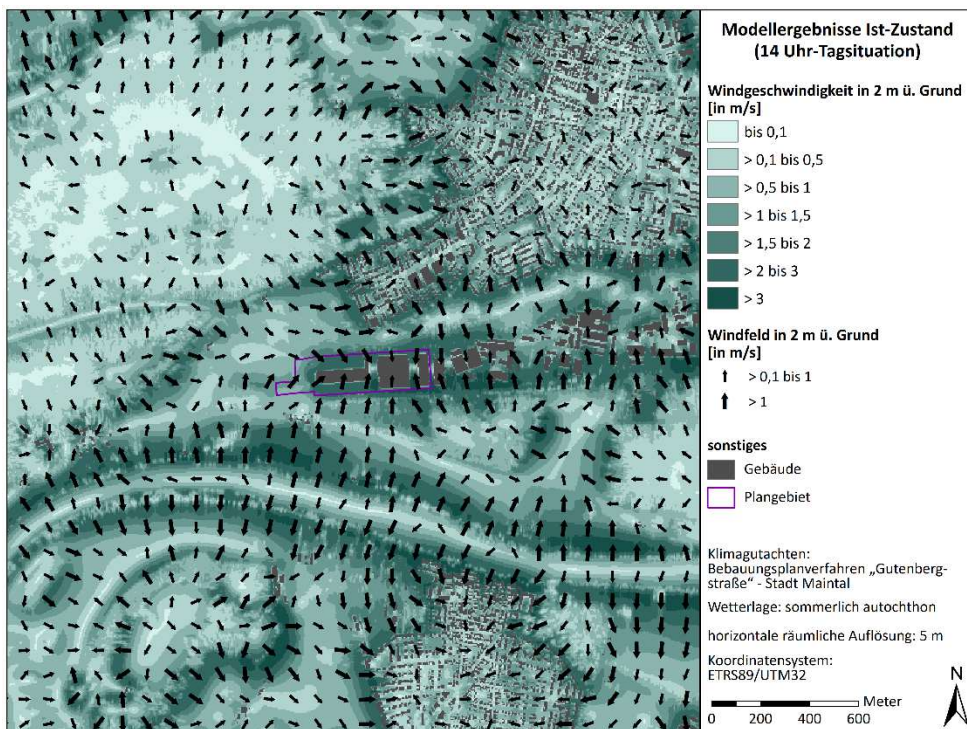


Abbildung 38: Ist-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)

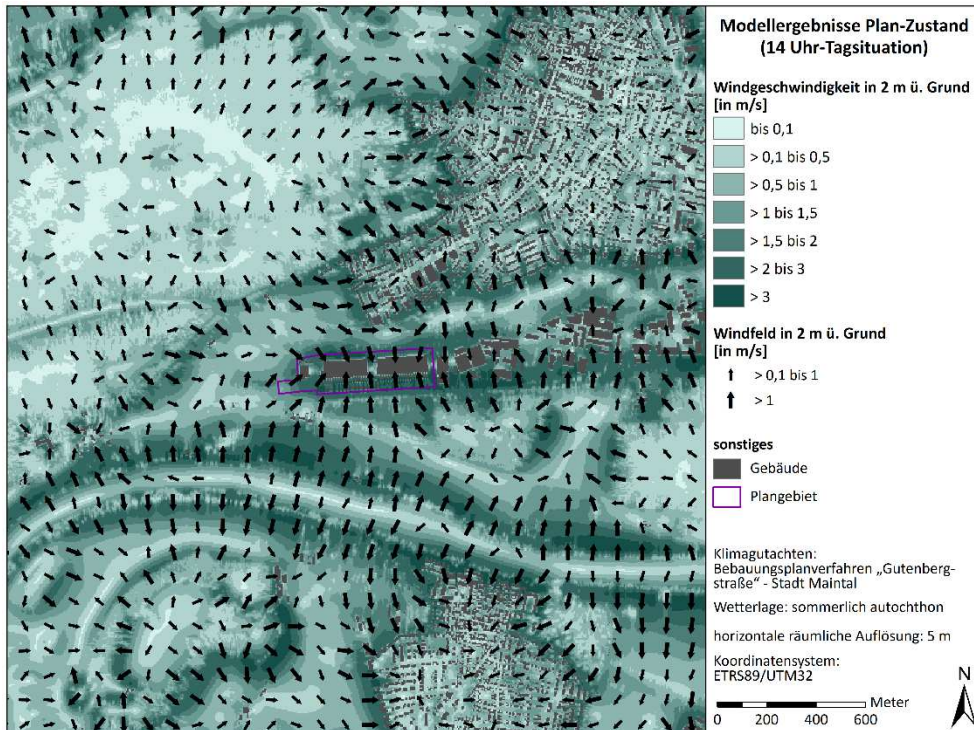


Abbildung 39: Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)

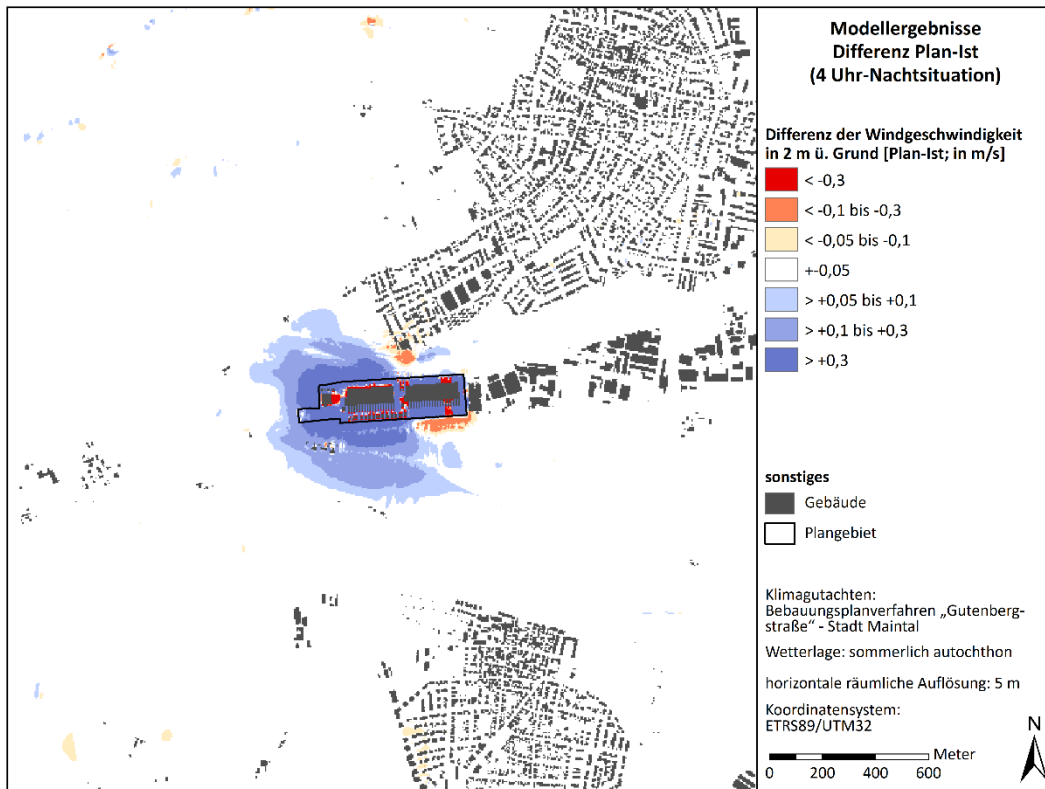


Abbildung 40 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. am Tag bei einer vorherrschenden autochthonen Strahlungswetterlage (Sommer)

Wie in Kap. 3 angeführt, sind zur Prüfung der Notstromaggregate am Tag zeitweise Abluftkamine in Betrieb. Der Vergleich der Windfelder für den Ist- und Plan-Zustand zeigt, dass die Wärmeemissionen der Abluftkamine im bodennächsten Windfeld bis 10 m ü.G. keine auffallenden Windfeldmodifikationen hervorrufen und auf das Planungsgebiet selbst beschränkt bleiben. Die punktuellen Warmluftemissionen mit einer Austrittsgeschwindigkeit von ca. 11 m/s verändern damit in keinem relevanten Umfang das örtliche Luftaustauschgeschehen.

6.3 Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen am Tag

Zur Bestimmung der Wärmebelastung am Tag wird nachfolgend für das Bioklimamaß PET (Physiologische Äquivalenttemperatur / engl. Physiological Equivalent Temperature) der 14:00 Uhr-Termin gewählt. Wie der beispielhafte PET-Tagesgang in **Abbildung 41** dokumentiert, ist zu diesem Zeitpunkt in Kombination Sonneneinstrahlung / Lufttemperatur die höchste bioklimatische Belastung zu erwarten. Die max. bioklimatische Wärmebelastung tritt somit deutlich früher auf als die max. Lufttemperatur, die in den Sommermonaten erst zwischen 16:00 Uhr und 17:00 Uhr zu erwarten ist [siehe: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024, S. 10)].

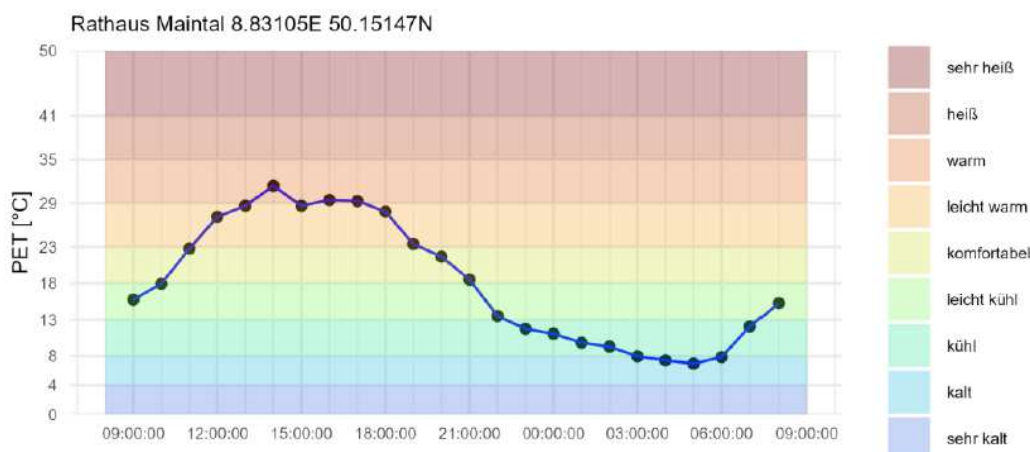


Abbildung 41: Beispielhafter Tagesgang der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) an einem warmen Sommertag. Grafikquelle: MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)

Bei den Berechnungen wird ein Sommertag ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) zu Grunde gelegt, um im Resultat eine möglichst große Spannbreite unterschiedlicher Belastungsstufen herausarbeiten zu können.

Der PET-Wert ist ein biometeorologisches Bewertungsmaß [siehe VDI-RICHTLINIE 3787, BL. 2 (2022): Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas], das den aktuellen meteorologischen Atmosphärenzustand in thermischer Hinsicht für den Menschen bewertbar macht.

Die PET ist auf Basis einer standardisierten Person, die sich im Freien aufhält und nachfolgende Kriterien erfüllt, diejenige Temperatur, bei der im typischen Innenraum die Energiebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist. Es findet eine Adaption der real wahrgenommenen Bedingungen der Außenwelt in den Innenraum statt und ermöglicht es dem Menschen, den thermischen Zustand außerhalb mit seinen Erfahrungen im Innenraum in Relation zu setzen.

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: 80 W (leichte Tätigkeit, sitzend)
- Kleidungsfaktor: 0,9 clo

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.

Die Bewertung der Wärmebelastung nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 kann der **Tabelle 5** entnommen werden.

PET (°C)	Thermisches Empfinden	Belastungskategorie
>41	<i>sehr heiß</i>	<i>extrem starke Wärmebelastung / Hitzestress</i>
35 bis ≤ 41	<i>heiß</i>	<i>starke Wärmebelastung / Hitzestress</i>
29 bis ≤ 35	<i>warm</i>	<i>moderate Wärmebelastung</i>
23 bis ≤ 29	<i>leicht warm</i>	<i>leichte Wärmebelastung</i>
18 bis ≤ 23	<i>komfortabel (neutral)</i>	<i>kein thermischer Stress</i>

Tabelle 5: Kategorisierung von PET in Bereiche unterschiedlichen thermischen Empfindens.
VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022)

Bei den nachfolgenden Berechnungen wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios eine großräumige Windgeschwindigkeit von unter 1.0 m/s zu Grunde gelegt.

Abbildung 42 (Ist-Zustand): Die PET weist im im Untersuchungsgebiet eine Spanne von ca. 18°C auf. Flächenhaft heben sich gehölzüberstellte Flächen mit den geringsten PET-Werten von meist unter 26°C ab (keine bis leichte Wärmebelastung). Der Aufenthaltsbereich des Menschen liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sodass Schattenbereiche von Gehölzen / Bäumen in der Regel als „kühle“ Rückzugsorte dienen können. Auch Gewässer wirken am Tag kühlend, insbesondere in Kombination mit schattenwerfender Ufervegetation.

Die Landwirtschaftsflächen zeigen sich durch den Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung stark bis extrem belastet. Hier ergeben sich bzgl. der bioklimatischen Bewertung keine größeren Unterschiede zu versiegelten Flächen. Im Planungsgebiet fehlen größere gehölzüberstellte Flächen, die durch ihren Schattenwurf als bioklimatische Gunstflächen wirken könnten. Über den versiegelten Stellplatzflächen werden PET-Werte bis über 41°C berechnet.

Im Bereich der Wohnbebauung Bischofsheim, nördlich der A 66, zeigen sich über den Erschließungsstraßen (z.B. Rhönstraße und Spessartstraße) und den unbeschatteten Hausgärten starke bis extreme Wärmebelastungen. Allein dort, wo sich in den Gärten Baumgruppen befinden (z.B. östlich der Ecke Taunusstraße / Fechenheimer Weg) ist die bioklimatische Belastung nur mäßig.

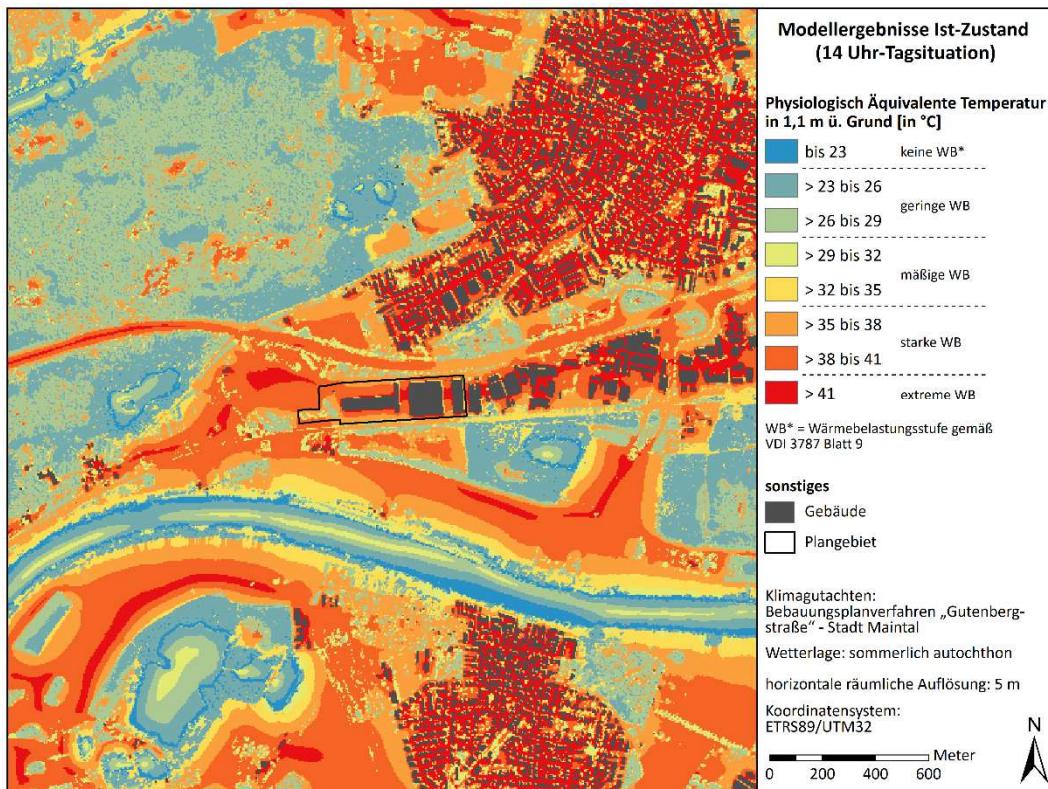


Abbildung 42: Ist-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Plan-Zustand** (**Abbildungen 43** und **44**) lassen erkennen, dass sich die planungsbedingten Veränderungen bei der bioklimatischen Belastung auf das Planungsgebiet und dessen unmittelbaren Nahbereich beschränken.

Durch den zusätzlichen Schattenwurf der geplanten Rechenzentren sowie durch die Windbeschleunigungen am Nord- und Südrand des Planungsgebiets (siehe **Abbildung 43**) nimmt die bioklimatische Belastung am Tag im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Bebauung gegenüber dem Ist-Zustand ab. Allein im westlichen Planungsteilgebiet, das neu bebaut wird, stellen sich im Vergleich zum Ist-Zustand kleinflächige bioklimatische Zusatzbelastungen ein. Sensible Wohnbebauung ist von den bioklimatischen Zusatzbelastungen nicht betroffen.

Bezüglich der bioklimatischen Umgebungsbedingungen ist das Planungsvorhaben somit als verträglich einzustufen.

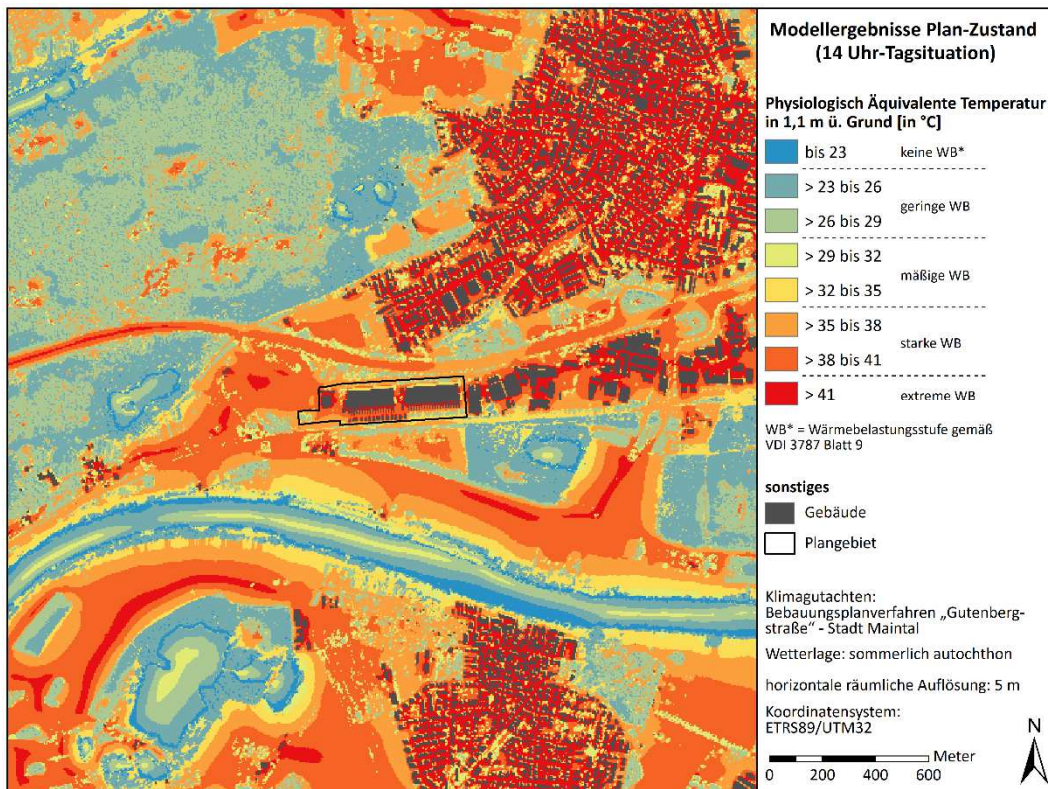


Abbildung 43: Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)

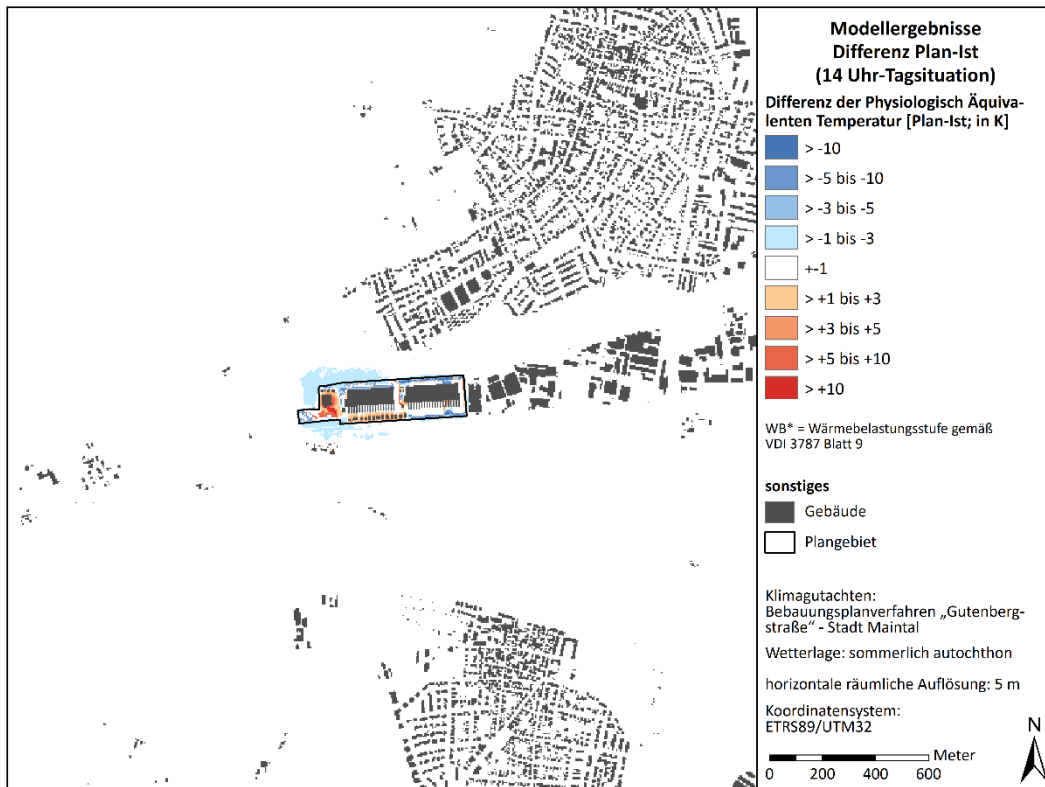


Abbildung 44 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der bioklimatischen Belastung (PET-Werte) 1.1 m ü.G. an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)

7 Schwadenbildung / Wolkenmodifikation

Wie in Kap. 3 bereits angeführt, sind auf den Dachflächen der beiden Rechenzentren wärmeemittierende Anlagen platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen.

Die Rückkühler bzw. Ventilatoren / Ciller geben alleine fühlbare Wärme an die Umgebung ab, also keinen Wasserdampf. Die max. Austrittstemperatur der ausgestoßenen Luft beträgt 51°C (bei Luftaußentemperaturen von über 31°C). Die Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist laut Angaben des Auftraggebers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar. Damit ist der spezifische Wassergehalt in der Abluffahne der Rückkühler genauso groß wie in der Umgebungsluft. Nach DEUTSCHER WETTERDIENST (1992) steigt die emittierte Abluft aufgrund der höheren Temperatur und des durch den Ventilator erzeugten vertikalen Impulses auf und kühlt sich trockenadiabatisch durch die Luftdruckabnahme ab. Wird ein thermisches Gleichgewicht erreicht, so breitet sich die Abluffahne in horizontaler Richtung aus. Während dieses Prozesses vermischt sich die Fahnenluft mit der Umgebungsluft und nimmt immer mehr den physikalischen Zustand (Wärmeinhalt und Geschwindigkeit) der Umgebungsluft an. Wird durch die Vertikalbewegung und die damit verbundene Abkühlung das Kondensationsniveau erreicht, so bildet sich Flüssigwasser in der Abluffahne, die damit sichtbar wird.

Ergebnisse von umfangreichen Modellrechnungen durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (1992) für Luftkondensatoren, die mit ihrer Abluffahne näherungsweise mit derjenigen von Rückkühlern bzw. Ventilatoren / Chillern vergleichbar sind zeigen, dass es erst ab einer Abwärmeleistung von 600 MW in allen Jahreszeiten zu Schwadenbildungen kommen kann. Dieser Wert wird von typischen Rechenzentren nicht erreicht.

Die Verminderung der Sonnenscheindauer durch die Wärmeemissionen der Rückkühler ist daher nicht zu befürchten. Ebenso eine Erhöhung der Nebelbildung.

Auch eine Zunahme von Gewittern, Unwettern und Hagelschäden tritt nicht ein. Nach Studien des Deutschen Wetterdienstes (DEUTSCHER WETTERDIENST 1980) sind derartige Effekte selbst im Umfeld großer Wärmekraftwerke nicht zu beobachten.

Bei den Abluftkaminen, die die Abgasemissionen der Notstromaggregate bündeln, kann es durch Aerosole, insbesondere in der Startphase der Dieselgeneratoren, zur Schwadenbildung kommen. Wie in Kap. 3 bereits erwähnt, ist der Betrieb in der Regel an Testphasen gebunden, die im Jahresverlauf als Kurzzeitereignisse einzustufen sind.

Da zudem kein Wasserdampf emittiert wird, zerreißen die Abgasfahnen schon nach kurzer Entfernung zum Austrittsort in einzelnen Schwadenfetzen, so dass keine relevante Schattenbildung am Boden auftritt.

Durch die Wärmeemissionen der Kamine (Temperaturen bis ca. 550°C, Austrittsvolumen ca. 11.1 m³/s) ist aber auch mit keiner relevanten Auflösung von Regenschichten zu rechnen.

Die ausgestoßene Warmluft wird nach Übergang in die Atmosphäre aufgrund der turbulenten Durchmischung mit der Umgebungsluft rasch abgekühlt.

Der Vertikalimpuls der Abluftkamine reicht bei nahezu Windstille bis ca. 480 m ü.G. (ÖKOPLANA / GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH 2025). Bei vorherrschenden allgemeinen Windgeschwindigkeiten von 4 m/s endet der Vertikalauftrieb bereits bei ca. 300 m ü. G.

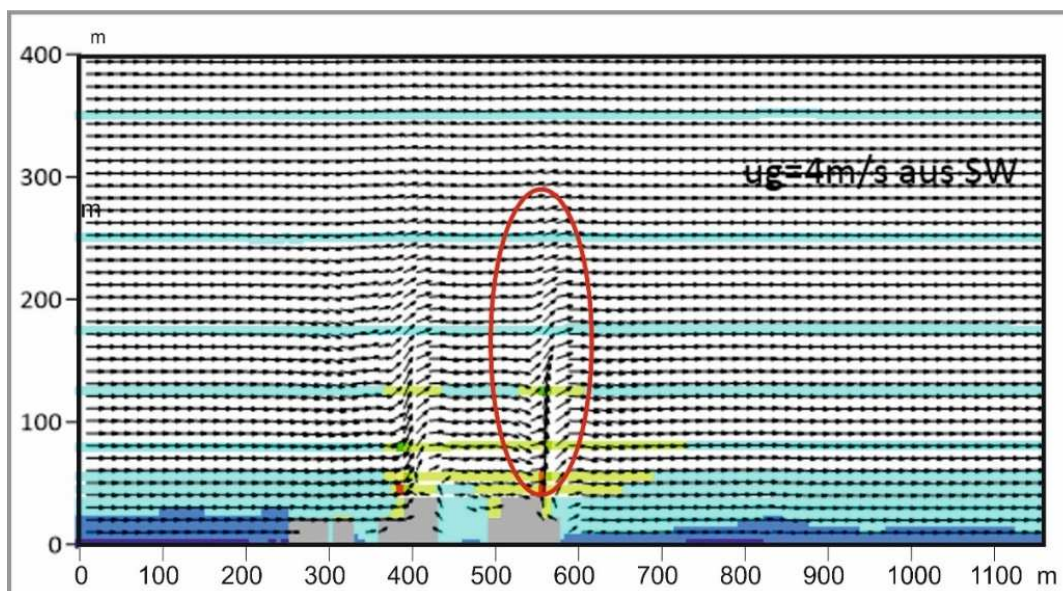


Abbildung 45 Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Kaminen.
Aus: ÖKOPLANA/ GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH 2025)

Auswertungen von Niederschlagsdaten der DWD-Station Frankfurt-Flughafen (Stationsnr. 1420, Höhenlage 100 m ü. NHN) für den Zeitraum 15.04.2024 – 15.04.2025 (Datenquelle: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/opendata/opendata.html>) zeigen, dass an 57% der Tage Niederschlag von mindestens 0.1 mm auftritt. Während an Tagen ohne Niederschlag die mittlere Windgeschwindigkeit ca. 2.9 m/s (10 m ü.G.) beträgt, beläuft sich der Wert an Tagen mit Niederschlag auf ca. 3.7 m/s, also knapp 4 m/s.

Wie **Tabelle 6** zeigt, sind auch bei Betrachtung des 20-jährigen Datenkollektivs an Regentagen vergleichsweise hohe Windgeschwindigkeiten zu erwarten. Zumeist liegen die Windgeschwindigkeiten zwischen 3.1 und 5.0 m/s (10 m ü.G.), wobei südliche bis südsüdwestliche Windrichtungen vorherrschen.

Geschwindigkeit in m/s	N 0°	NNE 30°	ENE 60°	E 90°	ESE 120°	SSE 150°	S 180°	SSW 210°	WSW 240°	W 270°	WNW 300°	NNW 330°	Kalmen umlaufend	Summe	Häufigkeit (Tage)
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
0,1 - 1,0	31	45	83	92	85	66	85	51	39	17	10	17	340	961	1 - 24
1,1 - 2,0	144	339	453	355	244	239	429	364	210	58	60	91	152	3138	25 - 49
2,1 - 3,0	240	508	344	122	105	180	638	817	345	105	155	143	23	3725	50 - 74
3,1 - 4,0	237	440	161	42	28	92	735	1223	400	204	243	123	1	3929	75 - 99
4,1 - 5,0	172	344	35	12	7	40	762	1238	410	195	242	79	1	3537	100 - 199
5,1 - 6,0	138	265	22	8	7	15	626	1173	391	184	135	57	-	3021	200 - 299
6,1 - 7,0	56	177	12	5	3	6	317	943	340	154	99	40	1	2153	300 - 399
7,1 - 8,0	17	97	5	1	-	4	134	633	334	118	51	16	-	1410	400 - 499
8,1 - 9,0	2	48	1	1	-	2	69	428	236	81	40	9	-	917	500 - 599
9,1 - 10,0	2	7	-	-	1	-	39	297	134	33	17	2	-	532	600 - 699
10,1 - 11,0	1	2	-	-	-	-	14	139	109	30	5	-	-	300	700 - 799
11,1 - 12,0	-	1	-	1	-	-	4	80	69	17	3	-	-	175	800 - 999
12,1 - 13,0	-	-	-	-	-	-	2	32	43	9	-	2	-	88	1000 - 1199
13,1 - 14,0	-	-	-	-	-	-	-	19	17	7	1	-	-	-	> 1200
14,1 - 15,0	-	-	-	-	-	-	1	3	5	6	-	-	-	-	
15,1 - 16,0	-	-	-	-	-	-	-	1	4	4	2	1	-	-	
16,1 - 17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	
17,1 - 18,0	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	-	-	-	-	
18,1 - 19,0	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	
> 19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	

Tabelle 6: Häufigkeit von Regenfällen (in Tagen) und dabei vorherrschende Windverhältnisse. Zeitraum 1982 – 2002. Aus: Deutscher Wetterdienst (2004)

In der Meteorologie werden drei Wolkenstockwerke definiert (DEUTSCHER WETTERDIENST 1990):

- Wolkenstockwerk 1 / hohe Wolken: 5 – 13 km Höhe:
Cirrus, Cirrocumulus, Cirrostratus
- Wolkenstockwerk 2 / mitelhohe Wolken: 2 – 7 km Höhe:
Altostratus, Altostratus, Nimbostratus
- Wolkenstockwerk 3 / tiefe Wolken: 0 – 2 km Höhe:
Stratocumulus, Stratus, Cumulus, Cumulonimbus

Als Regenwolken sind Nimbuswolken (lat. = Regen) definiert. Cumulonimbuswolken haben eine vertikale Ausdehnung, die häufig bis in das mittlere und obere Wolkenstockwerk reichen. Die von den Kaminen des Rechenzentrums aufsteigende Warmluft, deren Auftrieb bei heranziehendem Regenwetter nur bis ca. 300 m reicht, führt daher nicht zu einer Wolkenauflösung oder zu abgeschwächten Niederschlägen.

Auch bei vorherrschender Bewölkung mit Stratocumuluswolken, aus denen meist nur schwacher Niederschlag fällt, reichen die Auftriebsströmungen über den Kaminen des Rechenzentrums nicht, um eine nennenswerte Modifikation der Wolken zu bewirken. Dazu ist die von Auftriebsströmungen betroffene Fläche zu gering und bei einer meist vorherrschenden Wolkenuntergrenze von mehr als 500 m ist auch der Auftriebsimpuls über die Kamine zu gering, um Wolkenmodifikationen hervorrufen zu können.

8 Zusammenfassung und Bewertung

In der Stadt Maintal soll im südwestlich gelegenen Gewerbegebiet Maintal-West des Stadtteils Bischofsheim die planungsrechtliche Grundlage für die Errichtung eines Rechenzentrumscampus geschaffen werden.

Das Vorhaben umfasst den Neubau eines hochmodernen Rechenzentrumscampus, ergänzt durch zugehörige Bürogebäude sowie die für den Betrieb eines Rechenzentrums erforderlichen Notstromgeneratoren. Darüber hinaus ist im westlichen Bereich des Plangebietes die Errichtung eines Umspannwerks zur Sicherstellung der Stromversorgung des Rechenzentrumscampus geplant. Das Vorhaben dient der Stärkung der flächenhaften Digitalisierung und leistet einen wichtigen Beitrag zur Sicherung und Weiterentwicklung des Wirtschaftsstandortes Maintal sowie der Metropolregion Frankfurt RheinMain.

Das Plangebiet besitzt eine Größe von ca. 10.6 ha und liegt am südlichen Rand des Stadtteils Bischofsheim der Stadt Maintal innerhalb des Gewerbegebietes Maintal-West. Das Plangebiet ist über die Gutenbergstraße vollständig erschlossen.

Die Entfernung des Planungsgebiets zu den nächstgelegenen Wohngebäuden an der Ecke Taunusstraße / Rhönstraße im Norden beträgt etwa 130 m, wobei zwischen Planungsgebiet und Wohngebiet durch die dazwischen verlaufende A 66 eine räumliche Trennung gegeben ist.

Aktuell bestehen am Planungsstandort neben langgestreckten Logistikgebäuden mit großflächig versiegelten Erschließungs- und Stellplatzarealen 2- bis 3-geschossiger Bürogebäude. Damit liegt bereits heute entlang der Gutenbergstraße eine deutliche strömungsdynamische Barrierewirkung in Nord-Süd-Richtung vor.

Im Süden wird das Plangebiet durch die Bahnlinie Frankfurt am Main – Hanau begrenzt. Nördlich des Plangebiets befindet sich die Bundesautobahn A 66. Östlich des Plangebiets grenzen bestehende Gewerbeflächen des Gewerbegebietes Maintal-West an. Westlich des Plangebietes befinden sich bislang noch unbebaute Flächen des Gewerbegebietes Maintal-West.

Der Regionale Flächennutzungsplan 2010 (RegFNP) des REGIONALVERBANDS FRANKFURTRHEINMAIN weist das Planungsgebiet als bestehende gewerbliche Baufläche aus. Ein kleiner Teilbereich im Westen wird als gewerbliche Baufläche dargestellt.

Unmittelbar nördlich des Planungsgebiets und der A 66 befindet sich ein Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen. Gleiches gilt für die Flächen südlich und westlich des Planungsgebiets, wobei große Teile des Umfelds als Vorranggebiet Regionaler Grünzug gekennzeichnet sind.

Im Hinblick auf die städtebauliche Zielsetzung ist es beabsichtigt, ein Gewerbegebiet planungsrechtlich vorzusehen. Innerhalb des festzusetzenden Gewerbegebietes soll neben weiteren gewerblichen Nutzungen auch die Errichtung eines Rechenzentrums-campus möglich sein. Bei einem Rechenzentrum handelt es sich um eine gewerbliche Nutzung, die in einem Gewerbegebiet allgemein zulässig ist. Jedoch ist u.a. das Maß der baulichen Nutzung im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen eines Rechenzentrums-campus zu definieren.

Zur Genehmigungsfähigkeit und Ansiedlung eines Rechenzentrums-campus sollen innerhalb des Plangebietes eine Grundflächenzahl (GRZ) von 0.8 eine ausreichend dimensionierte überbaubare Grundstücksfläche sowie eine abweichende Bauweise mit einer maximalen Gebäudebreite festgesetzt werden. Zudem sind für das Maß der baulichen Nutzung Angaben zur Geschossflächenzahl (GFZ), Baumassenzahl (BMZ), der zulässigen Gebäudehöhen sowie der Überschreitung der Gebäudehöhe durch Schornsteine und Abluftkanäle vorgesehen. Durch die Ermöglichung einer hohen baulichen Ausnutzung innerhalb des Gewerbegebietes soll dem Grundsatz des sparsamen Umgangs mit Grund und Boden Rechnung getragen werden.

Ziel der Aufstellung des Bebauungsplans ist die Sicherstellung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung gem. § 1 Abs. 3 BauGB unter Berücksichtigung u.a. von Umwelt-, Immissions-, Verkehrs- und Klimaschutzbelangen sowie die Gewährleistung von Planungssicherheit für die Stadt Maintal, den Vorhabenträger sowie die Anlieger.

Der Planungsentwurf zeigt zwei Rechenzentrumsgebäude, die durch bauliche Nebenanlagen (u. a. Umspannwerk im Westen und Büro-/Lagerräume je am westlichen Randbereich der Rechenzentren) ergänzt werden.

Die maximal zulässige Gebäudehöhe beträgt 27.00 m. Die Festsetzung der maximal zulässigen Gebäudehöhe bemisst sich anhand des oberen Abschlusses des Gebäudes einschließlich technischer Aufbauten und Schallschutzanlagen. Der untere Bezugspunkt wird mit 102.50 m über NHN festgesetzt. Schornsteine und Abluftkanäle dürfen die festgesetzte maximal zulässige Gebäudehöhe überschreiten. Darüber hinaus ist im westlichen Bereich des Plangebietes die Errichtung eines Umspannwerkes (Substation) zur Sicherstellung der Stromversorgung des Rechenzentrums-campus geplant. Im südlichen Teil des Plangebietes befinden sich außerdem einzelne Tanks zur Speicherung von Wasser.

Die Haupteerschließung des Gesamtgeländes erfolgt über einen neuen Straßenzug im Westen des Planungsgebiets.

Zur Gestaltung günstiger lokalklimatischer Umgebungsbedingungen sollen im Planungsgebiet grünordnerische Maßnahmen (z.B. Baumpflanzungen, Bauwerksbegrünungen) ergriffen werden. Zudem wird auf ein klimaökologisch günstiges Albedomanagement bei der Gestaltung der Fassaden und auf eine ausreichende Versickerungsfähigkeit von Materialien zur Oberflächengestaltung (z.B. Parkierungsflächen) geachtet.

Auf den Dachflächen der beiden Rechenzentren sind technische Aufbauten platziert, die zur ständigen Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen. Je nach eingesetzter Technik dienen dazu Abluftventilatoren oder Rückkühler.

Die Luftaustrittstemperatur beträgt bei den Abluftventilatoren bis zu ca. 43°C. Die vertikale Austrittsgeschwindigkeit beträgt ca. 11.6 m/s.

Da die detaillierte Technik noch nicht vorliegt, wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios bei den vorliegenden Modellrechnungen vom Einsatz sog. Rückkühler (Ablufttemperatur bis ca. 51°C) ausgegangen.

Die erforderlichen Kamine, die die Abgase von Notstromaggregaten bündeln, sind in der aktuellen Planungsphase im südlichen Bereich des Gewerbegebietes untergebracht, damit ein möglichst großer Abstand zu dem nördlich der Bundesautobahn A 66 gelegenen Wohngebiet hergestellt wird. Sie finden bei der Klimaanalyse ebenfalls Beachtung.

Die Notstromaggregate werden in der Regel nur tagsüber zu Überprüfungszwecken (12 – 15 mal im Jahr), für einen „Black Building Test“ (einmal pro Jahr) sowie bei Messungen im Rahmen der 44. BImSchV in Betrieb genommen. Die Tests sind somit über das Gesamtjahr gesehen nur Kurzzeitereignisse.

Ausnahme kann der Ausfall des Stromnetzes sein, der den Start der Generatoren erforderlich macht. Die Häufigkeit und der Zeitpunkt dieses Ereignisses ist nicht vorherzusagen.

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens erfolgt zur Beurteilung der lokalklimatischen Situation und zur Erarbeitung klimatisch relevanter Planungsempfehlungen zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe des seit vielen Jahren im Gutachtensektor eingesetzten und vielfach geprüften Klimamodells FITNAH-3D für den Ist- und Plan-Zustand numerische Modellsimulationen durchgeführt.

Als Plan-Zustand wird die vorliegende Planung zu Grunde gelegt. Dabei findet im Sinne eines Worst-Case-Szenarios neben den Wärmeemissionen der Rückkühler auch die Abluft der Kamine Beachtung.

Schwerpunkt der Modellrechnung ist das lokale Kaltluftprozessgeschehen, das örtlich von besonderer siedlungs-/geländeklimatischer Bedeutung ist. Daneben werden die planungsbedingten Einflüsse auf die ortsspezifischen Belüftungsverhältnisse und die bioklimatischen Umgebungsbedingungen an warmen Sommertagen analysiert und bewertet.

Wie mehrjährigen Winddaten an der DWD-Station Offenbach (Wetterpark) zeigen, herrschen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen südsüdwestliche bis südwestliche und nördliche bis nordnordöstliche Windrichtungen vor, wobei es durch die Flächennutzung und das Relief lokal zu leichten Differenzierungen kommen kann. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt entlang des Mains ca. 2.1 m/s (10 m ü.G.).

Im Sommer schwächt sich die Intensität der bodennahen Ventilation ab, was zusammen mit hohen Lufttemperaturen (Sommertage $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) vermehrt zu bioklimatischen Belastungen führt. Übergängen zwischen Freiland und Bebauung sowie bebauungsinternen Ventilationsbahnen kommen dann eine besondere Bedeutung zu. Die Zufuhr bodennaher Kaltluft intensiviert die nächtliche Abkühlung. Zudem unterbinden Ventilationseffekte auch die verstärkte Akkumulation von Luftschadstoffen.

Nach Berechnungen von MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) entstehen in windschwachen sommerlichen Strahlungsnächten Kaltluftvolumenströme entlang der Taleinschnitte nördlich von Bischofsheim, die sich ins Maintal bewegen. Für das Planungsgebiet relevant ist dabei die Schneise westlich von Bischofsheim zum Enkheimer Ried. Dort fließt die Kaltluft in Richtung Main ohne in der Bebauung von Bischofsheim wirksam einströmen zu können. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, die im Bereich des Enkheimer Waldes an der Grenze zu Frankfurt am Main eine Höhe von knapp 30 m aufweist, überschreitet kaum eine Fließgeschwindigkeit von 1.0 m/s. Lediglich in steileren Hanglagen nördlich von Bischofsheim erreicht die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft einen Wert von ca. 2.0 m/s.

Nach MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH liegt in den unbebauten Teilbereichen des Planungsgebiets ein mäßiges bis gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial vor, wohingegen der überbaute Bereich ein geringes bis mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial aufweist.

Insbesondere an sommerlichen Strahlungstagen sind im Planungsgebiet und in dessen Umfeld auffallende thermische Differenzierungen zu erwarten. Laut MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024) wird die stadtklimatische Situation im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch unterschiedliche Flächennutzungen modifiziert. Dieser Umstand kann mithilfe von Klimatopen dargestellt werden. Das Planungsgebiet ist dabei weitgehend als „Gewerbe-Industrieklimatop“ gekennzeichnet. Ein derartiges Klimatop wird von Gewerbebetrieben mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten geprägt. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen der Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen.

Der Siedlungsbereich von Bischofsheim nördlich des Planungsgebiets ist größtenteils als Stadtklimatop gekennzeichnet. Stadtklimabiotope zeichnen sich durch überwiegend dichte Bebauung und einen hohen Versiegelungsgrad mit geringem Grünflächenanteil aus. Tagsüber kann es durch hohe Temperaturen zu Hitzestress kommen, bzw. können zeitweise ungünstige human-biometeorologische Verhältnisse auftreten.

Laut klimaökologischer Planungshinweiskarte für die Stadt Maintal [MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024)] besteht im Planungsgebiet zwar keine hohe Handlungspriorität zur Ergreifung stadtklimatisch wirksamer Ausgleichsmaßnahmen, angesichts der Folgen des globalen Klimawandels, die im Rhein-Main-Gebiet in den nächsten Jahrzehnten zu einem deutlichen Anstieg der sommerlichen Wärmebelastung führen werden, muss die Begrenzung des örtlichen Wärmeinseleffekts dennoch Berücksichtigung finden.

Die Ergebnisse vergleichender Modellrechnungen⁸ (Ist-Zustand ↔ Plan-Zustand) zu den nächtlichen bodennahen Kaltluftfließgeschwindigkeiten dokumentieren, dass der potenzielle Bau der Rechenzentren (inkl. Wärmeemissionen) nach Abriss der Bestandsbebauung nur im Planungsgebiet und in dessen unmittelbarer Umgebung zu Windgeschwindigkeitsänderungen führt.

Im Planungsgebiet stehen örtlichen Windbeschleunigungen durch den Abriss der Bestandsbebauung in nahezu vergleichbarer Intensität Windabschwächungen durch die Neubauten und deren Wärmeemissionen gegenüber.

⁸ Im Sinne eines Worst-Case-Szenarios wird bei den Modellrechnungen zum nächtlichen Kaltluftprozessgeschehen davon ausgegangen, dass alle wärmeemittierenden Anlagen des geplanten Rechenzentrums in Betrieb sind.

Nördlich der A 66 sind im Wohngebiet zwischen Rhönstraße und Spessartstraße durch die planungsbedingt vermehrte Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht gegenüber dem Ist-Zustand geringfügige Windbeschleunigungen (+0.05 bis +0.3 m/s) zu verzeichnen. Westlich der Taunusstraße sind hingegen kleinflächige Windabschwächungen zu bilanzieren, die aber zu keiner stadtklimatisch nennenswerten Veränderung der Kaltluftströmungsrichtungen führen. Das Planungsvorhaben „Rechenzentrum Gutenbergstraße“ hat somit keine stadtklimatisch bedenkliche Schwächung der kaltluftbedingten Belüftungsintensitäten zur Folge.

Auch bzgl. des lokalen Kaltluftvolumenstroms sind die planungsbedingten Auswirkungen als akzeptabel einzustufen. Die Ergebnisse der durchgeführten Modellrechnungen belegen, dass durch die neuen Baustrukturen (Rechenzentren) und die aufsteigende Prozesswärme über dem Planungsgebiet zwar Kaltluftvolumen aufgezehrt wird, in der südwestlichen Ortslage von Bischofsheim, das Kaltluftdurchlüftungspotenzial laut VDI-Richtlinie 3787, Bl. 5 „Lokale Kaltluft“ (2026) aber nicht gravierend geschwächt wird.

Die Ergebnisse der Simulationen zum nächtlichen Lufttemperaturfeld weisen darauf hin, dass es bei Realisierung der Rechenzentren in der Bestandsbebauung von Bischofsheim nördlich der A 66 zu keinen relevanten Lufttemperaturänderungen in den bodennächsten Luftschichten kommt. Die von der planungsbedingten Prozesswärme verursachte Abnahme des Kaltluftvolumenstroms im Planungsumfeld beschränkt sich im Wesentlichen auf die Höhenschichten von ca. 20 – 50 m ü.G.

Die bodennahe Kaltluftbildung über dem Freiraumgefüge nördlich, südlich und westlich des Planungsgebiets wird durch die planungsbedingte Prozesswärme nicht auffallend gestört.

Am Tag zeigt sich das Planungsgebiet und dessen Umfeld im Ist-Zustand mit Windgeschwindigkeiten von ca. 1.0 – 3.0 mäßig bis gut belüftet. Windgeschwindigkeiten unter 1.0 m/s, die auf einen deutlich abgeschwächten bodennahen Luftaustausch schließen lassen, bleiben auf die unmittelbaren Gebäudelee- und Gebäudeluvlagen sowie auf den Nahbereich dichter Gehölzbestände bzw. auf Waldflächen begrenzt.

Mit Realisierung der potenziellen Rechenzentren an der Gutenbergstraße (Plan-Zustand) bleiben planungsbedingte Abnahmen der horizontalen Windgeschwindigkeiten im Wesentlichen auf die unmittelbaren Windschattenlagen der Rechenzentren und auf die Nahbereiche der wärmeemittierenden Anlagen mit deutlichen vertikalen Auftriebsbewegungen beschränkt. Nördlich der A 66 sind am Südwestrand von Bischofsheim nur geringfügige planungsbedingte Windgeschwindigkeitsreduzierungen (-0.1 bis -0.3 m/s) festzustellen.

Angeht die strömungsdynamische Gunstlage am Siedlungsrand, ist diese Einbuße an Strömungsintensität als vertretbar einzustufen. Das ortsspezifische Belüftungsniveau wird nicht unterschritten.

Auch bezüglich der bioklimatischen Umgebungsbedingungen lassen die Ergebnisse der Modellrechnungen keine Zusatzbelastungen erwarten, die stadtklimatisch als unverträglich einzustufen sind.

Weitere Themen im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens sind Schwadenbildungen über Abluftkaminen und mögliche Tendenzen zur vermehrten Wolkenauflösung durch emittierte Warmluft aus den Rechenzentren.

Auf den Dachflächen des geplanten Rechenzentrums sind zahlreiche wärmeemittierende Anlagen platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen. Die Rückkühler bzw. Ventilatoren / Chiller geben alleine fühlbare Wärme an die Umgebung ab, also keinen Wasserdampf. Die max. Austrittstemperatur der ausgestoßenen Luft beträgt bei Rückkühlern ca. 51°C (bei Luftaußentemperaturen von über 31°C). Die Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist laut Angaben des Auftraggebers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar. Damit ist der spezifische Wassergehalt in der Abluffahne der Rückkühler genauso groß wie in der Umgebungsluft.

Ergebnisse von umfangreichen Modellrechnungen durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (1992) für Luftkondensatoren, die mit ihrer Abluffahne näherungsweise mit derjenigen von Rückkühlern / Ventilatoren vergleichbar sind zeigen, dass es erst ab einer Abwärmeleistung von 600 MW in aller Jahreszeiten zu Schwadenbildungen kommen kann. Dieser Wert wird von den geplanten Rechenzentren deutlich unterschritten.

Die Verminderung der Sonnenscheindauer durch die Wärmeemissionen der Rückkühler ist daher nicht zu befürchten. Ebenso eine Erhöhung der Nebelbildung.

Auch eine Zunahme von Gewittern, Unwettern und Hagelschäden tritt nicht ein. Nach Studien des Deutschen Wetterdienstes (DEUTSCHER WETTERDIENST 1980) sind derartige Effekte selbst im Umfeld großer Wärmekraftwerke nicht zu beobachten.

Bei den Abluftkaminen, die die Abgasemissionen der Notstromaggregate bündeln, kann es durch Aerosole, insbesondere in der Startphase der Dieselgeneratoren, zur Schwadenbildung kommen. Der Betrieb der Notstromaggregate ist allerdings in der Regel an Testphasen gebunden, die im Jahresverlauf als Kurzzeitereignisse einzustufen sind. Da zudem kein Wasserdampf emittiert wird, zerreißen die Abgasfahnen schon nach kurzer Entfernung zum Austrittsort in einzelnen Schwadenfetzen, so dass keine relevante Schattenbildung am Boden auftritt.

Durch die Wärmeemissionen der Kamine ist auch mit keiner relevanten Auflösung von Regenwolken zu rechnen. Die ausgestoßene Warmluft wird nach Übergang in die Atmosphäre aufgrund der turbulenten Durchmischung mit der Umgebungsluft rasch abgekühlt und der Vertikalimpuls reicht nicht aus, um die tiefsten Regenwolken auflösen zu können.

9 Planungsempfehlungen

Angesichts 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, die thermische Ungunst der geplanten Bebauung mit Ausgleichsmaßnahmen möglichst eng zu begrenzen.

Dies wird auch von Seiten der HLNUG bei der Ausweisung / Gestaltung von Gewerbegebieten gefordert (siehe **Abbildung 46**), um den Vorgaben des am 1. Juli 2024 in Kraft getretenen Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KANg) zu entsprechen.



Abbildung 46: Deckblatt der HLNUG-Broschüre „Gewerbegebiete – klimaangepasst und fit für die Zukunft“

https://hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/Gewerbegebiete-_klimaangepasst_und_fit_web.pdf

Insgesamt bieten sich aus klimaökologischer Sicht im vorliegenden Fall vier Handlungsfelder an:

- Grüne Infrastruktur
- Bauwerksbegrünung
- Oberflächen- und Straßenraumgestaltung
- Blaue Infrastruktur

Grüne Infrastruktur:

Der vorgelegte Masterplan (**Abbildung 7**) sieht im Bereich der Randeingrünung die Pflanzung von 66 neuen Bäumen vor. Schwerpunkte der Pflanzungen sind die südöstlichen und südwestlichen Randbereiche des Planungsgebiets „Gutenbergstraße“. Auch entlang der Gutenbergstraße sind zahlreiche neue Bäume vorgesehen. Die Baumpflanzungen sind aus klimaökologischer Sicht zu empfehlen und zu unterstützen. Die Bauminseln bzw. Einzelbaumstellungen sind allseitig umströmbar angelegt und bilden damit für die bodennächsten Kaltluftbewegungen keine relevanten Strömungshindernisse. Zugleich mindern sie durch Ihren Schattenwurf kleinräumig die sommerliche Aufheizung der Bodenoberflächen.

Im Bereich von Mitarbeiterparkplätzen sollten zur Schattenbildung und Erhöhung des örtlichen Grünvolumens – wie im Planungsentwurf bereits vorgesehen – Baumpflanzungen erfolgen. Als Mindestmaß ist für jeweils fünf oberflächlich angelegte Stellplätze ein standortgeeigneter Laubbaum zu pflanzen und dauerhaft zu unterhalten. Falls möglich, sollte das Maß auf einen Laubbaum für jeweils vier Parkplätze erhöht werden.

Alternativ ist an eine Überdachung der Parkplätze zu denken. Diese wären zu begrünen oder mit PV-Anlagen auszustatten (siehe **Abbildung 47**).



Abbildung 47: Beispielhafte Darstellung einer Stellplatzüberdachung mit extensiver Dachbegrünung.(Fotoaufnahme: ÖKOPLANA)

Die Verschattung verringert die thermische Belastung durch die direkte Sonneneinstrahlung am Tag. Ergebnisse von Modellrechnungen (ÖKOPLANA 2021) belegen, dass an heißen Sommertagen am frühen Nachmittag unter Bäumen die gefühlte Temperatur (PET) um über 10 K niedriger ist als in unbeschatteten Bereichen mit gleicher Bodenbedeckung. Die beschatteten Flächen speichern weniger Wärme, wodurch zudem der nächtliche Wärmeinseleffekt herabgesetzt wird.

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 Pflege und eine sorgfältige Vorbereitung der Pflanzgruben 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 Jahren nach der Pflanzung müssen Jungbäume bei anhaltender Trockenheit regelmäßig bewässert werden.

Bauwerksbegrünung / Fassadenbegrünung:

Abhängig von den Fassadenkonzepten der geplanten Bebauung können Fassadenteilbegrünungen einen Beitrag zur Reduktion der örtlichen Überhitzung an heißen Sommertagen leisten. Begrünte Wände heizen sich weniger auf, wodurch sie weniger Wärme an die Umgebung abgeben. Gleichzeitig bewirkt der Verdunstungseffekt der Vegetation eine weitere Abkühlung. Im Vergleich zu einer unbegrünten Wand können nach PFOSER ET AL. (2013⁹) in ca. 0.6 m Abstand zur Begrünung Lufttemperaturreduktionen bis ca. 1.3 K gemessen werden.

Für die Luftreinhaltung sind begrünte Fassaden ebenfalls von Vorteil. Die Vegetation filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft und verbessert dadurch die Luftqualität. Auch für die Biodiversität sind begrünte Fassaden positiv. Sie bilden Lebensräume und können durch eine gezielte Bepflanzung mit geeigneten Pflanzenarten ebenfalls eine wichtige Nahrungsquelle darstellen.

Für Fassadenbegrünungen bieten sich zusammenhängende geschlossene Fassadenflächen an, die nicht durch Fenster- oder Türöffnungen gegliedert sind. Besonders wirksam sind für den Bewegungsraum des Menschen Fassadenbegrünungen bis zu Höhen von ca. 10 m.

⁹ **PFOSER, N., JESSER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S. (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. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt (307 S.).

Grundsätzlich kann bei Fassadenbegrünungen zwischen wand- und bodengebundenen Systemen unterschieden werden, wovon vier Beispiele in **Abbildung 48** dargestellt sind. Bei der bodengebundenen Fassadenbegrünung wachsen die Pflanzen aus einer unversiegelten Fläche für den Wurzelraum auf dem Boden entlang der Fassade nach oben. Diese kann frei (1) oder unter Verwendung von Kletterhilfen (2) realisiert werden.

Bei der fassadengebundenen Variante werden Substratträger an der Hauswand montiert. Diese können z. B. Pflanzkästen (3) oder mit Erdschichten versehene Paneele sein (sog. „living walls“) (4) - SANTI ET AL. (2019¹⁰).

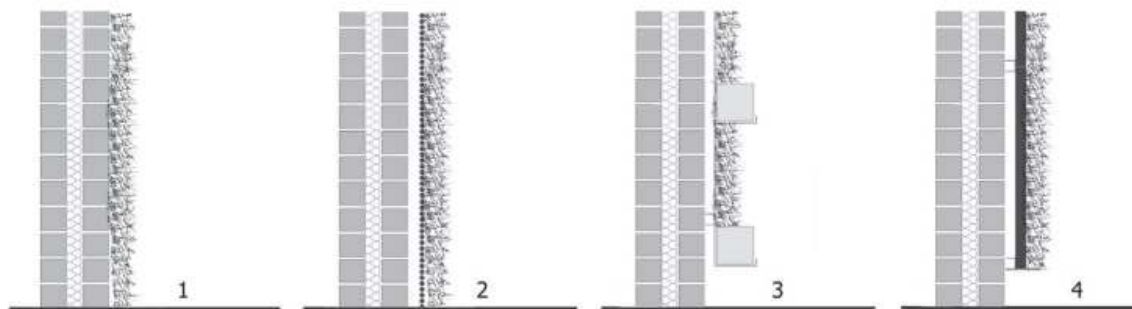


Abbildung 48: Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen (aus: SANTI ET AL. 2019: 115).

Es werden aus fachgutachterlicher Sicht bodengebundene Begrünungen empfohlen, da sich die erforderliche Wasserversorgung gegenüber Pflanzkästen einfacher realisieren lässt.

Brandschutzrechtliche Anforderungen sind zu beachten.

Bauwerksbegrünung / Dachbegrünung:

Dachbegrünungen weisen folgende klimaökologische 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 Stauaufwirbelung geringer.

¹⁰ SANTI, G., BERTOLAZZI, A., TURRINI, U. (2019): Vertical Turf For Green Façades: a Vertical Greenery Modular System Integrated To the Building Envelope. In: Journal of Green Building, Vol. 14 (4). DOI: 10.3992/1943-4618.14.4.111 (S. 111-132).

- Dämpfung von Extremwerten der Oberflächentemperaturen durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen. An heißen Sommertagen sind begrünte Dächer um ca. 17 – 33 K kühler als unbegrünte Dächer.
Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich allerdings auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche.
- 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%.

Beispielhafte Möglichkeiten der Dachbegrünung

Extensive Dachbegrünung, Schichthöhe: bis 10 cm, Vegetationsform: Sedum – Kräuter – Gräser, Wasserrückhalt: ca. 50 – 60%

Naturdach - extensive Dachbegrünung, Schichthöhe: 10 – 25 cm, Vegetationsform: Kräuter – Gräser - Sedum, Wasserrückhalt: ca. 60 – 70%

Blue Roof (extensiv Dachbegrünung mit Mäander-Wasserrückhalteelementen), Schichthöhe: 12 cm, Vegetationsform: Sedum – Kräuter – Gräser, Wasserrückhalt: $\geq 70\%$

Energiespardächer (SolarGrünDach), Schichthöhe: ab 8 cm, Vegetationsform: Sedum, Wasserrückhalt: ca. 50 – 60%

Durch die zahlreichen Technikaufbauten auf dem Rechenzentrumsgebäude ist eine großflächige Dachbegrünung nicht möglich. Auf potenziellen Nebengebäuden sollte sie allerdings möglichst Berücksichtigung finden.

Oberflächen- und Straßenraumgestaltung / Berücksichtigung des Albedo-Effektes, Minimierung der Bodenversiegelung:

Damit günstige thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen gesichert werden, sind die befestigten Erschließungsstraßen/-wege auf das nur notwendige Maß zu begrenzen. Zudem sollten sie mit möglichst hellen Oberflächenbelägen (Hellbezugswert¹¹ $\geq 30\%$, siehe **Abbildung 49**) ausgestaltet werden.

Bei zu hellen Belägen kann es am Tag zu Blendeffekten und zur Steigerung der bioklimatischen Belastung durch die Reflexstrahlung kommen.

¹¹ Der Hellbezugswert (engl. Albedo) definiert den Reflexionsgrad eines bestimmten Farbtons. Dabei ist der Reflexionsgrad des Schwarzpunktes = 0 % und der Reflexionsgrad des Weißpunktes = 100 %. Durch den Hellbezugswert wird beschrieben, wie weit der jeweilige Farbton vom Schwarzpunkt entfernt ist.

Parkierungsflächen sollten möglichst mit wasserdurchlässigen Oberflächenbelägen hergestellt werden. Die Vorteile der dadurch geringeren Bodenversiegelung sind u.a.:

- Reduktion vom Regenwasserabfluss und Wasserspeicherung im Boden,
- erhöhte Verdunstung vom Boden,
- geringere Oberflächentemperaturen.

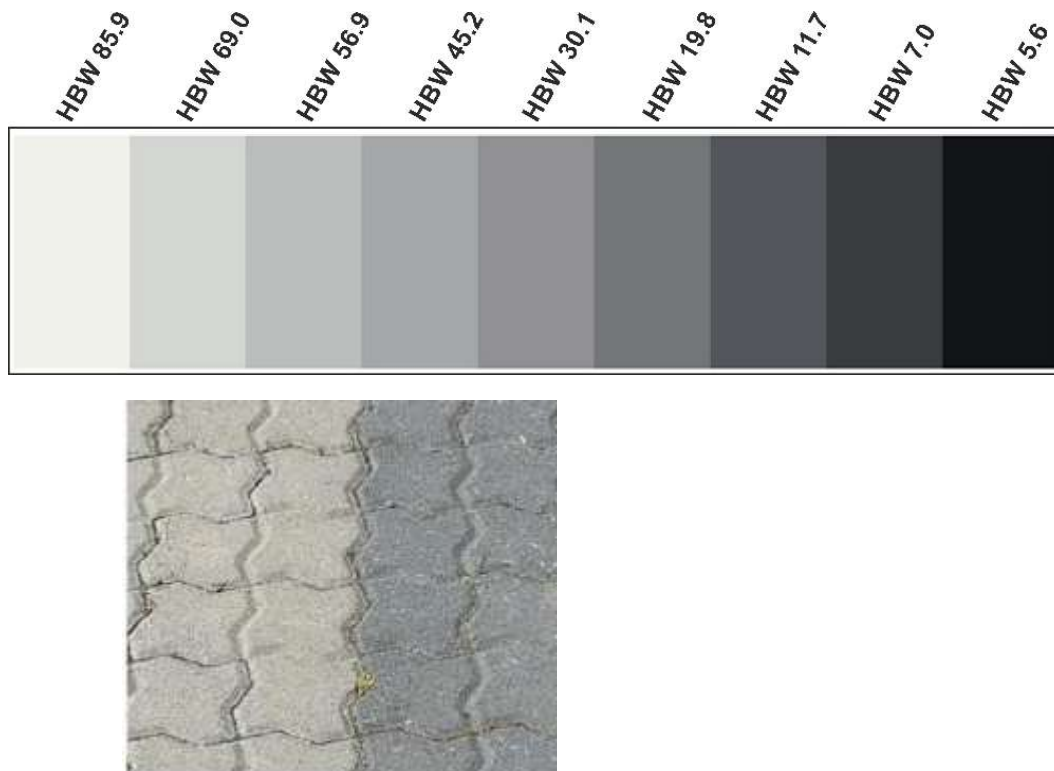


Abbildung 49: Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne und beispielhafter Pflastersteine
(aus: <https://www.brillux.de>; Fotoaufnahme: ÖKOPLANA)

Auch durch die Wahl heller Fassadenfarben, wie bereits angedacht (siehe Kap. 3) kann die bioklimatische Belastung im Nahbereich von Gebäuden wirksam herabgesetzt werden. Klimastudien zu diesem Thema lassen im Nahbereich zwischen hellen und dunklen Fassaden um bis zu 2.3 K niedrigere PET-Werte (~ gefühlte Temperatur) erwarten (STADT ZÜRICH 2020), da die geringere Absorptionsfähigkeit heller Fassadenanstriche gegenüber dunklen Fassaden zu deutlich niedrigeren Oberflächentemperaturen führen (siehe **Abbildung 50**).

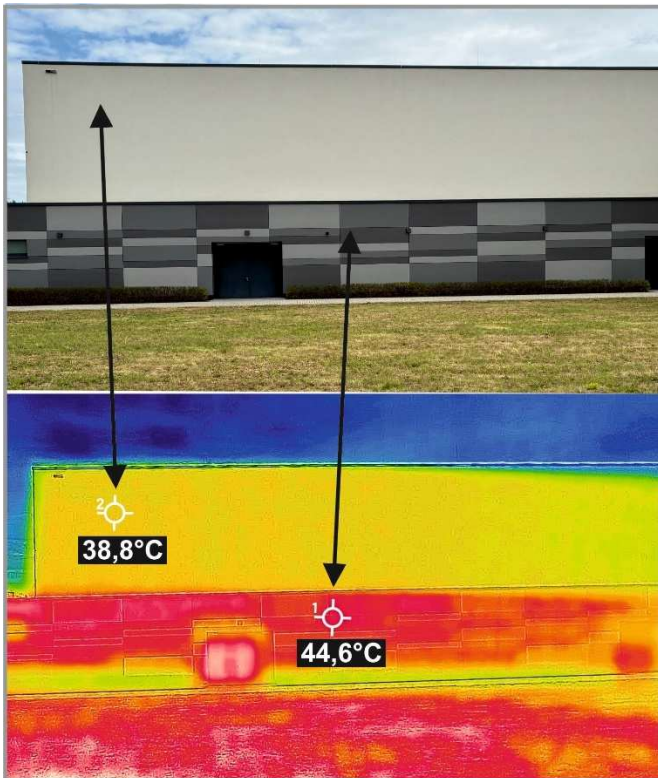


Abbildung 50: Oberflächentemperaturen heller und dunkler Fassaden. Aufnahme: ÖKOPLANA

Blaue Infrastruktur / Wasserflächen, Fontänen:

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung der thermischen Umgebungsbedingungen an heißen Sommertagen bieten Wasserflächen in Form von Wasserspielen oder Brunnenanlagen mit bewegtem Wasser. Diese bieten sich bspw. im Bereich von gebietsinternen Aufenthaltsflächen (z.B. Pausenflächen für Arbeitende) an. Sie verringern die thermische Belastung an heißen Sommertagen im unmittelbaren Nahbereich durch Verdunstungskälte (vor allem beim Einsatz von Fontänen) und steigern damit die Qualität von Aufenthaltsbereichen. In Kombination mit schattenwerfenden Bäumen sind lokale Lufttemperatursenkungen von ca. 0.2 – 1.5 K möglich.

Fazit:

Die im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens „Gutenbergstraße“ durchgeführten Klimaanalysen lassen in der Gesamtbilanz keine gravierenden klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung grundsätzlich entgegenstehen. Unvermeidbare strömungsdynamische Veränderungen führen in den nächstgelegenen Wohnlagen zu keinen gravierenden Beeinträchtigungen der Belüftungintensitäten. Die nächtlichen Kaltluftbewegungen im Umfeld werden gegenüber dem Ist-Zustand nur in geringem Maße geschwächt. Auffallende thermische Zusatzbelastungen werden nicht bilanziert.

Angesichts der Klimawandelfolgen mit einer deutlich zunehmenden sommerlichen Wärmebelastung wird empfohlen, die o.a. Planungshinweise als klimaökologischen Ausgleichsmaßnahmen im weiteren Planungsprozess zu berücksichtigen.



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

Mannheim, 28. April 2026

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften

- BAUMÜLLER, N. (2018):** Stadt im Klimawandel. Klimaanpassung in der Stadtplanung. Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente. Städtebau-Institut der Univ. Stuttgart.
- BODEN T.A., MARLAND G., ANDRES R.J. (2017):** Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- CHRISTOFFER, J.; ULBRICHT-EISSING, H. (1989):** Die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Nr. 147. Offenbach a. M.
- CUBASCH U ETAL. (2013):** Introduction. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1980):** Die Beeinflussung von Wetter und Klima durch Wärmekraftwerke. Wetteramt München, Walter Schneider. München.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1990):** Internationaler Wolkenatlas. 2. Auflage. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (1992):** Amtliches Gutachten zum Klima am Standort und zu den klimatischen Auswirkungen des geplanten RM-HKW Esslingen. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2004A):** Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m ü.G.) in der Bundesrepublik Deutschland. Offenbach a. M.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2004B):** Gutachten G 21.1 – Flugklimatologisches Gutachten zum Ausbau Flughafen Frankfurt Main. Mainz.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2014):** Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main. Offenbach am Main.

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.

GROSS, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

GROSS, G. (2017): Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2

HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE, DEUTSCHER WETTERDIENST (2024): Klimareport Hessen. Das Klima in Hessen – gestern, heute und in der Zukunft. Wiesbaden / Offenbach am Main.

IMA RICHTER & RÖCKLE (2022): Erstellung einer landesweiten Klimaanalyse / Kaltluftströmungssituation unter Berücksichtigung des klimawandelbedingten Temperaturanstiegs. Freiburg. i. Br.

MOSS R. H., EDMONDS J. A., HIBBARD K. A., MANNING M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN D. P., CARTER T. R., EMORI S., KAI-NUMA M., KRAM T., MEEHL G. A., MITCHELL J. F. B., NAKICENOVIC N., RIAHI K., SMITH S. J., STOUFFER R. J., THOMSON A. M., WEYANT J. P., WILBANKS T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756

MÜLLER-BBM INDUSTRY SOLUTIONS GMBH (2024): Stadtklimaanalyse für die Städte Nidderau und Maintal sowie für die Gemeinde Schöneck. Planegg.

ÖKOPLANA (2021): Aktualisiertes Klimagutachten zum Bauvorhaben „Bautz-Gelände“ in Hanau-Großbauheim. Mannheim.

ÖKOPLANA, GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2025) : Klimagutachten zum Bebauungsplan „Rhein-Selz-Park, II / Rechenzentrum“ der Stadt Nierstein. Mannheim. Hannover.

- PFOSER, N., JESSER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S. (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. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt (307 S.).
- SANTI, G., BERTOLAZZI, A., TURRINI, U. (2019):** Vertical Turf For Green Façades: a Vertical Greenery Modular System Integrated To the Building Envelope. In: Journal of Green Building, Vol. 14 (4). DOI: 10.3992/1943-4618.14.4.111 (S. 111-132).
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2026):** VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2015):** VDI 3787, Bl. 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2020):** VDI 3787, Bl. 8. Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2022):** VDI 3787, Bl. 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Düsseldorf.