

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

**KLIMAGUTACHTEN ZUM BEBAUUNGSPLAN
„RHEIN-SELZ-PARK, II / RECHENZENTRUM“
DER STADT NIERSTEIN**



Vorhabenträger:

NTT Global Data Centers FRA6 Campus GmbH
Voltastraße 15
65795 Hattersheim

Erstellt von ÖKOPLANA in Kooperation mit



GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

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



Mannheim, 28. April 2025

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

Steuernummer: 37137/44979

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet	3
3	Masterplan und Bebauungsplanentwurf	12
4	Untersuchungsmethodik	18
5	Klimaökologische Situation am Planungsstandort und Folgen des Klimawandels	22
5.1	Lufttemperatur	23
5.2	Niederschlag und Verdunstung	34
5.3	Windfeld	41
5.4	Klimatope	44
6	Numerische Modellrechnungen zum lokalen Klima- geschehen	47
6.1	Kaltluftprozessgeschehen im Sommer – Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand	51
6.2	Belüftungsverhältnisse am Tag – Ergebnisse für den Ist-Zustand und den Plan-Zustand	68
6.3	Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen - Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand (Nacht- und Tagsituation)	78
6.4	Spätfrostsituation - Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand	93
7	Einfluss der geplanten Bebauung auf das Sonnenbrand- risiko bei Weintrauben	106
8	Schwadenbildung / Wolkenauflösung	115
9	Zusammenfassung und Bewertung	119
10	Planungsempfehlungen	129
	Quellenverzeichnis / weiterführende Literatur	139

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Lage des Planungsgebiets „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“
- Abb. 2:** Luftbild vom Planungsgebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“
- Abb. 3:** Landbedeckung (Corine-Daten), Stand: 2018. Lage des Weinanbau-gebiets „Roter Hang“
- Abb. 4:** Topografische Lagesituation des Planungsgebiets „Rhein-Selz- Park II / Rechenzentrum“
- Abb. 5:** Lagesituation des Planungsgebiets „Rhein-Selz-Park II / Rechenzen-
trum“
- Abb. 6:** Fotografische Dokumentation – Derzeitige Nutzungen im Planungsge-
biet
- Abb. 7:** Fotografische Dokumentation – Blick auf das Planungsgebiet aus Nor-
den bzw. Nordosten
- Abb. 8:** Fotografische Dokumentation – Blick auf die Weinbauflächen im
Planungsumfeld
- Abb. 9:** Lage bestehender und geplanter Windenergieanlagen (WEA) im Pla-
nungsumfeld
- Abb. 10:** Regionaler Raumordnungsplan Rheinhessen-Nahe 2014
- Abb. 11:** Masterplan zum geplanten NTT FRA6 Data Center Campus
- Abb. 12:** Luftaustrittstemperaturen bei den Rückkühlern in Abhängigkeit zur
Umgebungstemperatur
- Abb. 13:** Lage von Abluftkaminen bei den Rechenzentren.
- Abb. 14:** Bebauungsplanentwurf
- Abb. 15:** Modellgebiet und Topografie
- Abb. 16:** Lage der agrarmeteorologischen Klimamessstationen Nierstein und
Dienheim
- Abb. 17:** Sommerliche Wärmebelastung in Rheinland-Pfalz im Durchschnitt der
Jahre 2003 - 2022
- Abb. 18:** Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC- Klimasze-
narien
- Abb. 19:** Bandbreite der jährlichen Änderung der Lufttemperatur in Rheinhes-
sen
- Abb. 20:** Mittlere Tagesoberflächentemperaturen im Zeitraum 2018 – 2023

- Abb. 21:** Potenzielle Gebiete mit vermehrter Spätfrostgefährdung für Obst- und Weinbaukulturen
- Abb. 22:** Mittlere Niederschlagsverteilung 1961 – 1990 in Rheinland-Pfalz (Ausschnitt)
- Abb. 23:** Schema zur Auflösung von Regenwolken über dem Bergland
- Abb. 24:** Mittlere klimatische Wasserbilanz (1981 – 2010) in Deutschland
- Abb. 25:** Ausschnitt aus der Sturzflutkarte Rheinland-Pfalz. Potenzielle Fließgeschwindigkeit des oberflächlich abfließenden Wassers bei einem extremen Starkregenereignis (124 – 136 mm in vier Stunden)
- Abb. 26:** Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen 1979 – 2015
- Abb. 27:** Ausschnitt aus dem Windrosenatlas Rheinland-Pfalz
- Abb. 28:** Ausschnitt aus der Klimatopkarte Rheinland-Pfalz
- Abb. 29:** Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen
- Abb. 30:** Flächennutzung im Modellgebiet, Ist-Zustand
- Abb. 31:** Flächennutzung im Modellgebiet, Plan-Zustand
- Abb. 32:** Prinzipskizze Kaltluftvolumenstromdichte
- Abb. 33:** Ist-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 34:** Ist-Zustand. Ausbreitung der bodennahen Kaltluft (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Modellsimulationen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21
- Abb. 35:** Ist-Zustand. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 36:** Ist-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte und Richtung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 37:** Ist-Zustand. Kaltluftmächtigkeit im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Ergebnisse von Kaltluftabflusssimulationen mit dem Modell KLAM_21
- Abb. 38:** Plan-Zustand. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht

- Abb. 39:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 40:** Plan-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 41:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der nächtlichen Kaltluftfließgeschwindigkeit 2 m ü.G. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 42:** Plan-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte und Richtung (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 43:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte relative Zu- bzw. Abnahme des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abb. 44:** Prüfschema „Kaltluftrelevanz“. Aus VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf, März 2024)
- Abb. 45:** Ist-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 46:** Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 47:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 48:** Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Rückkühlern (keine Berücksichtigung des Reliefs)
- Abb. 49:** Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 50:** Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

- Abb. 51:** Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 10 m ü.G. durch Wärmeemissionen der Abluftkamine am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 52:** Plan-Zustand mit Betreib von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 53:** Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 10 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und die Barrierewirkungen/Turbulenzen der Windenergieanlagen am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 54:** Ist-Zustand. Nächtliche Lufttemperaturverteilung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 55:** Plan-Zustand. Nächtliche Lufttemperaturverteilung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 56:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr)
- Abb. 57:** Ist-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)
- Abb. 58:** Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr)
- Abb. 59:** 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)
- Abb. 60:** Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)

- Abb. 61:** Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 62:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der bioklimatischen Belastung (PET-Werte) 1.1 m ü.G. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 63:** Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 64:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der PET-Werte (1.1 m ü.G.) durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und die Barrierewirkung/Turbulenzen der Windenergieanlagen am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G..
- Abb. 65:** Ist-Zustand – Spätfrostsituation. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 66:** Plan-Zustand – Spätfrostsituation. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 67:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Kaltluftfließgeschwindigkeiten 2 m ü.G. in einer wind-schwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 68:** Ist-Zustand – Spätfrostsituation. Lufttemperatur 1 m ü.G. in einer wind-schwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 69:** Plan-Zustand – Spätfrostsituation. Lufttemperatur 1 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 70:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 1 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungs-nacht Anfang April (06:00 Uhr)
- Abb. 71:** Bereiche mit planungsbedingter Zunahme der Spätfrosthäufigkeit in Rebanlagen um max. 1.0 Tage/10 Jahre

- Abb. 72:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 2 m ü.G. an einem windschwachen Strahlungstag Anfang April (14:00 Uhr)
- Abb. 73:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 2 m ü.G. an einem windigen Strahlungstag Anfang April (14:00 Uhr).
- Abb. 74:** Plan-Zustand. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 75:** Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 76:** Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 77:** Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 78:** Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und den Betrieb der Windenergieanlagen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.)
- Abb. 79:** Bereiche mit potenzieller planungsbedingter Zunahme der Sonnenbrandgefahr an heißen Sommertagen
- Abb. 80:** Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Kaminen (keine Berücksichtigung des Reliefs)
- Abb. 81:** Deckblatt der Broschüre „Wege zur Planung eines nachhaltigen Gewerbegebiets“
- Abb. 82:** Mögliche Handlungsfelder zur Gestaltung günstiger klimatischer Umgebungsbedingungen
- Abb. 83:** Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen

- Abb. 84:** Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne und beispielhafter Pflastersteine
- Abb. 85:** Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbeläge
- Abb. 86:** Beispielhaftes Wasserbecken, Brunnen mit kleinen Fontänen

1 Aufgabenstellung

In der direkten Nähe zur Stadt Nierstein plant das Unternehmen NTT GLOBAL DATA CENTERS FRA6 CAMPUS GMBH auf dem überwiegenden Teil des Areals der ehemaligen „Anderson Barracks Dexheim“ einen großflächigen Campus für Rechenzentren („Bebauungsplangebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“).

Die Lage des Planungsgebiets, das eine Flächengröße von ca. 55 ha aufweist, kann der **Abbildung 1** entnommen werden.

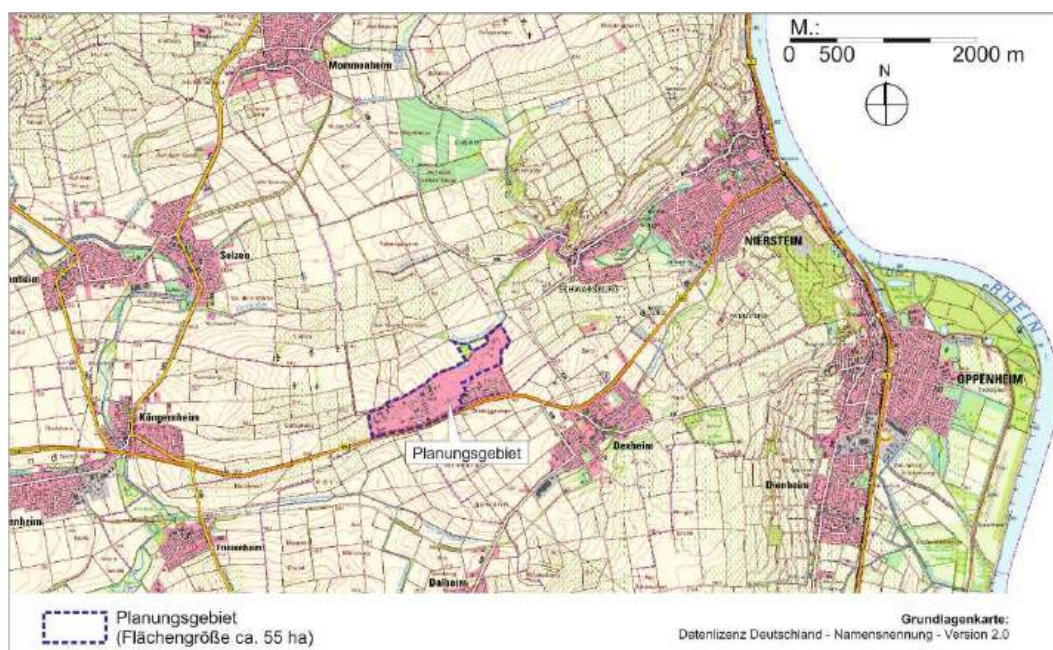


Abbildung 1: Lage des Planungsgebiets „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“

Laut aktuellem Masterplanentwurf sollen auf dem ehemaligen Kasernenareal insgesamt neun Rechenzentrumsgebäude mit zusätzlichen Büroflächen und Infrastruktureinrichtungen realisiert werden. Sie reihen sich entlang einer zentralen Grünzone von Westsüdwesten nach Ostnordosten auf. Die Erschließung des Geländes erfolgt über zwei Anschlüsse (Hauptzufahrt und zweite Zufahrt), die von der B 420 abgehen.

Mit der geplanten Flächennutzungsänderung ist mit einer Modifikation des lokalen Kaltluftprozessgeschehens im angrenzenden Freiraumgefüge zwischen den Ortslagen Dexheim, Nierstein/Schwabsburg im Osten und Friesenheim und Königernheim im Westen zu rechnen.

Des Weiteren ist nicht auszuschließen, dass sich im Planungsumfeld durch die veränderten Baustrukturen und die entstehenden Wärmeemissionen der Rechenzentren die lokalen Belüftungsverhältnisse am Tag sowie die thermischen / bioklimatischen und agrarmeteorologischen Umgebungsbedingungen verändern. Zudem sind lokalklimatische Auswirkungen des Vorhabens auf die benachbarten Weinbaulagen zu prüfen.

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens werden die ortsspezifischen klimaökologischen Verhältnisse im Planungsgebiet und in dessen Umgebung analysiert und mögliche kleinklimatische Unterschiede zwischen Ist-Zustand und geplanter Bebauung aufgezeigt.

Bei der Bewertung der lokalen Klimamodifikationen durch den geplanten „FRA6 Data Center Campus Nierstein“ sind die auch prognostizierten Klimawandelfolgen zu berücksichtigen. So zeigen beispielsweise Modellstudien für Rheinland-Pfalz (RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM FÜR KLIMAWANDELFOLGEN 2020¹), dass u.a. die Häufigkeiten heißer Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und von Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) in den nächsten Jahrzehnten deutlich zunehmen werden. Damit steigt auch die Anzahl von Hitzewellen².

Über die Formulierung von Planungshinweisen zur baulichen Entwicklung im angestrebten Rechenzentrums-Campus werden Maßnahmen zur Sicherung günstiger strömungsdynamischer und thermischer / bioklimatischer Verhältnisse aufgezeigt.

¹ **RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM FÜR KLIMAWANDELFOLGEN (2020):** Themenheft Klimawandel – Entwicklung in der Zukunft. Trippstadt

² Laut DEUTSCHEM WETTERDIENST liegt eine Hitzewelle vor, wenn an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen Lufttemperaturen von über 28°C gemessen werden – <https://www.dwd.de>

2 Planungsgebiet

Das ca. 55 ha große Planungsgebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ befindet sich im Bereich der östlichen Randhöhen des Landschaftsraums Rheinhessisches Tafel- und Hügelland.

Die Entfernung des geplanten Rechenzentrumcampus zur nächstgelegenen Siedlungslage Dexheim beträgt ca. 800 m (siehe **Abbildung 1**). Das Stadtgebiet von Nierstein befindet sich mit seinem Stadtteil Schwabsburg in einer nordöstlichen Entfernung von ca. 780 m. Die Entfernungen des Planungsgebiets zu den Ortschaften Friesenheim und Königernheim im Südwesten bzw. Westen belaufen sich jeweils auf ca. 2.000 m.

Wie den **Abbildungen 2** und **3** entnommen werden kann, ist das Planungsgebiet in eine Agrar- und Weinbaulandschaft eingebettet, die als intensive Kaltluftproduktionsfläche zu definieren ist. Für den Weinbau ist die Weinlage Roter Hang, die sich nordnordwestlich von Schwabsburg und Nierstein bis nach Nackenheim erstreckt, besonders bedeutsam, da der Boden (Ton- und Sandstein mit eingelagerten Eisenverbindungen) den Weinen einen eigenständigen Charakter gibt (<https://www.rheinhessen.de/a-roter-hang>).



Abbildung 2: Luftbild vom Planungsgebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“

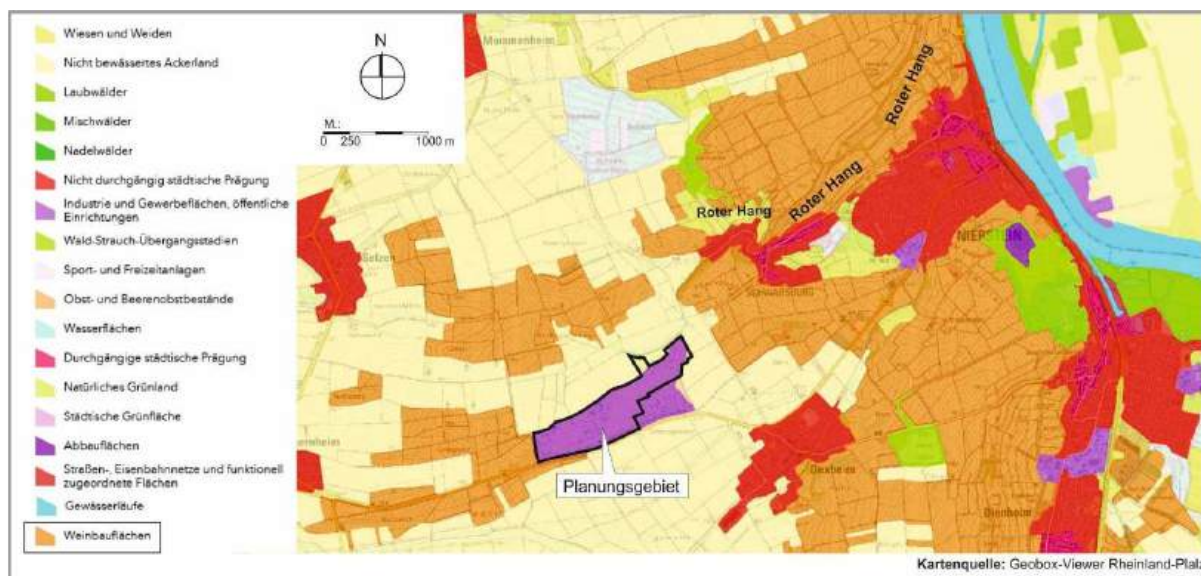


Abbildung 3: Landbedeckung (Corine-Daten), Stand: 2018. Lage des Weinanbaugebiets „Roter Hang“

Die Geländehöhen im Planungsumfeld bewegen sich zwischen ca. 208 m (Farrenberg östlich von Dexheim) und ca. 95 m ü. NHN (Schwabsburg) – **Abbildung 4**. Das Planungsgebiet nördlich der B 420 befindet sich in einer Höhenlage von ca. 173 m ü. NHN im Nordwesten und ca. 134 m ü. NHN im Nordosten. Entlang der B 420 steigt das Gelände von Südwesten nach Nordosten von ca. 156 m ü. NHN auf ca. 162 m ü. NHN an.

Im Südwesten fällt das Gelände in den Hundgraben bzw. Dalheimer Flutgraben ab. Im Nordosten schließt der Engelsklauergraben / Diebsklauergraben an das Planungsgebiet an. Beide Hangeinschnitte fungieren in Strahlungsnächten als lokale Kaltluftammel- bzw. Kaltluftabflussgebiete.

Die topografische Lagesituation des Planungsgebiets wird ergänzend auch durch die **Abbildung 5** ersichtlich.

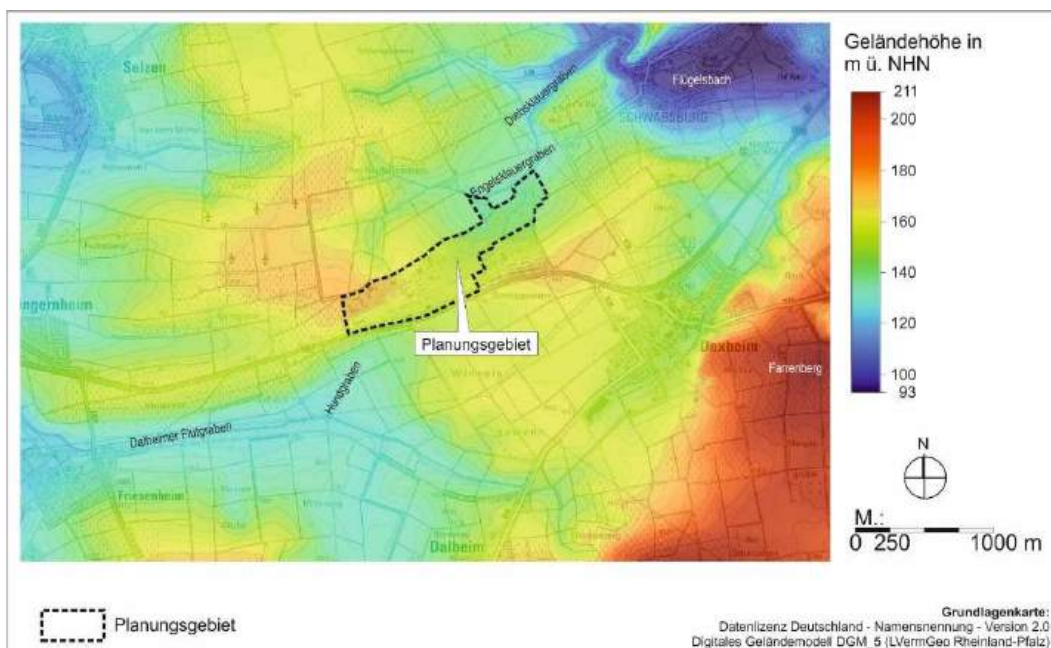


Abbildung 4: Topografische Lagesituation des Planungsgebiets „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“

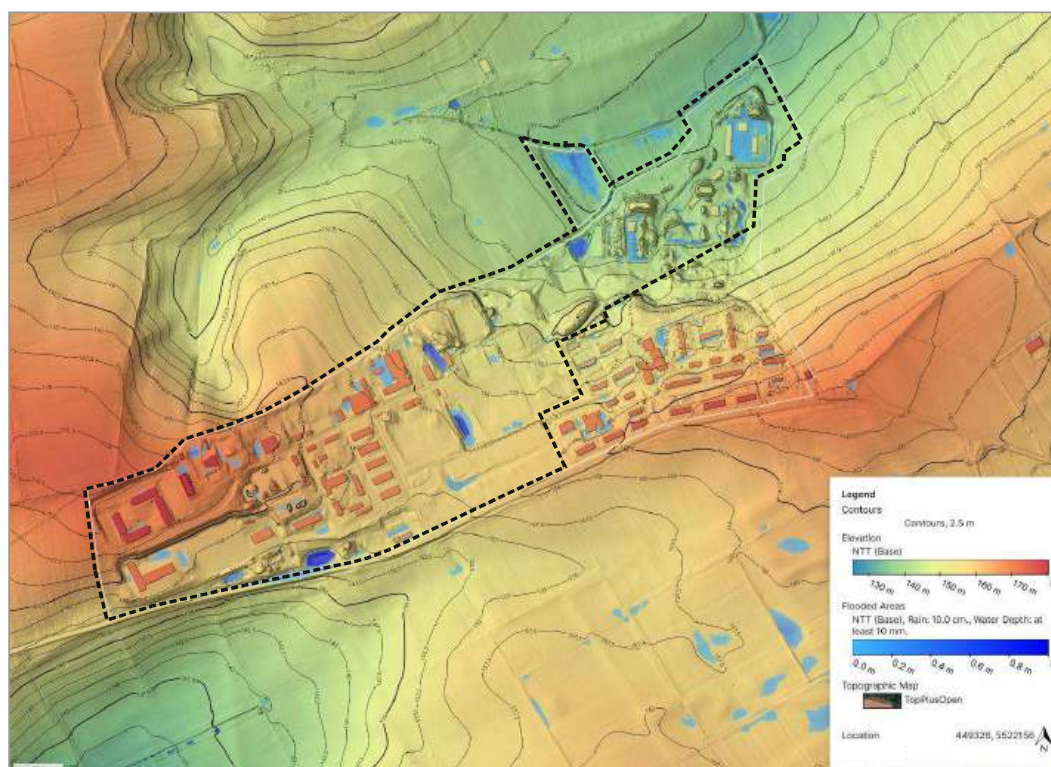


Abbildung 5: Lagesituation des Planungsgebiets „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“. Grafik bereitgestellt von: DREES & SOMMER auf Basis einer Vermessung durch das Büro Neu-roth vom 12.12.2024

Im Planungsgebiet bestehen größtenteils noch Baustrukturen der ehemaligen US-Kaserne „Anderson Barracks“ (siehe **Abbildung 6**).

Im Westen dominieren 3-geschossige Kasernenbauten (Gebäudehöhen ca. 10 m) und Hallenkomplexe sowie großflächig versiegelte Stellplatzflächen. In zentraler Gebietslage besteht ein großzügiger Freiraum, der ehemals als Sportfläche (Rasenfläche) und als Stellplatzfläche (asphaltiert) genutzt wurde. Hier befindet sich auch der Verkehrsanschluss zur B 420. Im Südosten sind noch Zeilenhäuser in einer lockeren Durchgrünung zu finden. Dieses Areal ist nicht Bestandteil des Planungskonzepts. Im Nordosten besteht eine Offroad-Strecke. Einzelne Fahrspuren sind im Gelände deutlich zu erkennen. Des Weiteren befinden sich dort wenige Nebengebäude mit Höhen von ca. 4.5 – 6.0 m.

Das Freiraumgefüge im Planungsumfeld wird von Landwirtschafts- und Weinbauflächen sowie wenigen Gehölzflächen geprägt (**Abbildungen 7 und 8**).

Des Weiteren bestehen nordwestlich des Planungsgebiets aktuell fünf Windenergieanlagen (WEA) – siehe **Abbildung 9**. Sie zeigen Nabenhöhen von 75.6 m ü. G. bzw. 70.5 m ü. G. und Rotorendurchmesser von 48.0 m bzw. 53.0 m.

Im Rahmen der Planungsvorhaben Mosekösch Nord und Süd ist der Bau von neun bzw. fünf neuen Windenergieanlagen geplant. Die neuen Anlagen weisen Nabenhöhen von 162 m ü. G. und Rotorendurchmesser von 175 m auf.

Auf Dalheimer Gemarkung sind südwestlich des Planungsgebiets weitere zwei Windenergieanlagen vorgesehen (Nabenhöhe jeweils 162 m ü. G. und Rotorendurchmesser jeweils 175 m).

Die Anlaufgeschwindigkeit der Rotoren liegt bei ca. 2.5 m/s.

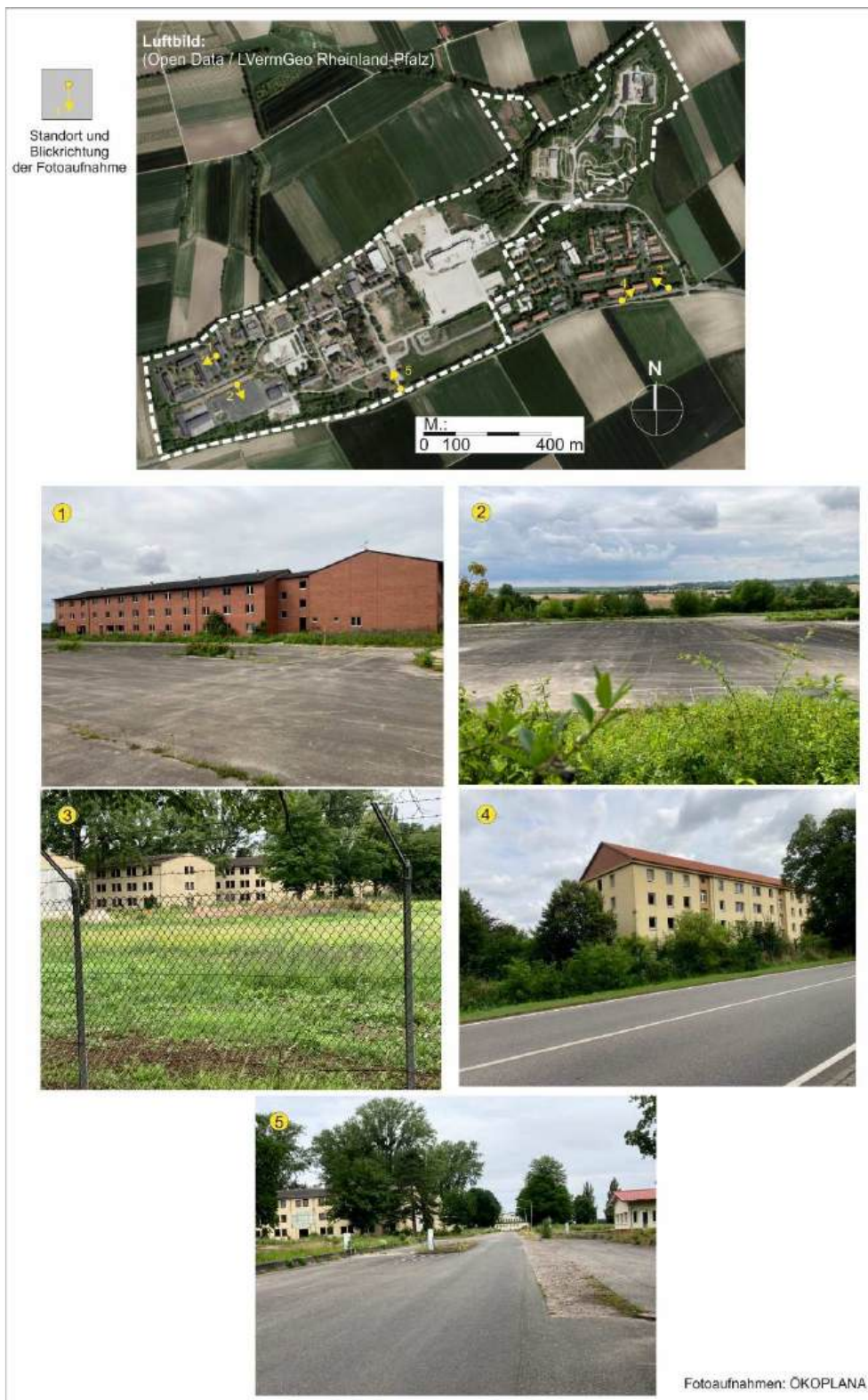


Abbildung 6: Fotografische Dokumentation – Derzeitige Nutzungen im Planungsgebiet. Luftbild: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0. Fotoaufnahmen: ÖKOPLANA



Abbildung 7: Fotografische Dokumentation – Blick auf das Planungsgebiet aus Norden bzw. Nord-osten. Luftbild: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0. Fotoaufnahmen: ÖKOPLANA



Abbildung 8: Fotografische Dokumentation – Blick auf die Weinbauflächen im Planungsumfeld. Luftbild: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0. Fotoaufnahmen: ÖKOPLANA



Abbildung 9: Lage bestehender und geplanter Windenergieanlagen (WEA) im Planungsumfeld.
Grafik bereitgestellt von: STADT.QUARTIER. Luftbild: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

Der aktuelle Regionale Raumordnungsplan Rheinhessen-Nahe 2014 (**Abbildung 10**) weist das Planungsgebiet zum Großteil als Siedlungsfläche Industrie und Gewerbe aus.

Im nördlichen Teilgebiet befindet sich ein Areal, das als sonstige Freifläche festgesetzt ist.

Das direkte Umfeld des Planungsgebietes ist als ein Vorranggebiet für die Landwirtschaft gekennzeichnet. Derartige Gebiete tragen zur nächtlichen Kaltluftbildung und zur Intensivierung der Gebietsdurchlüftung bei.

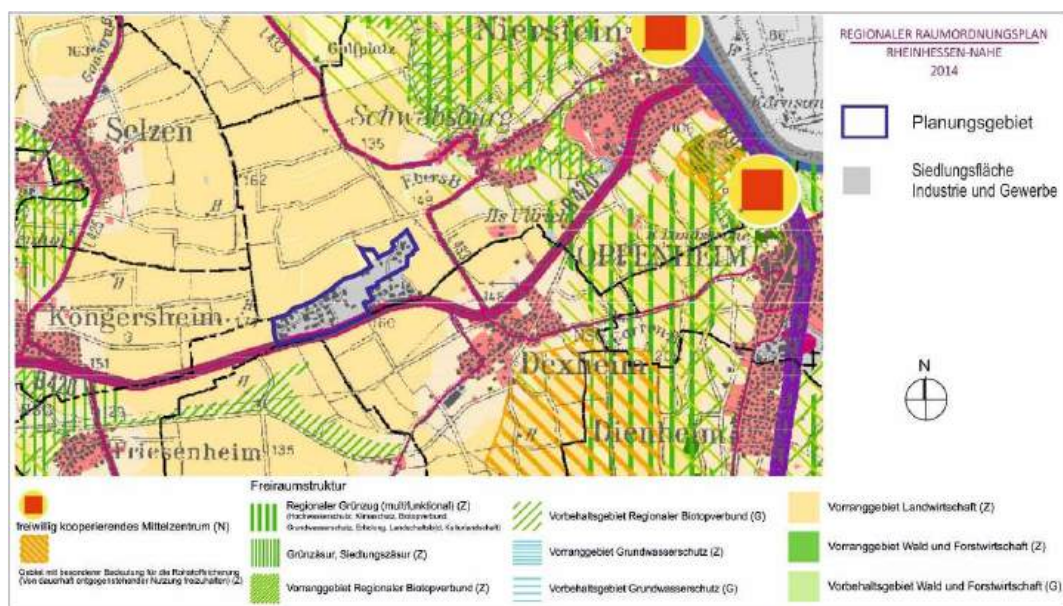


Abbildung 10: Regionaler Raumordnungsplan Rheinhessen-Nahe 2014.

Grafikquelle: PLANUNGSGEMEINSCHAFT RHEINHESSEN-NAHE (<https://www.pg-rheinhesen-nahe.de>)

3 Masterplan und Bebauungsplanentwurf

Der vorgelegte Masterplan zur Flächenentwicklung im Bebauungsplangebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ (**Abbildung 11**) zeigt die geplanten Rechenzentrumsgebäude mit dem aktuell bestehenden Begrünungskonzept. Diese können im Zuge des Planungsprozesses noch Modifikationen unterliegen.

Der aktuelle Masterplan zeigt insgesamt neun Rechenzentrumsgebäude (Gebäude A – I). Sie werden durch bauliche Nebenanlagen (u.a. Bürogebäude) ergänzt. Als max. Gebäudehöhen sind 21.0 m und 32.0 m festgesetzt. Für Nebengebäude und für die Fläche des Umspannwerks sind max. Gebäudehöhen von 16.0 m geplant.

Die festgesetzten Höhen der Oberkanten dürfen durch Abluftkamine überschritten werden.

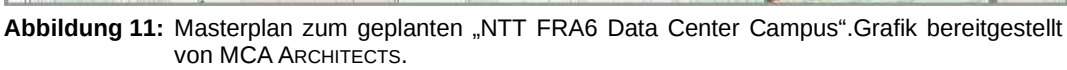
Die Haupteerschließung des Gesamtgeländes, das teilweise mit Abstand zur Gebietsgrenze vollständig umzäunt ist, erfolgt im Bereich der heutigen Zufahrt an der B 420. Dort ist östlich davon ein Umspannwerk geplant. Eine zweite Zufahrt an der B 420 ist östlich des Umspannwerks vorgesehen.

Die innere Erschließung der Rechenzentren erfolgt über eine Ringstraße mit einer ergänzenden Stichstraße nach Nordosten, wo zusätzlich eine Notzufahrt zur Erschließung des Geländes geplant wird. Jedes Rechenzentrum weist Stellplatzflächen auf, die mit Bäumen grünordnerisch gestaltet sind.

Im Norden reicht der Geltungsbereich des Planungsgebiets über das Kasernenareal hinaus. Auf einer ca. 1.5 ha großen Fläche soll ein Biotop (Schilfröhrichtfläche) entwickelt werden.

Zur grünordnerischen Einbindung des „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ in das Planungsumfeld sind neben einer zentralen Grünachse in Südwest-Nordost-Richtung zwischen den einzelnen Rechenzentren Grüninseln mit Gehölzstrukturen geplant. An den Gebietsrändern sind begrünte Retentionsflächen und mehrere Habitatflächen vorgesehen. Die derzeit dort vorhandene Vegetation soll weitestgehend erhalten werden.

Zwischen den Rechenzentrumsgebäuden F und I im Nordosten ist die Anlage eines Teichs vorgesehen.



Auf den Dachflächen der einzelnen Rechenzentren sind ca. 60 Rückkühler platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen. Die Rückkühler sind ständig in Betrieb, um für einen störungsfreien und geregelten Betrieb des Rechenzentrums zu sorgen.

Wie der **Abbildung 12** 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. Der Luftaustrittsvolumenstrom beträgt in der Regel bei ca. 161 – 163 m³/s. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen (0°C) beläuft sich der Luftvolumenstrom allerdings nur auf ca. 32 m³/s.

Die Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist laut Angaben des Betreibers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar.

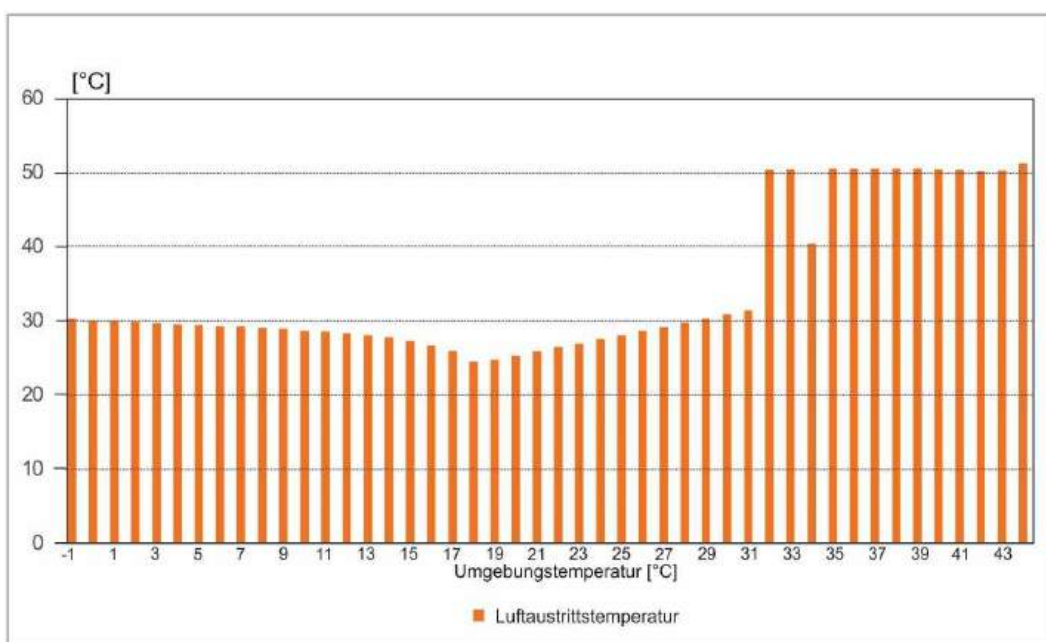


Abbildung 12: Luftaustrittstemperaturen bei den Rückkühlern in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur. Daten bereitgestellt von TTSPHWP MANAGE GMBH

Neben den Rückkühlern weisen die Rechenzentren jeweils auch neun Abluftkamine auf (siehe **Abbildung 13**). Diese sind an 37 Generatoren gekoppelt (insgesamt auf dem Campus $9 \times 37 = 333$ Generatoren). In jedem einzelnen Rechenzentrum werden die Abgase von jeweils vier bzw. fünf Generatoren zu einem Kamin gebündelt.

Die Kamine, die die Abgase von jeweils vier bzw. fünf Generatoren bündeln, haben eine Auslasshöhe von ca. 42 m. Über diese werden Abgase (Wärme ca. 455 – 500°C) der Notstromaggregate (Dieselgeneratoren) abgeführt. Die Austrittsgeschwindigkeit liegt bei ca. 39.2 m/s. Die einzelnen Notstromaggregate werden in der Regel ca. 1 x pro Monat zu Überprüfungszwecken am Tag (zwischen 07:00 und 20:00 Uhr) angeworfen. Im Gesamtgebiet sind in der Regel an einem Tag fünf Kamine für 1.5 Std. in Betrieb.

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

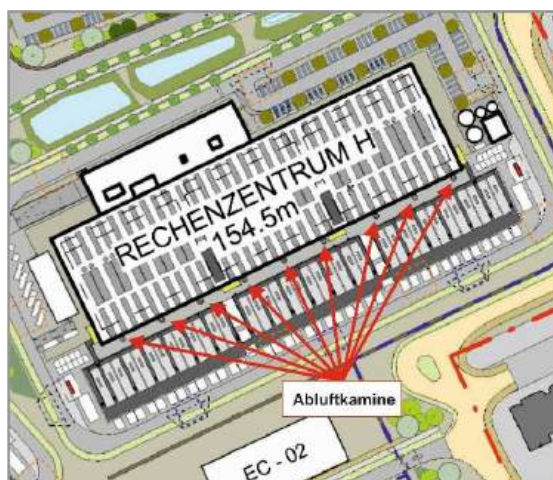


Abbildung 13: Lage von Abluftkaminen bei den Rechenzentren. Grundlagengrafik bereitgestellt von MCA ARCHITECTS

Im Rahmen der nachfolgenden Klimamodellierungen wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios davon ausgegangen, dass im Jahresverlauf täglich in jedem einzelnen Rechenzentrum ein Kamin über den gesamten Tageszeitraum in Betrieb ist (= neun Kamine in der Gesamtsumme). In den Nachtstunden ist kein Betrieb der Kamine zur Prüfung der Notstromaggregate vorgesehen.

Der Bebauungsplanentwurf „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ (siehe **Abbildung 14**) weist das Planungsgebiet als Sondergebiet (SO) aus. Für die Rechenzentren sind, entsprechend des Masterplans, neun Baufelder gekennzeichnet. In diesen Bereichen sind max. Gebäudehöhen von 21.0 m und 32.0 m festgesetzt. Für Nebengebäude und für die Fläche des Umspannwerks sind max. Gebäudehöhen von 16.0 m geplant. Die genauen Bezugspunkte und Höhen für die Oberkanten der Baufelder können ebenfalls dem Bebauungsplanentwurf entnommen werden.

Die festgesetzten Höhen der Oberkanten dürfen durch Abluftkamine überschritten werden.

Die **Tabelle 1** dokumentiert die Flächenbilanzierung (Vorabschätzung) im Planungsgebiet.

Flächenkategorie	Gesamtfläche	Versiegelung	
		Fläche	Anteil
Sondergebiete (NBL)	36,3 ha	29,0 ha	80%
NBL: mögliche Überschreitung von 0,02%		0,6 ha	2%
Verkehrsflächen	4,6 ha	4,6 ha	100%
Grün- und Freiflächen	12,5 ha	2,5 ha	20%
Biotop (Schilfröhrichtfläche)	1,5 ha	0,0 ha	0%
Wasserflächen	0,1 ha	0,0 ha	0%
Σ Geltungsbereich	55,0 ha	36,7 ha	66,7%

Tabelle 1: Flächenbilanzierung im Planungsgebiet. Tabelle bereitgestellt von STADT.QUARTIER

Zur Eingrünung des Geländes und zur Sicherung einer ausreichenden Versickerungsfähigkeit der Böden legt der Bebauungsplanentwurf Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Grünstrukturen und des Bodens fest.

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 LANDESAMTES FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ 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, 2017³) für den Ist- und Plan-Zustand numerische Modellsimulationen durchgeführt. Als Plan-Zustand wird dabei eine „maximale“ Bebauung angenommen. D.h., dass bei den Modellrechnungen die im Bebauungsplanentwurf ausgewiesenen Baufelder mit ihren max. Gebäudehöhen als vollständig bebaut in die Simulationen eingehen. Des Weiteren finden in einem ersten Analysestep die Abluftemissionen der Rückkühler auf den Dächern der Rechenzentren Beachtung.

Schwerpunkte der Modellrechnungen sind das lokale Kaltluftprozessgeschehen, das örtlich von besonderer siedlungs-/geländeklimatischer Bedeutung ist und die thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen. Zudem erfolgt eine Bilanzierung der kleinräumigen Belüftungsverhältnisse.

In einem zweiten Analysestep finden zusätzlich die Abluftkamine der Rechenzentren Beachtung. Wie in Kap. 3 bereits angeführt, wird für den Regelbetrieb ein Worst-Case-Szenario den Modellrechnungen zu Grunde gelegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei jedem der neun Rechenzentren ein Abluftkamin am Tag (im Zeitraum zwischen 07:00 Uhr und 20:00 Uhr) über eine Zeitdauer von acht Stunden in Betrieb ist.

In einem dritten Analysestep werden neben den Abluftkaminen noch die bestehenden/geplanten Windenergieanlagen (siehe Kap. 3) berücksichtigt, da zu klären ist, ob diese durch Verwirbelungen die Wärmeemissionen der Kaminabluft in den bodennächsten Luftraum (0 – 10 m ü.G.) verfrachten.

³ **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

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.

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.

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.

Zur Berücksichtigung der Windenergieanlagen verfügt FITNAH-3D über einen Modellbaustein, der den Einfluss der drehenden Rotoren auf das Wind-/Turbulenzfeld⁴ simuliert. Die Windenergieanlagen werden im Modell über einen spezifischen Widerstand c_d im Modell berücksichtigt. c_d ist dabei proportional zum Verhältnis der Rotorblattbreite b zum Rotorumfang $2\pi r$. Dieses Verhältnis nimmt mit zunehmendem Abstand r von der Nabenhöhe ab.

$$c_d = \frac{3 b C_0}{r\pi}$$

⁴ **GROSS, G. (2010):** Numerical simulations of the diurnal variation of wakes behind wind turbines. Meteorologische Zeitschrift 19, S. 91-99

HEIMANN, M. ET. AL (2011): The wake of a wind turbine and its influence on sound propagation. Meteorologische Zeitschrift 20 S. 449 - 460

$C_0=2.5$ m/s und $c_d=0$ für $r>R$ (=Rotorradius). Die Blattbreite wird approximiert mit:

$$b = b_1 \frac{r(b_2 - b_1)}{R}$$

Mit $b_1= 3$ m und $b_2 = 1.5$ m.

Mit dieser Bestimmungsvorschrift kann bestimmt werden, welche Gitterpunkte im Modellgebiet als Strömungshindernis (3D) wirken.

Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von ca. 13.0×10.3 km (ca. 134 km^2) – siehe **Abbildung 15**. Die Rechenauflösung beträgt in der Horizontalen $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 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.

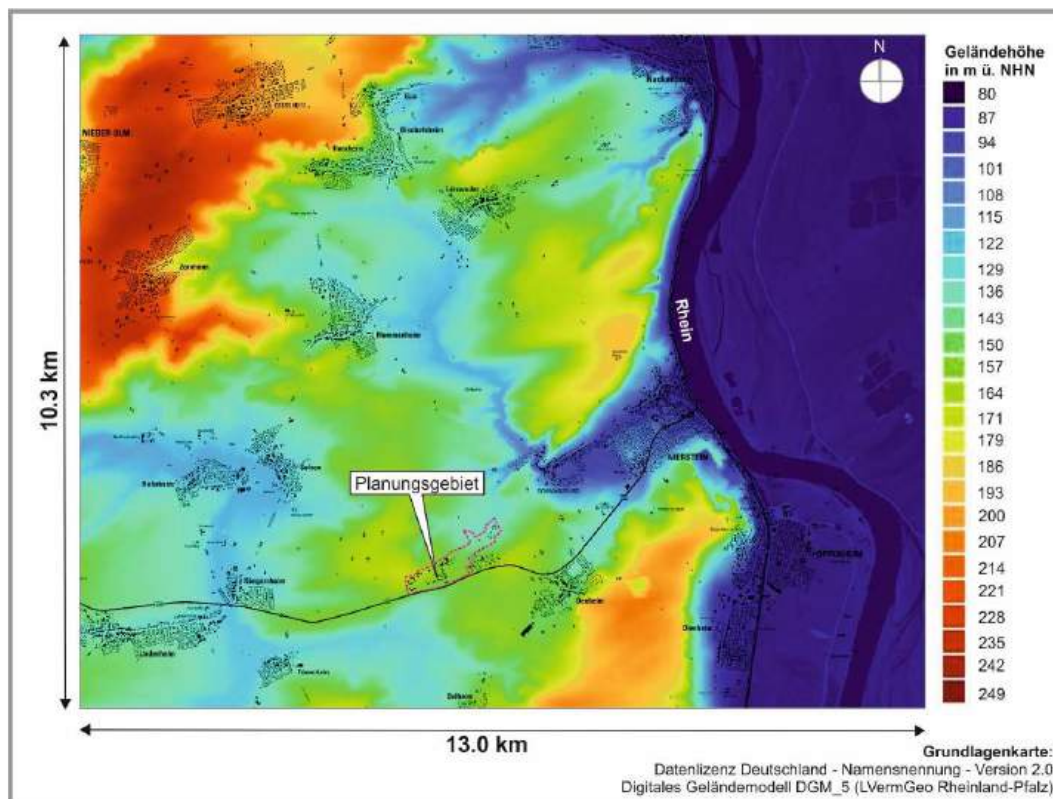


Abbildung 15: Modellgebiet und Topografie

5 Klimaökologische Situation am Planungsstandort und Folgen des Klimawandels

Die Planungsgebiet befindet sich mit seiner Lage in den östlichen Randhöhen des Rheinhessischen Tafel- und Hügellands 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.

Nachfolgend wird das Klima im Planungsgebiet und in dessen Umfeld beschrieben und die mit dem Klimawandel prognostizierten Veränderungen aufgezeigt. Dabei wird, in Anbetracht der Lage des Planungsgebiets in einer Weinbauregion, auch auf die Einflüsse des lokalen Klimas auf den Weinbau eingegangen. Aussagen hierzu lassen sich u.a. aus dem agrarmeteorologischen Klimamessnetz des Landes Rheinland-Pfalz ableiten. Im Planungsumfeld werden die Daten der Klimamessstationen Nierstein und Dienheim betrachtet (Lage siehe **Abbildung 16**)



Abbildung 16: Lage der agrarmeteorologischen Klimamessstationen Nierstein und Dienheim. Luftbild: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

5.1 Lufttemperatur

Die Jahresmitteltemperatur beträgt im Landkreis Mainz-Bingen im mehrjährigen Mittel ca. 11.7°C (1995 – 2024). An den agrarmeteorologischen Klimamessstationen Dienheim (209 m ü. NN) und Nierstein (89 m ü. NN) wird zwischen den Jahren 2020 und 2024 eine Jahresdurchschnittstemperatur von 11.8°C bzw. 12.5°C erfasst. Die sommerlichen Temperaturmaxima liegen dabei zwischen 33.4 und 37.1°C (Station Dienheim) sowie zwischen 34.0 und 38.3°C (Station Nierstein), was auf die allgemein hohe sommerliche Wärmebelastung im Planungsgebiet hinweist (siehe auch **Abbildung 17**).

Laut Statistiken des Landes Rheinland-Pfalz (<https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool>) sind im Landkreis Mainz-Bingen im 30-jährigen Mittel (1995 – 2024)

- 11 Eistage/Jahr ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 59 Frosttage/Jahr ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 15 heiße Tage/Jahr ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- 56 Sommertage/Jahr ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)

zu registrieren.

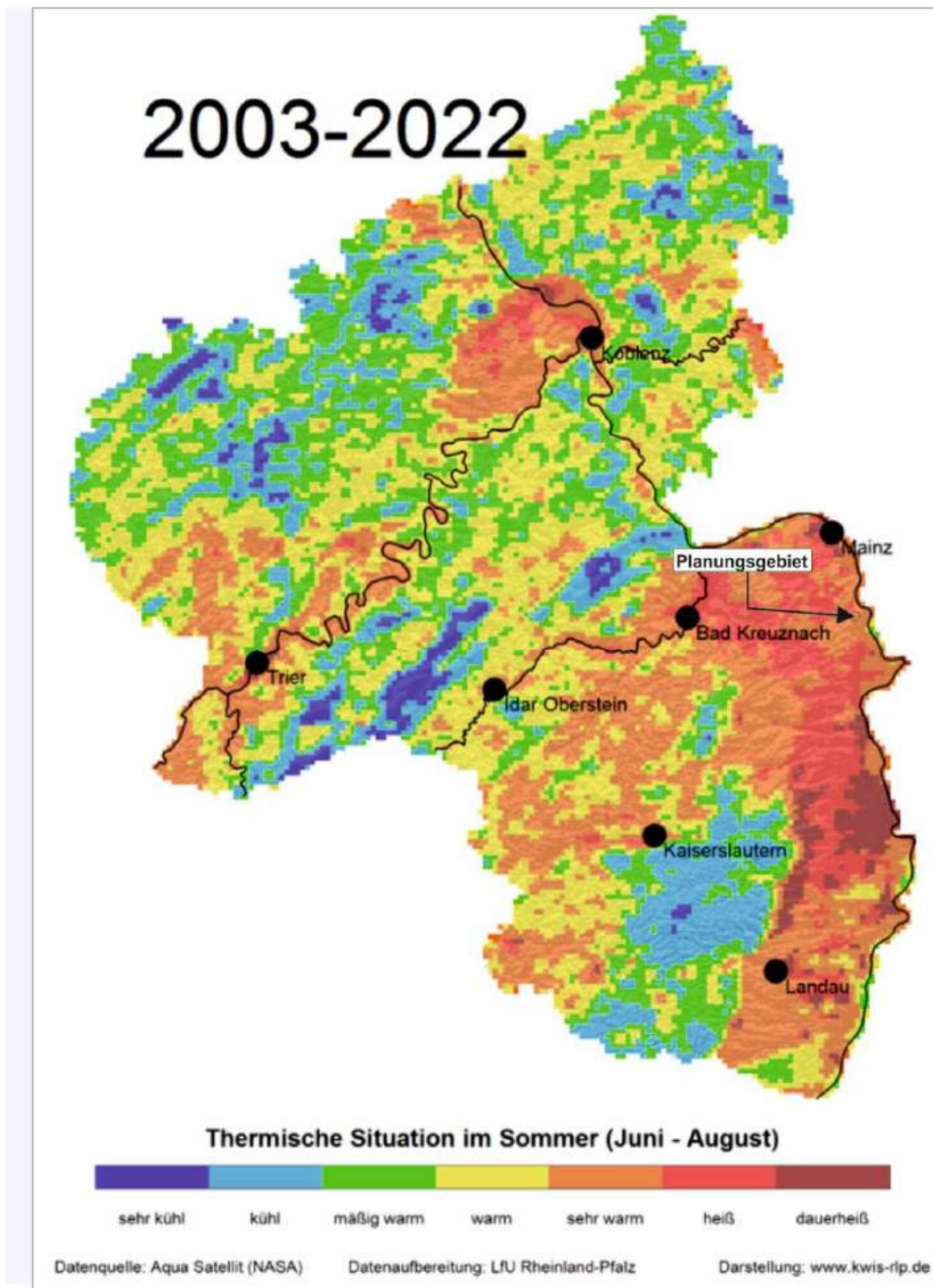


Abbildung 17: Sommerliche Wärmebelastung in Rheinland-Pfalz im Durchschnitt der Jahre 2003 - 2022

An den agrarmeteorologischen Klimamessstationen Dienheim und Nierstein werden im Durchschnitt der Jahre 2020 – 2024 6 bzw. 3 Eistage, 37 bzw. 26 Frosttage, 15 bzw. 21 heiße Tage und 66 bzw. 75 Sommertage registriert. Die vergleichsweise hohe Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen an der Station Nierstein belegt, dass die dort allgemein niedrigeren Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur Lagesituation an der Station Dienheim die Tendenz zu Wärmestaus erhöht. Im Planungsgebiet, das sich bzgl. der Höhenlage ungefähr in der Mitte der beiden agrarmeteorologischen Standorte Nierstein und Dienheim befindet, sind in unbebauten Lagen im Zeitraum 2020 – 2024 entsprechend ca. 5 Eistage, 32 Frosttage, 18 heiße Tage und 71 Sommertage zu bilanzieren.

Im Zuge des globalen Klimawandels wird 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 benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (MOSS ET AL. 2010⁵; **Abbildung 18**):

- 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.

⁵ 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.

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. 2017⁶). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Für die Einschätzung zukünftiger Klimarisiken wird das RCP 8.5 als geeignetes Szenario angesehen. Aus diesem Grund und im Sinne des Vorsorgegedankens werden im vorliegenden Pre-Check die Daten des RCP-Szenarios 8.5 verwendet.

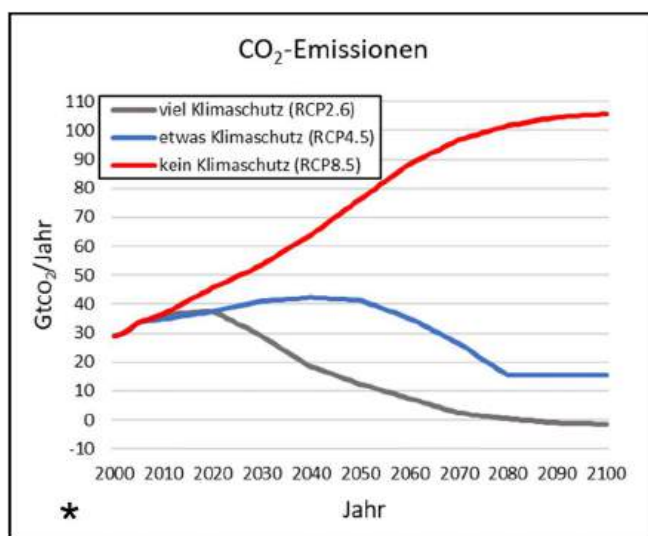


Abbildung 18: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (nach CUBASCH ET AL. 2013⁷, Grafik: GERICS 2021)

⁶ **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.

⁷ **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.

Nach Berechnungen des Landes Rheinland-Pfalz wird in der Region Rheinhessen die mittlere Jahresmitteltemperatur bei Berücksichtigung des Antriebsszenarios RCP 8.5 im Zeitraum 2042 – 2071 (= nahe bis mittlere Zukunft) gegenüber der Zeitspanne 1995 – 2024 um ca. 0.4 – 0.7 K ansteigen (**Abbildung 19**).

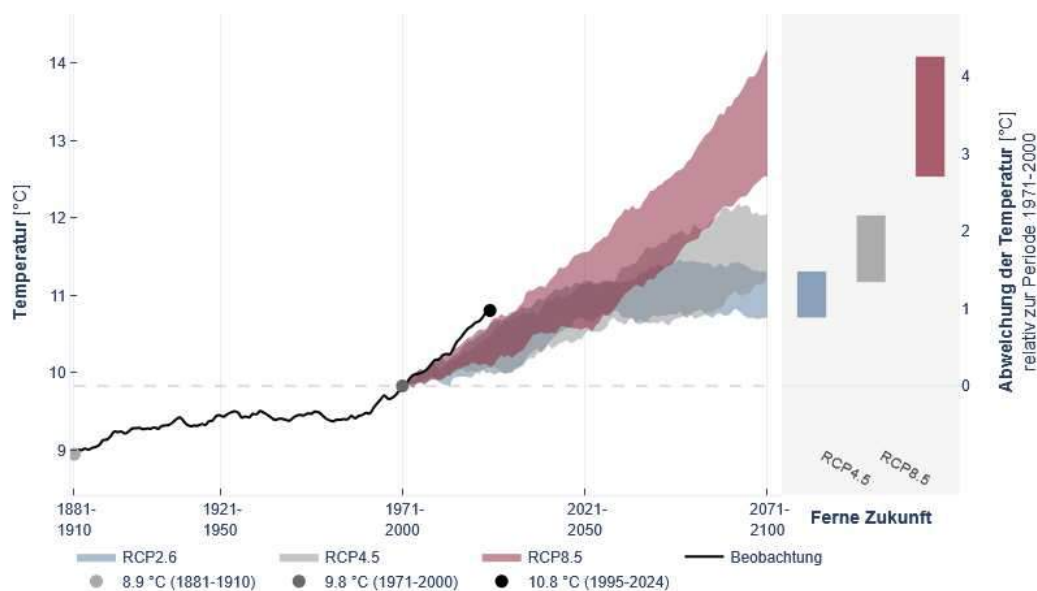


Abbildung 19: Bandbreite der jährlichen Änderung der Lufttemperatur in Rheinhessen. Grafik aus: <https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool>

Die Anzahl der bioklimatisch besonders relevanten heißen Tage und Sommertage wird sich um bis zu max. 8 Tage/Jahr bzw. um bis zu max. 11 Tage/Jahr erhöhen. Da zugleich die Anzahl der Tropennächte zunimmt, steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit lang anhaltender Hitzewellen. Die erhöhte Wärmebelastung führt insbesondere bei alten und kranken Menschen sowie Kleinkindern zu gesundheitsgefährdendem Hitzestress. Die zunehmende Hitzebelastung mindert auch die Produktivität am Arbeitsplatz.

Durch die o.a. thermisch wirksamen Klimawandelfolgen wird die Sicherstellung günstiger thermischer Umgebungsverhältnisse auch in Gewerbegebieten zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen.

Die thermische / bioklimatische Situation an warmen / heißen Sommertagen wird wesentlich durch die örtlichen Oberflächentemperaturen bestimmt.

Wie Ergebnisse satellitengebundener Infrarotaufnahmen für die Sommermonate 2018 – 2023 (**Abbildung 20**) dokumentieren, zeigen die Wiesen/Landwirtschaftsflächen im Planungsgebiet mit 33 - 36°C am Tag größtenteils ein mittleres Oberflächentemperaturniveau. Im Planungsgebiet werden im Bereich versiegelter Flächen vermehrt Temperaturen von 36 - 42°C ermittelt. In Bereichen mit Gehölzbeständen (z.B. Engelsklauergraben) sind mittlere Oberflächentemperaturen von ca. 30 - 33°C zu bestimmen. Die thermische Gunstwirkung schattenwerfender Gehölzflächen und unversiegelter Freiflächen wird damit offensichtlich.

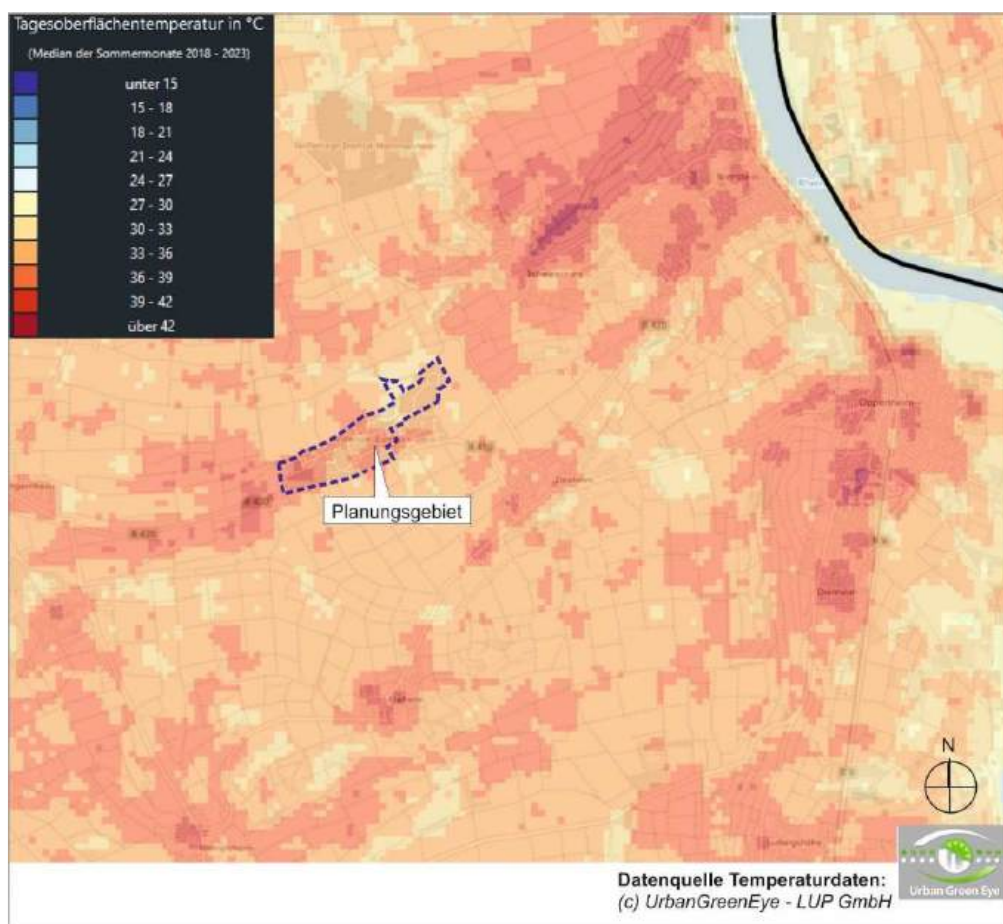


Abbildung 20: Mittlere Tagesoberflächentemperaturen im Zeitraum 2018 – 2023

Im Planungsumfeld wird Weinbau betrieben. Daher sind auch die planungsbedingten Folgen auf die vermehrte Hitze und Spätfrostgefährdung zu betrachten.

Ein bekanntes Risiko bei Trauben ist nach HOPPMANN (2010) Hitze mit Lufttemperaturen von über 35°C. Zusammen mit intensiver UV-Strahlung (von geringerer Bedeutung) kann dies zu sogenanntem Sonnenbrand führen. Dabei hängt das Gefahrenpotenzial auch vom Witterungsverlauf ab. Dieses ist hoch, wenn folgende Situation auftritt: Nach einer längeren Phase mit bedecktem Himmel und geringer Einstrahlung folgt eine Hochdruckwetterlage mit starker Sonneneinstrahlung, hohen Lufttemperaturen (>35°C) und langen Perioden mit geringer Luftfeuchtigkeit (< 30 % RF) und hohem Sättigungsdefizit für Wasserdampf. Besonders empfindlich sind die BBCH-Rebstadien⁸ (**Tabelle 2**) zwischen „Traubenschluss“ (Stadium Nr. 77) im Juli und „Weichwerden der Beeren“ (Stadium 85) Mitte August.

Die Folgen des Zusammentreffens dieser Bedingungen sind ein starker Wasserverlust, ungenügende Wassernachlieferung durch Konkurrenz mit den Blättern, somit ungenügende Kühlung der Beeren durch die fehlende Verdunstung und schließlich Überhitzungsschäden des Gewebes. Zusätzlich sind Zellschädigungen durch UV-Strahlung möglich.

⁸ Die BBCH-Skala (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) ist ein System zur Klassifizierung der Wachstumsstadien von Pflanzen.

BBCH-Code	Beschreibung	BBCH-Code	Beschreibung
Makrostadium 0 Austrieb			
00	Vegetationsruhe: Winteraugen spitz bis rundbogen förmig, je nach Rebsorte hell- bis dunkelbraun; Knospenschuppen je nach Rebsorte mehr oder weniger geschlossen	61	Beginn der Blüte: 10 % der Blütenköpchen abgeworfen
01	Beginn des Knospenschwellens: Augen beginnen sich innerhalb der Knospenschuppen zu vergrößern	63	Vorblüte: 30% der Blütenköpchen sind abgeworfen
03	Ende des Knospenschwellens: Knospen geschwollen, aber noch nicht grün	65	Vollblüte: 50% der Blütenköpchen sind abgeworfen
05	„Wolle-Stadium“: wolleartiger brauner Haarbesatz deutlich sichtbar	68	80% der Blütenköpchen sind abgeworfen
07	Beginn des Knospenaufbruchs: grüne Triebspitzen werden sichtbar	69	Ende der Blüte
09	Knospenaufbruch: grüne Triebspitzen deutlich sichtbar	Makrostadium 7 Fruchtentwicklung	
Makrostadium 1 Blattentwicklung		71	Fruchtsatz; Fruchtknoten beginnen sich zu vergrößern; „Putzen der Beeren“ wird abgeschlossen
11	Erstes Blatt entfaltet und vom Trieb abgespreizt	73	Beeren sind schrotkorn groß; Trauben beginnen sich abzusenken
12	2 Blätter entfaltet	75	Beeren sind erbsengroß; Trauben hängen
13	3 Blätter entfaltet	77	Beginn des Traubenschlusses
14	4 Blätter entfaltet	79	Ende des Traubenschlusses
15	5 Blätter entfaltet	Makrostadium 8 Frucht reife	
16	6 Blätter entfaltet	81	Beginn der Reife: Beeren beginnen hell zu werden (bzw. beginnen sich zu verfärben)
19	9 oder mehr Blätter entfaltet	83	Fortschreiten der Beeren-Aufhellung (bzw. -Verfärbung)
Makrostadium 5 Erscheinen der Blütenanlagen		85	Weichwerden der Beeren
53	„Gescheine“ (Infloreszenzen) deutlich sichtbar	89	Vollreife der Beeren (Lesereife)
55	„Gescheine“ (Infloreszenzen) vergrößern sich; Einzelblüten sind dicht zusammengedrängt	Makrostadium 9 Eintreten der Vegetationsruhe	
57	„Gescheine“ (Infloreszenzen) sind voll entwickelt; die Einzelblüten spreizen sich	91	Nach der Lese; Holzreife wird abgeschlossen
Makrostadium 6 Blüte		92	Beginn der Blattverfärbung
60	Erste Blütenköpchen lösen sich vom Blütenboden	93	Beginn des Laubfalls
		95	50% der Blätter abgefallen
		97	Ende des Laubfalls
		99	Erntegut/Trauben (Stadium zur Kennzeichnung von Nacherntebehandlungen)

Tabelle 2: Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe nach der BBCH-Skala. Nach D. H. Lorenz et al.: Vitic. Enol. Sci. 49 (2), 66-70 (1994)

Ein weiteres klimatisches Risiko im Weinbau ist die Spätfrostgefährdung.

In wolkenlosen, windschwachen Nächten kühlt sich der Erdboden und die darüber liegende bodennahe Luft ab. Auf Grund der niedrigen abendlichen Ausgangstemperatur in den Frühjahrsmonaten kann dabei die Lufttemperatur bis unter den Gefrierpunkt sinken. Diese meteorologische Situation tritt besonders bei autochthonen Wetterlagen auf. Darunter versteht man Verhältnisse, bei denen die lokalklimatischen Besonderheiten durch die örtlichen Gegebenheiten (u.a. Flächennutzung, Relief) geprägt werden und weniger vom überlagerten, großräumigen Wettergeschehen. Solche Nächte werden auch als Strahlungsnächte bezeichnet.

Für die weitere Auswertung von Spätfrostsituationen im Untersuchungsgebiet werden die meteorologischen Daten der agrarmeteorologischen Stationen Nierstein und Dienheim (Lage siehe **Abbildung 16**) herangezogen.

Hier liegen für den Zeitraum April und Mai 2015 - 2024 Beobachtungen für die Temperatur in 0.2 m Höhe und in 2.0 m Höhe sowie die Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 2.0 m vor (Datenquelle: <https://www.wetter.rlp.de/Agrarmeteorologie/Wetterdaten/Rheinhausen>). Bei einer Auswertung der Abhängigkeit von beobachteten nächtlichen Minimumtemperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ von der Windgeschwindigkeit für den Beobachtungszeitraum erkennt man, dass Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt häufig mit sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten verbunden sind. In ca. 48% der Fälle werden an der Station Nierstein Windgeschwindigkeiten von 0.0 – 0.5 m/s (in 2 m ü.G.) beobachtet, während am Messstandort Dienheim, die Belüftungsintensität größer ist (**Tabelle 3**).

Windgeschwindigkeit in m/s	Station Nierstein	Station Dienheim
0.0 – 0.1	19.0%	8.7%
0.2 – 0.3	13.9%	7.1%
0.4 – 0.5	15.2%	3.3%
> 0.5	51.9%	80.9%

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (2 m ü.G.) an den Stationen Nierstein und Dienheim an Tagen mit $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ (April/Mai 2015-2024).

Schädigende Spätfröste in Rebanlagen können bereits ab einer Lufttemperatur von 0.0°C (1 m ü.G.) auftreten, da auf Höhe der jungen Weinblätter dann um ca. 1 - 2 K niedrigere Lufttemperaturen zu erwarten sind. Während die Pflanze in der Winterzeit durchaus Temperaturen von -15.0 bis -20.0°C ohne Schädigungen überstehen kann, genügen im Frühjahr nach Beginn der Vegetationsphase Temperaturen von unter -2.0°C (= mäßig starke bis starke Fröste, DEUTSCHER WETTERDIENST 1988) um Pflanzenelemente zu schädigen, was zu einer starken Ernteeinbuße im Herbst führen kann.

Lufttemperaturmessungen an den agrarmeteorologischen Stationen Nierstein und Dienheim (**Tabelle 4**) zeigen, dass in den letzten Jahren (2015 – 2024) im Mai keine Spätfröste mehr zu bilanzieren sind. Laut Informationen zum Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz (<https://geobox-i.de/GBV-RLP/>) befinden sich die beiden Klimamessstationen außerhalb von hoch und sehr hoch spätfrostgefährdeten Lagen.

Anhand der Datentabelle ist abzuleiten, dass eine planungsbedingte Abnahme der Lufttemperatur um 1 K ($0.0^{\circ}\text{C} \rightarrow -1.0^{\circ}\text{C}$) zu einer Zunahme der Spätfrostgefährdung von zusätzlich 1.5 Tage/10 Jahre (Nierstein) bzw. 1.9 Tage/10 Jahre (Dienheim) führt.

Temperatur	Nierstein		Dienheim	
T _{min} °C (1m)	April	Mai	April	Mai
	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre
0,0	2,5	0	3,9	0
-0,1	2,4	0	3,9	0
-0,2	2,4	0	3,6	0
-0,3	2,4	0	3,4	0
-0,4	2,3	0	3,2	0
-0,5	1,9	0	3,0	0
-0,6	1,8	0	2,8	0
-0,7	1,3	0	2,6	0
-0,8	1,1	0	2,3	0
-0,9	1,1	0	2,1	0
-1,0	1,0	0	2,0	0
-1,1	1,0	0	1,9	0
-1,2	1,0	0	1,8	0
-1,3	1,0	0	1,8	0
-1,4	0,9	0	1,8	0
-1,5	0,9	0	1,8	0
-1,6	0,8	0	1,8	0
-1,7	0,7	0	1,7	0
-1,8	0,7	0	1,7	0
-1,9	0,6	0	1,5	0
-2,0	0,5	0	1,5	0
-2,1	0,4	0	1,2	0
-2,2	0,4	0	1,2	0
-2,3	0,4	0	1,0	0
-2,4	0,4	0	1,0	0
-2,5	0,4	0	1,0	0
-2,6	0,4	0	0,8	0
-2,7	0,3	0	0,4	0
-2,8	0,3	0	0,4	0
-2,9	0,3	0	0,4	0
-3,0	0,2	0	0,4	0
-3,1	0,2	0	0,4	0
-3,2	0,2	0	0,3	0
-3,3	0,1	0	0,3	0
-3,4	0,1	0	0,3	0
-3,5	0,1	0	0,3	0
-3,6	0,1	0	0,3	0
-3,7	0	0	0,2	0
-3,8	0	0	0,1	0
-3,9	0	0	0,1	0
-4,0	0	0	0,1	0

Tabelle 4: Anzahl der Tage/10 Jahre mit Tiefsttemperaturen T_{min} ≤ 0.0°C (1 m ü.G.) für die Monate April und Mai. Agrarmeteorologische Stationen Nierstein und Dienheim 2015-2024.

Laut einer Studie der RLP AGROSCIENCE GMBH (Ergebnisse veröffentlicht in: <https://geobox-i.de/GBV-RLP/>), ist das Gelände im Umfeld des Planungsgebiets für Weinbau in Teilen als stark spätfrostgefährdet einzustufen.

Wie der **Abbildung 20** zu entnehmen ist, wird der Weinbau aktuell größtenteils außerhalb von Hangeinschnitten / Tiefenlinien betrieben, die eine vermehrte Spätfrosthäufigkeit aufweisen. Kommt es planungsgebedingt zu Reduktionen der Kaltluftfließgeschwindigkeiten, können sich die spätfrostgefährdeten Bereiche u.U. räumlich ausdehnen. Im Bereich „Roter Hang“ nordwestlich von Schwabsburg/Nierstein ist die Spätfrostgefährdung in Hanglage eher gering, da die Kaltluft stetig abfließen kann und durch wärmere Luft aus höheren Luftschichten ersetzt wird. Dieses Prozessgeschehen ist in der Geländeklimatologie auch unter dem Begriff „warme Hangzone“ bekannt.



Abbildung 21: Potenzielle Gebiete mit vermehrter Spätfrostgefährdung für Obst- und Weinbaukulturen. Datenquelle: <https://geobox-i.de/GBV-RLP-Wein/>.
Datenlizenz Deutschland Namensnennung 2.0 / AGROSCIENCE RHEINLAND-PFALZ

Klimawandelbedingt sinkt laut GERICS (2021) zwar die Anzahl der Spätfrosttage zwischen April und Mai im Landkreis Mainz-Bingen im Zeitraum 2036 – 2065 gegenüber dem Zeitraum 1971 -2000 um ca. 2.0 Tage/Jahr. Da sich der Blühbeginn bei den Reben jedoch verfrüht, ist mit keiner Abnahme der Schadhäufigkeit durch Spätfroste zu rechnen.

In den zum Planungsgebiet nahegelegenen Rebanlagen sollte demnach, wie bereits o.a., in Senken, Mulden oder am Hangfuß des Weinbergs (Kaltluftsammlbereiche) eine zunehmende nächtliche Windruhe vermieden werden, da Spätfröste in der Regel insbesondere in nächtlichen Windstagnationsbereichen auftreten.

5.2 Niederschlag und Verdunstung

Die Jahressumme des Niederschlags beläuft sich im Landkreis Mainz-Bingen mit der Stadt Nierstein und der Ortslage Dexheim im 30-jährigen Mittel (1995 - 2024) auf ca. 585 mm (<https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool>), wobei im Sommer eine Niederschlagshöhe von 173 mm zu bilanzieren ist. Im Winter, Frühling und Herbst sind Niederschlagshöhen von 134 mm, 133 mm und 146 mm zu registrieren. In den Sommermonaten kommt es durch hohe Einstrahlungsintensität und der daraus folgenden Konvektion mit Wolkenbildung verstärkt zu Schauern und Gewittern.

An den agrarmeteorologischen Klimamessstationen Nierstein und Dienheim wurde zwischen den Jahren 2020 und 2024 im Jahresdurchschnitt eine Niederschlagshöhe von 602 mm/Jahr bzw. 533 mm/Jahr gemessen (<https://www.dlr.rlp.de>). Diese verteilt sich in Nierstein auf 165 Regentage⁹/Jahr und in Dienheim auf 159 Regentage/Jahr.

Die **Abbildung 22** dokumentiert, dass die mittleren Niederschlagsmengen in Rheinland-Pfalz nicht gleich verteilt sind. Die Verteilung wird vor allem durch die Mittelgebirge geprägt. Auf den windzugewandten Luvseiten (Westseiten) der Gebirge fällt zumeist mehr Niederschlag als auf den Leeseiten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass feuchte Luftmassen aus Südwesten bis Westen (Hauptwindrichtung) im Luv der Gebirge großräumig zum Aufsteigen gezwungen werden und sich dabei abregnen. Dieser Luv-/Lee-Effekt führt dazu, dass sich das Planungsgebiet in einem vergleichsweise niederschlagsarmen Bereich befindet (siehe **Abbildung 23**).

Klimawandelbedingt wird nach Modellrechnungen des Landes Rheinland-Pfalz (<https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool>) in Rheinhessen die mittlere jährliche Niederschlagssumme bei Berücksichtigung des RCP8.5-Szenarios in der nahen/mittleren Zukunft (2042 – 2071 gegenüber der Referenzperiode 1995 – 2024) um ca. 6% zunehmen. Dabei steht einer Zunahme des Winterniederschlags (ca. +11% = Median) allerdings Abnahme des Sommerniederschlags (ca. -11%) gegenüber.

⁹ Regentag = Niederschlagssumme > 0.1 mm.

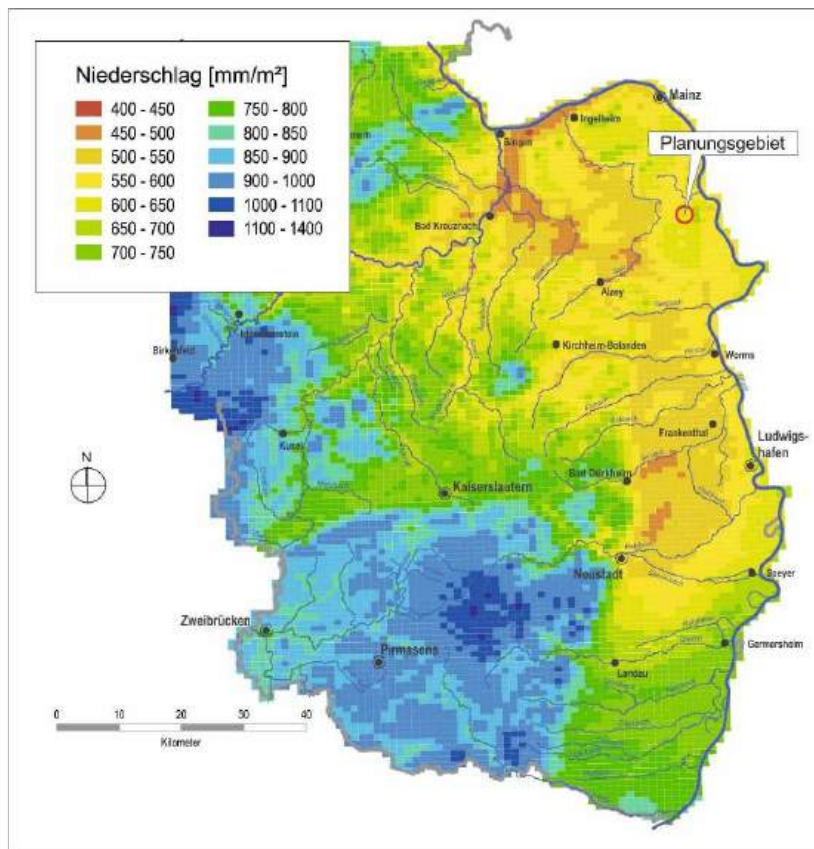


Abbildung 22: Mittlere Niederschlagsverteilung 1961 – 1990 in Rheinland-Pfalz (Ausschnitt). Grafik aus: Hydrologischer Atlas Rheinland-Pfalz, LfU Rheinland-Pfalz.

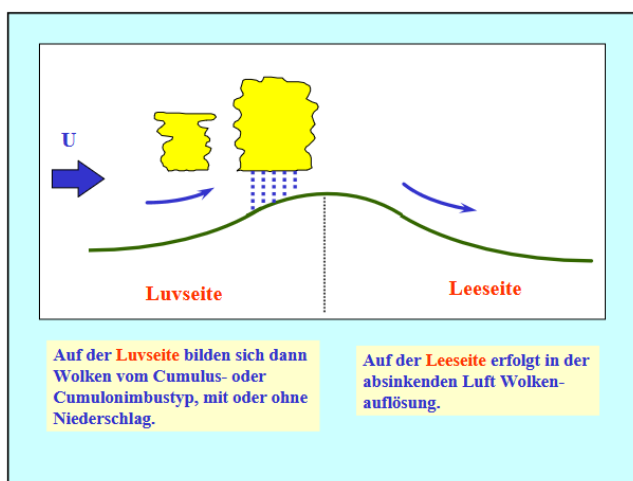


Abbildung 23: Schema zur Auflösung von Regenwolken über dem Bergland. Grafik aus: <https://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/>

Die unterschiedlichen Niederschlagsmengen in den einzelnen Jahreszeiten haben auch Einfluss auf die klimatische Wasserbilanz, die sich aus der Differenz von Niederschlagssumme und der Summe der potenziellen Verdunstung über Gras zusammensetzt.

Wie **Abbildung 24** zeigt, ist im Umfeld des Planungsgebiets die mittlere klimatische Wasserbilanz (1981 – 2010) im Winter und Herbst zwar positiv (+ 25 bis +125 mm), im Frühjahr und Sommer (-250 bis -50 mm) jedoch deutlich negativ, so dass im Planungsumfeld über den Landwirtschafts-/Rebflächen künstliche Bewässerung erforderlich wird.

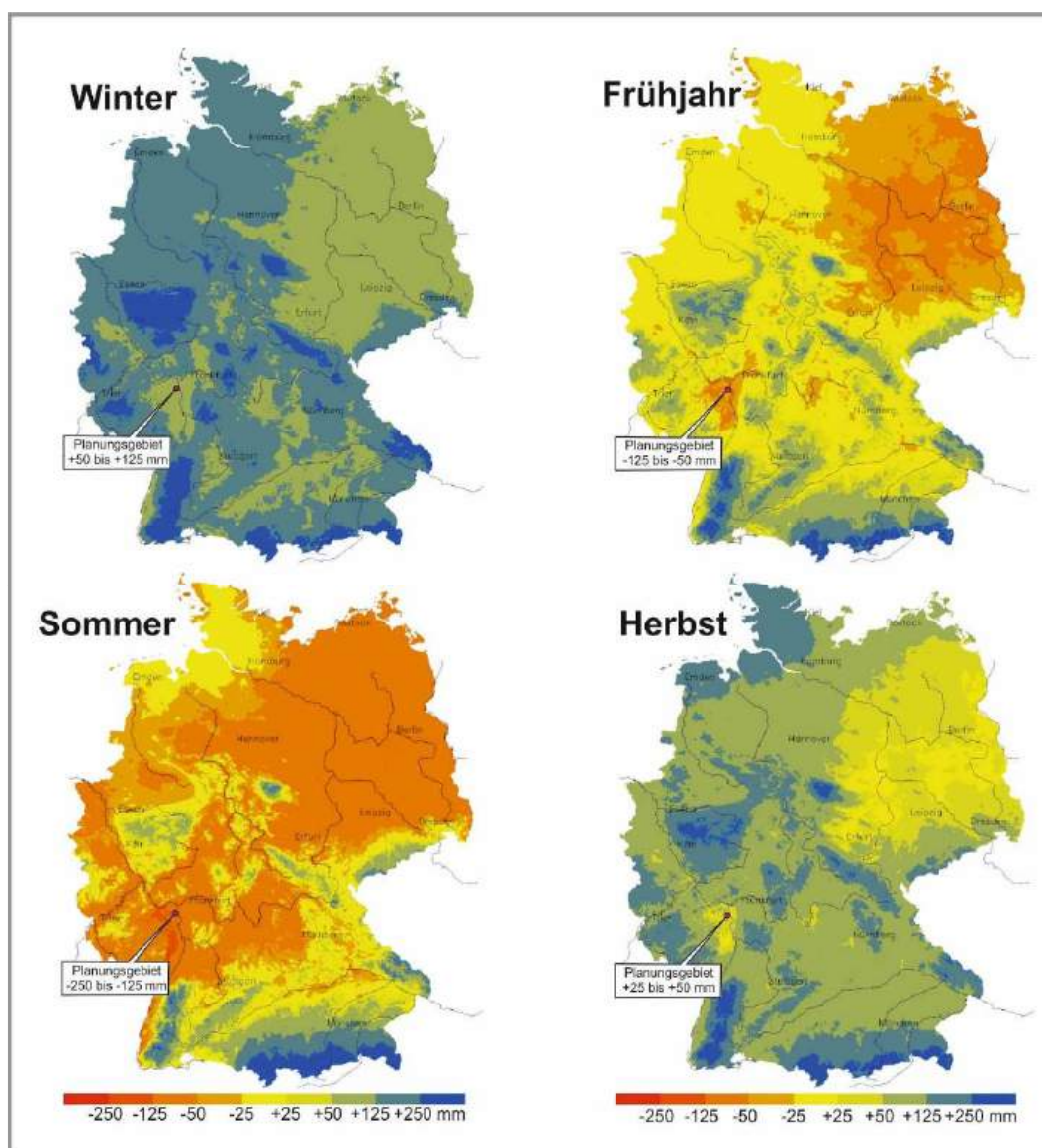


Abbildung 24: Mittlere klimatische Wasserbilanz (1981 – 2010) in Deutschland.
Grafik aus: <https://www.wetter.rlp.de>

Bei Flächennutzungsänderungen wird in die Verdunstungsleistung natürlicher Oberflächen/Pflanzbestände eingegriffen. Im Vergleich zu bewachsenen Oberflächen ist die Verdunstungsleistung versiegelter Oberflächen stark reduziert. Ursache ist die fehlende Zwischenspeicherung des Wassers. Die Reduzierung der Verdunstung wirkt sich direkt auf den Energiekreislauf aus, da die nicht für den Verdunstungsprozess benötigte Energie in den bodennahen Schichten bleibt und zur Erhöhung des fühlbaren Wärmestroms führt. Bedingt durch den Jahresgang der Verdunstung, mit seinem Maximum im Sommer, ist dieser Erwärmungseffekt der Versiegelung besonders hoch, wenn ohnehin bereits viel Energie eingestrahlt wird. Dem Hydrologischen Atlas Rheinland-Pfalz kann entnommen werden, dass in bebauten Gebieten die mittlere Verdunstung, bezogen auf den Zeitraum 1961 – 1990, bei ca. 200 – 300 mm/m² liegt, wohingegen in bewaldeten Gebieten die Verdunstung bei über 600 mm/m² beträgt. In Weingebietslagen sind mittlere Verdunstungswerte von ca. 450 – 550 mm/m² zu bilanzieren.

Durch den klimawandelbedingten Anstieg der Sommertemperaturen und die gleichzeitige Abnahme der Sommerniederschläge wird die klimatische Wasserbilanz im Sommer zunehmend negativ.

Die Anzahl der Tage mit ergiebigem Niederschlag (≥ 10 mm/Tag) wird Modellrechnungen des Landes Rheinland-Pfalz (<https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool>) in Rheinhessen von 15 Tage/Jahr (1995 – 2024) auf bis zu ca. 17 Tage/Jahr (2042 – 2071) zunehmen. Durch ergiebigen Niederschlag und Starkregen (≥ 20 mm/Tag) kommt es insbesondere in Hanglagen zu vermehrter Bodenerosion. In Weinbaulagen lässt sich mit einer Begrünung des Bodens zwischen den Rebzeilen die Erosion minimieren. Die Begrünung ist allerdings eine Wasserkonkurrenz für die Weinreben (HOPPMANN 2010).

Wie der nachfolgende Ausschnitt aus der Sturzflutkarte Rheinland-Pfalz des LANDESAMTS FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION RHEINLAND-PFALZ zeigt (**Abbildung 25**), bildet das Planungsgebiet bei Starkregenereignissen einen Teil des Einzugsgebietes für Sturzfluten, die im Südwesten in Richtung Hundgraben bzw. Dalheimer Flutgraben (Fließrichtung Friesenheim) und im Norden bzw. Nordosten in Richtung Engelsklauergraben / Diebsklauergraben (Fließrichtung Schwabsburg) gerichtet sind.

Bei Neubaumaßnahmen sind daher ausreichende Retentionsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

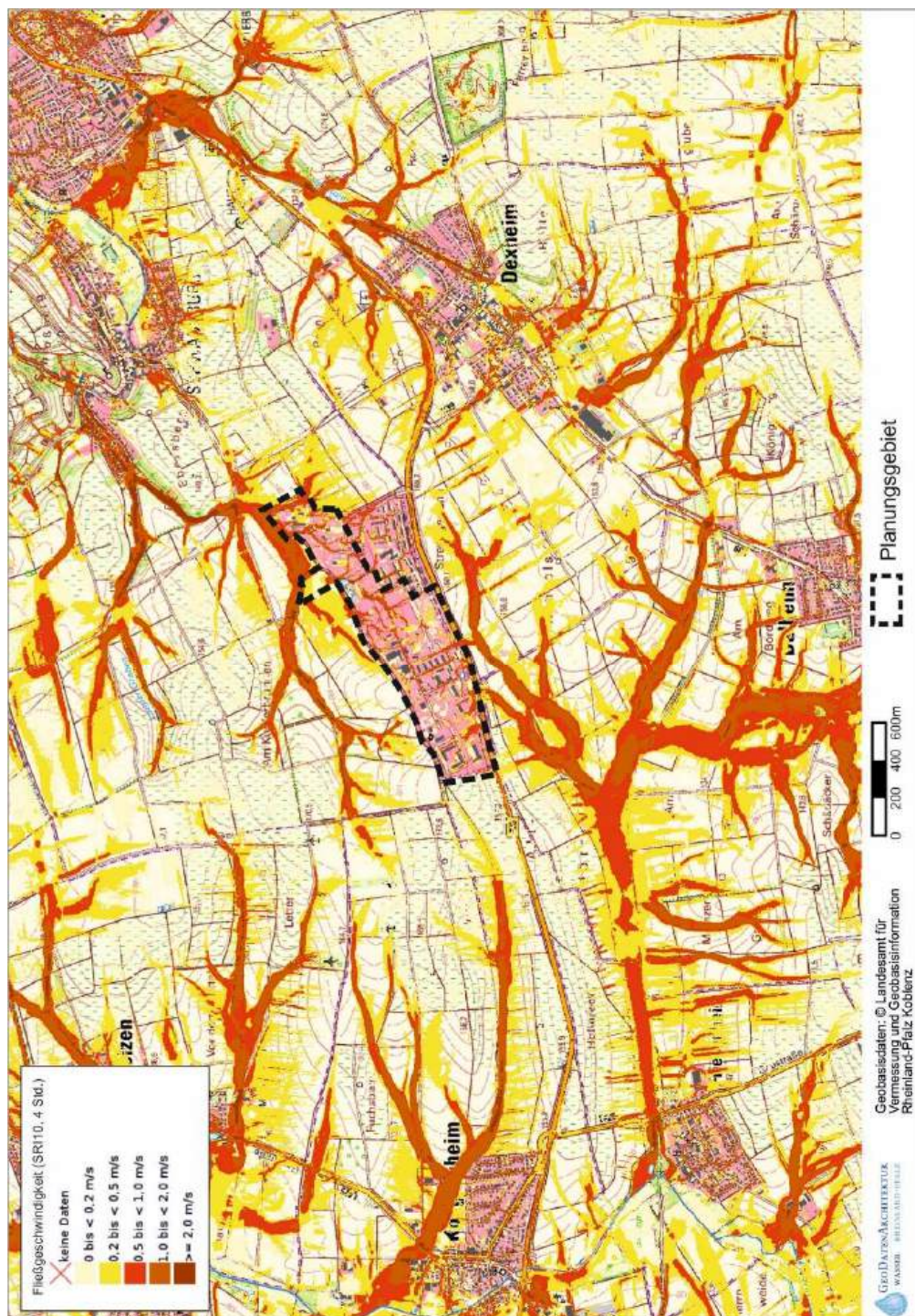


Abbildung 25: Ausschnitt aus der Sturzflutkarte Rheinland-Pfalz. Potenzielle Fließgeschwindigkeit des oberflächlich abfließenden Wassers bei einem extremen Starkregenereignis (124 – 136 mm in vier Stunden). Grafikquelle: <https://www.wasserportal.rlp-umwelt.de>

Neben einer klimawandelbedingten Häufung von ergiebigen Niederschlägen und Starkniederschlagsereignissen muss im Planungsgebiet und in dessen Umfeld auch mit einer Zunahme von Hageltagen gerechnet werden. Da Hagelereignisse zumeist in Verbindung mit Gewittern auftreten, die räumlich sehr variabel sind, ist es schwierig eine ortsspezifische Aussage über die Häufigkeit von Hageltagen zu machen. Für die DWD-Station Frankfurt-Flughafen weist der DWD für den Zeitraum 1981 – 2010 im Mittel 1.1 Hageltage pro Jahr nach (<https://www.dwd.de>). Dabei ist die Wahrscheinlichkeit von Hagel in den Sommermonaten besonders hoch, da in dieser Jahreszeit die Wahrscheinlichkeit von Gewittern mit starken Aufwinden und hoher Luftfeuchtigkeit am höchsten ist.

Analysen der Münchener Rückversicherung (**Abbildung 26**) zeigen für den Raum Nierstein im Zeitraum 1979 – 2015 ca. 0.25 - 0.50 Tage/Jahr Hagelereignisse. Als Trend wird eine Zunahme von ca. +0.1 Tagen/Jahr angenommen.

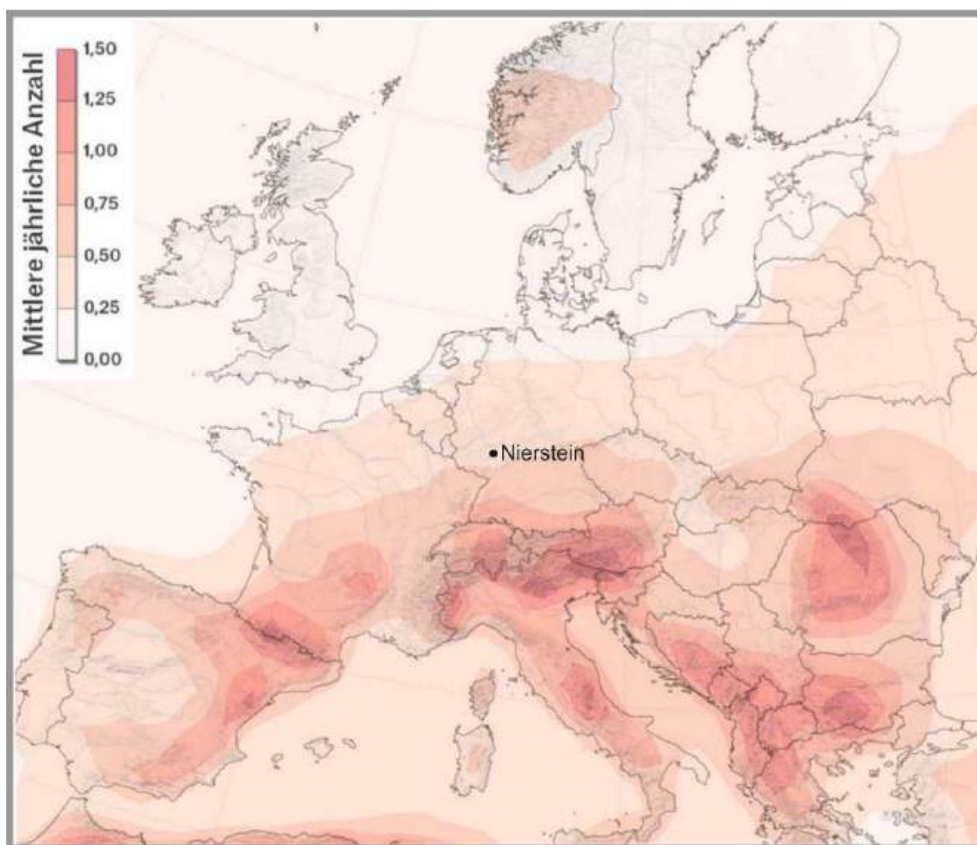


Abbildung 26: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen 1979 – 2015.

Grafikquelle:

<https://www.munichre.com/de/insights/natural-disaster-and-climate-change/hail.html>

Die durch Hagel verursachten Schäden hängen mit der jeweiligen Korngröße zusammen (<https://www.agrarheute.com/land-leben/7-fakten-hagel-523667>):

- Korngröße 2 – 3 cm (ca. 70 km/h): Bruch von Gewächshäusern und Oberlichtern
- Korngröße 3 – 5 cm (ca. 90 km/h): Bruch von Tonziegeln und Fensterscheiben
- Korngröße 5 – 6 cm (ca. 110 km/h): Zerstörung von Ziegel- und Schindeldächer, Bruch von Metallfensterrahmen, Fassadenschäden.
- Korngröße 6 – 8 cm (ca. 120 km/h): Ernsthafte Verletzungsgefahr für Menschen, Zerspringen von Betonziegeln.
- Korngröße ab 8 cm (ca. 140 km/h): Lebensgefahr für Menschen.

Bei der Dach- und Fassadengestaltung von Gebäuden sollte die Gefahr möglicher Hagelschäden Beachtung finden.

Hagelereignisse verursachen allerdings nicht nur Sachschäden, sondern bilden auch ein Risiko bei Pflanzen (Weinreben).

5.3 Windfeld

Analysiert man die mehrjährigen Winddaten (2011 – 2020) des Windrosenatlases Rheinland-Pfalz (**Abbildung 27, Tabelle 5**), so zeigt sich, dass die vorherrschenden Windrichtungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen Südsüdwest bis Westsüdwest und Nordnordost bis Ostnordost sind, wobei es durch die Flächennutzung und das Relief lokal zu leichten Differenzierungen kommen kann.

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt im mehrjährigen Mittel (1981 – 2000)¹⁰ im Bereich des Planungsgebiets ca. 3.4 - 3.7 m/s, wodurch eine intensive Durchlüftung möglich ist. Innerhalb der Bebauung kann die mittlere Windgeschwindigkeit auf Werte von unter 2.0 m/s sinken, so dass dort von insgesamt geringer Durchlüftungsintensität auszugehen ist.

Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten von über 4.0 m/s werden im Bereich des Planungsgebiets großwetterlagenbedingt bei Winden aus westsüdwestlichen Richtungen registriert (ca. 8% der Jahresstunden 2011 - 2020). Bei Winden aus nordöstlichen Richtungen (Nebenmaximum) stellen sich zumeist mittlere Windgeschwindigkeiten zwischen 2.0 und 4.0 m/s ein.

Windrichtung	Planungsgebiet Häufigkeit in%	Nierstein Häufigkeit in%	Oppenheim Häufigkeit in%
30	11.5	13.1	13.5
60	12.7	10.3	8.7
90	4.9	4.2	3.8
120	3.8	3.5	3.1
150	5.8	5.4	5.2
180	9.1	10.7	12.4
210	10.9	11.5	11.9
240	15.5	14.3	13.2
270	9.3	8.9	8.3
300	6.2	6.0	6.1
330	4.8	5.3	6.0
360	5.4	6.8	7.8

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (Zeitraum: 2011 – 2020) an den Standorten Planungsgebiet, Nierstein und Oppenheim. Daten bereitgestellt von: LANDESAMT FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ

¹⁰ Aus: **Deutscher Wetterdienst (2004):** Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m ü.G.) in der Bundesrepublik Deutschland. Offenbach a. M.

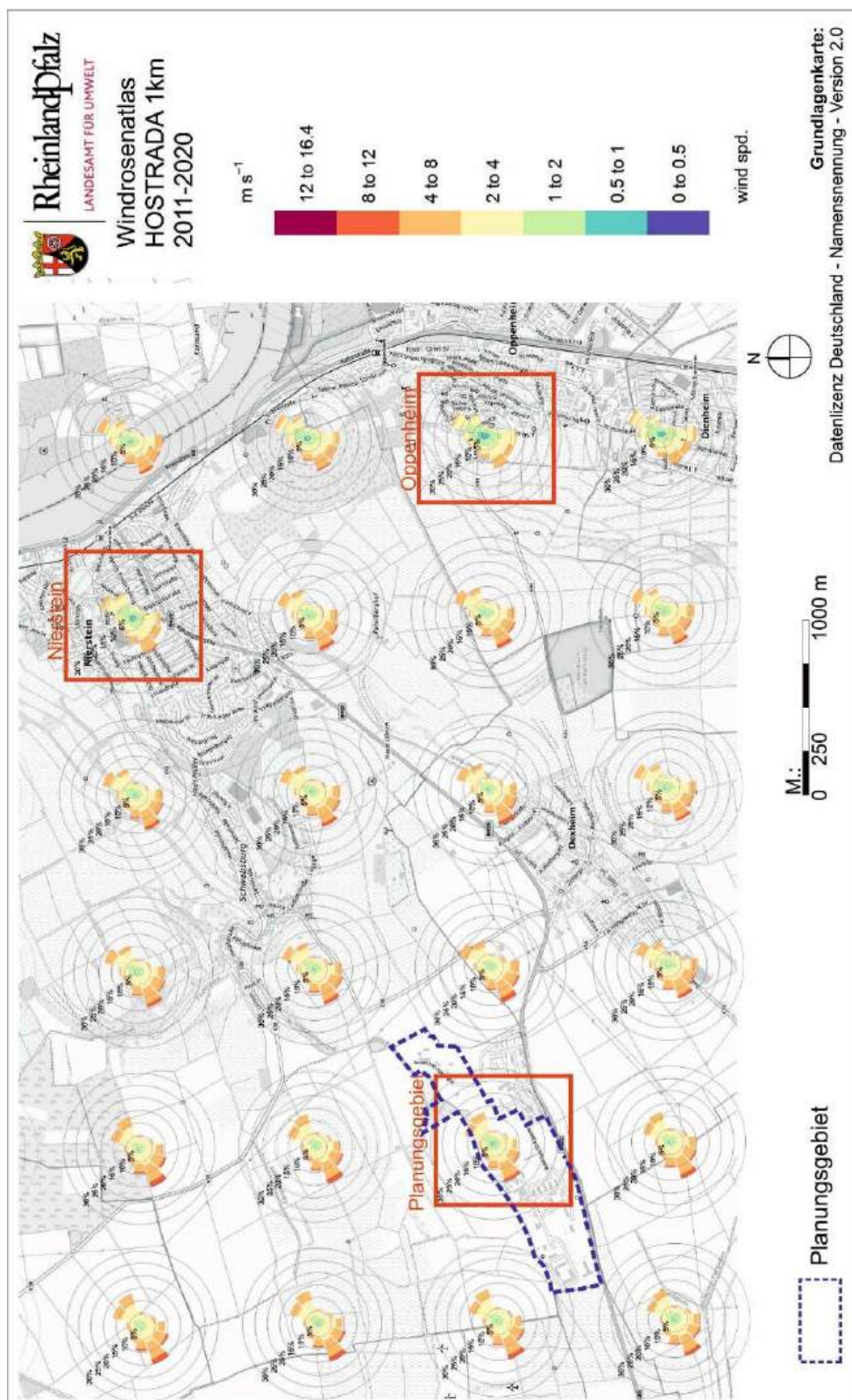


Abbildung 27: Ausschnitt aus dem Windrosenatlas Rheinland-Pfalz. Grafik bereitgestellt von: LANDESAMT FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ

In windschwachen Strahlungsnächten, die siedlungsklimatisch von besonderer Bedeutung sind, häufen sich im Planungsgebiet und in dessen Umfeld orografisch bedingte Kaltluftbewegungen entlang von Tal- und Hangeinschnitten sowie seichte Hangabwinde.

Die Intensität der lokalen Kaltluftbildung ist dabei von der örtlichen Flächennutzung abhängig. Das Kaltluftprozessgeschehen am Übergang Freiland – Bebauung kann allgemein wie folgt beschrieben werden.

In wolkenlosen, windschwachen Nächten kühlt sich der Erdboden und die darüber liegende bodennahe Luft aufgrund der ungehinderten langwelligen Ausstrahlung und der abgeschwächten vertikalen Durchmischung der bodennahen Luftschichten verstärkt ab. Es kommt, abhängig von der Flächennutzung, zu sog. Kaltluftbildung unterschiedlicher Intensität (siehe **Tabelle 6**).

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

Tabelle 6: 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 (= Planungsgebiet) kommend immer mehr Kaltluft in den Abfluss mit einbezogen wird. Die Intensität des Kaltluftabflusses ist von der 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 (Landwirtschaftsflächen ↔ Bebauung) vermögen die bodennahe Kaltluft in Bewegung zu setzen.

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.

Die Kaltluft bewegt sich allerdings nicht wie abfließendes Wasser (HOPPMANN 2010), sondern fließt eher schubweise ab.

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.

Detaillierte Ergebnisse zu den lokalspezifischen Kaltluftbewegungen können dem Kap. 6 entnommen werden.

Die mittlere Windgeschwindigkeit erfährt im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch den Klimawandel keine bedeutsame Veränderung. Laut GERICS (2021) ist im Landkreis Mainz-Bingen bei Berücksichtigung des RCP8.5-Szenarios nur eine geringfügige Abnahme der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von ca. -0.02 m/s zu erwarten.

5.4 Klimatope

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015) lassen sich zur Beschreibung der klima-ökologischen Funktionsabläufe in besiedelten und unbesiedelten Bereichen sogenannte Klimatope ausweisen. Zur Klassifizierung wird u.a. der mittlere Versiegelungsgrad und die Flächennutzung zu Grunde gelegt. In **Abbildung 28** ist ein Ausschnitt der landesweiten Klimatopkarte der LFU RHEINLAND-PFALZ dargestellt.

Das Planungsgebiet ist demnach im Ist-Zustand zum größten Teil als Stadtrandklimatop mit einem mittleren Versiegelungsgrad von 27.6% einzustufen. Es beschreibt den Übergangsbereich zwischen Freilandklima und Stadtklima. Gegenüber dem Freilandklima zeigt es bei Temperatur und Belüftungsintensität bereits deutliche Veränderungen. Die lockere Bebauung, der mäßige Versiegelungsgrad und eine recht gute Durchgrünung wirken jedoch einer stärkeren Überwärmung entgegen und sichern gegenüber innerstädtischen Lagen noch eine gute Durchlüftung.

Am Nordwest-Rand und im südöstlichen Teilbereich des bisherigen Kasernenareals werden kleinere Teilflächen als Stadtklimatop eingestuft. Eine derartige Einstufung zeigen auch große Teile der Bebauungen von Nierstein und Dexheim.

Die klimatischen Eigenschaften des Stadtklimatops liegen zwischen dem Innenstadtklima und dem Stadtrandklima. Es werden auf dem Kasernenareal mittlere Versiegelungsgrade von ca. 30.0 – 40.0% zu Grunde gelegt. Die dichtere Bebauung schränkt die Be- und Entlüftungsmöglichkeiten ein und sie zeigt eine deutliche Verzögerung der nächtlichen Abkühlung.

Kleinere Teile des Kasernenareals zeichnen sich durch die Ausprägung eines Vorstadtklimas aus. Charakteristisch sind lockere Baustrukturen und eine intensive Durchgrünung. Durch die Nähe zu Freilandklimatopen herrschen günstige bioklimatische Bedingungen vor. Die Belüftungsintensität ist gegenüber dem Freiland nur gering reduziert.

Im Planungsumfeld bestimmen Freilandklimatope die lokalklimatischen Verhältnisse. Die Freilandflächen sind nächtliche Kaltluftproduzenten. Die Kaltluft entsteht aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung, wodurch eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder fließt, da sie dichter und damit spezifisch schwerer als warme Luft ist, der Schwerkraft folgend ab.

Die Bedeutung der Kaltluft in ihrer Wirkung für den Menschen muss differenziert betrachtet werden. Fließt lufthygienisch unbelastete Kaltluft in ein überwärmtes Siedlungsgebiet ein, so bringt sie Abkühlung und ersetzt die belastete Luft in bebauten Gebieten. Sie ist also thermisch und lufthygienisch als günstig zu beurteilen. Sammelt sich die kalte Luft in Mulden, Talauen oder Kaltluftstaubereichen, so ist sie sowohl thermisch als auch lufthygienisch für den Kaltluftsammelbereich als ungünstig zu bewerten. Es kommt zu erhöhter Frost- und Nebelbildung und durch die stabile Schichtung u. U. zur Anreicherung von Luftschadstoffen, sofern Emitenten im Sammelgebiet liegen (vgl. IMA 2021).

Freiland weist eine geringe Bodenreibung auf, so dass die Windgeschwindigkeiten über diesen Flächen vergleichsweise hoch sind. Dies kann sich positiv auf die Durchlüftung angrenzender Wohngebiete auswirken. Die Flächen können sich allerdings tagsüber auch stark aufheizen und sind an heißen Tagen nicht für den längeren Aufenthalt geeignet. In den Nachtstunden kühlen sie sich hingegen gut ab und bilden in der Regel Kaltluftentstehungsflächen. Zu diesen Flächen zählen neben Ackerflächen auch Wiesen / Streuobstwiesen und Rebanlagen.

Waldklimatope sind im näheren Planungsumfeld nicht ausgewiesen. Diese zeichnen sich durch einen gedämpften Tagesgang der Lufttemperatur und der Luftfeuchte aus. Am Tag sorgen Verschattung und Verdunstung für niedrige Oberflächentemperaturen. In der Nacht ist die Ausstrahlung gedämpft, so dass sich die Luft im Stammraum weniger stark abkühlt als über gehölzlosen Freilandflächen. Während Hangwälder aufgrund der Kaltluftproduktion im Blätterdach klimaökologisch positiv zu bewerten sind, können Waldflächen in engen Tallagen als Strömungsbarriere wirken.

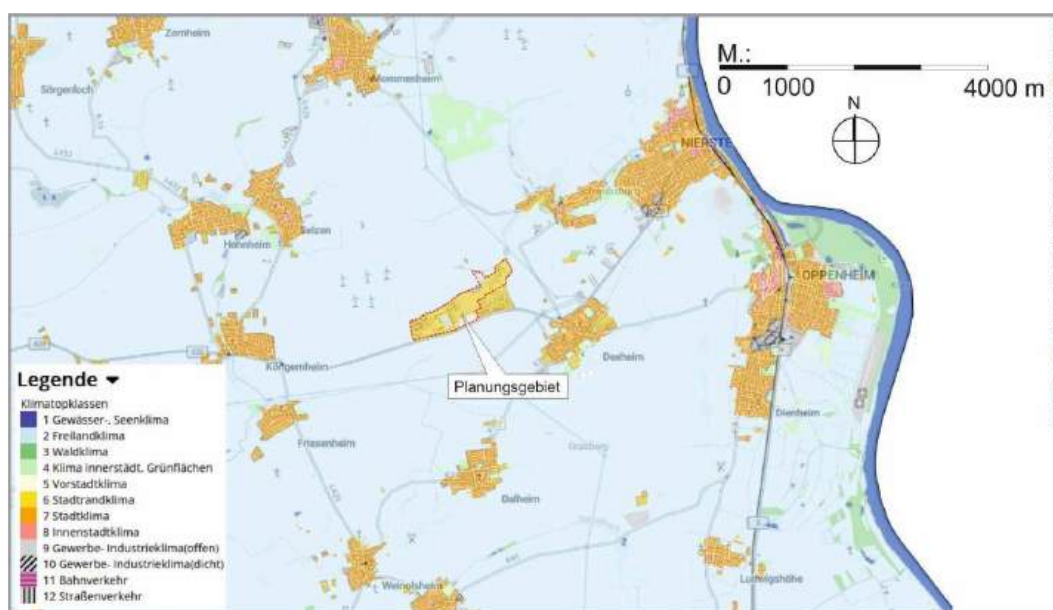


Abbildung 28: Ausschnitt aus der Klimatopkarte Rheinland-Pfalz.
Grafik: LANDESAMT FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (https://www.klimawandel.rlp.de/Kartenwerke_Klimaanpassung/)

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 detailliert analysiert. Hieraus lassen sich für das Planungsgebiet Hinweise zu einer klimaökologisch verträglichen Bebauung ableiten. Ergänzend finden Situationen mit Spätfrostgefährdung Eingang in die Untersuchungen.

Den Modellrechnungen mit dem Modell FITNAH 3D liegt dem Stand der Technik entsprechend, größtenteils ein sogenannter autochthoner Sommertag ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) als meteorologische Rahmenbedingung zugrunde. Ausnahmen bilden die Berechnungen zur lokalen Spätfrostgefährdung.

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 29** 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.

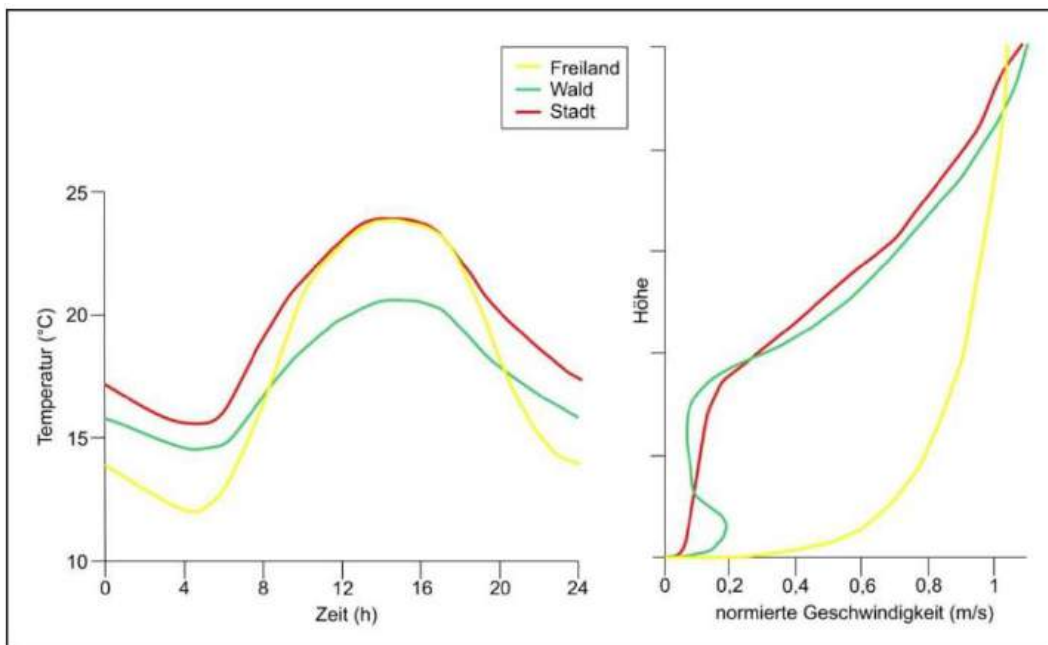


Abbildung 29: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen (eigene Darstellung nach GROSS, G. 1992¹¹)

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 (**Abbildung 30**).

Es werden neun Landnutzungsklassen berücksichtigt:

- Gebäude,
- Versiegelung / Straßen,
- Frei-/Grünflächen,
- Rebflächen,
- Gewässer,
- naturferner Boden,
- Baum über Versiegelung,
- Baum über Grünfläche,
- Baum über naturfernem Boden.

¹¹ GROSS, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

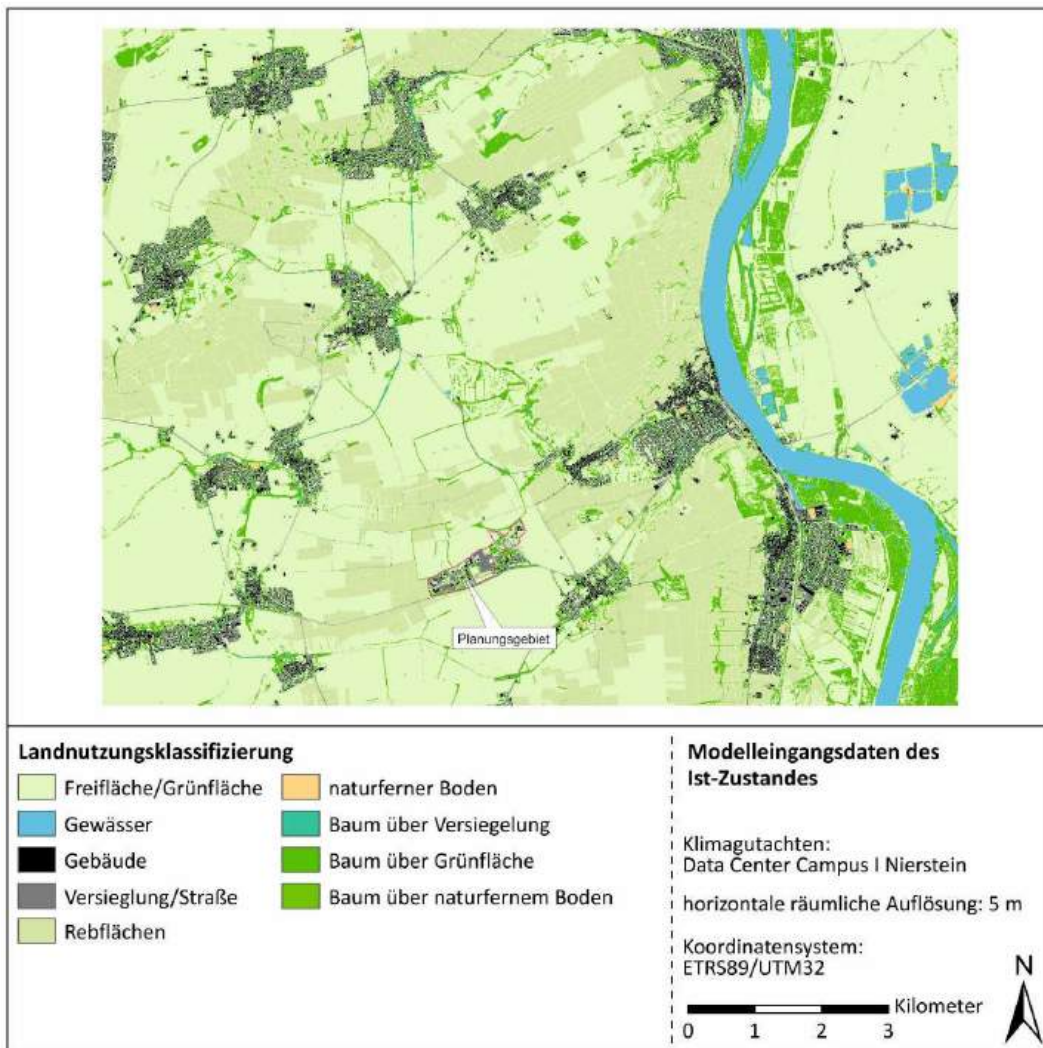


Abbildung 30: Flächennutzung im Modellgebiet, Ist-Zustand.

Die Flächennutzungsklassen für den Plan-Zustand sind in **Abbildung 31** dokumentiert.

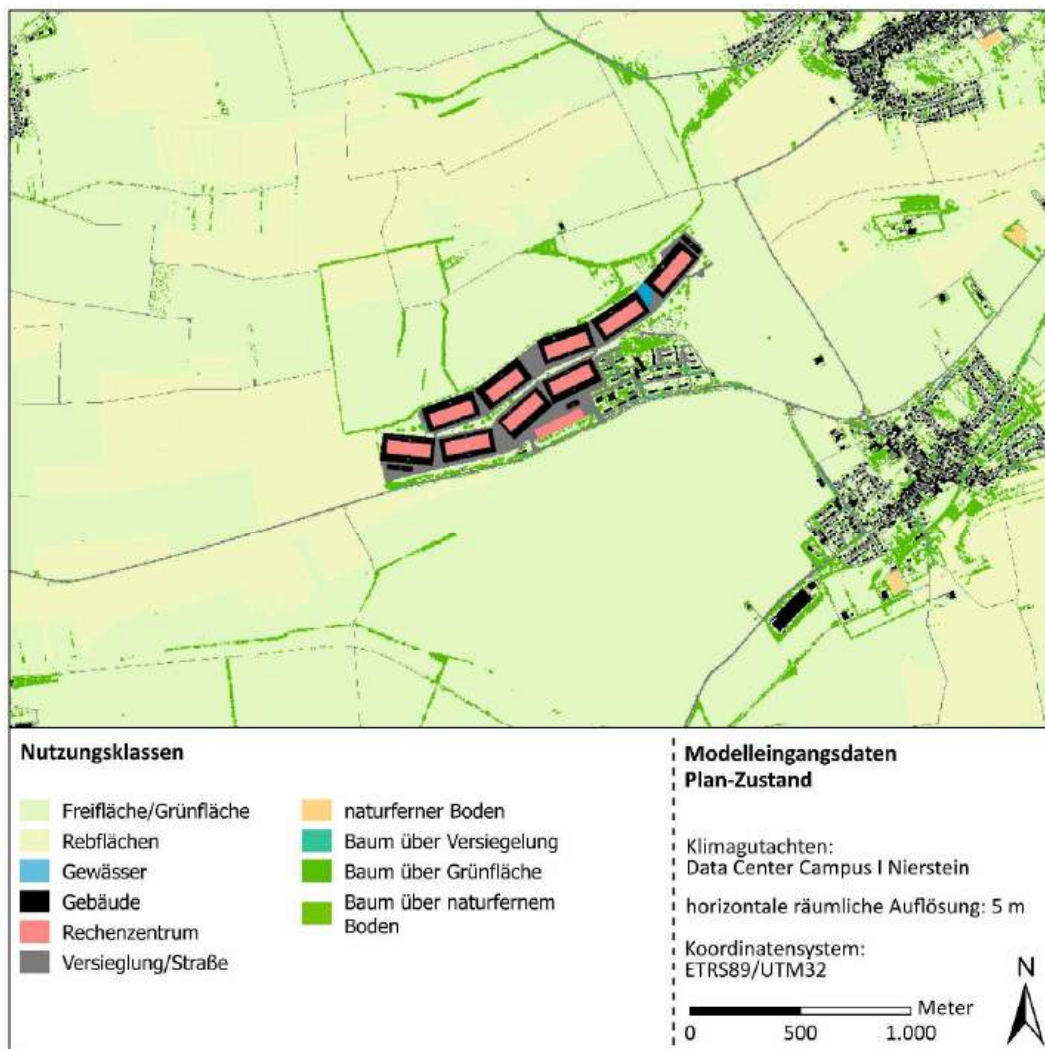


Abbildung 31: Flächennutzung im Modellgebiet, Plan-Zustand.

6.1 Kaltluftprozessgeschehen im Sommer - Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand

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 32**). Geschwindigkeit und Richtung können innerhalb der Luftsäule veränderlich sein.

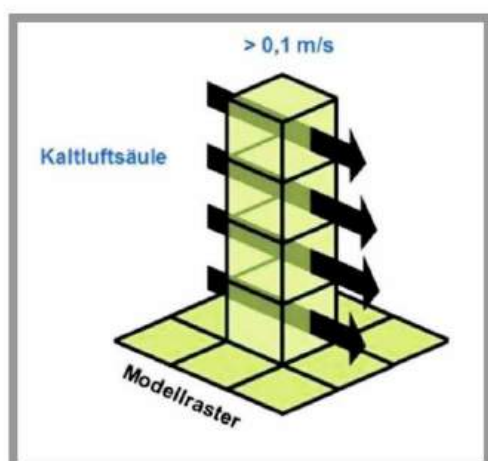


Abbildung 32: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstromdichte (nach: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021¹²)

- 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.

¹² GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2021): Stadtklimaanalyse Mannheim 2020. Hannover, Mannheim.

Das betrachtete Rechengebiet umfasst eine Gebietsgröße von 13.0 x 10.3 km (inkl. erforderliche Randbereiche des Modellgebiets), womit sowohl die planungsnahen Kaltluftentstehungs- und Kaltluftzielgebiete erfasst werden als auch die Weinlage „Roter Hang“. Die horizontale Gitterauflösung beträgt 5 m x 5 m und liegt damit im mikroskaligen Bereich.

Die **Abbildung 33** 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 erwartungsgemäß schwache Kaltluftbewegungen das bodennahe Luftaustauschgeschehen (0.1 – 1.0 m/s). Wie die Windvektoren verdeutlichen, entwickeln sich im westlichen Planungsteilgebiet relieffolgend schwache nordnordwestliche Kaltluftbewegungen, die über die B 420 in den Hundgraben abfließen. Herrscht großräumige Windstille vor, strömt die Kaltluft in geringer Intensität über den Dalheimer Flutgraben in Richtung der Ortslage Friesenheim. Bei der vorliegenden Situation mit schwachen westsüdwestlichen Gradientwinden bleibt dieser Kaltluftabfluss in Richtung Westen aus. Im Dalheimer Flutgraben herrschen vielmehr extrem schwache Windbewegungen in Richtung Osten vor, wo sich am Übergang in den Weiterswiesengraben ein Kaltluftsee (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.1 m/s) ausbildet.

Im zentralen und östlichen Planungsteilgebiet entwickeln sich, ebenfalls reliefbedingt, südwestliche Kaltluftabflüsse in Richtung Engelsklauergraben. Während in bebauten Gebieten des Planungsareals mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0.10 – 0.25 m/s vorherrschen, sind in weitgehend unbebauten Lagen (Gebietszentrum) mittlere Geschwindigkeiten bis 0.50 m/s zu ermitteln.

Über den Engelsklauergraben gelangt die Kaltluft aus dem Planungsgebiet bis zur Ortslage Schwabsburg. Dies wird durch die Ergebnisse einer Tacergasausbreitungsrechnung verdeutlicht (**Abbildung 34**).

Im Bereich des Weinanbaugebiets „Roter Hang“ nordwestlich von Nierstein und Schwabsburg dominieren in Hanglage vergleichsweise kräftige Hangabwinde mit mittleren Windgeschwindigkeiten von über 1.0 m/s.

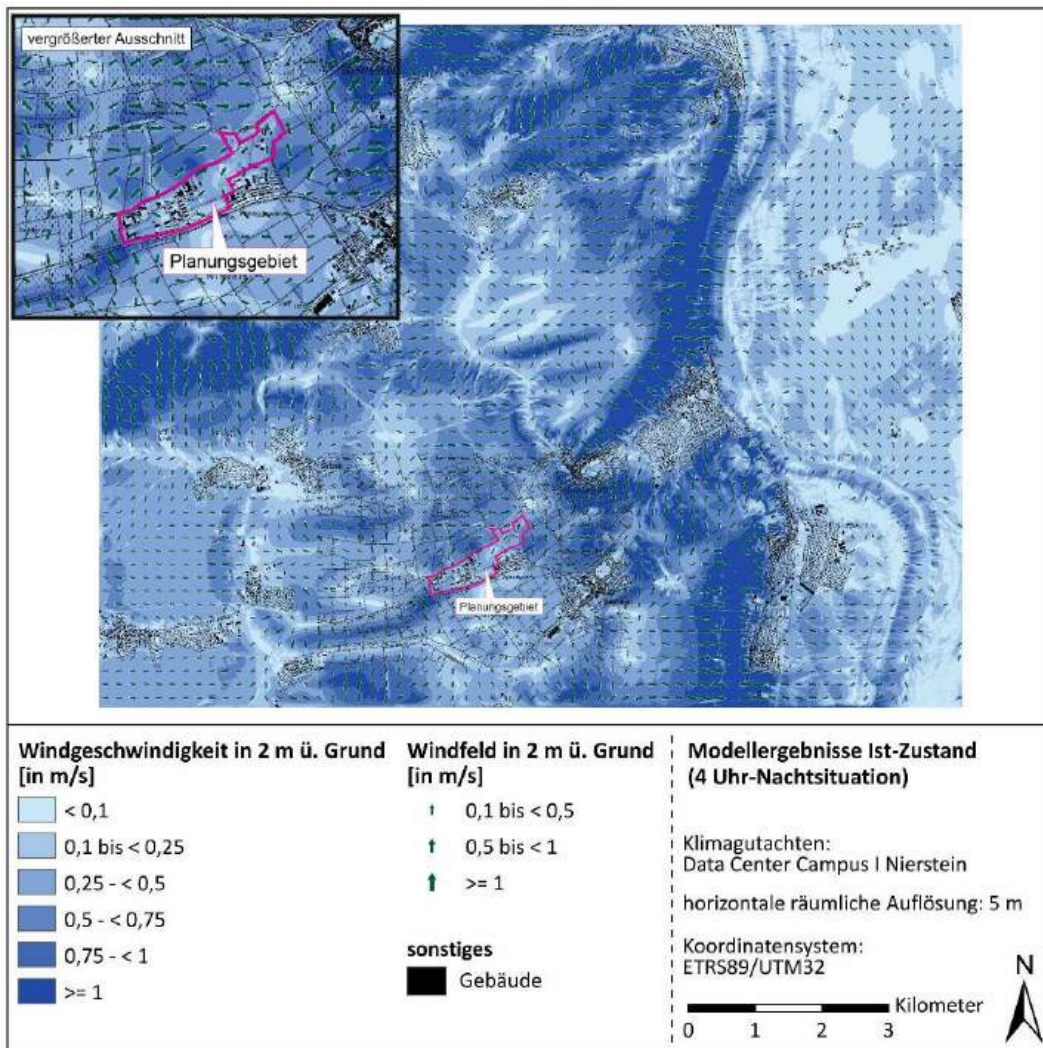


Abbildung 33: Ist-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

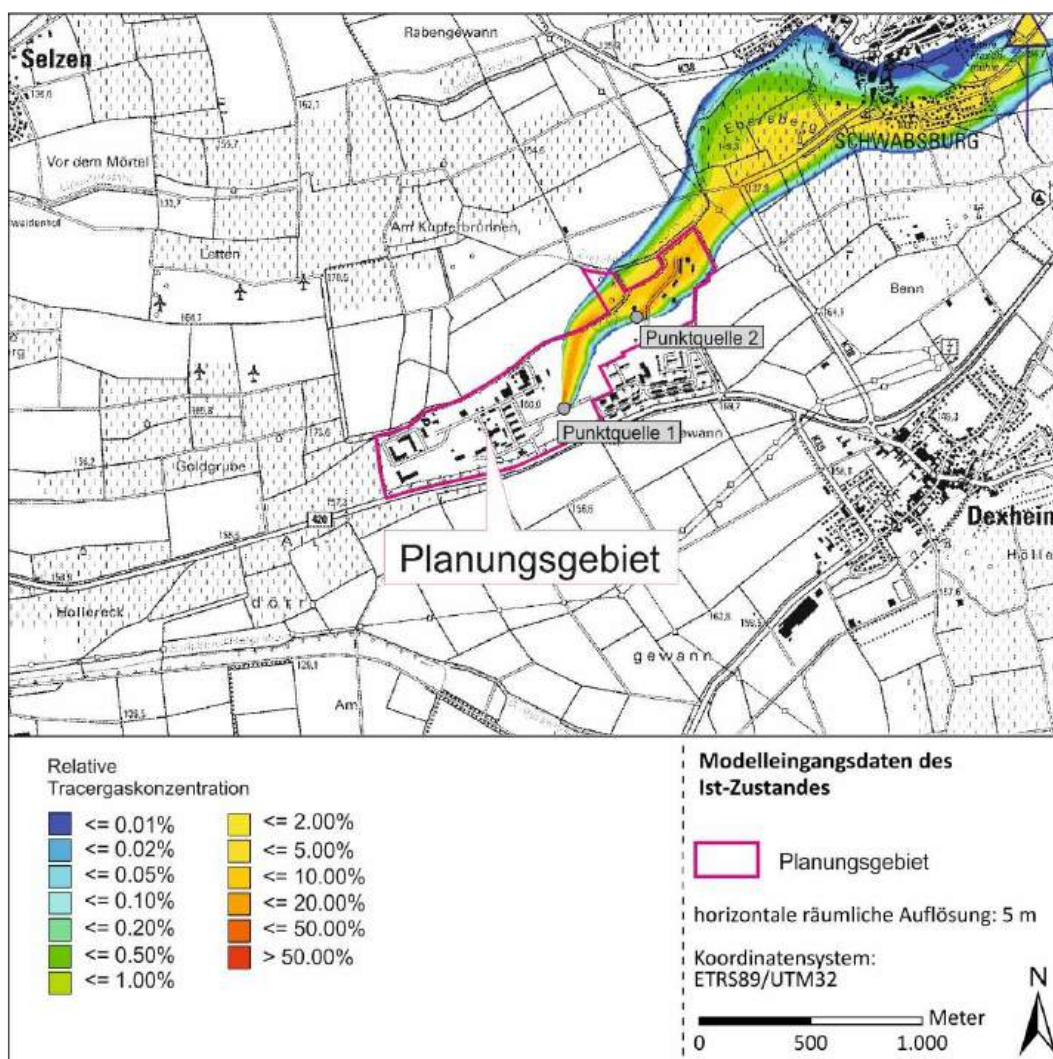


Abbildung 34: Ist-Zustand. Ausbreitung der bodennahen Kaltluft (2 m ü.G.) in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Modellsimulationen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Der Kaltluftvolumenstrom, der die Gesamtintensität der Kaltluftbewegungen beschreibt, wird neben der Kaltluftfließgeschwindigkeit auch von den örtlichen Kaltluftproduktionsraten der Flächennutzungen bestimmt. Diese sind in **Abbildung 35** dargestellt. Die Kaltluftproduktionsraten zeigen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld Werte von 5 – über 40 m³/(m² · h).

Die Kaltluftproduktionsraten nehmen bei vergleichbarer Flächennutzung mit größerer Hangneigung zu (KING, E. 1973¹³).

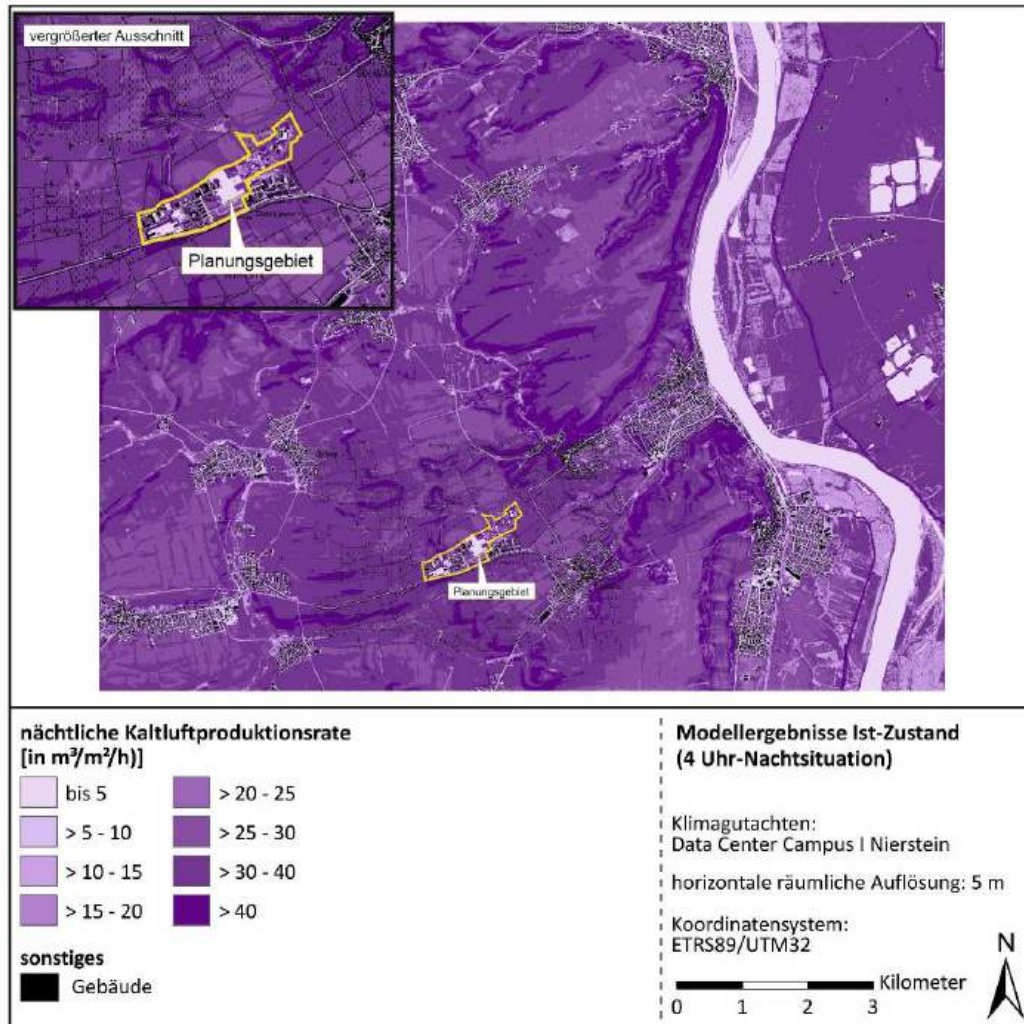


Abbildung 35: Ist-Zustand. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

¹³ **KING, E. (1973):** Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefahr durch Straßenbauten. Berichte des DWD 130., Offenbach.

Abbildung 36 bildet für den Ist-Zustand die räumliche Verteilung der Kaltluftvolumenstromdichte ab.

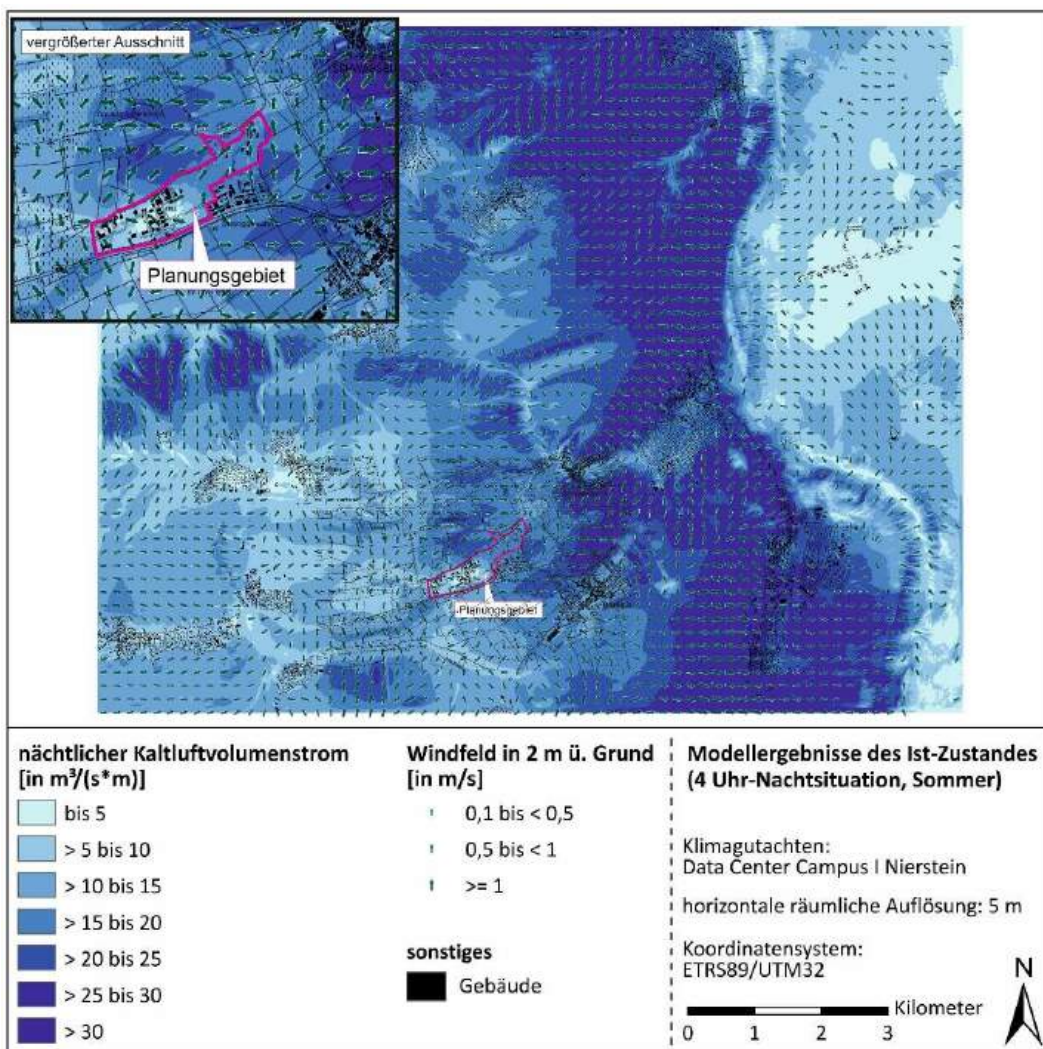


Abbildung 36: Ist-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte und Richtung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die Kaltluftvolumenstromdichte wird wesentlich durch das Relief bestimmt und zeigt je nach Standort eine große Variabilität. An Hängen mit vergleichsweise starkem Gefälle (z.B. Roter Hang“, Hanglage südlich von Schwabsburg) werden Werte von bis über $30 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ erreicht. Auch in den Hanglagen nördlich des Planungsgebiets (Gewinn In den Engelskläuern) sind Kaltluftvolumenstromdichten von 15 bis $30 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ zu bestimmen. Diese Werte werden in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf 2024) „Lokale Kaltluft“ mit einem guten bis sehr guten Kaltluftdurchlüftungspotenzial in Verbindung gebracht (siehe **Tabelle 7**).

- 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 7: Bewertung der Kaltluftvolumenstromdichte bezogen auf die Belüftungsfunktion von Siedlungsbereichen. Aus: VDI Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf 2024) „Lokale Kaltluft“, S. 16.

Im Planungsgebiet zeigen sich in zentraler und westlicher Gebietslage Kaltluftvolumenstromdichten von ca. $5 - 10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$. Diese sind laut **Tabelle 7** nur mit einem geringen bis mäßigen Kaltluftdurchlüftungspotenzial verbunden. Das zentrale und westliche Planungsteilgebiet ist damit für die kaltluftbedingte Belüftung der benachbarten Siedlungslagen (Schwabsburg / Friesenheim / Dexheim) nur von untergeordneter Bedeutung.

Im östlichen bzw. nordöstlichen Planungsteilgebiet sind Kaltluftvolumenstromdichten von ca. $10 - 20 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ zu erwarten. Diese Werte weisen auf ein bislang gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial hin (siehe **Tabelle 7**). Während im westlichen Planungsteilgebiet durch die kuppenartige Lage nur lokale Kaltluftmächtigkeiten von ca. $15 - 30 \text{ m}$ zu erwarten sind, können im nordöstlichen Teilgebiet vertikale Mächtigkeiten bis knapp über 40 m auftreten (**Abbildung 37**).

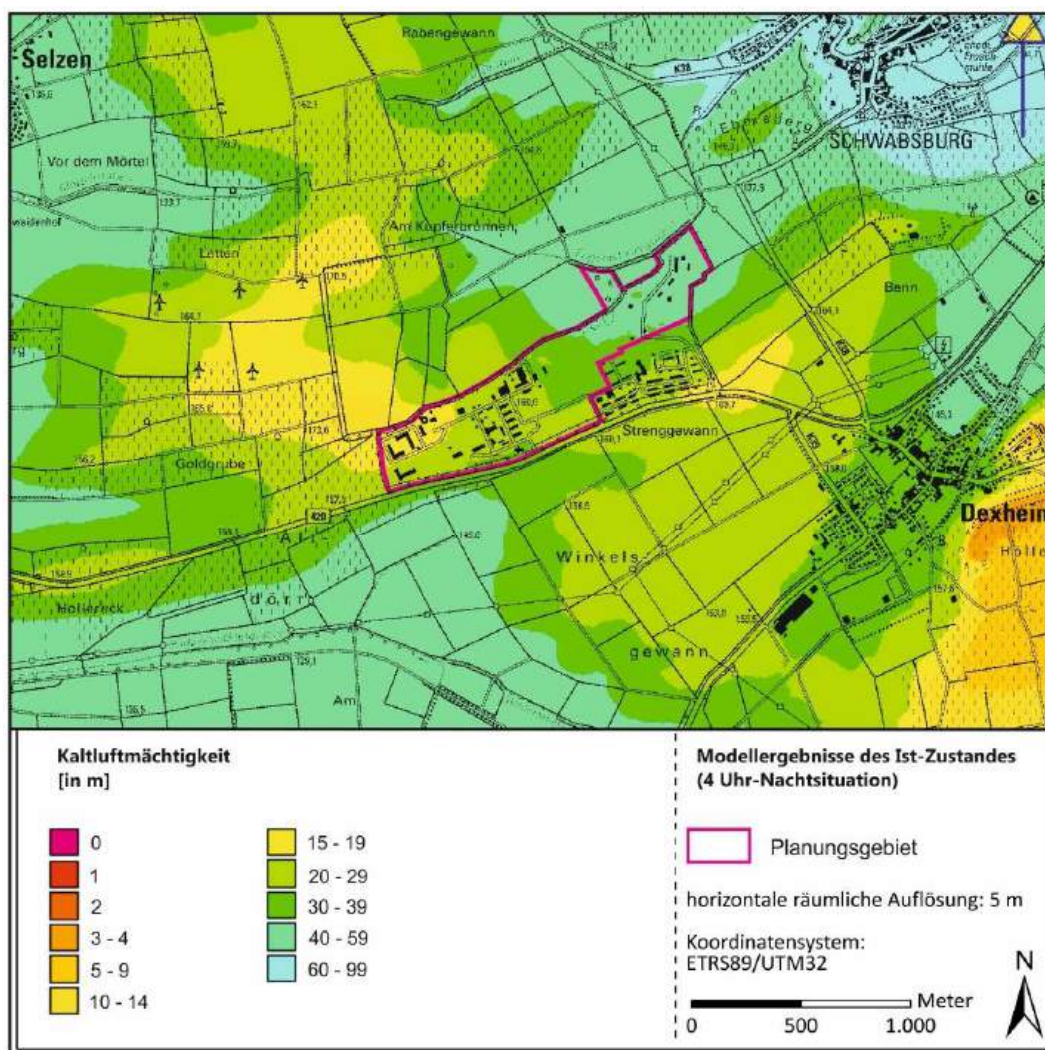


Abbildung 37: Ist-Zustand. Kaltluftmächtigkeit im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Ergebnisse von Kaltluftabflusssimulationen mit dem Modell KLAM_21. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Im **Plan-Zustand** ändert sich durch die geplanten neuen Baustrukturen und die Wärmeemissionen der Rückkühler das lokale Kaltluftprozessgeschehen.

Die potenziellen Wärmeemissionen der Abluftkamine werden nicht berücksichtigt, da diese in der Regel nur am Tag während der Prüfphasen in Betrieb genommen werden.

Aufgrund der angestrebten baulichen Verdichtung gehen innerhalb des Planungsgebiets Kaltluftproduktionsflächen verloren, wodurch die nächtlichen Kaltluftproduktionsraten sinken (siehe **Abbildungen 38 und 39**).

Nur in Bereichen mit neuen Grünstrukturen (z.B. planungsinterne Grünflächen) ist mit einem Anstieg zu rechnen. Außerhalb des Planungsgebiets nehmen über Vegetationsflächen überall dort die Kaltluftproduktionsraten zu, wo planungsbedingte Windabschwächungen zu bilanzieren sind. In Bereichen mit planungsbedingten Windbeschleunigungen nimmt die Kaltluftproduktionsrate durch die höheren Luftwechselraten leicht ab. Diese Modifikationen beschränken sich auf den Nahbereich des Planungsgebiets.

In den benachbarte Ortslagen von Schwabsburg und Dexheim sind bei den Kaltluftproduktionsraten keine Veränderungen zu bestimmen.

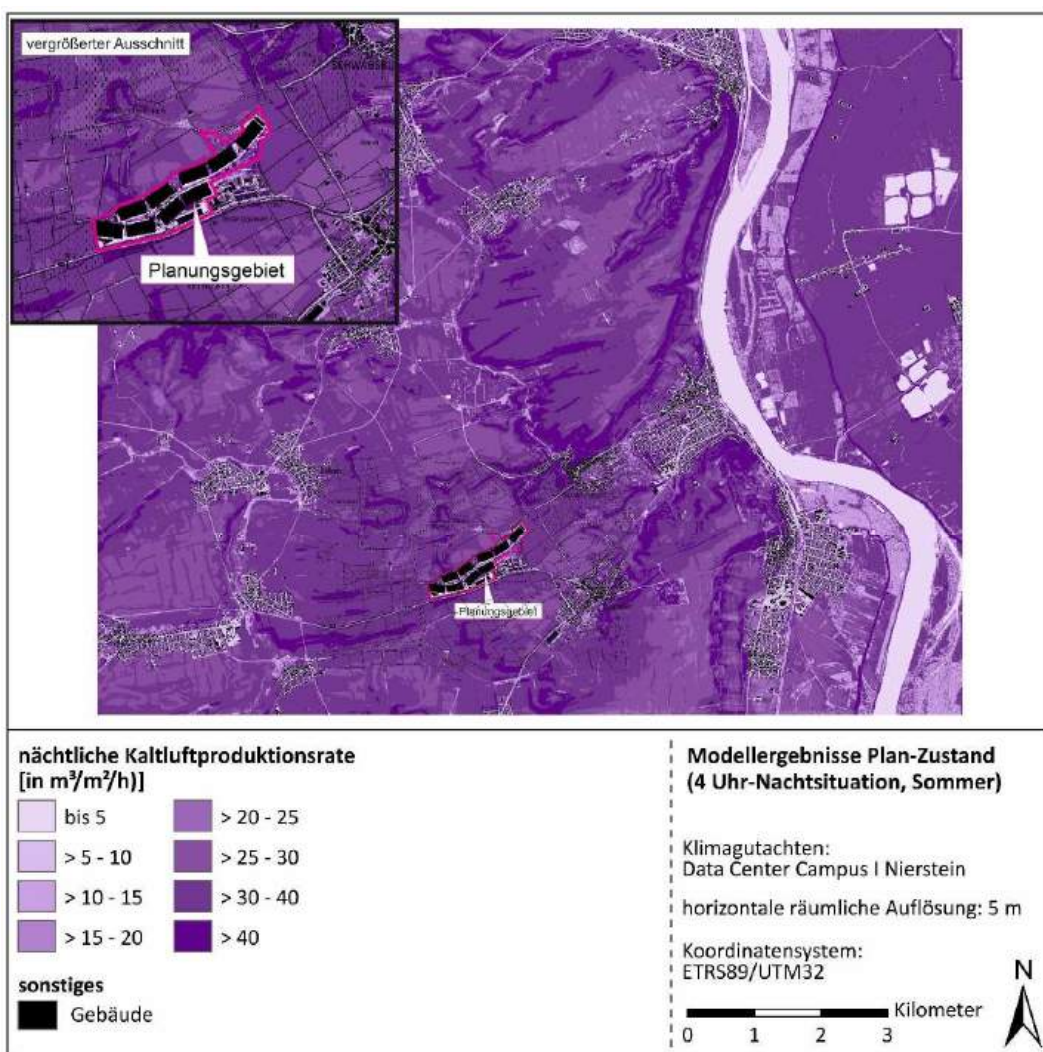


Abbildung 38: Plan-Zustand. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

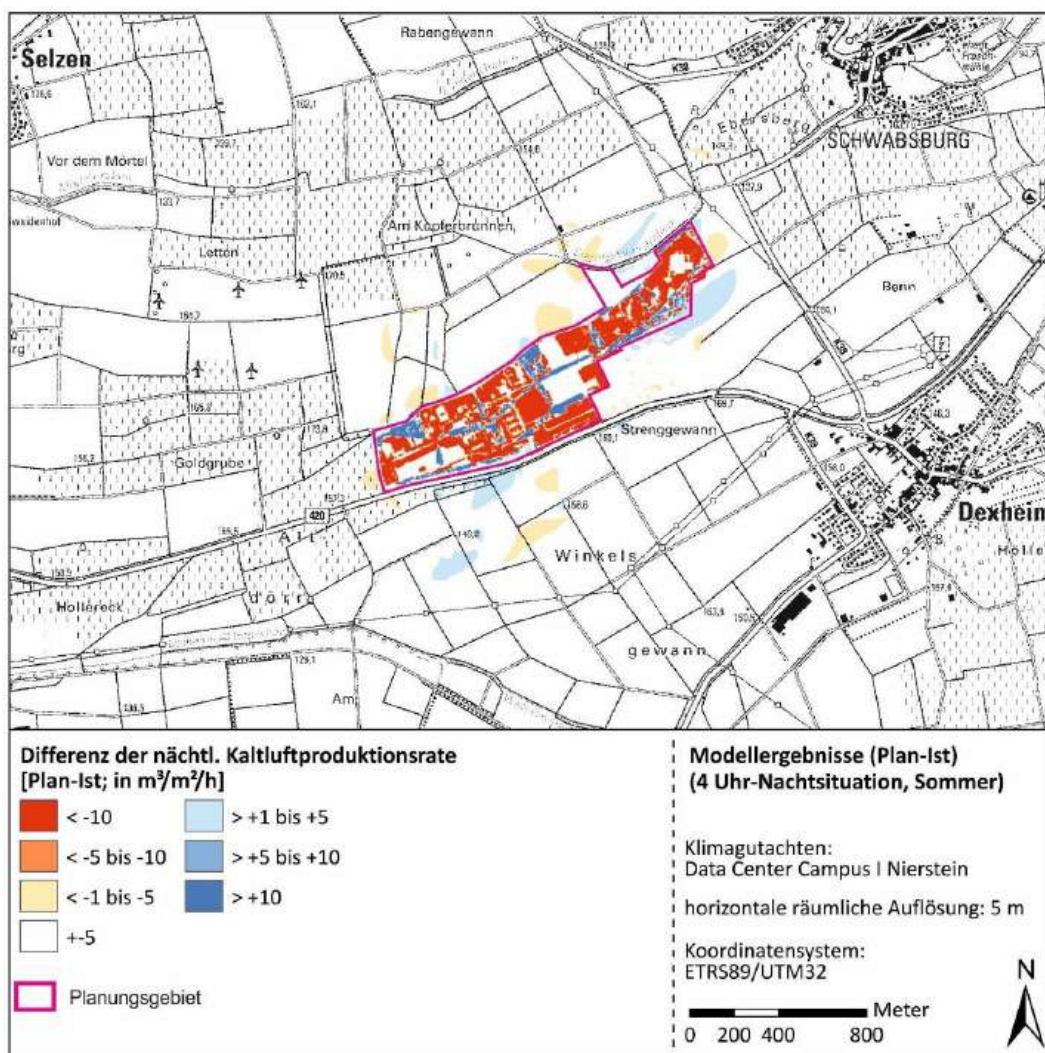


Abbildung 39 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die an den potenziell möglichen Rechenzentren im Planungsgebiet zu erwartenden Veränderungen beim nächtlichen Windfeld (**Abbildungen 40 und 41**) können wie folgt beschrieben werden. Die bis zu 32 m hohen Rechenzentren (inkl. Technikaufbauten) sowie die bis zu 16 m hohen Nebengebäude wirken im vorliegenden Fall für die von Nordnordwesten (westliches Planungsteilgebiet) bzw. Südwesten (zentrales und östliches Planungsteilgebiet) zuströmende Kaltluft als zusätzliche Barriere. Die Strömung wird daher in den unmittelbaren Lee-Lagen der geplanten Bebauung reduziert. Gleiches gilt für die Luv-Lagen. Die räumliche Erstreckung dieser Bereiche bleibt auf das unbebaute Freiraumgefüge im Umfeld des Planungsgebiets beschränkt. Die benachbarten Ortslagen von Schwabsburg, Dexheim, Friesenheim und Köngernheim sind von keinen planungsbedingten Strömungsmodifikationen betroffen.

Der im Luv-Bereich verzögerte Anteil der Strömung wird mit etwas höherer Windgeschwindigkeit an den Seiten vorbeigeführt (Umströmungseffekt). Zudem kommt es durch die geplante Neubebauung mit den Warmluftemissionen der Rechenzentren zu einer vermehrten Labilisierung der bodennahen Kaltluftschichten, weshalb an den Randbereichen des Planungsgebiets stellenweise leichte Windbeschleunigungen (ca. 0.05 – 0.30 m/s) zu bilanzieren sind. Der vertikale Warmluftaustritt über Dachniveau der Rechenzentren vermischt die über die Dachflächen strömende Kaltluft mit der prozessbedingten Warmluft der Rechenzentren, wodurch nicht nur die Vertikalgeschwindigkeit über Dachniveau (= über 29 m ü. G.) ansteigt, sondern auch die Horizontalgeschwindigkeiten. Eine kleinklimatisch relevante Schwächung des kaltluftbedingten Kaltluftprozessgeschehens ist aber durch die angestrebte Bebauung am Planungsstandort nicht zu bilanzieren.

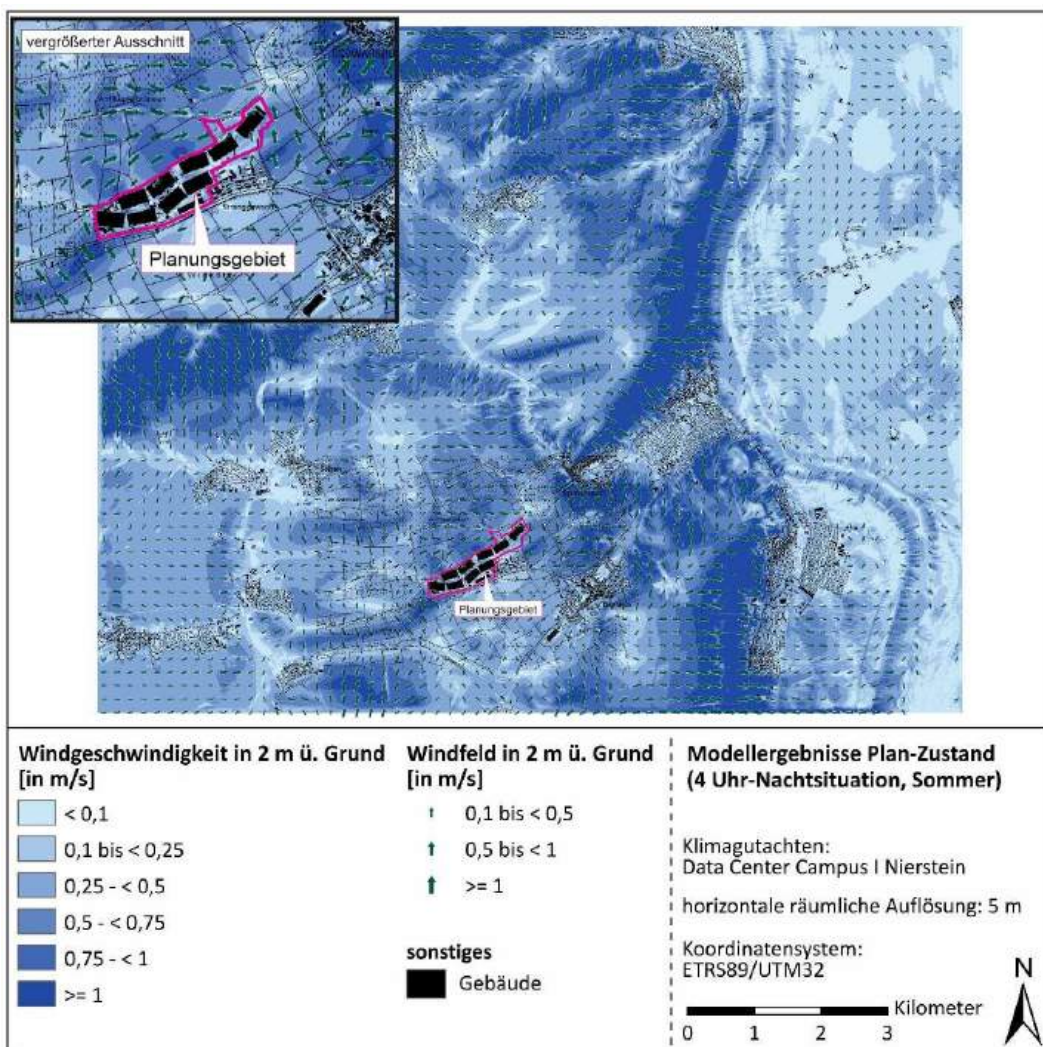


Abbildung 40: Plan-Zustand. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

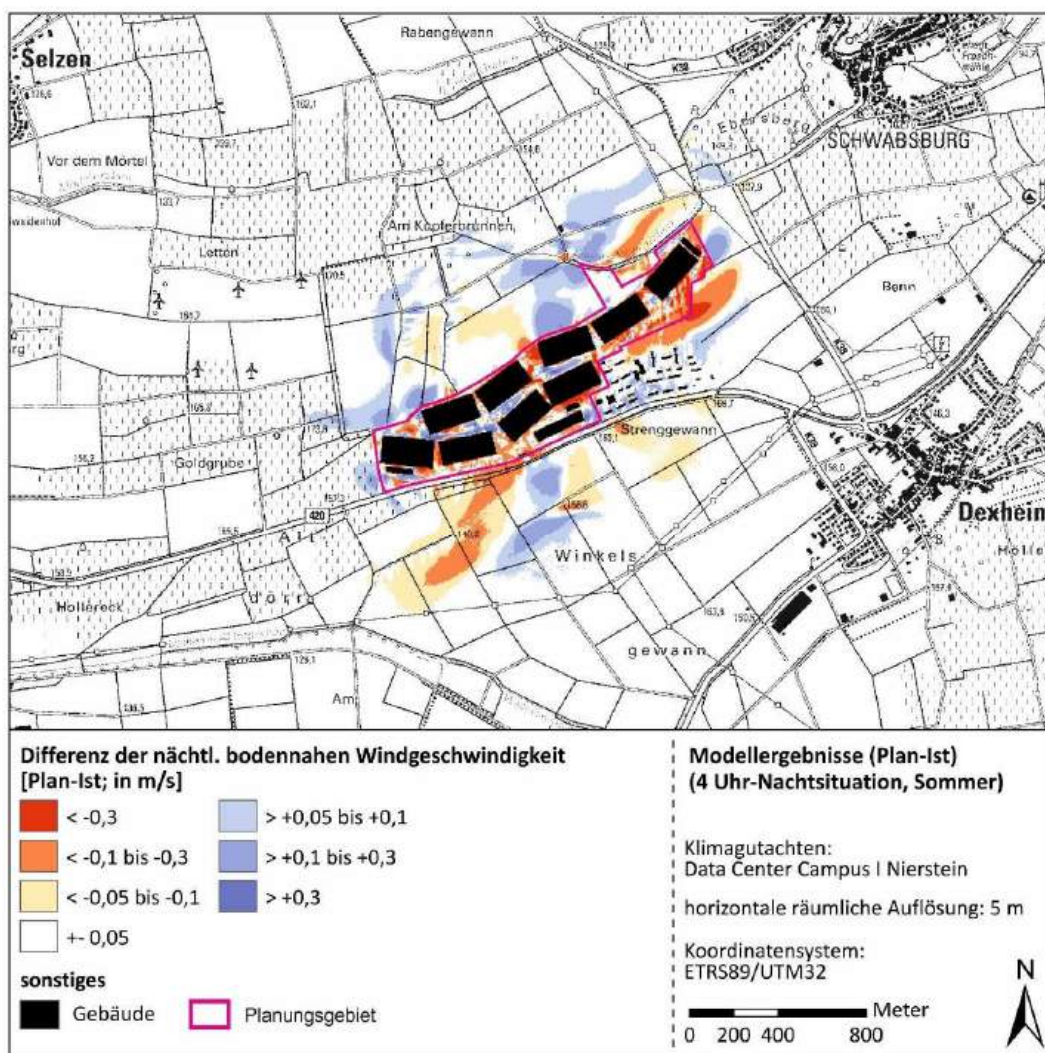


Abbildung 41 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der nächtlichen Kaltluftfließgeschwindigkeit 2 m ü.G. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die **Abbildungen 42** und **43** zeigen die planungsbedingten Veränderungen des lokalen Kaltluftvolumenstroms.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist bei stadt-/siedlungsklimatisch bedeutsamen Kaltluftströmungen eine Verringerung der Kaltluftvolumina oder der Kaltluftfließgeschwindigkeit von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als Eingriff mit lokalklimatisch nachteiligen Folgen (Zunahme der thermischen Belastung) im Kaltluftzielgebiet zu bewerten (siehe **Tabelle 8**). Diese sind mit Hilfe klimatischer Modellstudien vertiefend zu bestimmen

Prozentuale Änderung gegenüber dem Ist-Zustand	≤ 5 %	≤ 10 %	> 10 %
Auswirkung	gering	mäßig	hoch
Veränderung der Häufigkeit des Auftretens (in Jahresstunden)			
Prozentuale Änderung gegenüber dem Ist-Zustand	≤ 5 %	≤ 10 %	> 10 %
Auswirkung	gering	mäßig	hoch

Tabelle 8: Klimaökologische Bewertung von planungsbedingten Modifikationen des Kaltluftvolumenstroms oder der Kaltluftfließgeschwindigkeit (aus: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 2003, S. 53)

Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 5 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ zu bewerten. Bei Werten unter 5% sind im Allgemeinen nur „geringe klimatische Auswirkungen“ im wärmebelasteten Kaltluftzielgebiet (hier: Dexheim, Schwabsburg) zu erwarten.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen belegen, dass in den angrenzenden Siedlungslagen von Dexheim und Schwabsburg keine relevanten Abnahmen bzgl. des Kaltluftvolumenstroms zu erwarten sind. Die Abstände des Planungsgebiets zu den o.a. Ortslagen sind ausreichend, um die thermischen Negativeffekte der geplanten Bebauung aufzufangen. Eine auffallende Abnahme des lokalen Kaltluftvolumenstroms ist nicht zu bilanzieren. Dies wird durch die **Abbildung 43** verdeutlicht.

Die leichte Zunahme des Kaltluftvolumenstroms im Westen des Planungsgebiets ist auf die planungsbedingten Windbeschleunigungen zurückzuführen.

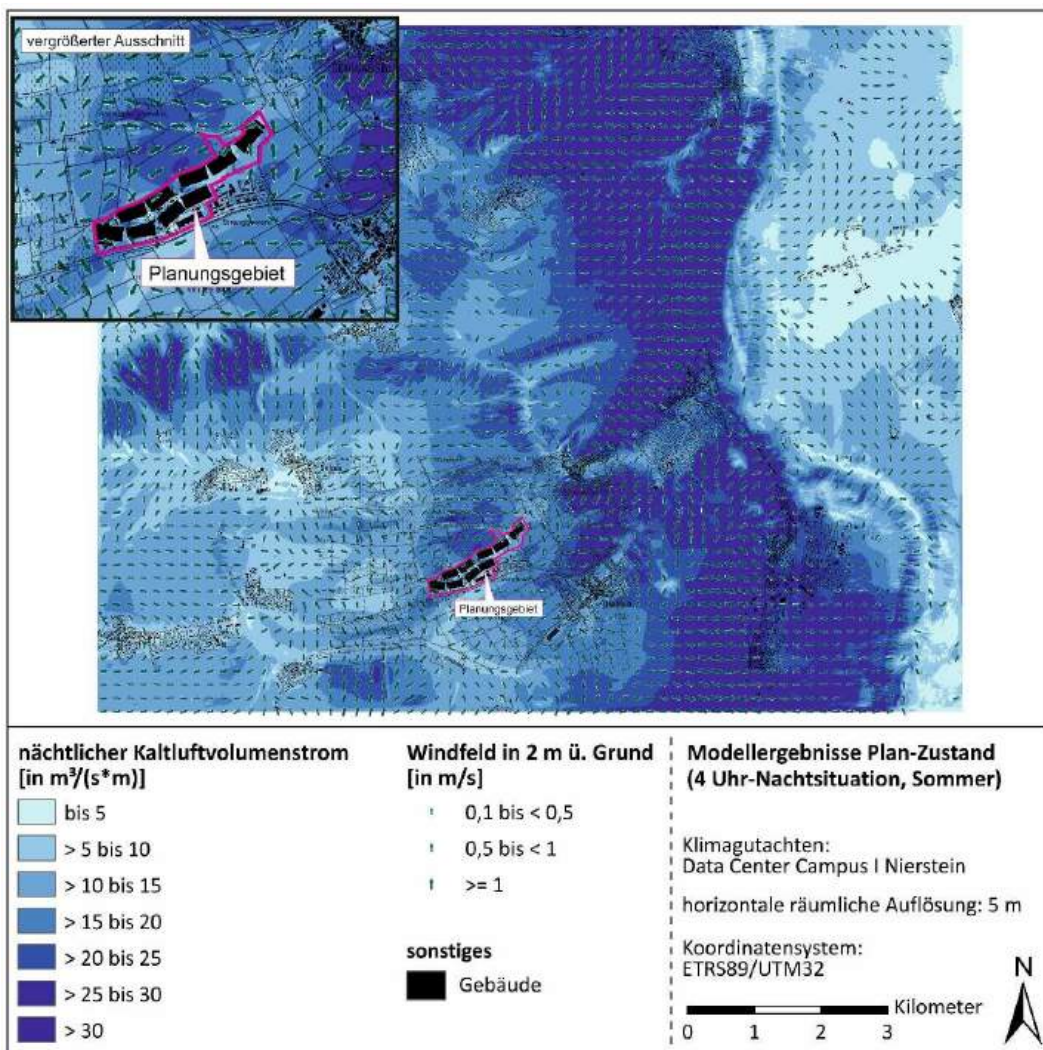


Abbildung 42: Plan-Zustand. Kaltluftvolumenstromdichte und Richtung (2 m ü.G.) in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

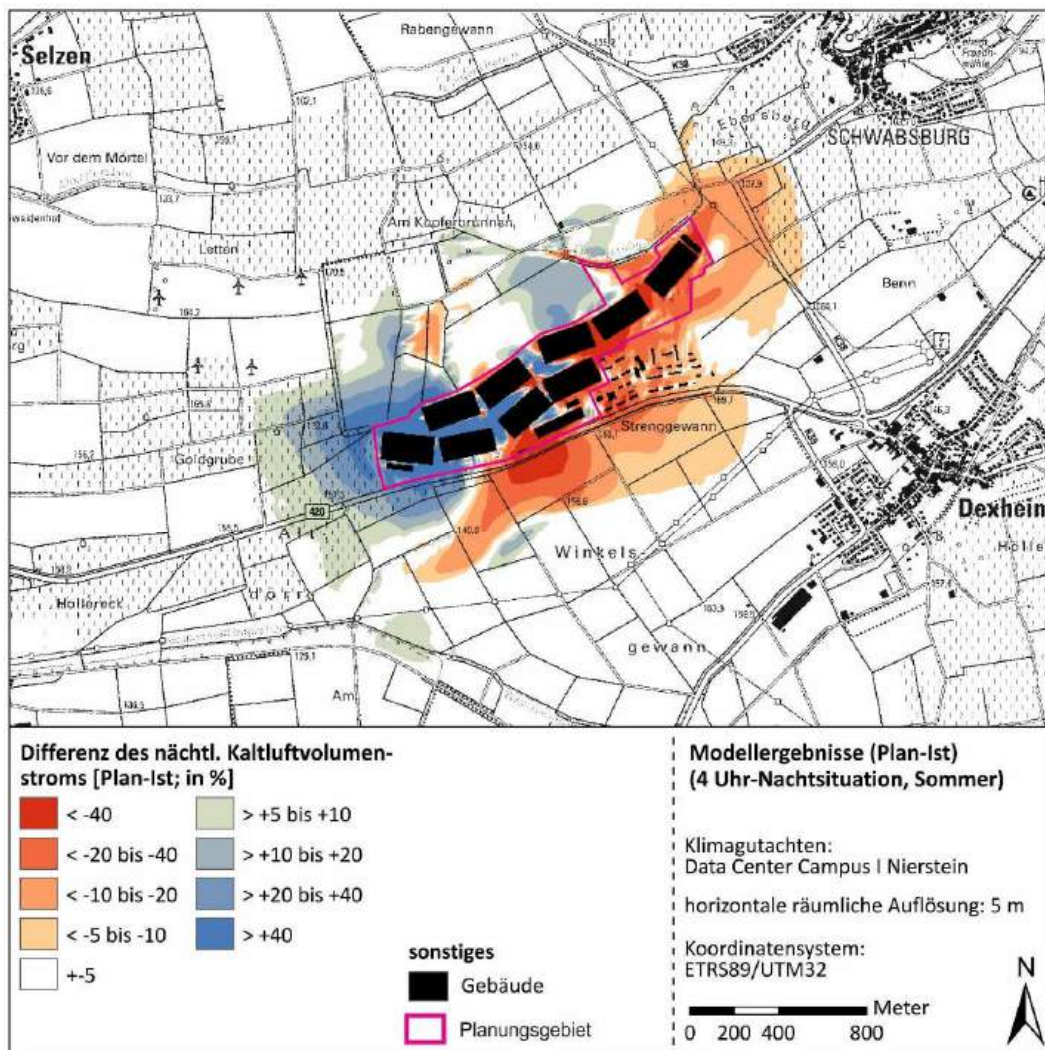


Abbildung 43 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte relative Zu- bzw. Abnahme des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) wird derzeit überarbeitet. Seit März 2024 liegt ein erster Entwurf vor. Er unterliegt aktuell noch der Prüfung.

Der Entwurf legt als Bewertungsgrößen für planungsbedingte Eingriffe in das Kaltluftprozessgeschehen weiterhin den Kaltluftvolumenstrom bzw. die Kaltluftvolumenstromdichte oder die Kaltluftfließgeschwindigkeit fest.

Zuvor ist anhand eines Prüfschemas die Kaltluftrelevanz des Planungsgebiets auf Siedlungsgebiete zu beurteilen (siehe **Abbildung 44**). Das Ablaufschema für das Planungsgebiet und die angrenzenden Siedlungslagen von Dexheim und Schwabsburg ist mit Rot umrandet.

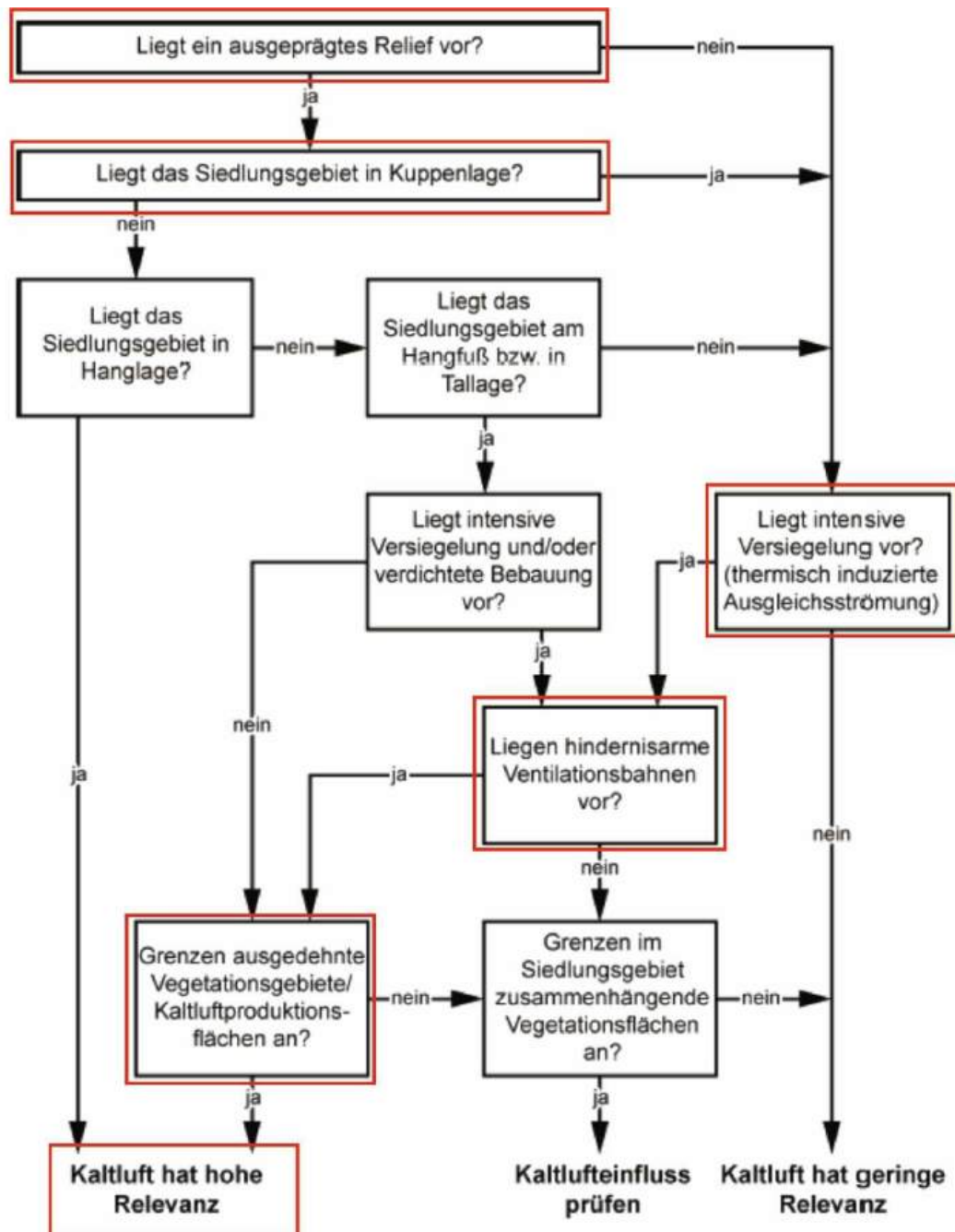


Abbildung 44: Prüfschema „Kaltluftrelevanz“. Aus VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf, März 2024)

Beschreibung des Ablaufschemas im vorliegenden Planungsfall:

Durch die kuppenartige Lage des Planungsgebiets und die talartige Lagen der Ortslagen Dexheim und Schwabsburg liegt im Planungsgebiet ein ausgeprägtes Relief vor. Das Planungsgebiet und die Ortslagen zeigen stellenweise intensive Versiegelungen. Der Engelsklauergraben nordöstlich des Planungsgebiets sowie die Hangzone in Richtung Dexheimer Bach im Osten bzw. Südosten des Planungsgebiets sind als hindernisarme Ventilationsbahnen bzw. Hangflächen einzustufen. An die Ortslagen bzw. an das Planungsgebiet schließen zudem ausgedehnte Kaltluftproduktionsflächen an. Die lokale Kaltluft hat somit hohe Relevanz. Dementsprechend ist auch nach VDI-Richtlinienentwurf das Kaltluftprozessgeschehen zu prüfen.

Beläuft sich im Ist-Zustand die Kaltluftvolumenstromdichte in Schwabsburg und Dexheim auf unter $25 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$, so ist nach VDI-Richtlinienentwurf 3787, Blatt 5 (2024) allenfalls eine relative Einschränkung des Kaltluftvolumenstroms um max. 5% tolerabel.

Wie **Abbildung 43** zeigt, wird auch dieser Wert in Dexheim und Schwabsburg nicht überschritten. Somit ist auch nach dem VDI-Richtlinienentwurf eine unzulässige Einschränkung der kaltluftspezifischen Belüftung nicht festzustellen.

6.2 Belüftungssituation am Tag – Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand

Wie in Kap. 4 beschrieben, herrschen im Planungsgebiet im Allgemeinen südsüdwestliche bis westsüdwestliche Windrichtungen vor (Häufigkeit ca. 26% der Jahresstunden im Mittel der Jahre 2011 – 2020). Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt im mehrjährigen Mittel (1981 – 2000) im Bereich des Planungsgebiets ca. 3.4 - 3.7 m/s.

Zur Begutachtung des Einflusses des Planungsvorhabens auf die örtliche Belüftungssituation wird bei den nachfolgenden Modellrechnungen eine westsüdwestliche Windanströmung mit 3.0 m/s (10 m ü.G.) zu Grunde gelegt.

Wie die Ergebnisse für den **Ist-Zustand (Abbildung 45)** belegen, zeigt sich das Planungsgebiet und dessen Umfeld intensiv belüftet. Windgeschwindigkeiten unter 1.0 m/s, die auf einen deutlich abgeschwächten bodenanahen Luftaustausch schließen lassen, bleiben auf die unmittelbaren Gebäudelee- und Gebäudeluvlagen sowie auf den Nahbereich dichter Gehölzbestände begrenzt.

Mit Realisierung einer max. Bebauung nach Bebauungsplanentwurf (**Plan-Zustand, Abbildungen 46 und 47**) ist in Lee-Lage bis in eine Entfernung von ca. 1.700 m mit einer nur sehr leicht abgeschwächten Belüftungsintensität (0.1 – 0.5 m/s) zu rechnen.

Deutlichere Windabschwächungen (über 1.0 m/s) bleiben im Wesentlichen auf den Bereich westlich der L 433 zwischen Dexheim und Schwabsburg begrenzt. Die Ortslagen von Schwabsburg und Dexheim sind von keinen Windgeschwindigkeitsmodifikationen betroffen.

Dreht der Wind am Tag vermehrt zu westlichen bis nordwestlichen und südsüdwestlichen Richtungen sind in Dexheim bzw. Schwabsburg Windgeschwindigkeitsreduktion von ca. 0.1 m/s bis 0.5 m/s zu erwarten. Da hiervon keine großflächig windschwachen Ortslagen betroffen sind, kann eine derart geringe Windgeschwindigkeitsreduktion aus gutachterlicher Sicht akzeptiert werden. Ein vermehrt Tendenz zu Luftstagnation ist nicht zu befürchten.

Das Planungsvorhaben führt somit am Tag in den benachbarten Siedlungslagen zu keinen bemerkenswerten Windfeldveränderungen.

Innerhalb des Planungsgebiets fungieren die Freiräume als Belüftungsflächen, über welchen der Höhenwind vermehrt bodennah durchgreifen kann.

Die Rechenzentren stoßen über Abluftkamine (kurzzeitig) und Rückkühler (dauerhaft) Warmluft aus. Infolge der allgemein höheren Temperatur der ausströmenden Luft und deren vertikalen Impuls (Annahme: 6 - 9 m/s) steigt die Luft aus den Rückkühlern über den Rechenzentrumsgebäuden auf und kühlt sich dabei theoretisch trockenadiabatisch ($1^\circ/100\text{ m}$) durch die Luftdruckabnahme ab. Durch die Auftriebsströmung an Rückkühlern kann das Windfeld bis in eine Höhe von ca. 120 m ü.G. beeinflusst werden (siehe **Abbildung 47**). Aufgrund der Vermischung mit dem großräumig vorherrschenden Westsüdwestwind (3 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.) wird die Warmluftfahne aber auch horizontal verfrachtet und damit vermehrt verdünnt, wodurch die Fahnenluft rasch den physikalischen Zustand (Wärmeinhalt, Feuchtegehalt und Geschwindigkeit) der Umgebungsluft annimmt. Eine Herunterführung der Warmluft in bodennächste Luftschichten findet infolge der Konvektion am Tag nicht statt.

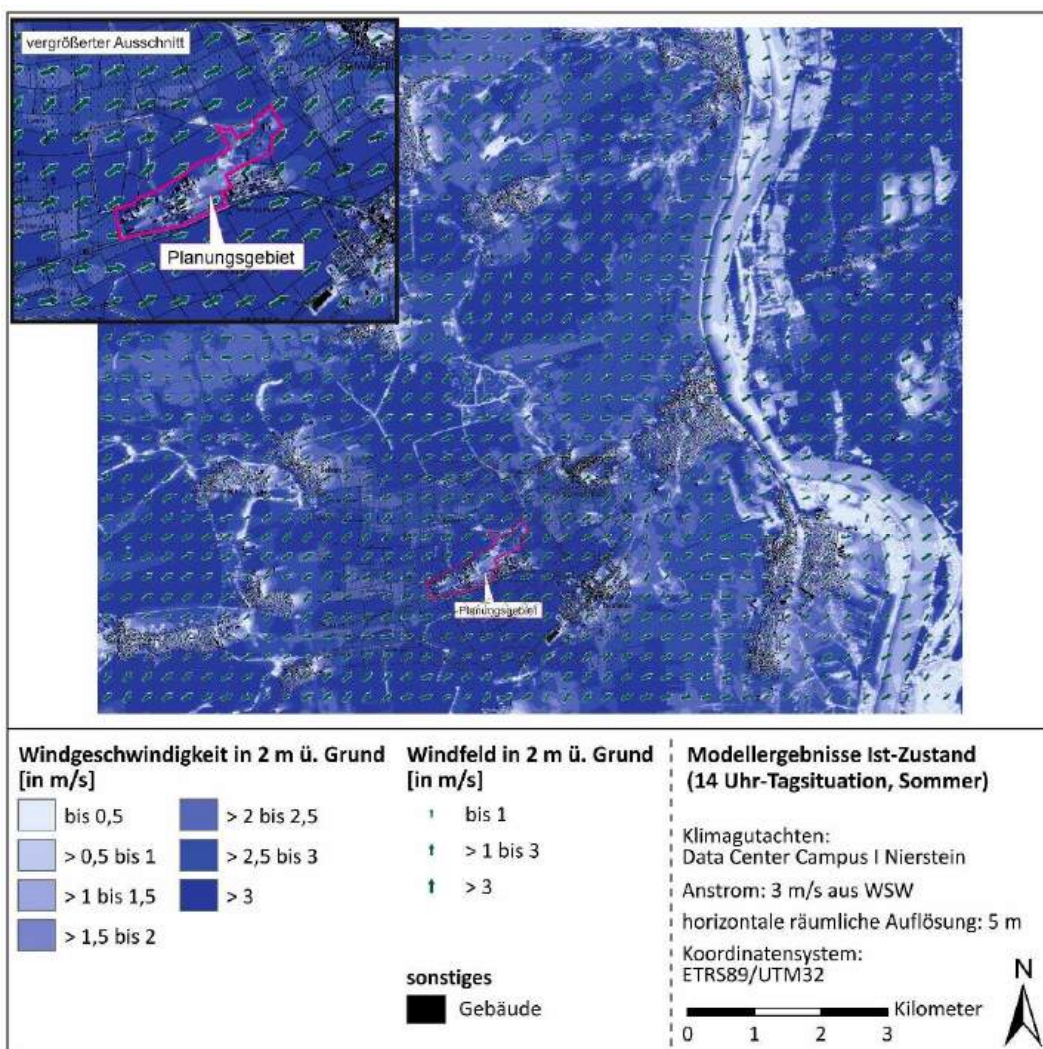


Abbildung 45: Ist-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

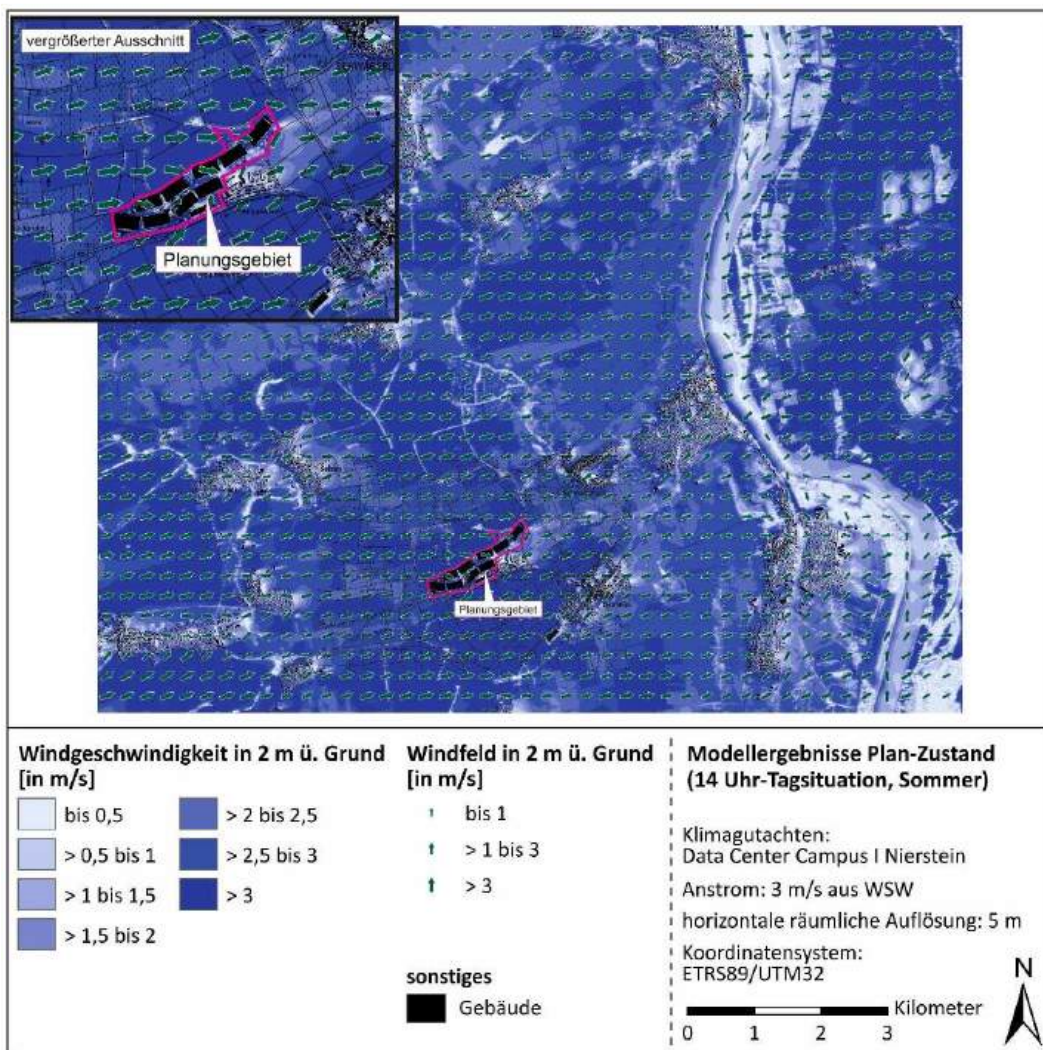


Abbildung 46: Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

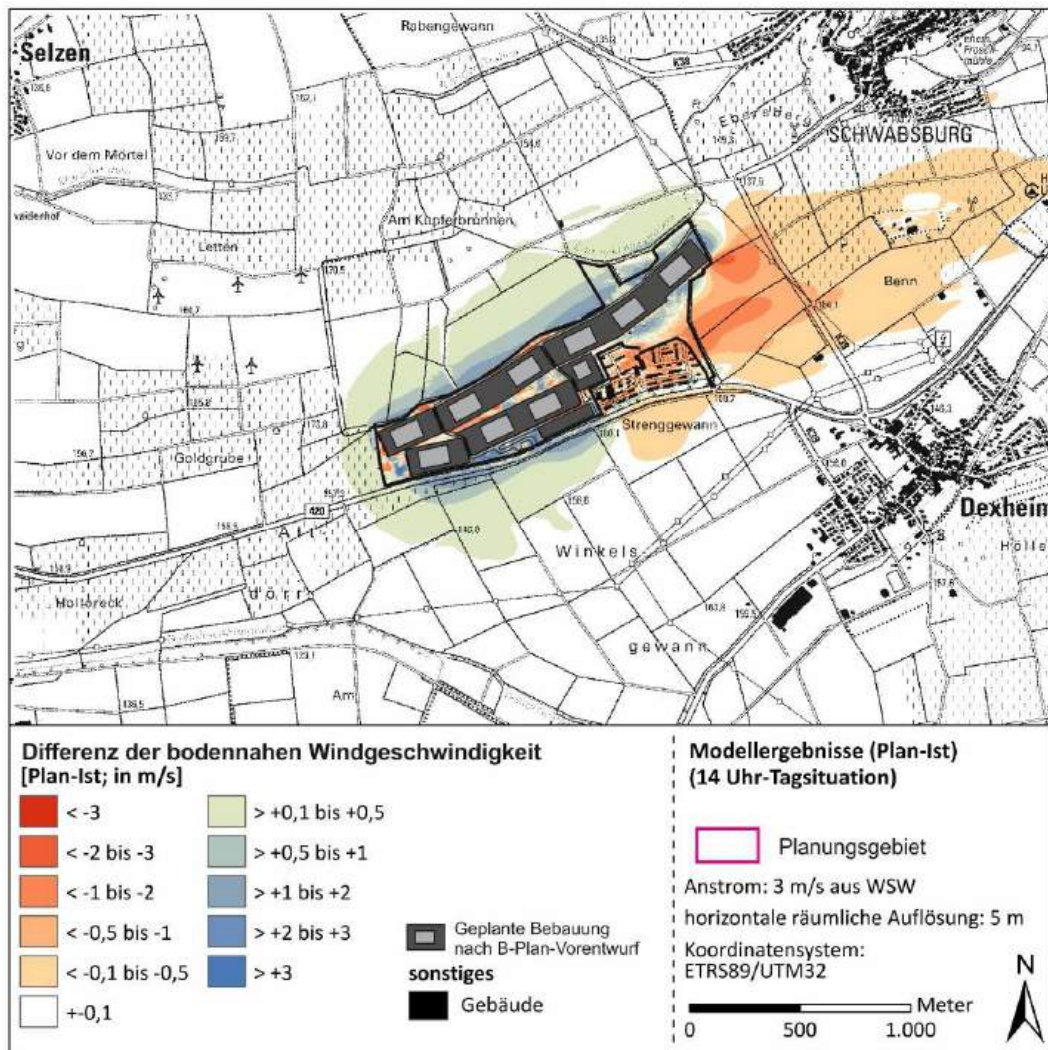


Abbildung 47 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

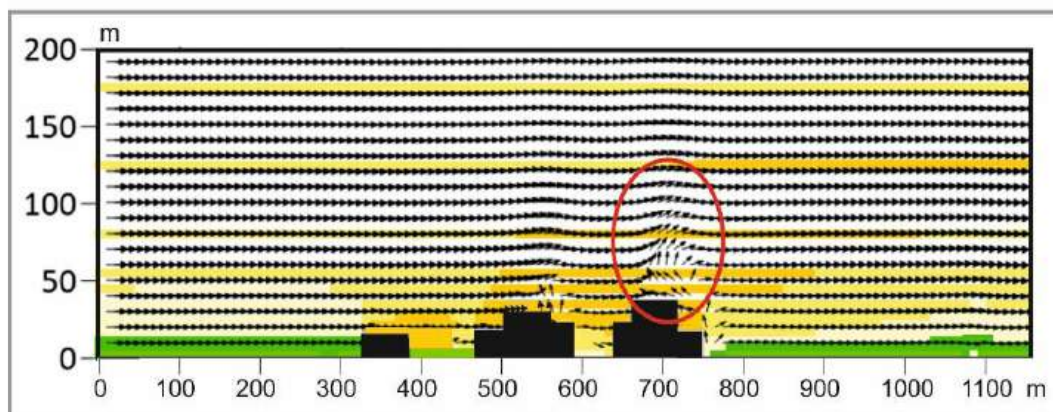


Abbildung 48 Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Rückkühlern (keine Berücksichtigung des Reliefs).

Wie in Kap. 4 angeführt, sind zur Prüfung der Notstromaggregate am Tag in der Regel einzelne Abluftkamine in Betrieb. Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass bei jedem der neun Rechenzentren jeweils ein Abluftkamin Warmluft emittiert. Die Rückkühler emittieren Warmluft weiterhin in vollem Umfang.

Der Vergleich der Windfelder für den Plan-Zustand ohne und mit Abluftkaminen (**Abbildungen 49 – 51**) zeigt, dass bei Westsüdwest-Winden mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 3.0 m/s, wie sie im Allgemeinden im Planungsgebiet vorherrschen, die Wärmeemissionen der Abluftkamine im bodennächsten Windfeld bis 10 m ü.G. nur äußerst geringfügige Windfeldmodifikationen hervorrufen (-0.5 bis 0.5 K) und auf das Planungsgebiet selbst beschränkt bleiben. Die punktuellen Warmluftemissionen mit einer Austrittsgeschwindigkeit von ca. 39.2 m/s (42 m ü. G.) verändern damit in keinem relevanten Umfang das örtliche Luftaustauschgeschehen.

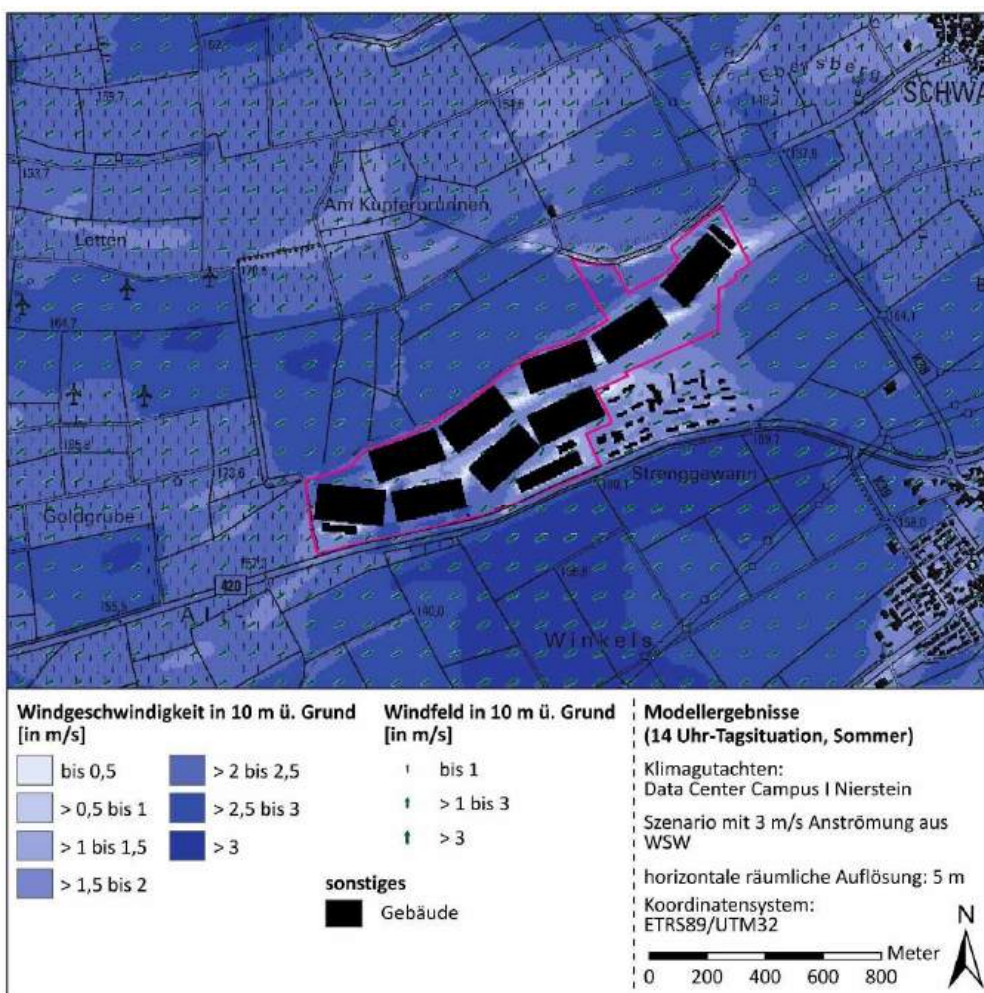


Abbildung 49 Plan-Zustand. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

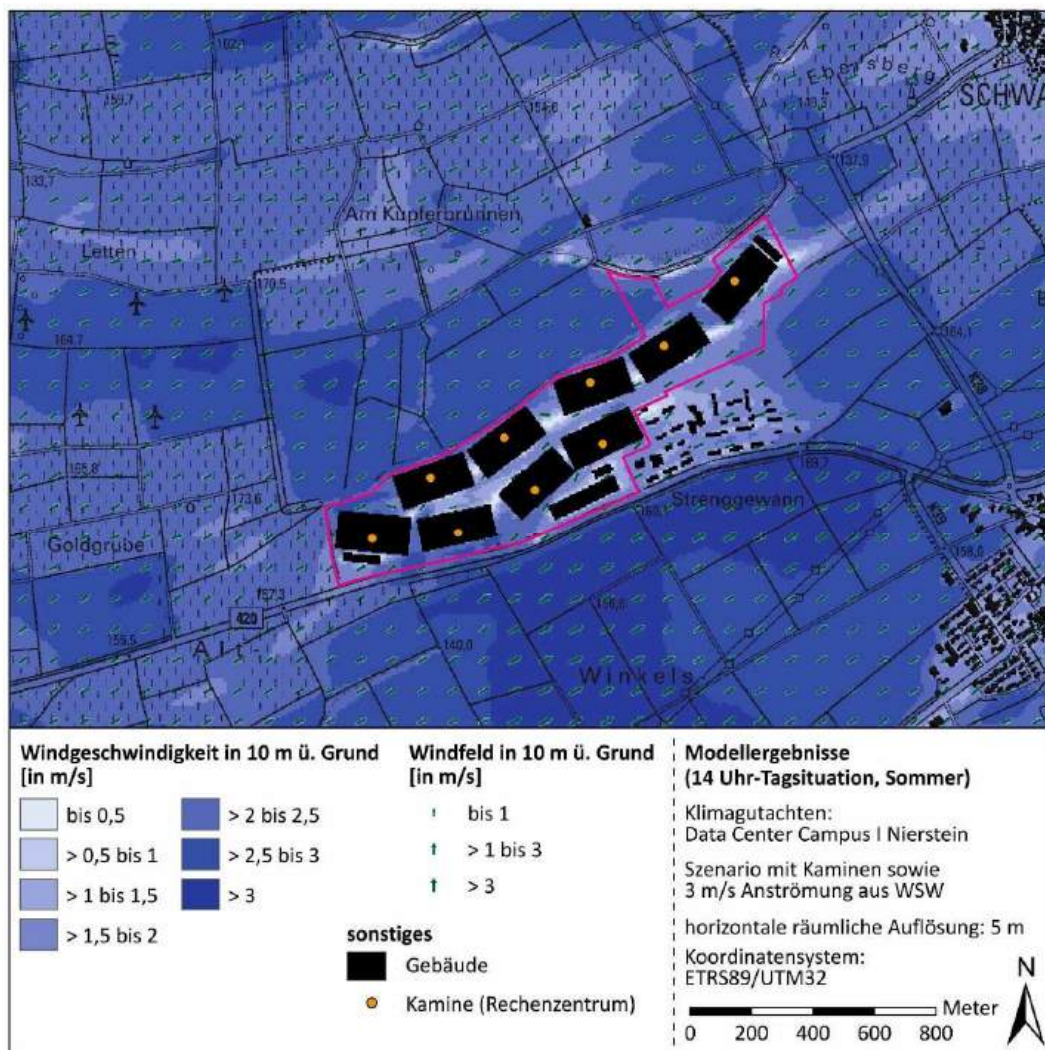


Abbildung 50 Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

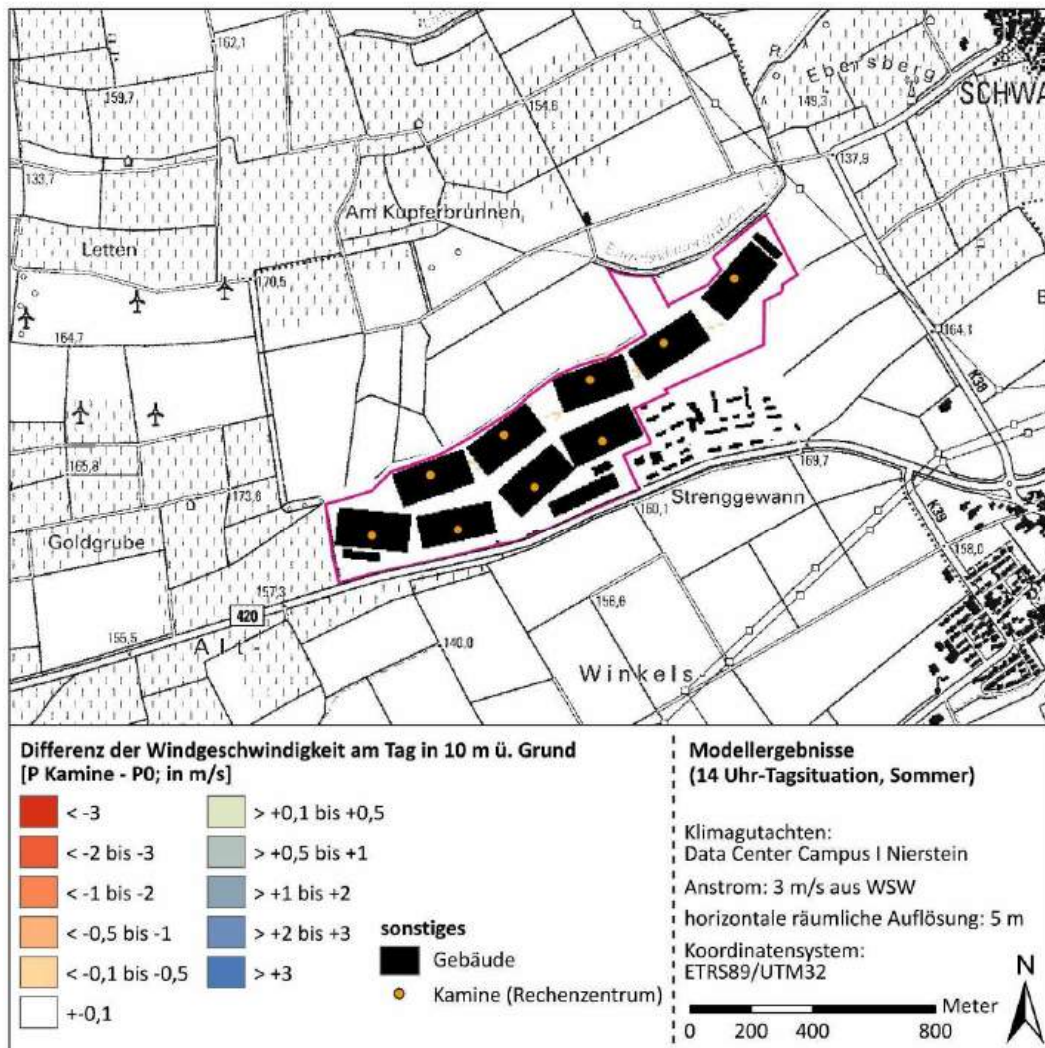


Abbildung 51 Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 10 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine am Tag bei vorherrschendem West-südwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Ergänzt man die Modellrechnungen mit den Windfeldmodifikationen der an das Planungsgebiet angrenzenden Windenergieanlagen (bestehend und geplant), so hebt sich das Windfeld deutlicher vom Plan-Zustand ohne Windenergieanlagen ab.

Anhand der **Abbildungen 52 und 53** wird offenbar, dass sich hinter jeder Windenergieanlage in Bodennähe (0 – 10 m ü.G.) ein Nachlauf mit niedrigeren Windgeschwindigkeiten (-0.1 bis 2.0 m/s) bestimmen lässt. Unter den Windenergieanlagen ist hingegen eine Geschwindigkeitszunahme (+0.1 bis +2.0 m/s) zu bilanzieren. Derartige Veränderungen beim Windfeld konnten auch bei LiDAR¹⁴-Beobachtungen (HEIMANN ET. AL 2011) ermittelt werden.

Die bioklimatisch relevanten Veränderungen beim Windfeld von mindestens ± 1.0 m/s bleiben weitgehend auf das Planungsgebiet und das angrenzende Freiraumgefüge begrenzt. In den nächstgelegenen Ortslagen von Schwabsburg und Dexheim sind nur kleinräumig geringfügige ± 0.5 m/s zu bestimmen.

Die Windenergieanlagen führen damit zu deutlich Intensiveren und großräumigeren Veränderungen beim Windfeld als das Planungsvorhaben im Planungsgebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“:

¹⁴ LiDAR = Light Detection And Ranging). Wind-LiDAR Das Messprinzip des LiDARs beruht auf der Rückstreuung von Aerosolpartikeln, die vom Wind transportiert werden. So können die Geräte durch die Analyse der reflektierten Laserstrahlen die Windgeschwindigkeit erfassen.

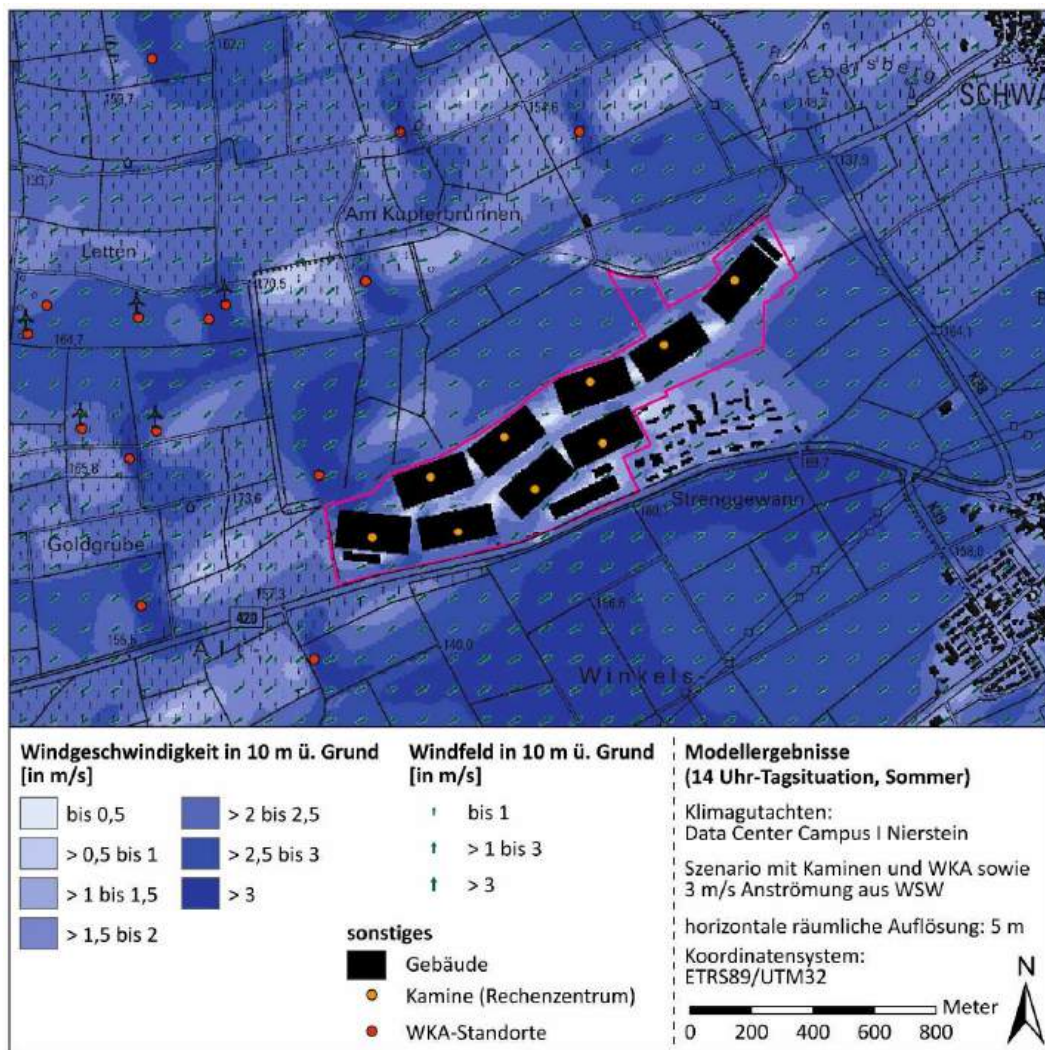


Abbildung 52 Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. Windgeschwindigkeit und Richtung 10 m ü.G. am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

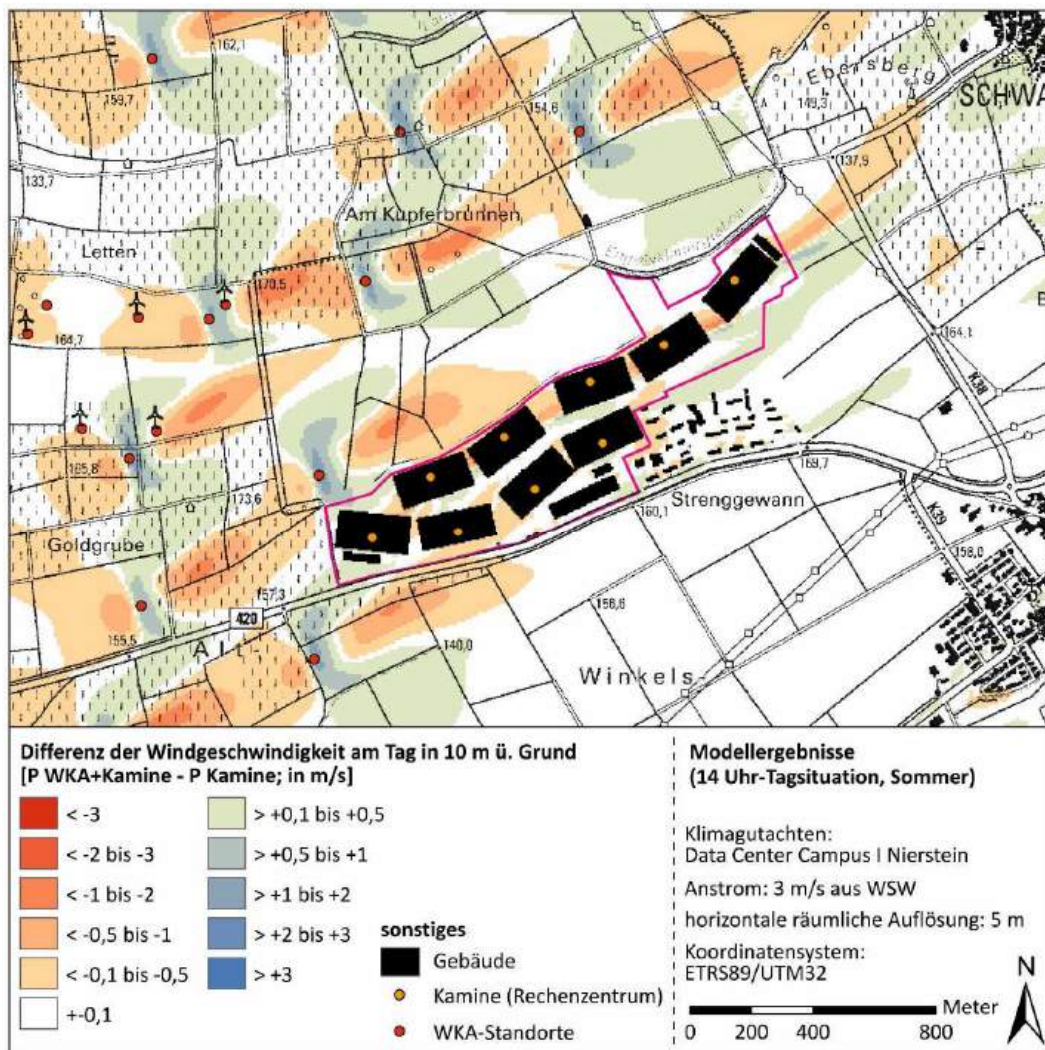


Abbildung 53 Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit 10 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und die Barrierewirkungen/Turbulenzen der Windenergieanlagen am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

6.3 Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen - Ergebnisse für den Ist-Zustand und Plan-Zustand (Nacht- und Tagsituation)

Die Ermittlung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur (04:00 Uhr) ermöglicht es, überwärmte 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 Siedlungsgebiete bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

In Abhängigkeit von der Landnutzung bzw. Boden- und Oberflächeneigenschaften sowie beeinflusst durch die Höhenlage des Standorts, kühlen Flächen in den Abend- und Nachtstunden unterschiedlich stark ab. So reicht die bodennahe nächtliche Lufttemperatur im Modellergebnis (**Abbildung 54**) in der **Ist-Situation** von ca. 14 - 15°C in unbebauten Hangeinschnitten (= Kaltluftsammelgebiete) bis über 19°C über großflächig versiegelten Bereichen des Planungsgebiets. Die Ortslagen von Schwabsburg und Dexheim zeigen sich durch den Einfluss lokaler Kaltluftbewegungen thermisch begünstigt. Lufttemperaturen von über 19°C bleiben auf dicht bebaute Innerortslagen begrenzt.

Wasserflächen (z.B. Rhein) heben sich in der hier betrachteten sommerlichen Situation ebenfalls als warme Zonen von der Umgebung ab, da sie nur einen geringen Tagesgang der Temperatur aufweisen. Die Wasserflächen sind tagsüber kühler als die Umgebung und nachts wärmer.

Das Planungsgebiet profitiert bzgl. der nächtlichen thermischen Belastung von den gebietsinternen Grün- und Gehölzflächen. Es zeigt sich eine vielfältiges kleinräumiges Mosaik aus kühlen und überwärmten Arealen.

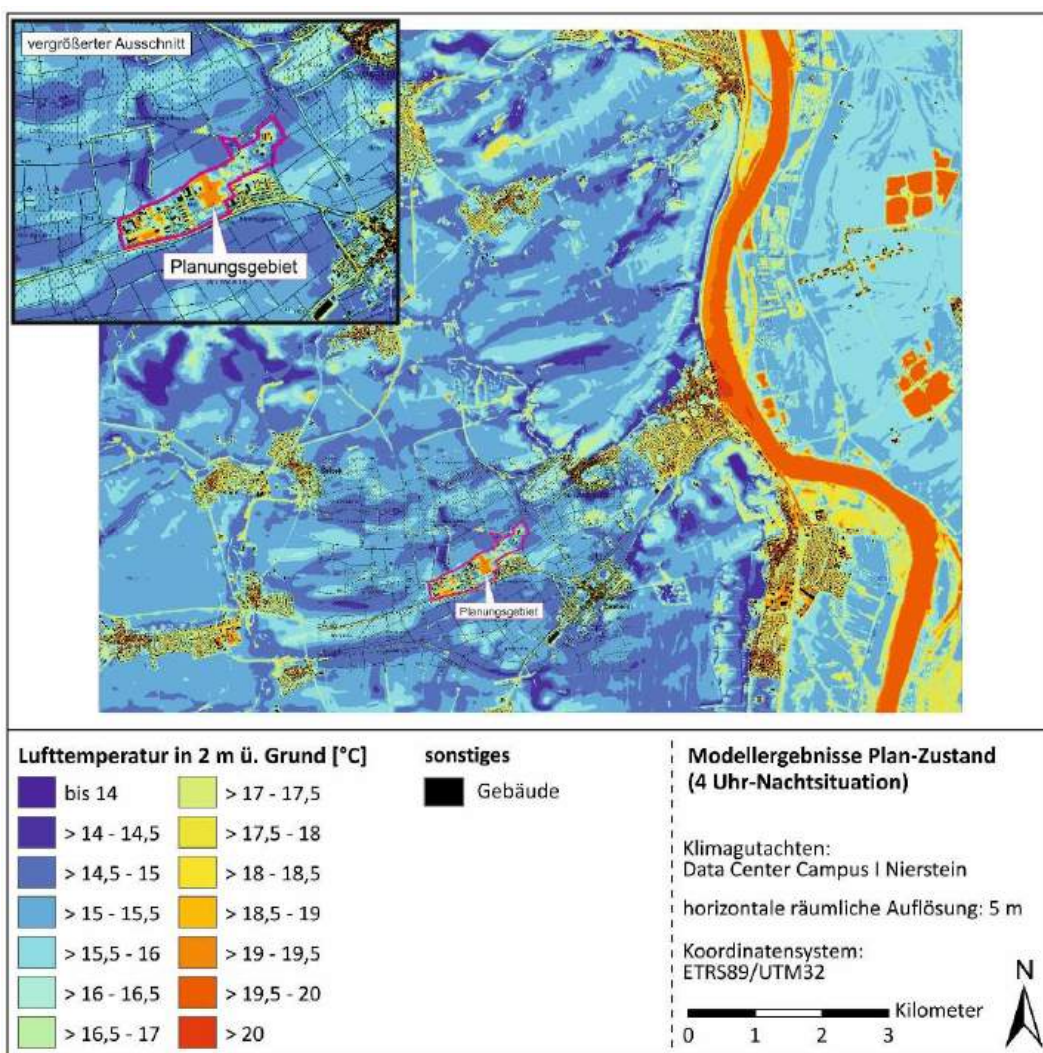


Abbildung 54: Ist-Zustand. Nächtliche Lufttemperaturverteilung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Mit Realisierung der geplanten Bebauung (Betrachtung eines Worst-Case Falles, **Abbildungen 55** und **56**) kommt es in Strahlungsnächten allein im Planungsgebiet selbst und im direkten Planungsumfeld zu Änderungen der Lufttemperaturverteilung. In den unmittelbaren Luv- und Lee-Lagen des Planungsgebiets nimmt die Lufttemperatur durch die leicht reduzierte Windgeschwindigkeit um ca. 0.1 – 0.5 K ab. In Bereichen mit vermehrter Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht steigt die Lufttemperatur hingegen um ca. 0.1 – 0.5 K an. Die Kaltluftbildung über dem Freiraumgefüge im Planungsumfeld ist ausreichend, um die Ausbildung einer prägnanten Wärmeinsel im Planungsgebiet zu unterbinden. Ergänzend forcieren die angedachten grünordnerischen Maßnahmen (zentral gelegene Grünflächen, Sicherung und Ergänzung von Gehölzstrukturen am Gebietsrand) die nächtliche Abkühlung im Planungsgebiet.

Die benachbarten Ortslagen von Dexheim und Schwabsburg sind von keinen nächtlichen Lufttemperaturänderungen betroffen.

Auch die angrenzenden Rebflächen sind von keinen großflächigen nächtlichen Lufttemperaturmodifikationen betroffen. Die über die Rückkühler ausgestoßenen Warmluftemissionen zeigen in den bodennächsten Luftschichten keine Wirkung. Die Warmluft steigt über den Dachflächen auf und wird durch die Umgebungsluft rasch abgekühlt.

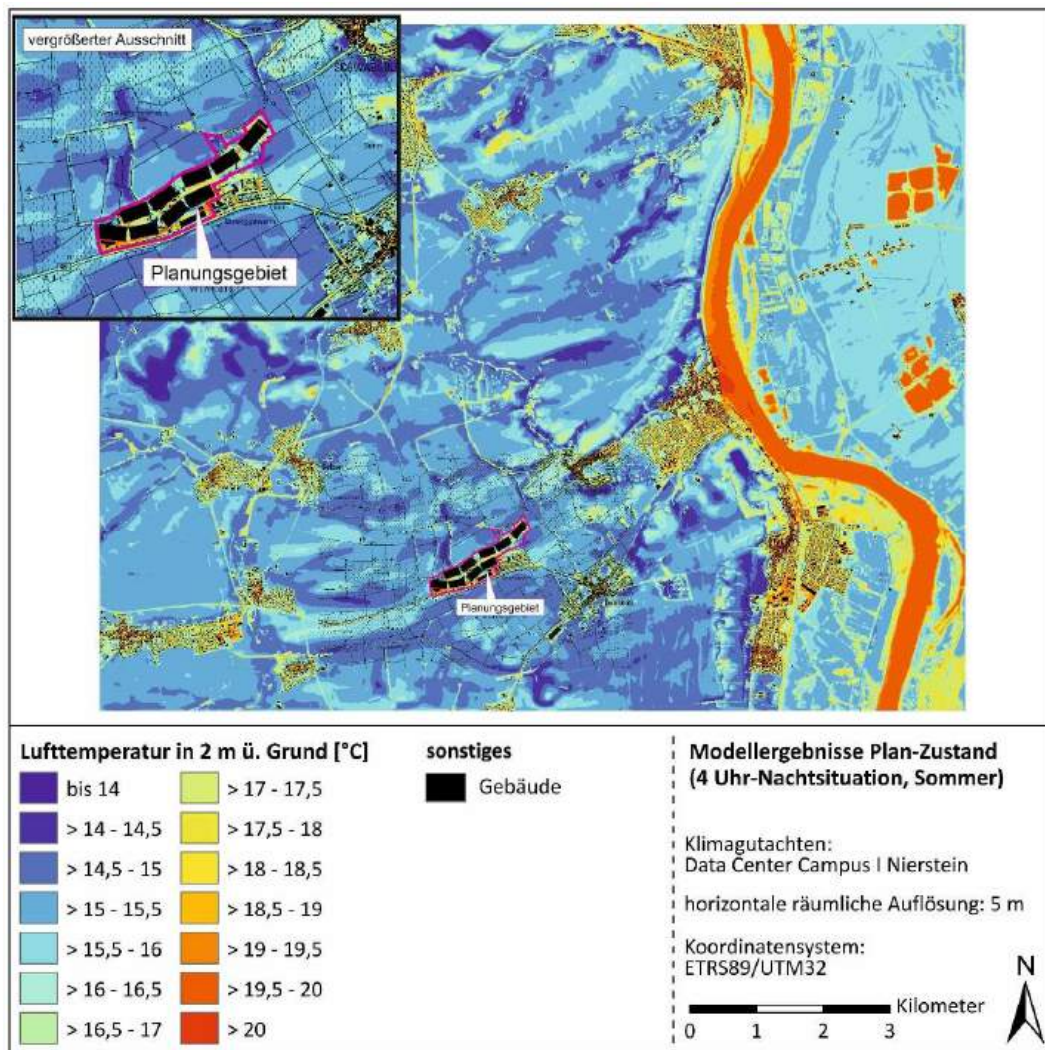


Abbildung 55: Plan-Zustand. Nächtliche Lufttemperaturverteilung (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

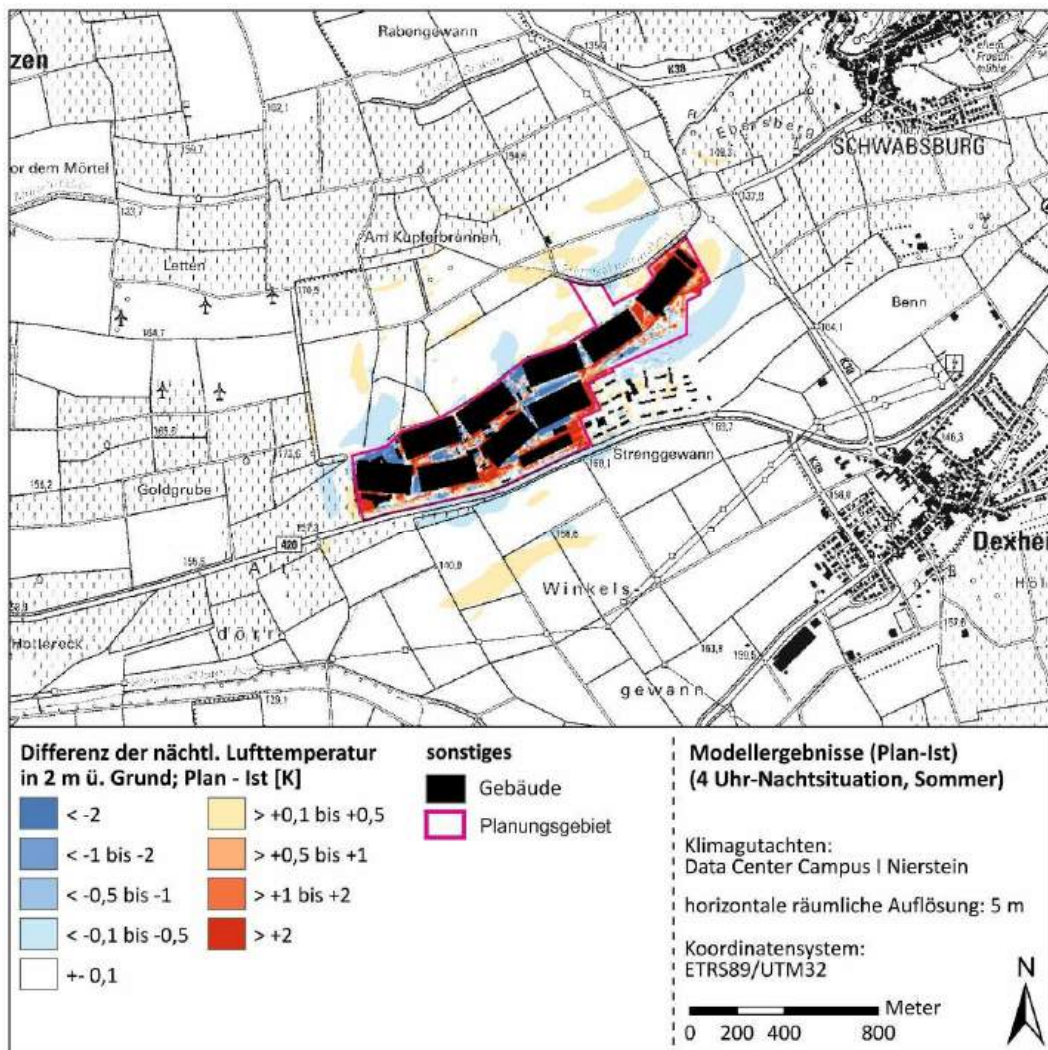


Abbildung 56 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die Windenergieanlagen führen in derart windschwachen Situationen zu keinen nennenswerten Veränderungen beim Windfeld, da die Rotoren sich erst ab Windgeschwindigkeiten von 2.5 m/s langsam in Bewegung setzen. Auch die Abluftkamine spielen in den Nachtstunden keine Rolle, da diese in der Regel nur am Tag zu Prüfzwecken in Betrieb sind.

Zur Bestimmung der Wärmebelastung am Tag wird nachfolgend für das Bioklimamaß PET (Physiologische Äquivalenttemperatur / engl. Physiological Equivalent Temperature) der 14:00 Uhr-Termin gewählt, da zu diesem Zeitpunkt in Kombination Sonneneinstrahlung / Lufttemperatur die höchste bioklimatische Belastung zu erwarten ist. Dabei wird den Berechnungen ein Sommertag ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) zu Grunde gelegt, um im Resultat eine möglichst große Spannbreite unterschiedlicher Belastungsstufen herausarbeiten zu können. Damit kann u.a. die Aufenthaltsqualität im Bereich des geplanten Data Center Campus bewertet werden.

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 9** entnommen werden.

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

Tabelle 9: Kategorisierung von PET in Bereiche unterschiedlichen thermischen Empfindens.
VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022)

Bei den nachfolgenden Berechnungen wird eine großräumige Windgeschwindigkeit von unter 1.0 m/s zu Grunde gelegt.

Abbildung 57 (Ist-Zustand): Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die PET eine höhere Spannbreite im Untersuchungsgebiet auf. Flächenhaft heben sich gehölzüberstellte Flächen mit den geringsten PET-Werten von meist unter 29°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. Im Bereich der Weinbauflächen führt der Schattenwurf der Blätter im Bereich der Rebzeilen ebenfalls zu einer leichten Minderung der Wärmebelastung.

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 fungieren gehölzüberstellte Flächen durch ihren Schattenwurf ebenfalls als bioklimatische Gunstflächen.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Plan-Zustand (Abbildungen 58 und 59)** 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 Bebauung sowie durch die Windbeschleunigungen am Nord- und Südrand des Planungsgebiets (siehe **Abbildung 47**) nimmt die bioklimatische Belastung am Tag im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Bebauung gegenüber dem Ist-Zustand ab. Allein im Osten und Nordosten stellen sich im Freiland kleinflächige bioklimatische Zusatzbelastungen ein. Sensible Wohnbebauung ist von den bioklimatischen Zusatzbelastungen nicht betroffen.

Innerhalb des Planungsgebiets können gehölzüberstellte Freiflächen als kühle Rückzugsorte für die Beschäftigten definiert werden.

Bezüglich der bioklimatischen Umgebungsbedingungen ist das Planungsvorhaben als verträglich einzustufen.

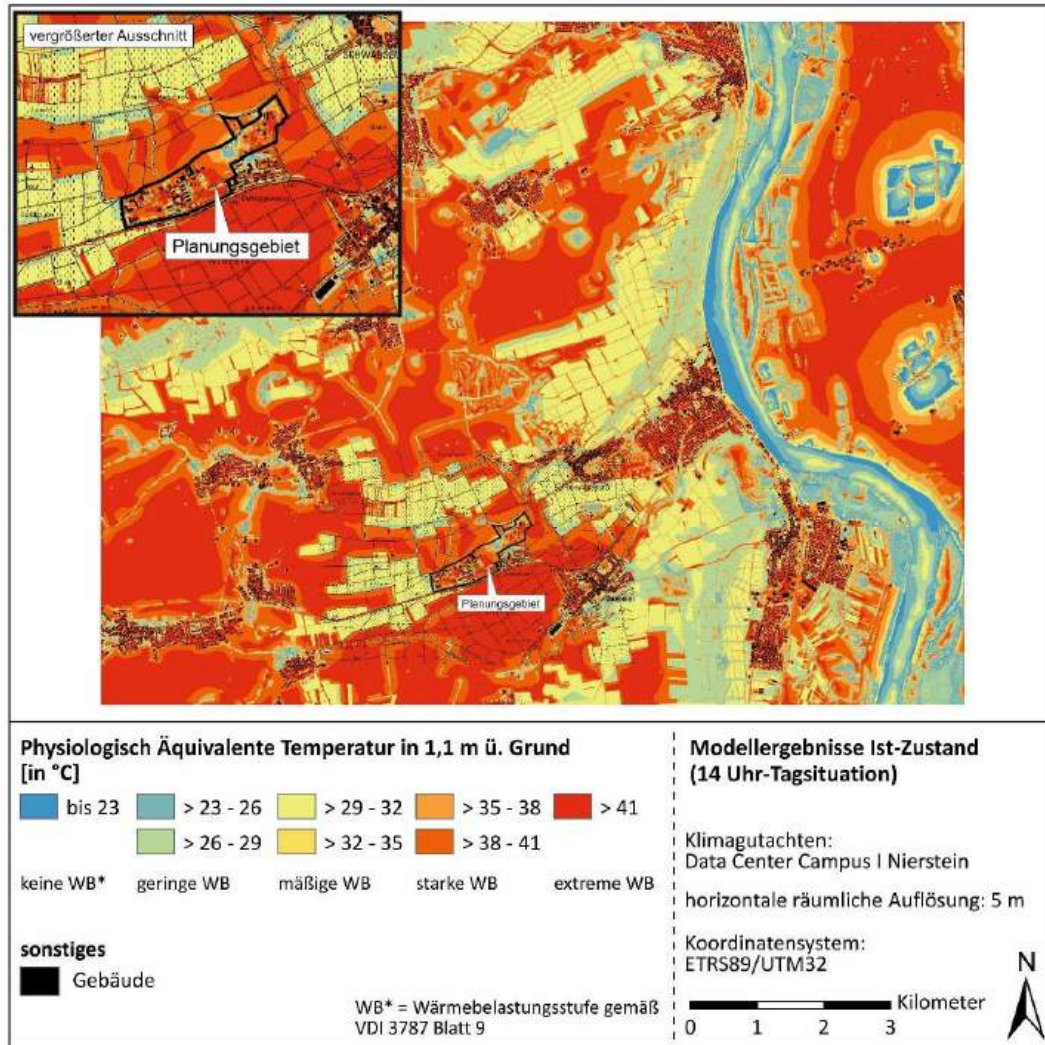


Abbildung 57: Ist-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

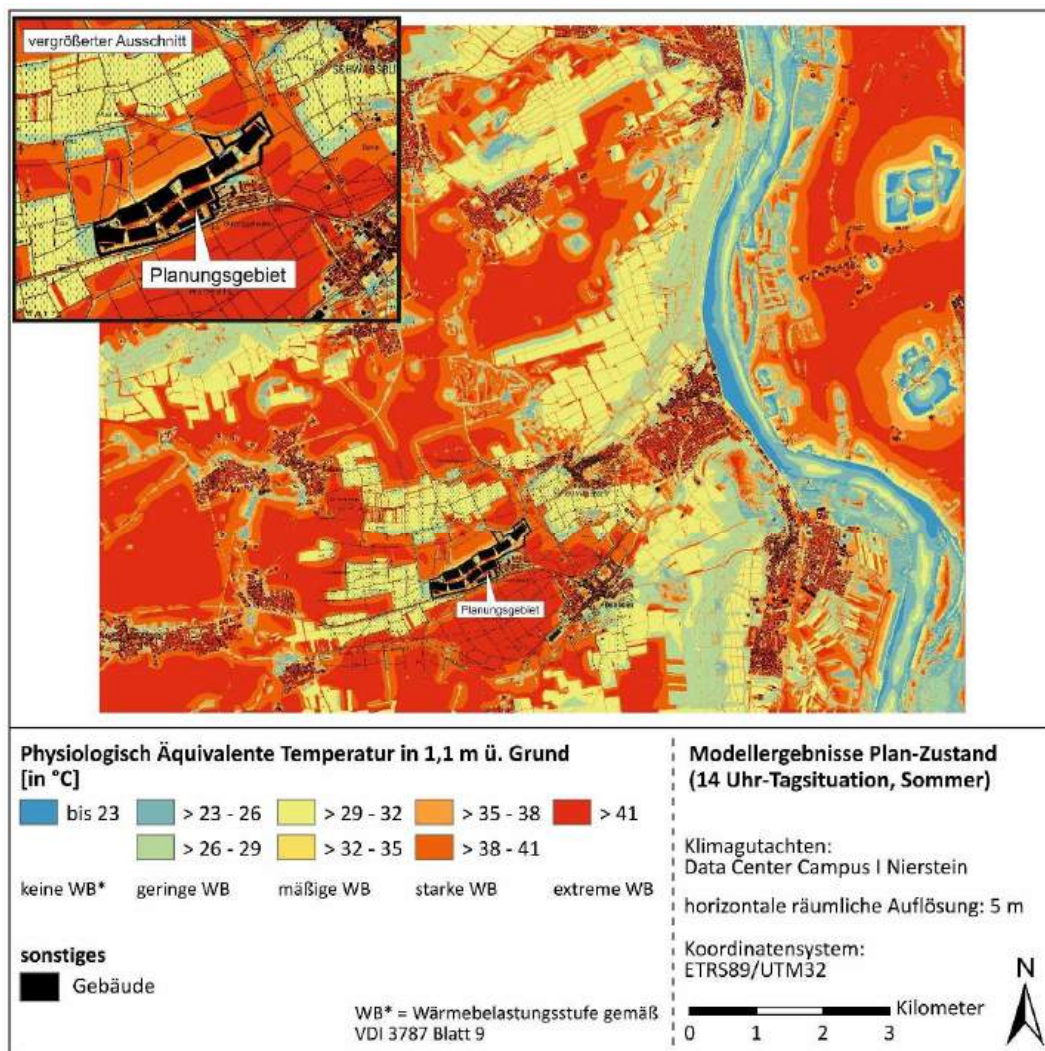


Abbildung 58: Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

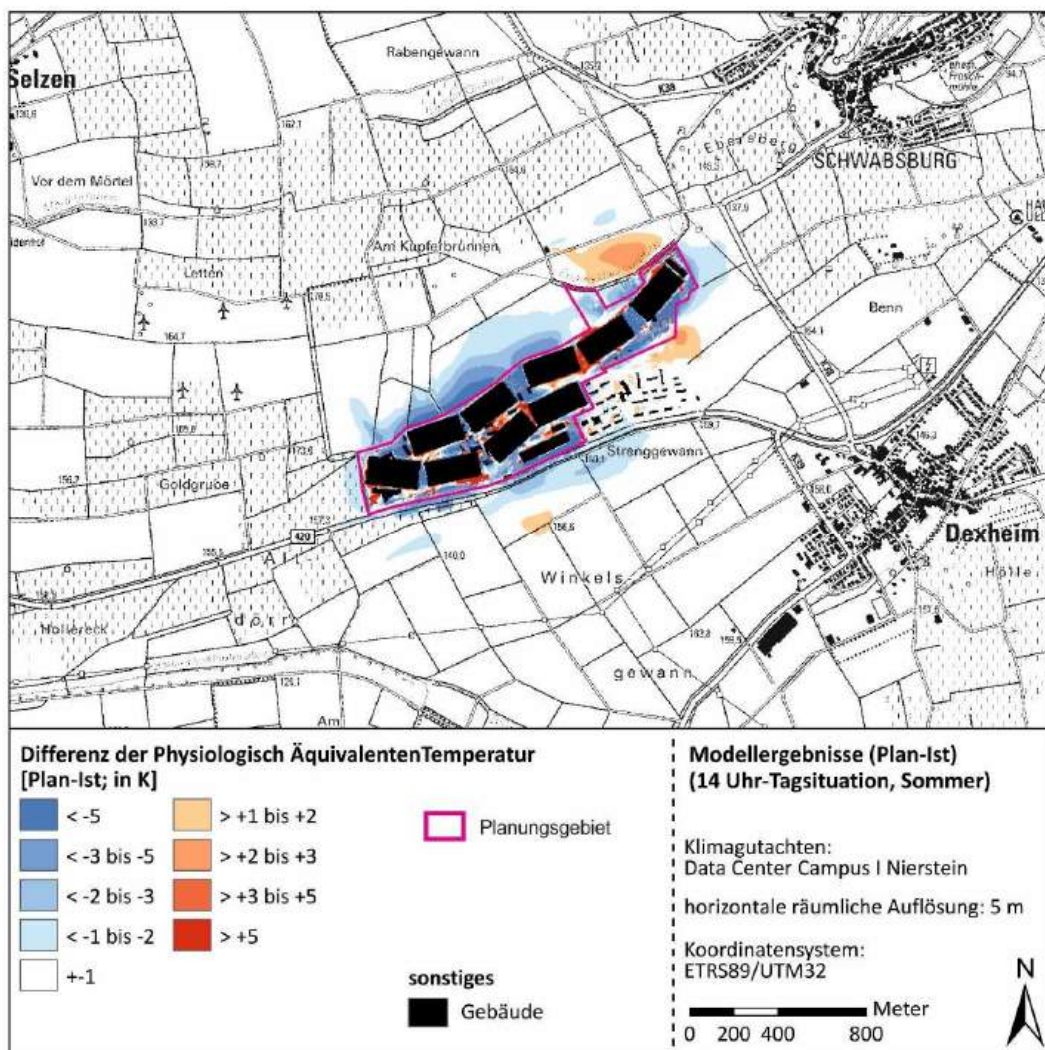


Abbildung 59 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der bioklimatischen Belastung (PET-Werte) 1.1 m ü.G. an einem windschwachen sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Bei einem zusätzlichen Prüfungsbetrieb der Notstromaggregate führen die Warmluftemissionen der Abluftkamine sowohl bei windschwachen Situationen (Windgeschwindigkeit <1.0 m/s) als auch während windstärkerer Situation (Windgeschwindigkeit 3.0 m/s) in der bodennächsten Luftschicht (1.1 m ü.G.) zu keinen fühlbaren Veränderungen bei der bioklimatischen Wärmebelastung – siehe **Abbildungen 60 - 62**. Dies ist bedingt durch die Lage des Wärmeemissionsortes in einer Höhe von 42 m ü.G. Eine nennenswerte Herunterführung von Warmluft in die bodennächsten Luftschichten findet nicht statt.

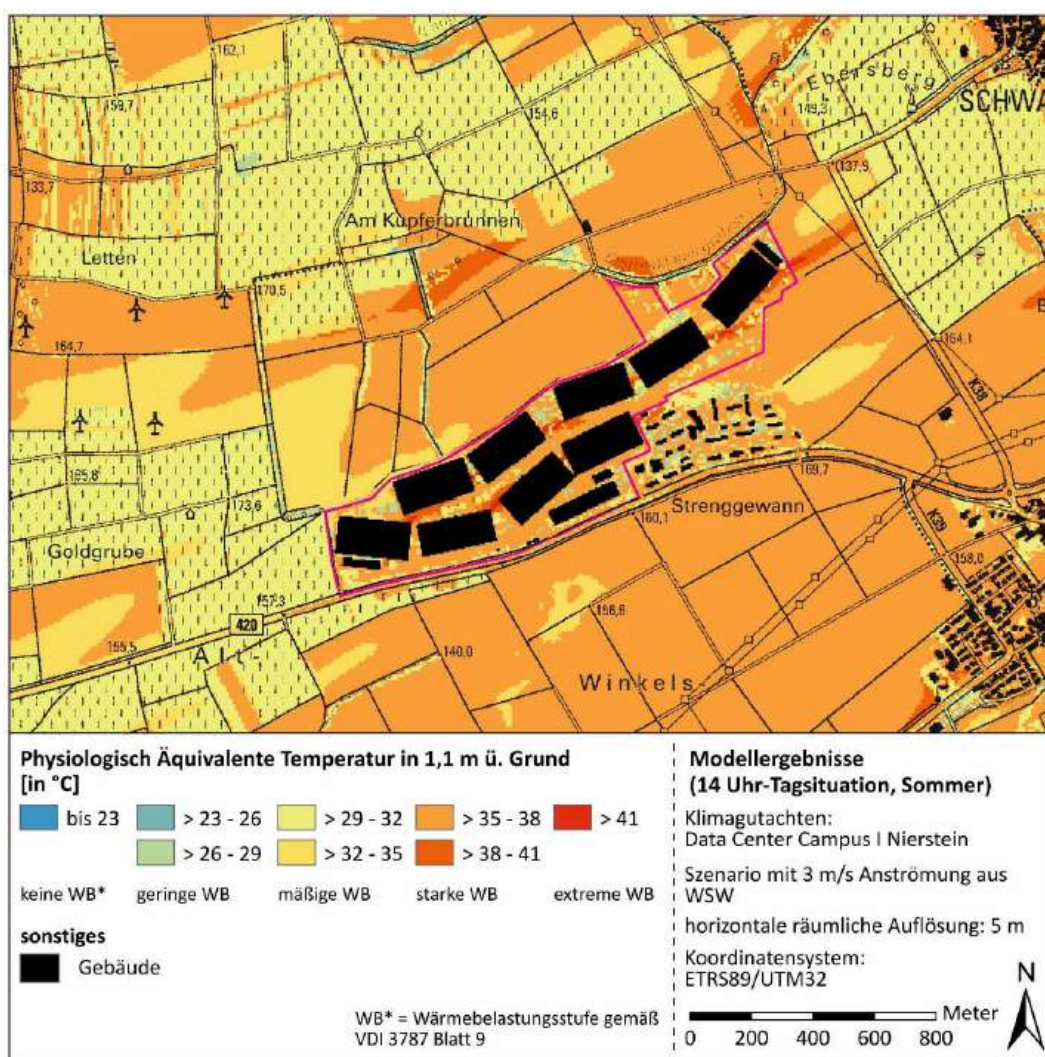


Abbildung 60: Plan-Zustand. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag ($14:00$ Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

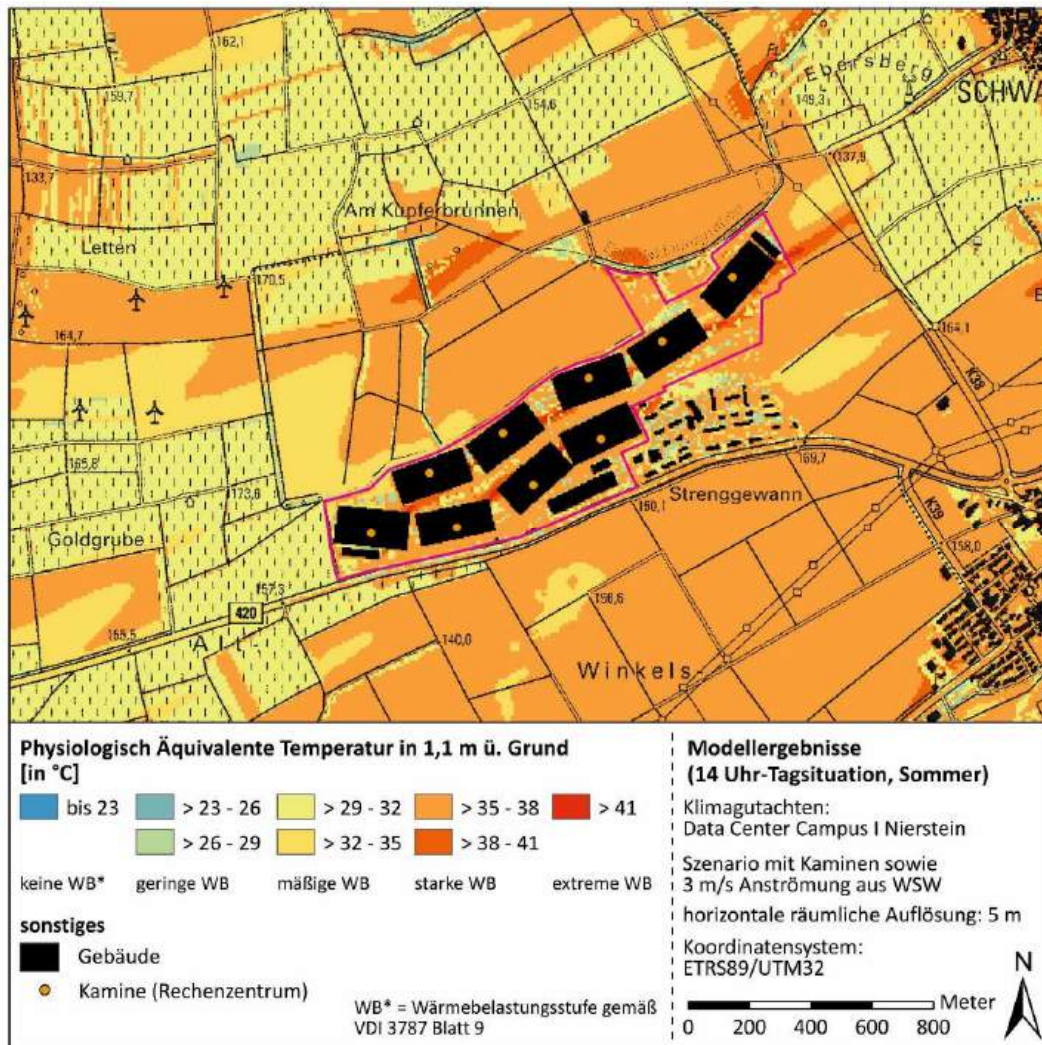


Abbildung 61: Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

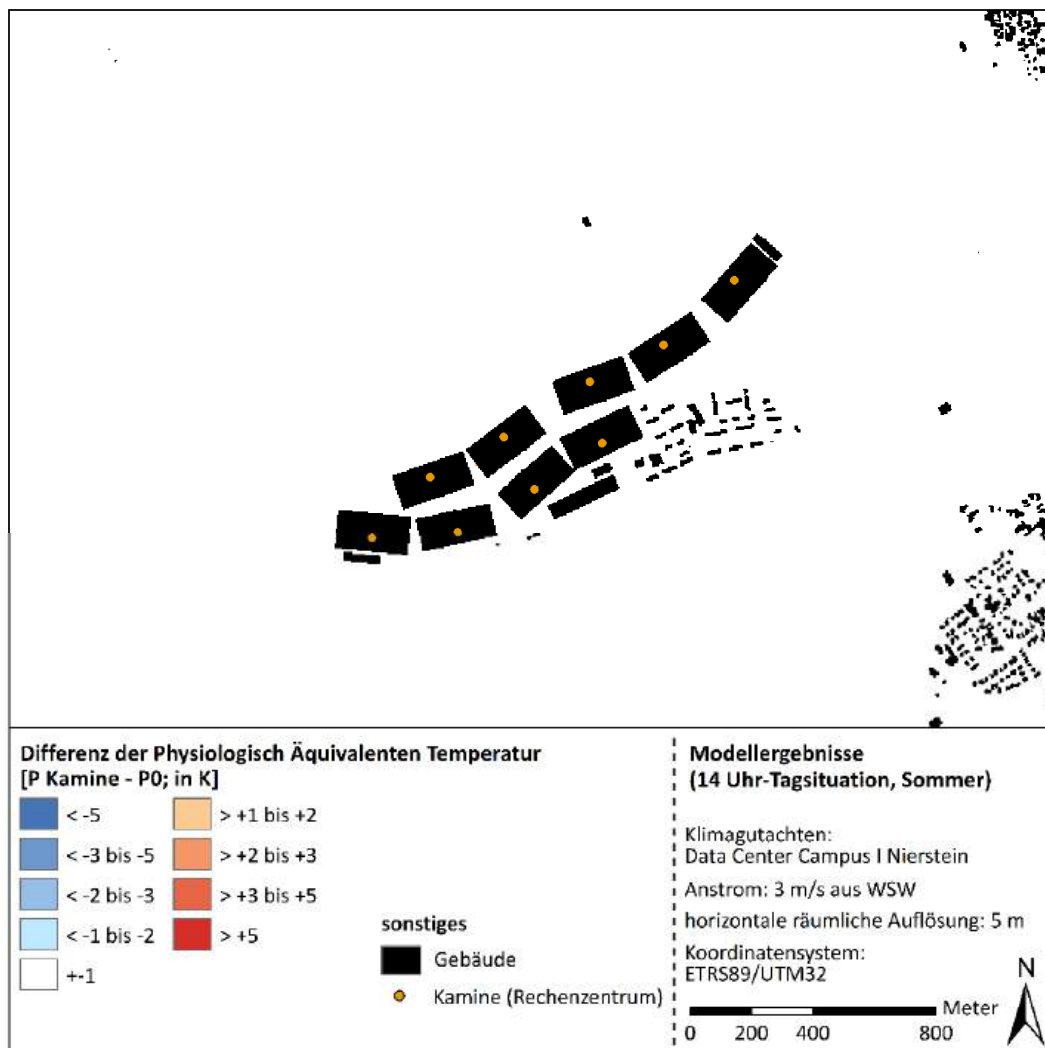


Abbildung 62: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Zu- bzw. Abnahme der bioklimatischen Belastung (PET-Werte) 1.1 m ü.G. im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Berücksichtigt man bei den Modellrechnungen neben den Abluftkaminen im Planungsgebiet zusätzlich die bestehenden/geplanten Windenergieanlagen im Planungsumfeld (**Abbildungen 63** und **64**), so erkennt man im unmittelbaren Nahbereich der Windenergieanlagen eine Abnahme der PET-Werte um ca. 1 – 4 K, was auf die turbulente Durchmischung der bodennahen Luftschichten durch die Rotoren zurückzuführen ist. Damit wird am Tag kühlere Luft aus höheren Schichten in den bodennächsten Luftraum geführt.

In den Nachlaufgebieten der Windenergieanlagen, wo die Windgeschwindigkeit reduziert ist, kann hingegen eine kleinräumige Lufttemperaturzunahme von ca. 1-4 K bilanziert werden.

Im Planungsgebiet führen die Windbeeinflussungen durch die Windenergieanlagen zu keinen relevanten Veränderungen der bioklimatischen Belastungen. Die Abwärme der Kamine werden nur punktuell in den bodennächsten Luftschichten geführt und betreffen keine Wohngebiete. Auch eine relevante thermische Zusatzbelastung (Lufttemperatur + Wärmestrahlung) im Bereich angrenzender Weinbauanlagen ist nicht zu bestimmen.

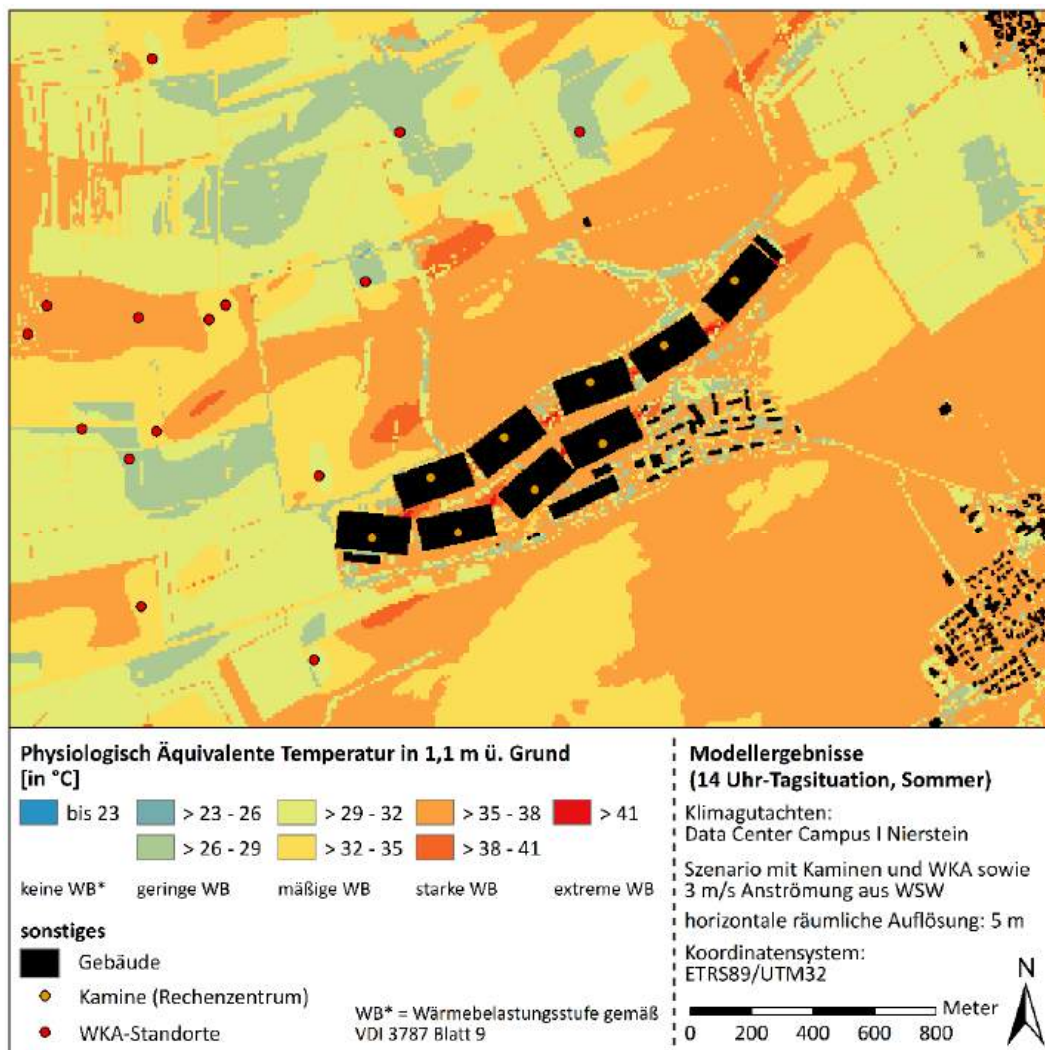


Abbildung 63: Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. PET-Werte (1.1 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

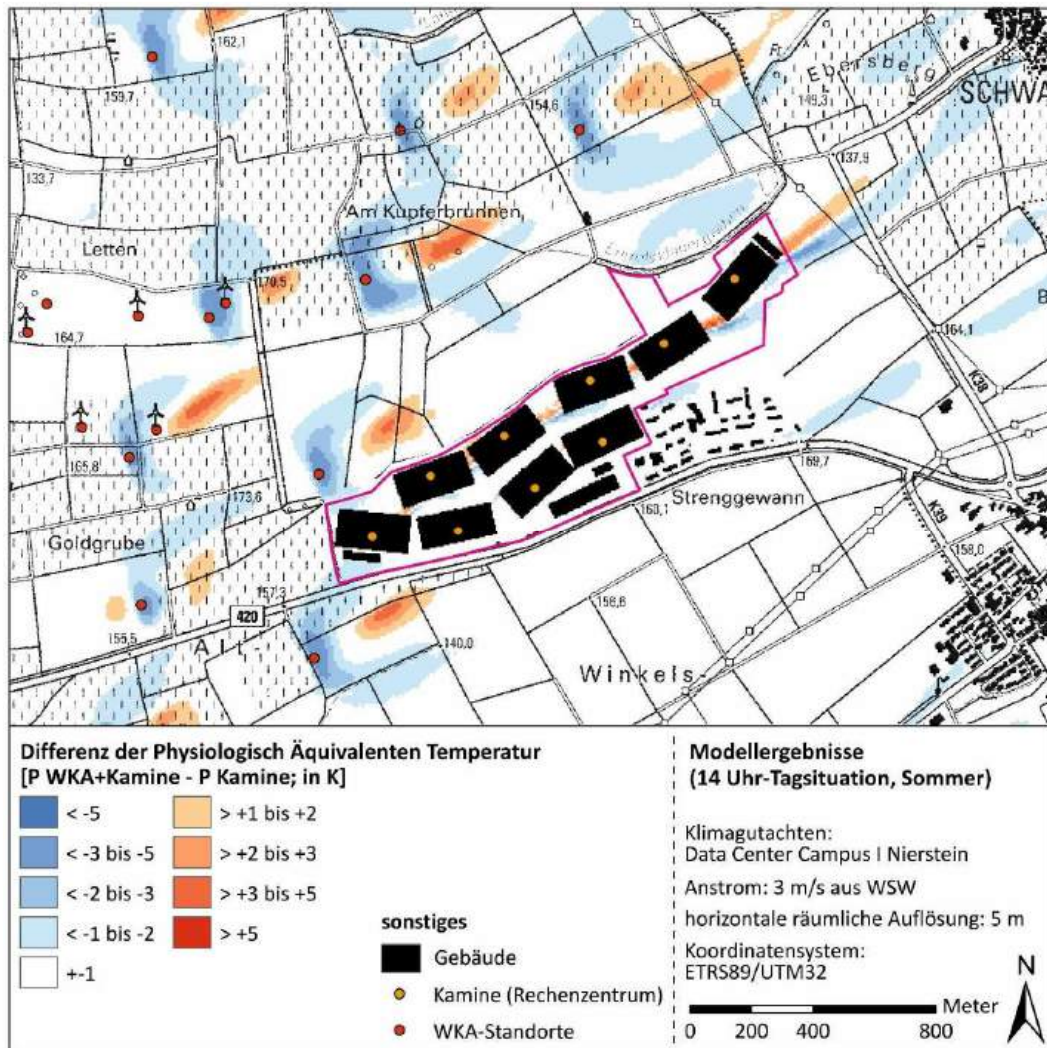


Abbildung 64: Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der PET-Werte (1.1 m ü.G.) durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und die Barrierewirkungen/Turbulenzen der Windenergieanlagen am Tag bei vorherrschendem Westsüdwestwind mit 3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

6.4 Spätfrostsituation - Ergebnisse für den Ist- und Plan-Zustand

Durch die baulichen Modifikationen im Bebauungsplangebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ ist nicht auszuschließen, dass es infolge von vermehrten Kaltluftstauwirkungen im Bereich angrenzender Weinbauflächen zu einer erhöhten Spätfrostgefährdung kommt.

Die hier durchgeführten Untersuchungen sollen daher insbesondere folgende Fragen beantworten:

- Welche Flächen in der Nachbarschaft der Planungsmaßnahme sind von einer möglichen zusätzlichen Spätfrostgefährdung betroffen?
- Mit welcher Temperaturänderung ist in den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen zu rechnen?

Von besonderer Bedeutung sind Spätfröste, die nach Beginn erster phänologischer Phasen (Austrieb, Blühen,...) im Frühjahr auftreten. Dabei kann es beispielsweise im Weinbau, je nach Entwicklungsstand und Frostempfindlichkeit der Kulturen, zu Schäden bis hin zum Totalverlust der Ernte kommen. Wirtschaftlich von Bedeutung sind insbesondere die Fröste in den Monaten April und Mai. Durch den Klimawandel können mittelfristig durch früheren Austrieb auch Spätfrostereignisse im Zeitraum Mitte bis Ende März relevant werden.

Nicht alle meteorologische Situationen während dieser Monate sind gleich bedeutsam hinsichtlich der Spätfrostgefahr. Mit besonders niedrigen Lufttemperaturen ist in windschwachen Strahlungsnächten zu rechnen. Diese sind durch einen geringen Bedeckungsgrad mit Wolken und mit niedrigen Windgeschwindigkeiten in Bodennähe charakterisiert.

Der geringe Bedeckungsgrad begünstigt eine starke Abkühlung des Erdbodens durch die Wärmeabstrahlung der Oberfläche bei gleichzeitig niedriger atmosphärischer Gegenstrahlung. Geringe Windgeschwindigkeiten verhindern durch die fehlende Turbulenz eine Vermischung der abgekühlten bodennahen Luft mit der wärmeren Umgebungsluft in der Höhe (Inversion).

Während windschwacher Hochdruckwetterlagen, bei autochthoner Witterung, entwickeln sich in reliefiertem Gelände lokale Kaltluftbewegungen. Die Intensität und vertikale Mächtigkeit dieses Strömungssystems hängen aber nicht alleine von den orographischen Gegebenheiten wie Geländeneigung und Länge des Hanges ab, sondern auch von den thermischen und mechanischen Eigenschaften des jeweiligen Untergrundes.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wird eine solche autochthone Wetterlage angenommen. Dabei können sich insbesondere die lokalen Besonderheiten der nächtlichen Temperaturverteilung mit recht niedrigen Werten um Sonnenaufgang herum einstellen als auch überlagerte thermische Windsysteme wie Kaltluftabflüsse von den umgebenden Hängen ausbilden. Damit werden die beiden Hauptursachen für niedrige nächtliche Temperaturen bei den numerischen Simulationen berücksichtigt.

Für die Luftaustrittstemperaturen bei den Rückkühlern der Rechenzentren werden entsprechend der Lufttemperaturen um den Gefrierpunkt Werte von 30°C angenommen (siehe **Abbildung 12**). Die Abluftkamine spielen bei den Spätfrösten, die insbesondere kurz vor Sonnenaufgang auftreten, keine Rolle. Diese sind in der Regel nur am Tag in Betrieb. Auch von den Windenergieanlagen geht während potenzieller Spätfrostereignisse keine agrarklimatische Negativ- bzw. Positivwirkung aus, da die Windgeschwindigkeiten bei derartigen Situationen äußerst gering sind und die Rotoren damit kaum oder gar nicht in Bewegung sind.

Von besonderem Interesse für das Problem von Spätfrösten ist der nächtliche Strahlungshaushalt. Insbesondere bestimmen der turbulente fühlbare Wärmestrom Q_H , die effektive Ausstrahlung (Differenz zwischen langwelliger Ausstrahlung Q_L des Erdbodens und der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre) und der Bodenwärmestrom Q_B die Temperaturentwicklung im Laufe der Nacht.

Über unbewachsenem Boden oder ackerbaulich/weinbaulich genutzten Flächen mit niedriger oder lichter Vegetation kann während der Nachtstunden der Erdboden kräftig ausstrahlen und verliert dadurch einen Großteil der gespeicherten Wärme. Aufgrund der sich ausbildenden bodennahen Inversion (Temperaturzunahme mit der Höhe) kann über eine turbulente Vermischung (durch Q_H) die in der Höhe vorhandene wärmere Luft zum Boden hin gemischt werden und somit einen Teil des Energieverlustes durch die langwellige Ausstrahlung kompensieren.

Üblicherweise ist Q_L größer als $Q_H + Q_B$ und so kühlen sich die landwirtschaftlichen Flächen im Laufe der Nacht kräftig ab. Die Abkühlung hängt aber stark von der Windgeschwindigkeit ab. Je niedriger die Geschwindigkeit, umso geringer ist Q_H und umso deutlicher kühlt sich der Erdboden ab. Örtlich vorhandene niedrige Windgeschwindigkeiten sind somit mit einem lokal erhöhten Frostrisiko verbunden.

Die Ergebnisse für das Windfeld in 2 m ü.G. sind in den **Abbildung 65 - 67** dargestellt, wobei großräumig nur sehr schwache Winde aus westlichen Richtungen vorherrschen.

Im **Ist-Zustand (Abbildung 65)** werden in den unbebauten Hangzonen des Planungsumfeldes mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten von ca. 0.75 – 1.0 m/s simuliert. Im Weinanbaugebiet „Roter Hang“ nördlich bzw. nordwestlich von Nierstein zeigen sich in Richtung Rhein deutlich ausgeprägte Hangabwinde mit Fließgeschwindigkeiten bis über 1.0 m/s.

Als recht windschwach (mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeit unter 0.25 m/s) zeigen sich im Nahbereich des Planungsgebiets das Gewann Hundgräben südlich der B 420, der Engelsklauergraben südlich des Ebersbergs sowie Teile des Gewanns Goldgrube westlich des Planungsgebiets.

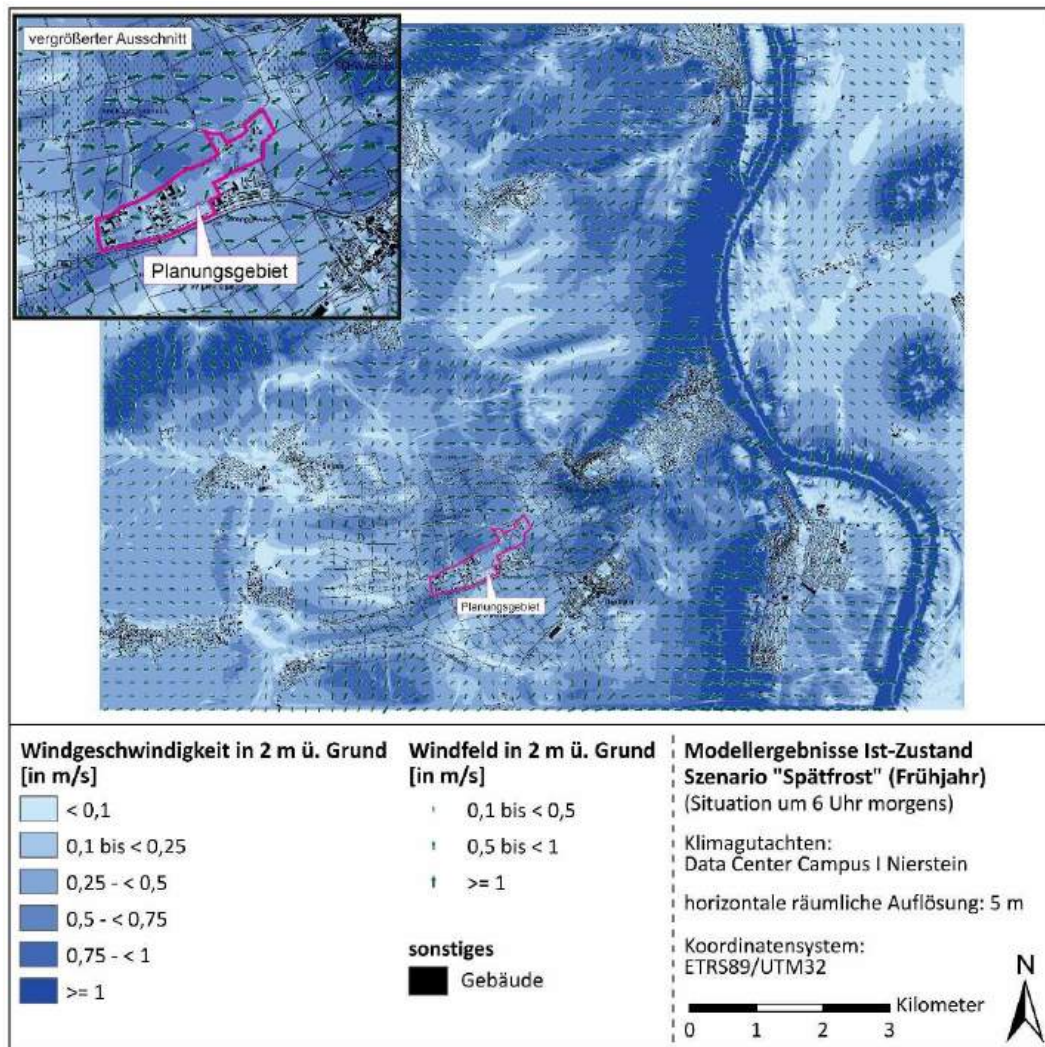


Abbildung 65: Ist-Zustand – Spätfrostsituation. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Im **Plan-Zustand** (**Abbildungen 66** und **67**) ist durch die verstärkte Labilisierung der bodennahen Luftschichten durch die Warmluftemissionen der Rückkühler im Planungsumfeld vermehrt mit leichten Windgeschwindigkeitszunahmen von ca. 0.05 – 0.4 m/s zu rechnen. Betroffen hiervon sind u.a. die bislang windschwachen Bereiche im Gewann Hundgräben und Engelsklauergraben südlich des Ebersbergs. Auch südlich der B 420 sind planungsbedingte Windbeschleunigungen festzustellen. Geringfügige planungsbedingte Windgeschwindigkeitsreduktionen werden vor allem westlich und südwestlich der Ortslage Schwabsburg berechnet. So ist bspw. im Unteren Naßgewann (Weinanbauflächen) mit einer zusätzlichen Windgeschwindigkeitsreduktion von ca. 0.05 – 0.30 m/s zu rechnen. Allein aus diesen Windgeschwindigkeitsreduktionen sind keine Rückschlüsse auf eine vermehrte Spätfrostgefährdung von Weinreben zu ziehen. Hierzu sind nachfolgend die Lufttemperaturfelder zu analysieren.

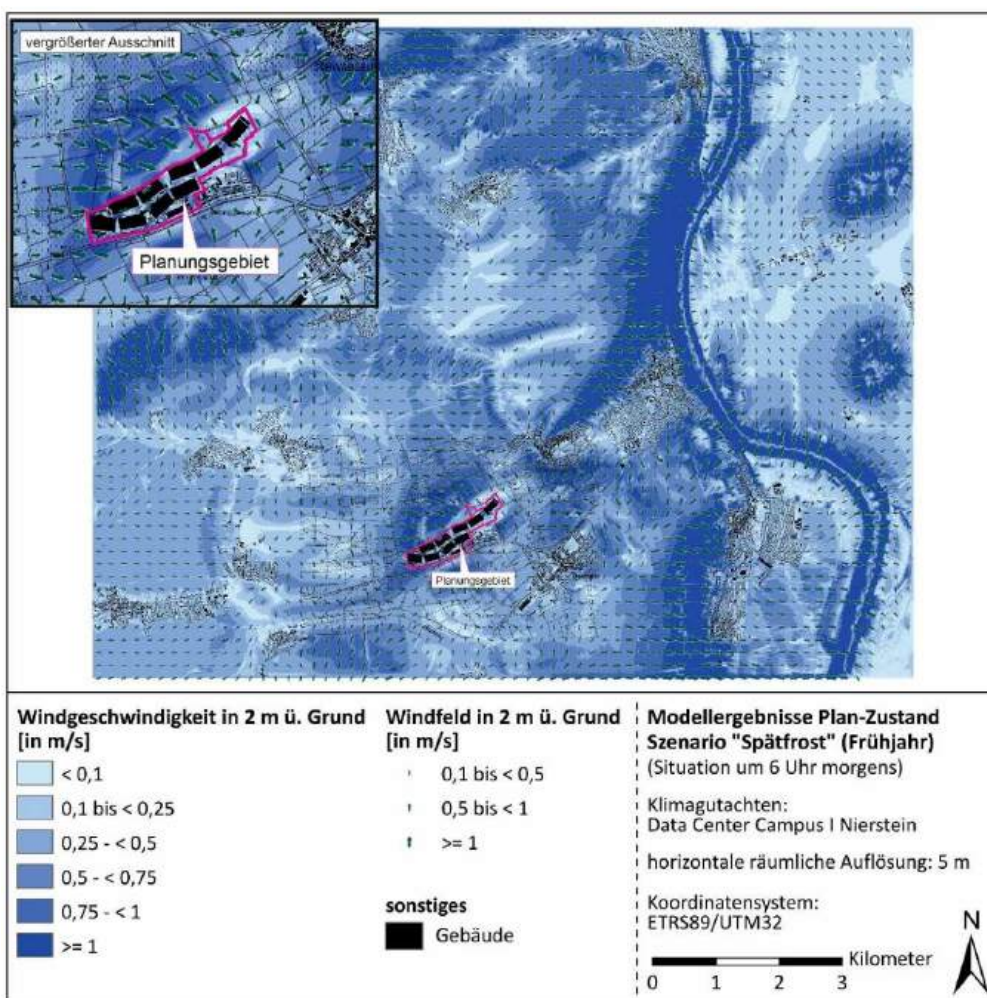


Abbildung 66 Plan-Zustand – Spätfrostsituation. Kaltluftfließgeschwindigkeit und Richtung 2 m ü. G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

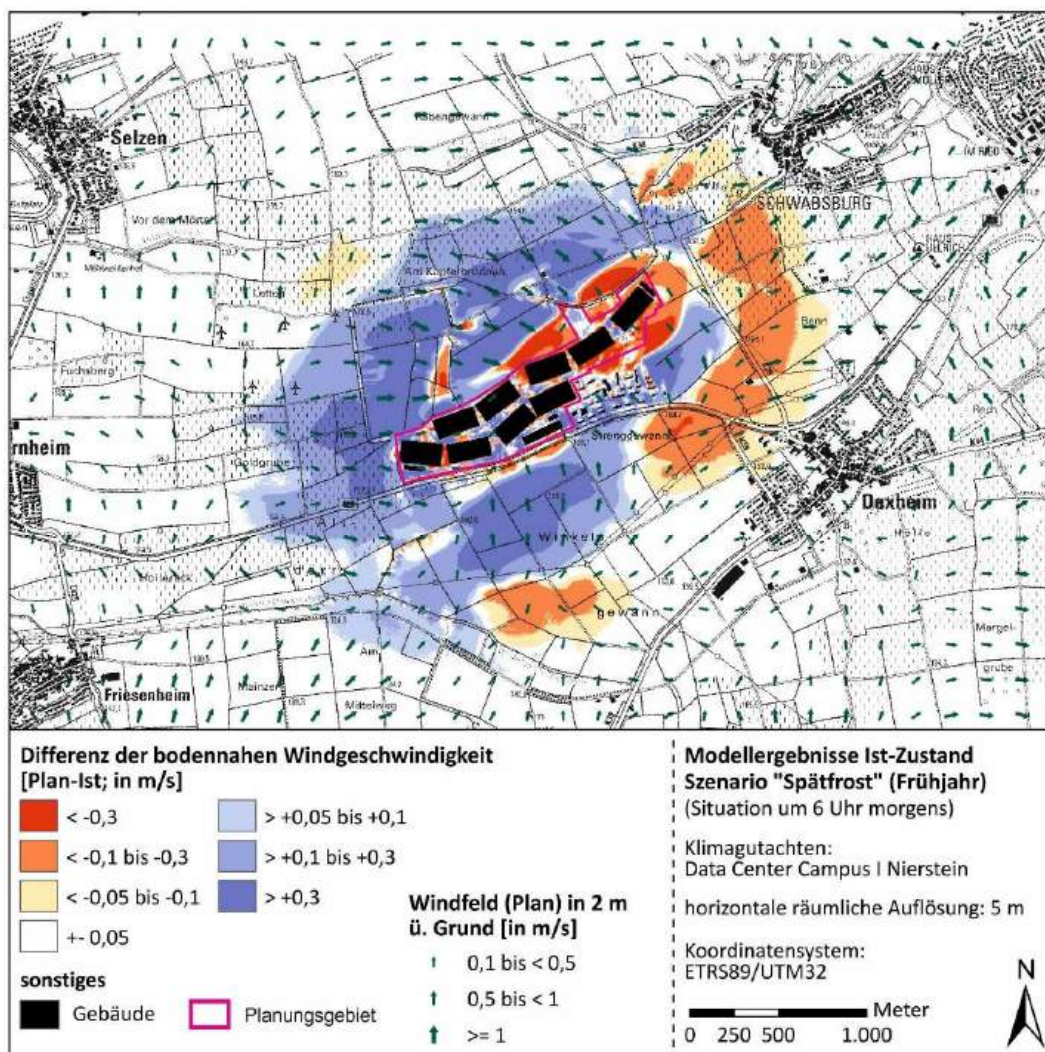


Abbildung 67 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Kaltluftfließgeschwindigkeiten 2 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die für den **Ist-Zustand** berechnete bodennahe ($z = 1.0 \text{ m ü.G.}$) Lufttemperatur ist in der **Abbildung 68** gezeigt. Bei Lufttemperaturen unter 0°C (1 m ü.G.) ist in der Regel mit dem Einsetzen einer Spätfrostgefährdung zu rechnen.

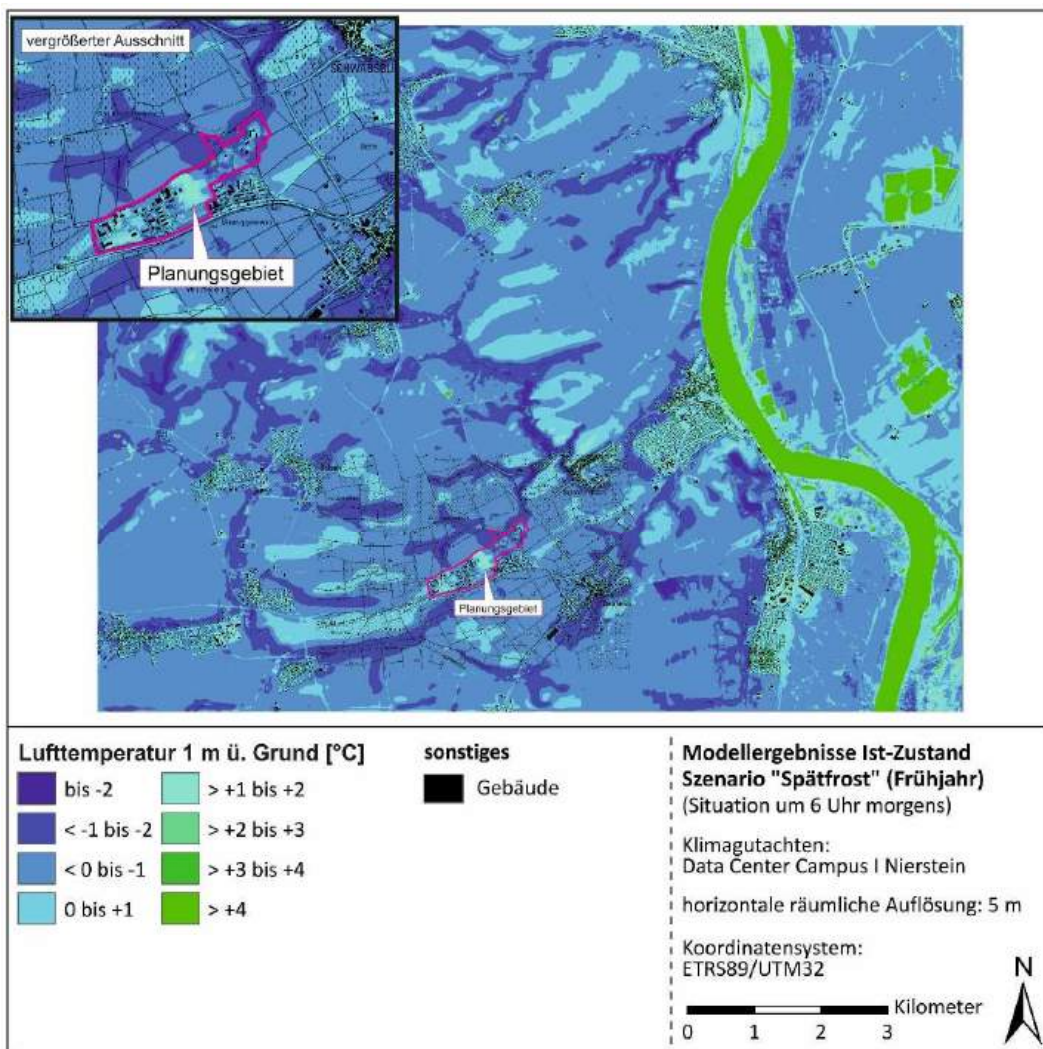


Abbildung 68 Ist-Zustand – Spätfrostsituation. Lufttemperatur 1 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die berechneten Lufttemperaturen zeigen für die hier zugrunde gelegten Rahmenbedingungen für eine autochthone Wetterlage eine Bandbreite von etwa -2°C bis $+4^\circ\text{C}$. Als wärmste Gebiete treten die Wasserflächen hervor, für die eine Wasseroberflächentemperatur von 10°C angenommen wird. Auch vergleichsweise intensiv durchlüftete Geländelagen, versiegelte Verkehrsflächen und die Siedlungsgebiete sind in den Nachtstunden etwas wärmer als die Vegetationsflächen in Hangfuß- und Tallagen. Hier werden nächtliche Minimumtemperaturen von typischerweise über $0 - 3^\circ\text{C}$ simuliert.

Die bodennahe Temperatur nimmt in der Regel mit der Höhe ab. An den ostexponierten Bereichen des Roten Hangs erkennt man aber, dass die Lufttemperatur höher im oberen Hangbereich höher ist als am Hangfuß. Dieses Phänomen ist als „warme Hangzone“ in der Agrarmeteorologie bekannt und kann von dem hier verwendeten numerischen Simulationsmodell berechnet werden.

Die während der Nachtstunden abgekühlten bodennahen Luftmassen fließen von den geneigten Hängen in Richtung zu den tiefer gelegenen Geländeteilen, wo intensive Abkühlung stattfindet und die Spätfrostgefährdung entsprechend hoch ist. Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass im Planungsumfeld insbesondere der Hundgraben und der Dalheimer Flutgraben südlich der B 420 von einer vermehrten Spätfrostgefährdung betroffen sind.

Nördlich des Planungsgebiets sind der Engelsklauergraben und Langer Graben vermehrt spätfrostgefährdet. Ebenso ist am Westrand der Ortslage Schwabsburg und am Hangfuß Roter Hang eine vermehrte Neigung zu Spätfrost gegeben.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt eine hohe Übereinstimmung mit der Spätfrostgefährdungskarte des Landes Rheinland-Pfalz (siehe **Abbildung 21**)

Die gleichen Berechnungen wurden auch für den **Plan-Zustand (Abbildungen 69 und 70)** mit Berücksichtigung des geplanten Rechenzentrums inkl. Rückkühler durchgeführt. Da sich die simulierten Veränderungen beim Lufttemperaturfeld nur auf die unmittelbare Umgebung des Plangebietes beschränken und von ihrer Ausprägung her nur relativ schwach sind, werden die Ergebnisse in Form von Differenzkarten nur für einen reduzierten Ausschnitt des Modellgebiets gezeigt.

Aus den systematischen Strömungsmodifikationen resultieren ebenfalls systematische Veränderungen im Lufttemperaturfeld im Umfeld des Planungsgebiets. Durch die planungsbedingt vermehrt turbulente Durchmischung der bodennahen Lufttemperaturschichten ist im Planungsumfeld gegenüber dem Ist-Zustand mit einem leichten Lufttemperaturanstieg zu rechnen. Hierdurch wird die Häufigkeit von Spätfrostereignissen reduziert. So nimmt bspw. im Bereich des Elbersbergs und im Unteren Naßgewann die Lufttemperatur um ca. 0.1 – 0.5 K zu.

Dem steht unmittelbar westlich des Planungsgebiets und in einem schmalen Streifen südlich der B 420 in Weinbaulagen eine planungsbedingte Lufttemperaturabnahme um ca. 0.1 -1.0 K gegenüber.

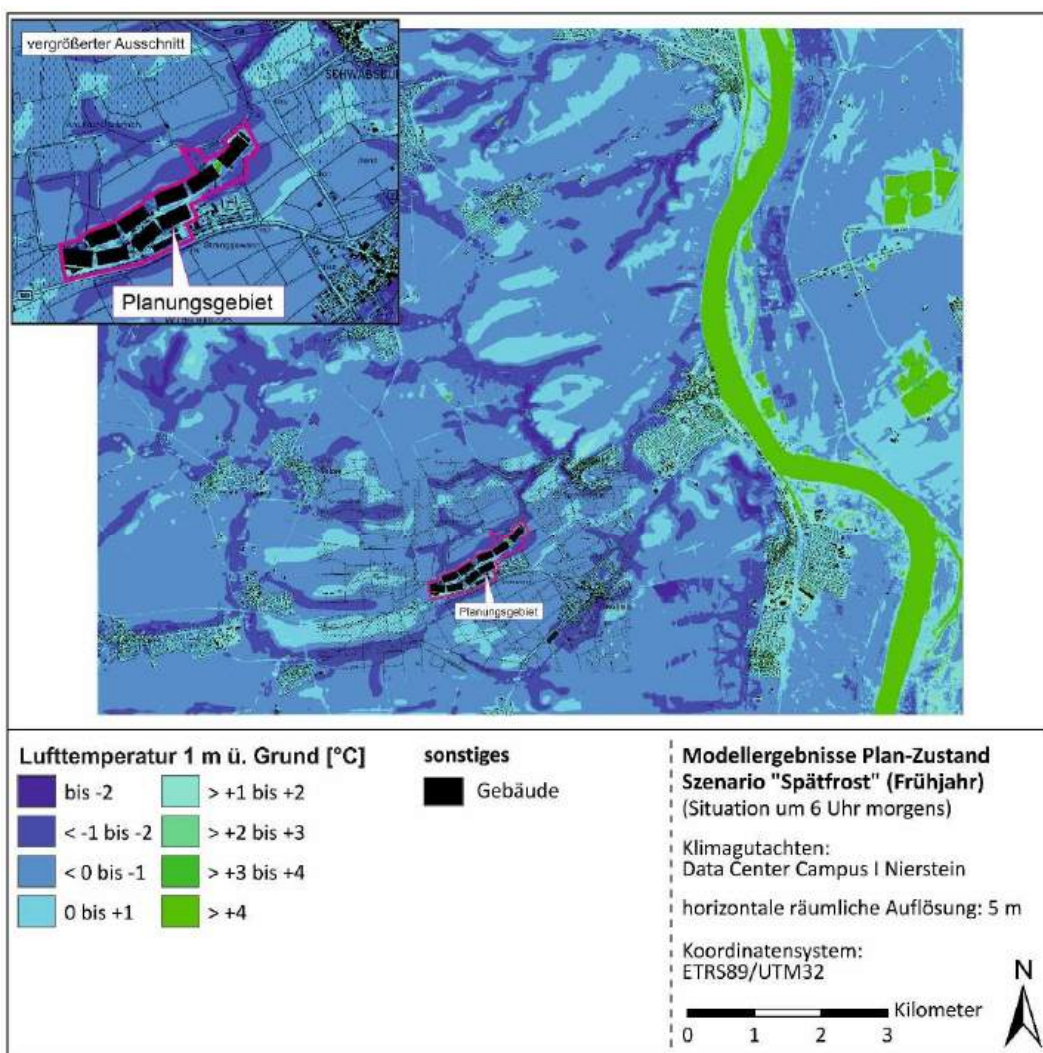


Abbildung 69 Plan-Zustand – Spätfrostsituation. Lufttemperatur 1 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

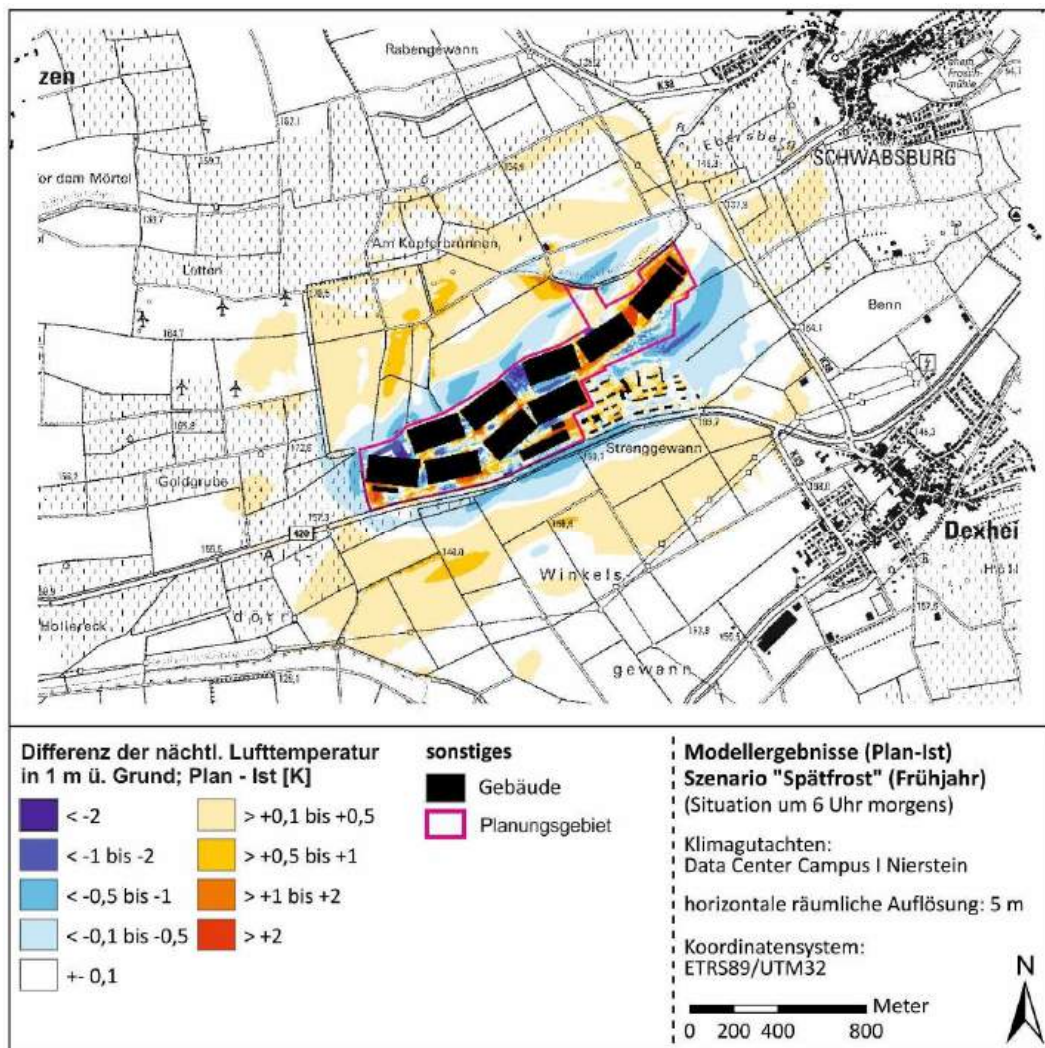


Abbildung 70 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 1 m ü.G. in einer windschwachen Strahlungsnacht Anfang April (06:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die simulierten Temperaturänderungen können mit Hilfe der in **Tabelle 4** angegebenen Tage für die Unterschreitung von Schwellenwerten für die nächtliche Minimumtemperatur in eine Veränderung bei der Häufigkeit des Auftretens von Frösten umgerechnet werden. Dabei werden die aus den Beobachtungen an den Stationen Nierstein und Dienheim abgeleiteten Häufigkeiten für eine Auswertung verwendet, um die Bandbreite der möglichen Veränderungen abzubilden. Es ist davon auszugehen, dass der Mittelwert, bezogen auf die Stationen Nierstein und Dienheim, als näherungsweise repräsentativ für die Situation im direkten Planungsumfeld anzusehen ist.

Als Schwellenwert für die Auswertungen wird eine Minimumtemperatur von 0,0°C (1 m ü.G.) betrachtet, die in den Monaten April/Mai entsprechend den Beobachtungen an den Stationen Nierstein und Dienheim 2.5/0 Tagen/10 Jahre bzw. 3.9/0 Tagen/10 Jahre erreicht wird.

Bei einer Zunahme der Lufttemperatur um 0,1 – 0,5 K ist entsprechend dem nachfolgenden Ausschnitt aus der Tabelle 4 ist im Bereich des Elbersbergs und im Unteren Naßgewann mit einer Reduktion der Häufigkeit von Spätfrostereignisse von ca. 0,1 bis 0,9 Tagen/10 Jahre bzw. von ca. 0,1 – 1,0 Tagen/10 Jahre zu rechnen.

Temperatur	Nierstein		Dienheim	
T _{min} °C (1m)	April	Mai	April	Mai
	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre	Tage/10 Jahre
0,0	2,5	0	3,9	0
-0,1	2,4	0	3,9	0
-0,2	2,4	0	3,6	0
-0,3	2,4	0	3,4	0
-0,4	2,3	0	3,2	0
-0,5	1,9	0	3,0	0
-0,6	1,8	0	2,8	0
-0,7	1,3	0	2,6	0
-0,8	1,1	0	2,3	0
-0,9	1,1	0	2,1	0
-1,0	1,0	0	2,0	0
-1,1	1,0	0	1,9	0
-1,2	1,0	0	1,8	0
-1,3	1,0	0	1,8	0
-1,4	0,9	0	1,8	0
-1,5	0,9	0	1,8	0

Tabelle 10: Ausschnitt aus der Tabelle 4 mit Kenntlichmachung der reduzierten Anzahl der Tage mit Spätfrost/10 Jahre bei einer berechneten Zunahme der Lufttemperatur um 0,1 – 0,5 K

Unmittelbar westlich des Planungsgebiet und in einem schmalen Streifen südlich der B 420 sind in Weinbaulagen hingegen planungsbedingte Lufttemperaturabnahmen um ca. 0,1 – 1,0 K zu bilanzieren. Entsprechend der **Tabellen 4 / 10** ist in diesen Bereichen mit einem leichten Anstieg der Spätfrosthäufigkeit bis ca. 1,0 Tage/10 Jahre zu rechnen. Die Bereiche mit zusätzlicher planungsbedingter Spätfrostgefahr sind in **Abbildung 71** kenntlich gemacht.

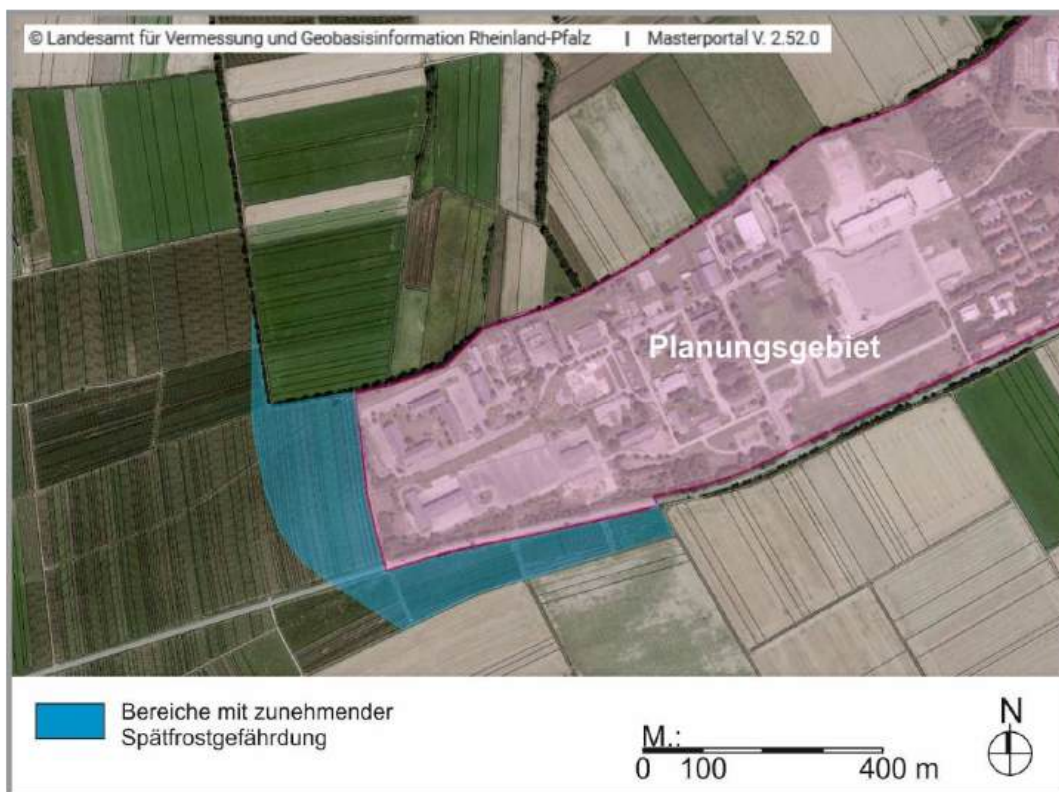


Abbildung 71 Bereiche mit planungsbedingter Zunahme der Spätfrosthäufigkeit in Rebanlagen um max. 1.0 Tage/10 Jahre. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die Spätfrostgefahr bei Weinreben kann nicht nur durch eine planungsbedingte Abnahme der morgendlichen Minimumtemperaturen erfolgen, sondern auch durch eine planungsbedingte Lufttemperaturzunahme am Tag.

Durch eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur im Planungsumfeld kann es zu einem früheren Austrieb bei den Reben kommen. Als Austrieb wird das Aufbrechen der Knospen (Augen, BBCH-Code 9 – siehe **Tabelle 2**) bezeichnet, die beim winterlichen Rebschnitt stehengeblieben sind. Sie öffnen sich und lassen kleine, grüne Blättchen austreten, die rasch wachsen und sich entfalten. Das geschieht, wenn die Durchschnittstemperatur auf acht bis zehn Grad Celsius klettert. Einige Sorten treiben etwas eher, andere etwas später aus [HOPPMANN 2010].

Fällt der Austrieb damit in den März, kann durch die in diesem Monat deutlich höhere Spätfrostgefahr eine vermehrte Schädigung der Rebkulturen eintreten. So zeigen Messdaten an der agrarmeteorologischen Messstation Dienheim, dass im März 2022 10 Frosttage auftraten und im April nur 4 Frosttage zu verzeichnen waren.

Auch im 2023 wurden im März gegenüber dem Monat April 7 Frosttage mehr gemessen (Datenquelle: <https://www.dlr.rlp.de>).

Abbildung 72 dokumentiert, dass sich im Frühling bei windschwachen Strahlungswetterlagen die Flächen des geplanten Rechenzentrums durch die gebäudebedingten Schattenwürfe gegenüber dem Ist-Zustand langsamer erwärmen, so dass auch bei Berücksichtigung der Warmluftemissionen aus den Rückkühlern im Bereich der benachbarten Rebanlagen keine Lufttemperaturzunahmen zu bestimmen sind.

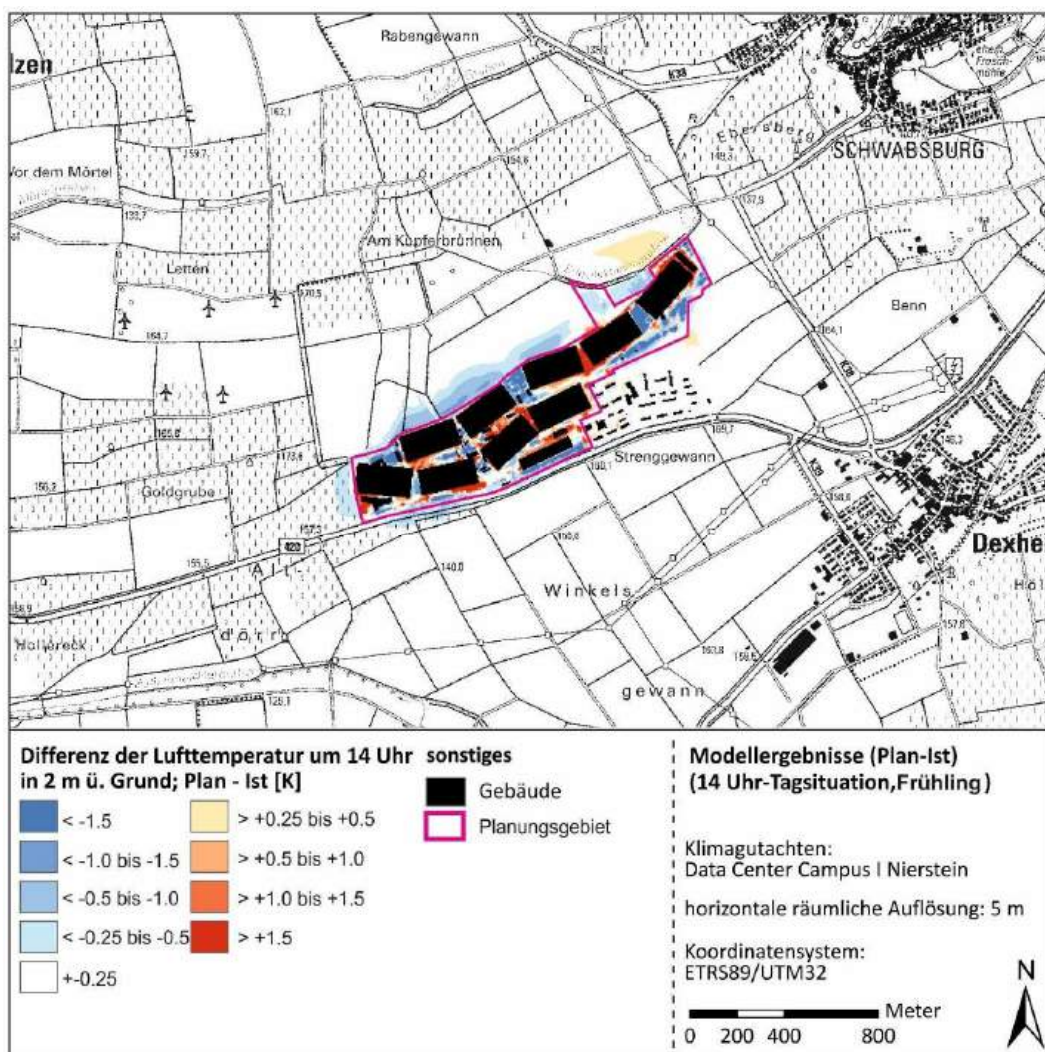


Abbildung 72 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 2 m ü.G. an einem windschwachen Strahlungstag Anfang April (14:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Auch bei vermehrt windigen Wetterlagen (z.B. Wind mit 3 m/s aus Westsüdwesten, **Abbildung 73**), die gehäuft mit Winden aus südwestlichen bis westlichen Richtungen verknüpft sind, unterliegen die angrenzenden Rebflächen keiner nennenswerten Lufttemperaturzunahme. Vorherrschende Winde aus nordöstlichen Richtungen sind zu dieser Jahreszeit meist mit kühlem Wetter verbunden so dass mögliche planungsbedingte Lufttemperaturzunahmen in Richtung Westen von eher untergeordneter Bedeutung für den Frühaustrieb der Reben sind. Eine geringfügige Verschiebung des Austriebs kann aber nicht völlig ausgeschlossen werden. Räumlich betrifft dies ungefähr die Flächen mit prognostizierter erhöhter Spätfrostgefährdung (siehe **Abbildung 71**).

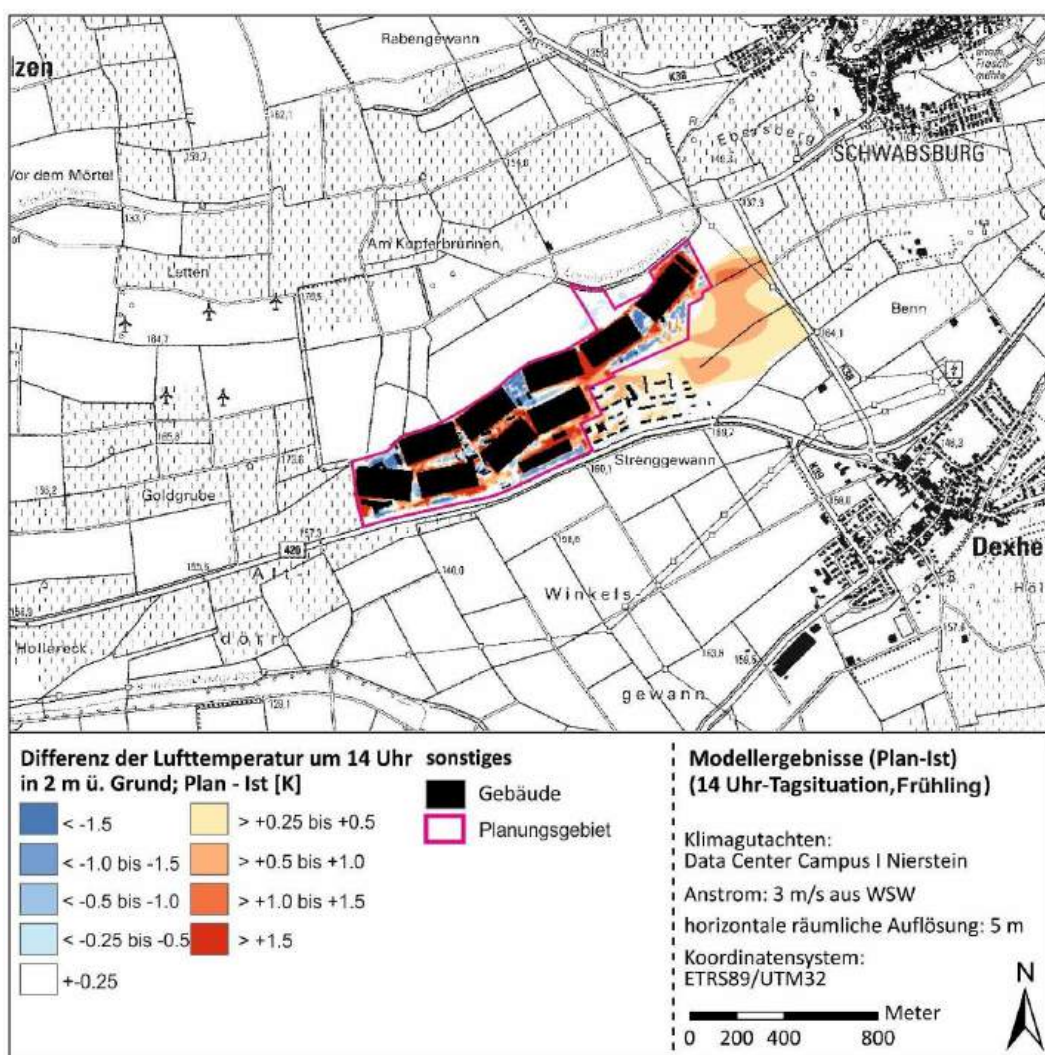


Abbildung 73 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Modifikation der bodennahen Lufttemperaturen 2 m ü.G. an einem windigen Strahlungstag Anfang April (14:00 Uhr). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

7 Einfluss der geplanten Bebauung auf das Sonnenbrandrisiko bei Weinreben

Nach HOPPMANN (2010) hat das Sonnenbrandrisiko für Beeren im Weinbau durch den Klimawandel deutlich zugenommen. Ein Beispiel für Sonnenbrand erläutern FOX & LVWO WEINSBERG anhand der Tage 14.07 und 15.07 im Jahr 2007. In diesem Zeitraum sind nach FOX & LVWO WEINSBERG Sonnenbrandschäden „in bisher nicht gekanntem Ausmaß“ durch einen kurzfristigen Wetterumschwung von strahlungsarmen kühl-feuchten, zu strahlungsreichen heiß-trockenen Tagen aufgetreten. Sie kommen zu dem Schluss, dass die frei hängenden Beeren durch die kühl-feuchte Witterung nur schwach abgehärtet wurden und dadurch vulnerabel gegenüber der daraufhin stark eintretenden UV-Strahlung waren. Die extrem niedrige Luftfeuchte nach dem Witterungsumschwung führte zu einem starken Wasserdampfsättigungsdefizit, sodass den Beeren das Wasser entzogen wurde (Verdunstungssog). Dieser Effekt wurde durch die zugleich hohen Lufttemperaturen verstärkt, da die Wachsschicht auf den Trauben (Kutikula), welche diese vor Wasserverlust schützt, bei hohen Temperaturen (je nach Art zwischen 32 und 39°C) ihre Struktur verändert und durchlässiger für Wasserdampf wird. Folge waren z. T. die Totschädigungen ganzer Beeren durch irreversiblen Wasserverlust. An anderer Stelle kam es nur zu Teilschäden an besonders belichteten Beerenteilen. Es kann daher festgehalten werden, dass den Parametern Temperatur und Luftfeuchte eine übergeordnete Rolle im Kontext des Sonnenbrandrisikos im Weinbau zuteilwird. Im beschriebenen Beispiel von 2007 waren die Schäden auf Flächen mit direkter, nahezu senkrechter Sonneneinstrahlung zu den Zeilen am größten. Dort wurden Ertragsminderungen bis zu 30 % festgestellt. Demnach hat auch die Exposition der Zeilen Auswirkungen auf die Vulnerabilität gegenüber Sonnenbrandschäden.

Beim Vergleich des Wärmeeintrags infolge der Rechenzentren mit der natürlichen Sonneneinstrahlung ist nicht nur der Betrag zu beachten, sondern auch der Freisetzungsort. Sonnenenergie, die in bebauten Bereich einstrahlt, heizt dort die Bodenober- und Dachflächen auf. Die eingestrahelte Wärmemenge führt direkt zur Aufheizung des Lebensraums (2 m ü.G.). Die von den Rechenzentren freigesetzte Wärmemenge der Rückkühler steigt dagegen durch den mechanischen Vertikallimpuls in größere Höhen auf und kommt dann erst in stark verdünnter Form in einiger Entfernung am Boden an. Insofern führt ein gegebener Wärmeeintrag infolge der Wärmemissionen über die Rückkühler zu deutlich geringeren Temperaturerhöhungen am Boden als ein gegebener Wärmeeintrag infolge Sonneneinstrahlung. Voraussetzung ist, dass die Warmluftfahnen durch gebäudebedingte Strömungseffekte nicht in Richtung Boden abgelenkt werden. Dies kann anhand der Modellrechnungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Die planungsbedingte Veränderung der Sonnenbrandgefahr im Bereich der zum Planungsgebiet benachbarten Rebanlagen kann für Schwachwindsituationen näherungsweise durch die Berechnungen zum Bioklima (PET) bewertet werden. Die physiologische Äquivalenttemperatur bündelt die Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind und Strahlungstemperaturen, die allesamt Einfluss auf die Sonnenbrandgefahr haben.

Wie **Abbildung 59** dokumentiert, ist an schwachwindigen heißen Sommertagen im Bereich der benachbarten Rebflächen mit keiner signifikanten Zunahme der Wärmebelastung zu rechnen. Im Planungsgebiet wirkt der Schattenwurf der Rechenzentren einer vermehrten Aufheizung entgegen, wodurch auch kein relevanter Warmlufttransport in die Umgebungsflächen mit Rebanlagen erfolgt. Gleiches gilt bei Berücksichtigung der Abluftkamine und Windenergieanlagen.

In den **Abbildungen 74 – 78** sind die Ergebnisse für ergänzenden Modellrechnungen zum sommerlichen Lufttemperaturfeld (14:00 Uhr) für den Plan-Zustand (mit wärmeemittierenden Rückkühlern) im Vergleich zu den Plan-Zuständen mit Abluftkaminen und mit ergänzenden Windenergieanlagen aufgezeigt. Sie zeigen, dass die Wärmeemissionen über die Abluftkamine im betrachteten Regelbetrieb (neun Abluftkamine im Betrieb) in den benachbarten Weinbaulagen zu keinen Lufttemperaturmodifikationen führen. Eine planungsbedingte Zunahme der Sonnenbrandgefahr in Richtung Schwabsburg / Roter Hang kann damit ausgeschlossen werden. Auch bei ergänzender Berücksichtigung der Windfeldveränderungen durch die Windenergieanlagen im Planungsumfeld, ist eine zunehmende Sonnenbrandgefahr für Reben durch die geplanten Rechenzentren nicht zu bestimmen.

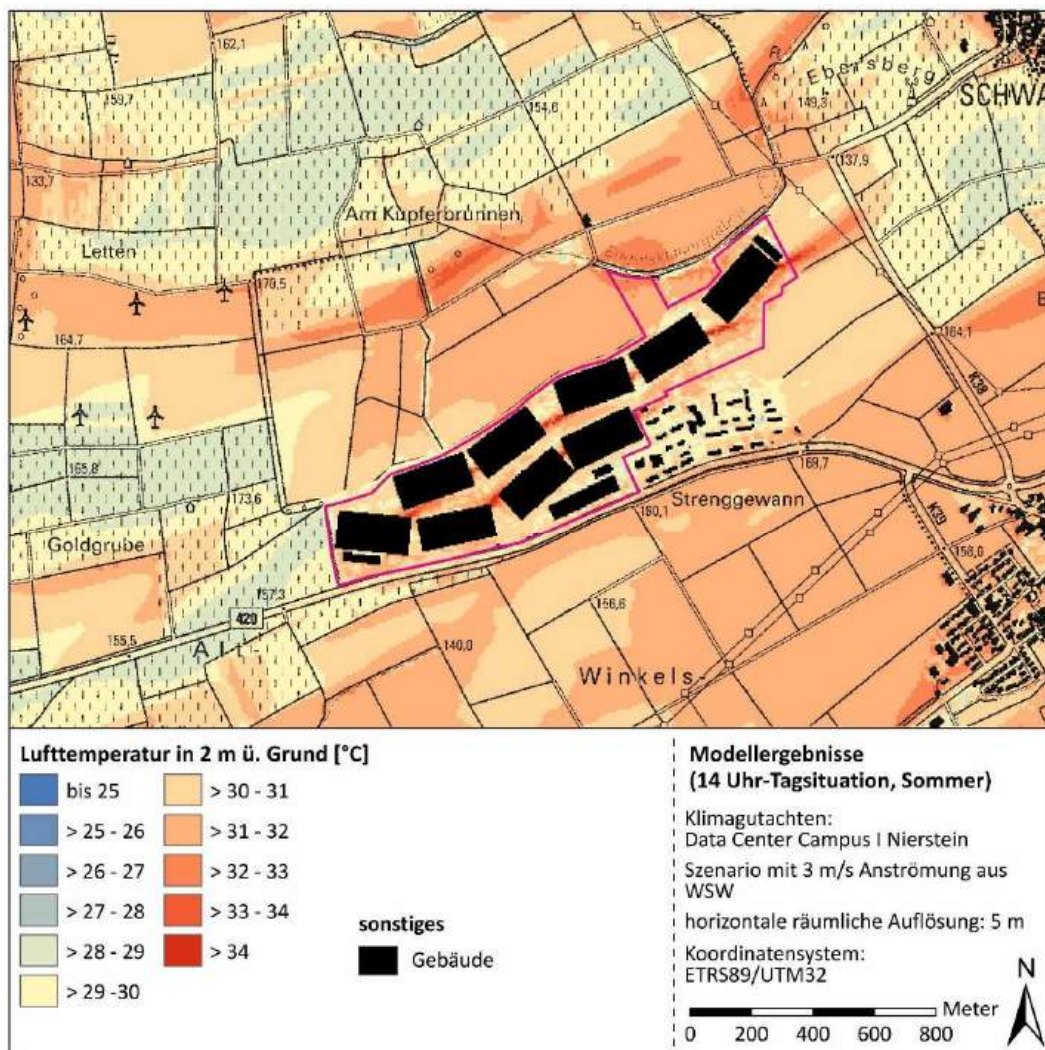


Abbildung 74: Plan-Zustand. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

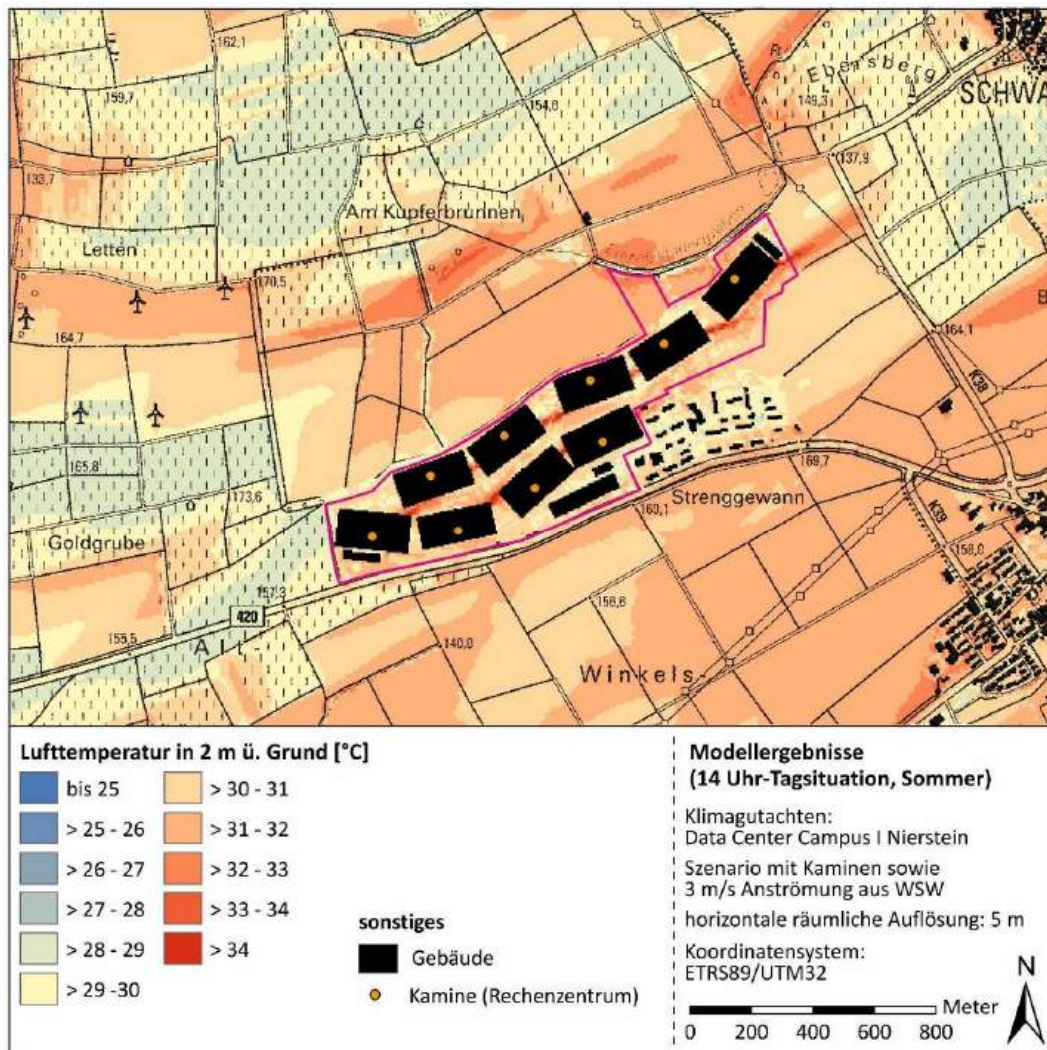


Abbildung 75: Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

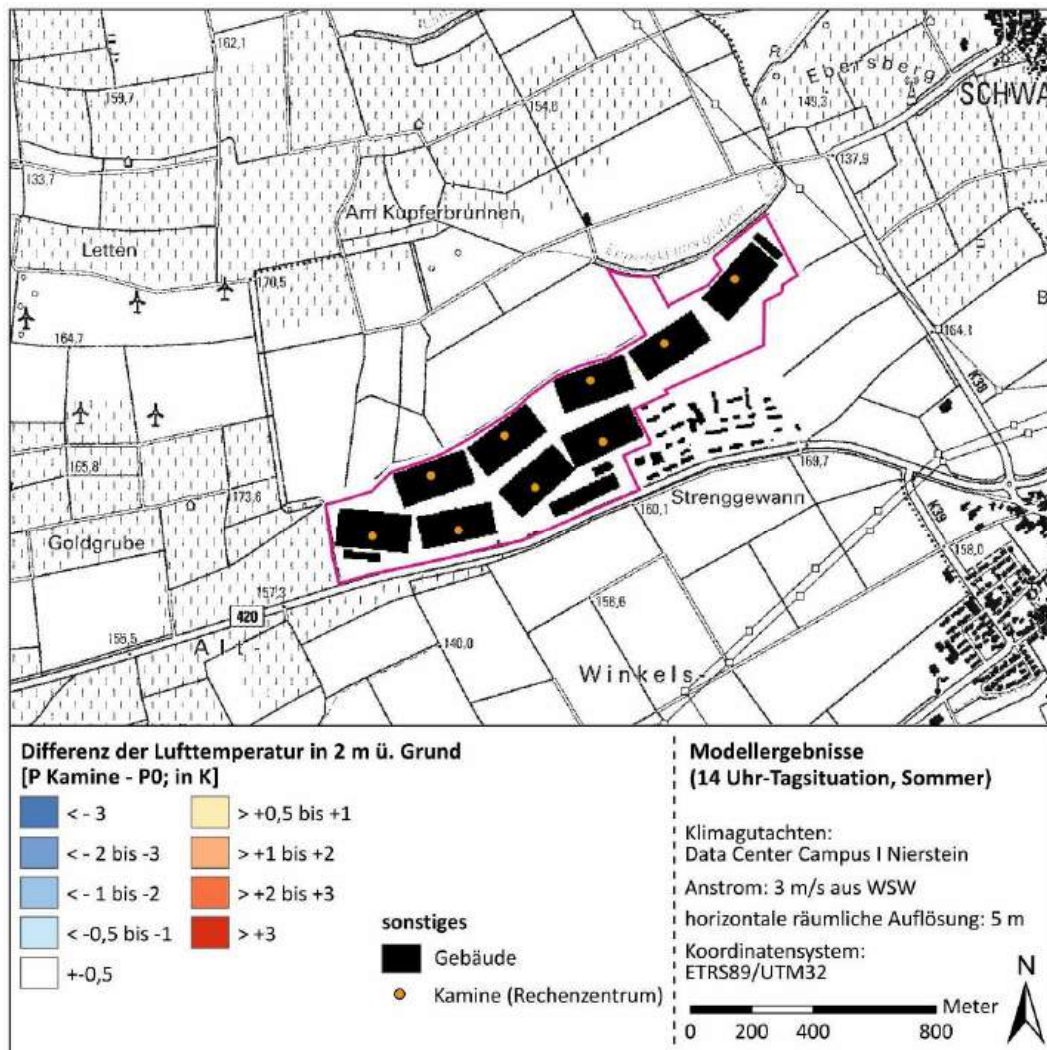


Abbildung 76: Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

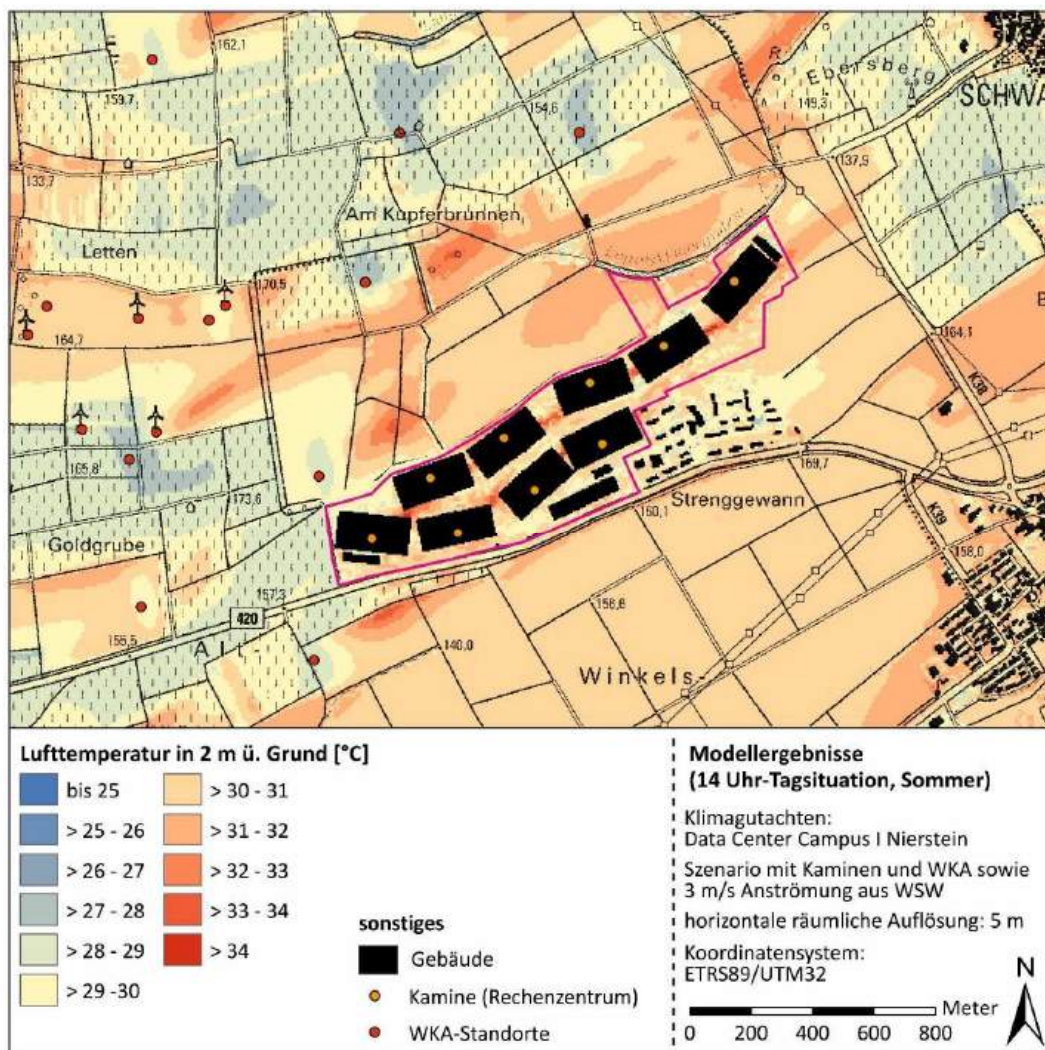


Abbildung 77: Plan-Zustand mit Betrieb von Abluftkaminen und Windenergieanlagen. Lufttemperatur (2 m ü.G.) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

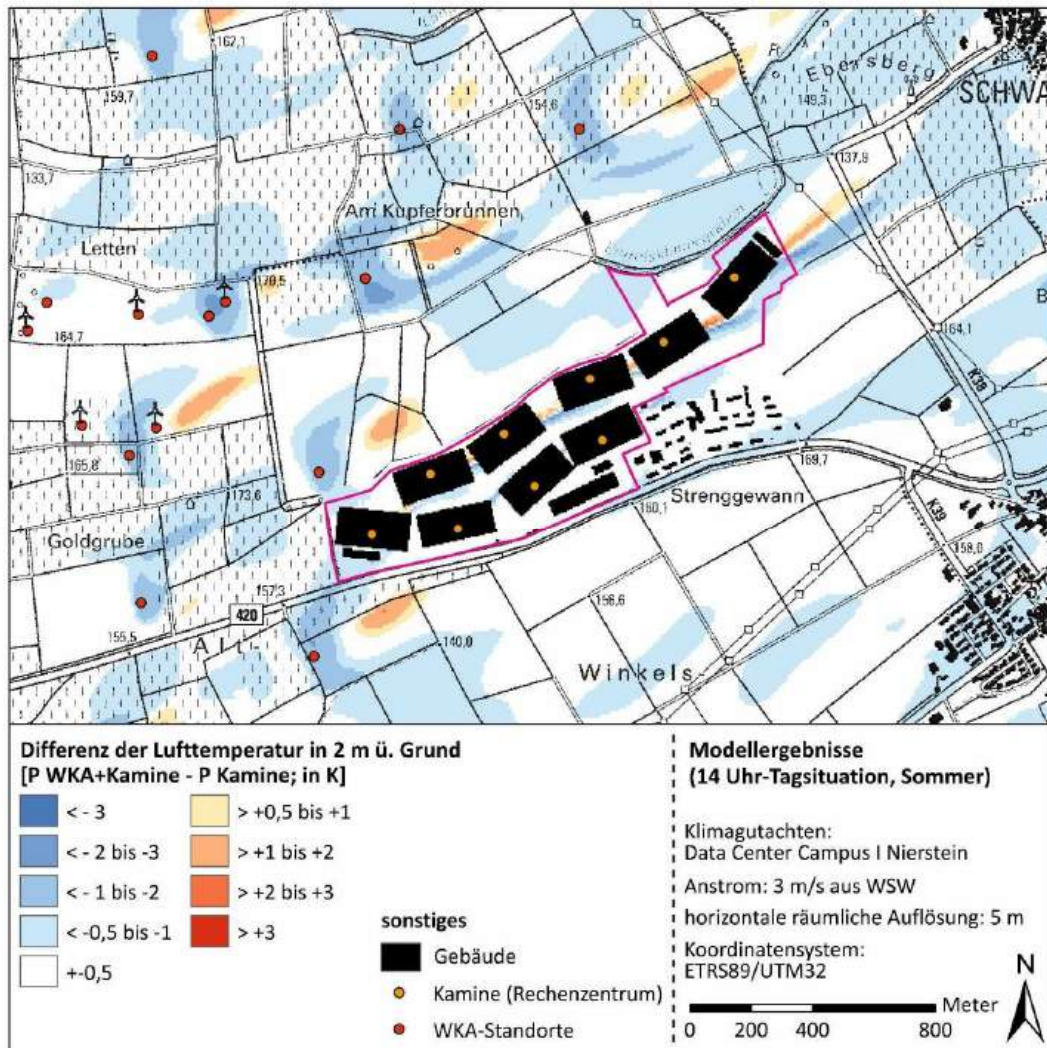


Abbildung 78: Vorher-Nachher-Vergleich. Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch die Wärmeemissionen der Abluftkamine und den Betrieb der Windenergieanlagen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld an einem sommerlichen Strahlungstag (14:00 Uhr) mit WSW-Windanströmung (3.0 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.). Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Bestimmen kräftige Winde (z.B. 3 m/s) das ortsspezifische Strömungsgeschehen, ist bei vorherrschenden Winden aus östlichen Richtungssektoren eine geringfügige Lufttemperaturerhöhung (ca. 1.0 – 2.0 K) und damit eine Zunahme der Sonnenbrandgefahr in den unmittelbar westlich an das Planungsgebiet angrenzenden Rebflächen nicht vollständig auszuschließen. Die Lufttemperaturerhöhung ist dabei nicht auf die Warmluftemissionen der Rückkühler bzw. der Abluftkamine zurückzuführen, sondern auf das im Plan-Zustand vergrößerte wärmeabstrahlende Bauvolumen und die versiegelten Erschließungsflächen.

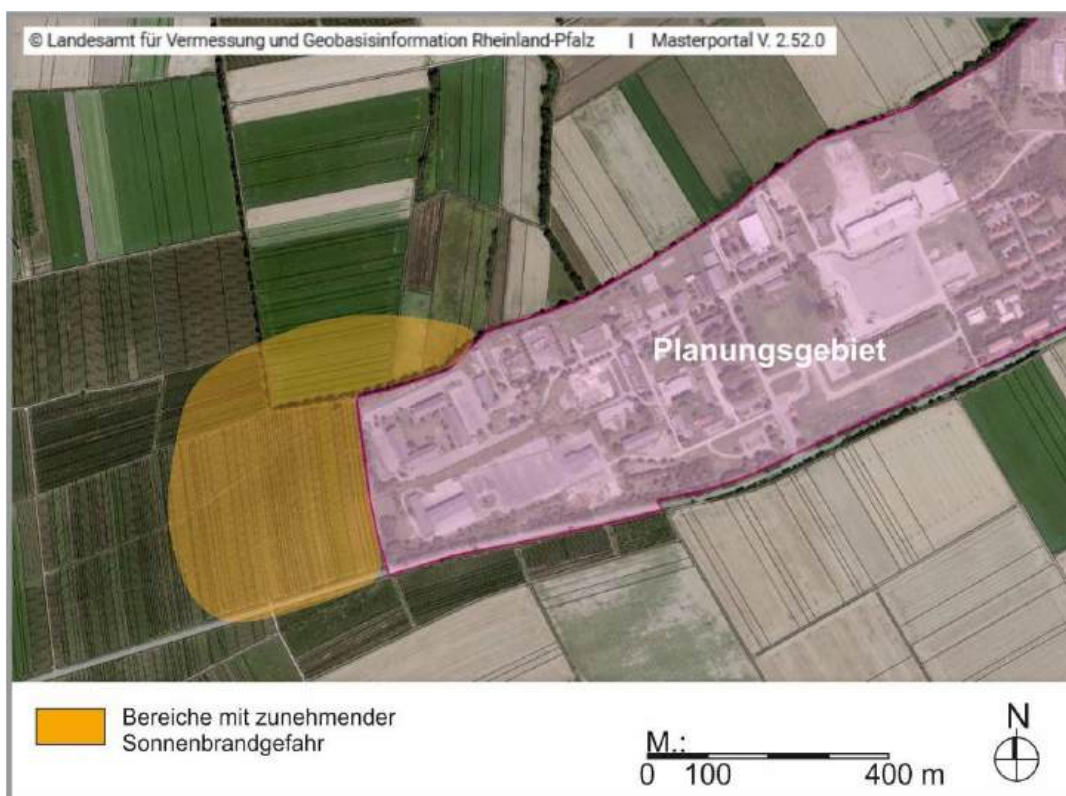


Abbildung 79 Bereiche mit potenzieller planungsbedingter Zunahme der Sonnenbrandgefahr an heißen Sommertagen. Grundkarte: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Bezogen auf das Jahr 2022, mit einer deutlichen Häufung von heißen Sommertagen mit Temperaturmaxima von mindestens 30°C (29 Tage an der DWD Station Frankfurt-Flughafen und 34 heiße Tage an der agrarmeteorologischen Klimamessstation Nierstein), sind zu ca. 36% der Stunden Winde aus östlichen Richtungssektoren zu erwarten (Daten der Station Frankfurt-Flughafen). Winde aus westlichen Richtungssektoren bestimmen in diesen Situationen zu ca. 43% der Stunden das Strömungsgeschehen.

Da die Sonnenbrandgefahr bei Weinreben, wie bereits o.a., aber nicht alleine auf hohe Lufttemperaturen zurückzuführen ist, sondern es zumeist noch einen deutlichen Witterungsumschwung bedarf (kühle Witterung → warme Witterung), ist eine prozentuale Abschätzung der planungsbedingten Zunahme von Sonnenbrand-schäden kaum möglich.

8 Schwadenbildung / Wolkenauflösung

Wie in Kap. 3 bereits angeführt, sind auf den Dachflächen der einzelnen Rechenzentren ca. 60 Rückkühler platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen.

Die Rückkühler 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 Abluftfahne 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 Abluftfahne in horizontaler Richtung aus. Während dieses Prozesses vermischt sich die Fahnenluft mit der Umgebungsluft und nimmt immer mehr den physikalischen Zustand (Wärmeinhalt, Feuchtegehalt und Geschwindigkeit) der Umgebungsluft an. Wird durch die Vertikalbewegung und die damit verbundene Abkühlung das Kondensationsniveau erreicht, so bildet sich Flüssigwasser in der Abluftfahne, die damit sichtbar wird.

Ergebnisse von umfangreichen Modellrechnungen durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (1992) für Luftkondensatoren, die mit ihrer Abluftfahne näherungsweise mit derjenigen von Rückkühlern vergleichbar sind zeigen, dass es erst ab einer Abwärmeleistung von 600 MW in allen Jahreszeiten zu Schwadenbildungen kommen kann. Dieser Wert wird von Rechenzentrum-Gebäuden mit 54-MW nicht erreicht. Dabei ist laut Auftraggeber eine PUE-Wert¹⁵ von höchstens 1.5 anzunehmen.

¹⁵ Der PUE-Wert (Power Usage Effectiveness) setzt den Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums ins Verhältnis zur benötigten Energie für den eigentlichen IT-Betrieb. Ein niedrigerer PUE-Wert bedeutet demnach eine höhere Energieeffizienz, da weniger Energie für Kühlung und Stromversorgung und andere Infrastrukturen Verwendung finden. Bei einem Wert von 1.0 wird die gesamte verfügbare Energie ausschließlich für IT-Zwecke genutzt. Ein PUE-Wert von 1.2 wird als äußerst effizient bewertet. D.h. 20% der eingesetzten Energie werden für Kühlung und Stromversorgung genutzt. Konventionelle Rechenzentren weisen einen PUE-Wert bis ca. 1.9 auf. Laut dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG) von 2023 müssen neuen Rechenzentren, die ab Juli 2026 in Betrieb gehen am Juli 2030 im laufenden Betrieb einen PUE-Wert von 1.3 nachweisen. Später in Betrieb gesetzte Rechenzentren müssen sogar einen PUE-Wert von ≤ 1.2 nachweisen (nach <https://kka-online.de>, Kälte Klima Aktuell).

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, so dass im Tagesverlauf nur einzelne Kamine in Betrieb sind. Da kein Wasserdampf emittiert wird, zerreißen die Abgasfahnen schon nach kurzer Entfernung zum Austrittsort in einzelnen Schwadenfetzen, so dass keine relevante Schattenbildung am Boden auftritt.

Aus pflanzenphysiologischer Sicht ist zudem zu beachten, dass nicht allein die direkte Sonneneinstrahlung, sondern die Gesamtheit der kurzwelligen Einstrahlung, die sich aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen von der gesamten Himmelsfläche kommenden kurzwelligen Strahlung zusammensetzt, von Bedeutung ist. Die Verminderung der direkten Sonnenstrahlung durch Abluftschwaden aus den Kaminen wird zum Teil kompensiert durch eine Erhöhung der diffusen Strahlung, und zwar infolge von Reflexionen am weißen Schwadenrand (DEUTSCHER WETTERDIENST 1980). Man kann davon ausgehen, dass die Gesamtheit der kurzwelligen Einstrahlung durch die Kaminschwaden sich im Planungsumfeld nicht verändert.

Die Schwadenbildung hat damit keinen relevanten Einfluss auf die Entwicklung von Landwirtschaftskulturen / Weinreben.

Durch die Wärmeemissionen der Kamine (Temperaturen von ca. 455 – 500°C) ist aber 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.

Der Vertikalimpuls reicht bei einer Auslassgeschwindigkeit von ca. 39 m/s und nahezu Windstille bis ca. 480 m ü.G. Bei vorherrschenden Windgeschwindigkeiten von 4 m/s endet der Vertikalauftrieb bereits bei ca. 300 m ü. G. (siehe **Abbildung 80**).

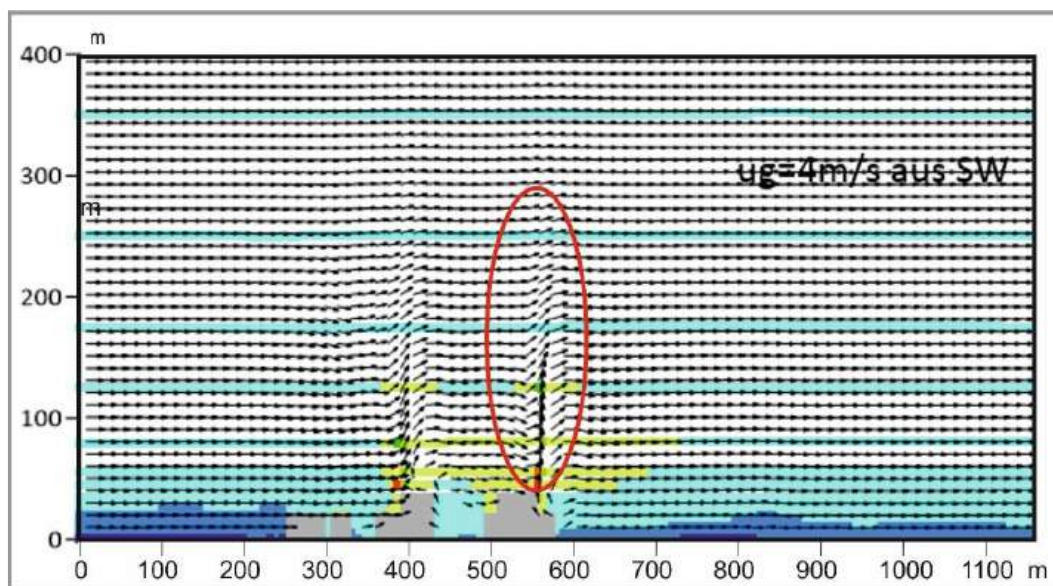


Abbildung 80 Beispielhaftes Vertikalprofil der Auftriebsströmung über Kaminen (keine Berücksichtigung des Reliefs).

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 mindesten 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 1** zeigt, sind auch bei Betrachtung 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 11: 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:
Alto cumulus, 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 der Rechenzentren 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 der Rechenzentren 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.

9 Zusammenfassung und Bewertung

In der Stadt Nierstein plant das Unternehmen NTT GLOBAL DATA CENTERS FRA6 CAMPUS GMBH auf dem überwiegenden Teil des Areals der ehemaligen „Anderson Barracks Dexheim“ einen großflächigen Campus für Rechenzentren.

Das ca. 55 ha große Planungsgebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ befindet sich im Osten des Landschaftsraums rheinhessisches Tafel- und Hügelland und ist in eine Agrar- und Weinbaulandschaft eingebettet.

Die Entfernung des Planungsgebiets zur nächstgelegenen Siedlungslage Dexheim beträgt ca. 800 m. Das Stadtgebiet von Nierstein befindet sich mit seinem Stadtteil Schwabsburg in einer nordöstlichen Entfernung von ca. 780 m. Die Abstände des Planungsgebiets zu den Ortslagen Friesenheim und Köngernheim im Südwesten bzw. Westen belaufen sich jeweils auf ca. 2.000 m.

Die Geländehöhen im Planungsumfeld bewegen sich zwischen ca. 208 m (Farrenberg östlich von Dexheim) und ca. 95 m ü. NHN (Schwabsburg).

Das Planungsgebiet nördlich der B 420 befindet sich in einer Höhenlage von ca. 173 m ü. NHN im Nordwesten und ca. 134 m ü. NHN im Nordosten. Entlang der B 420 steigt das Gelände von Südwesten nach Nordosten von ca. 156 m ü. NHN auf ca. 162 m ü. NHN an.

Im Südwesten fällt das Gelände in den Hundgraben bzw. Dalheimer Flutgraben ab. Im Nordosten schließt der Engelsklauergraben / Diebsklauergraben an das Planungsgebiet an. Beide Hangeinschnitte fungieren in Strahlungsnächten als lokale Kaltluftammel- bzw. Kaltluftabflussgebiete.

Im Planungsgebiet bestehen größtenteils noch Baustrukturen der ehemaligen US-Kaserne „Anderson Barracks“.

Der Regionale Raumordnungsplan Rheinhessen-Nahe 2014 weist das Planungsgebiet zum Großteil als Siedlungsfläche Industrie und Gewerbe aus.

Im nördlichen Teilgebiet befindet sich ein Areal, das als sonstige Freifläche festgesetzt ist. Das direkte Umfeld des Planungsgebietes ist als ein Vorranggebiet für die Landwirtschaft gekennzeichnet. Derartige Gebiete tragen zur nächtlichen Kaltluftbildung und zur Intensivierung der Gebietsdurchlüftung bei.

Der vorgelegte Masterplan zur Flächenentwicklung im Bebauungsplangebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ zeigt insgesamt neun Rechenzentrumsgebäude (Gebäude A – I).

Sie werden durch bauliche Nebenanlagen (u.a. Bürogebäude) ergänzt. Die max. Gebäudehöhen betragen 32 m.

Die Haupteerschließung des Gesamtgeländes, das teilweise mit Abstand zur Gebietsgrenze vollständig umzäunt ist, erfolgt im Bereich der heutigen Zufahrt an der B 420. Dort ist im Osten ein Umspannwerk geplant.

Die Haupteerschließung des Gesamtgeländes, das teilweise mit Abstand zur Gebietsgrenze vollständig umzäunt ist, erfolgt im Bereich der heutigen Zufahrt an der B 420. Dort ist östlich davon ein Umspannwerk geplant. Eine zweite Zufahrt an der B 420 ist östlich des Umspannwerks vorgesehen.

Die innere Erschließung der Rechenzentren erfolgt über eine Ringstraße mit einer ergänzenden Stichstraße nach Nordosten, wo zusätzlich eine Notzufahrt zur Erschließung des Geländes geplant wird. Jedes Rechenzentrum weist Stellplatzflächen auf, die mit Bäumen grünordnerisch gestaltet sind.

Im Norden reicht der Geltungsbereich des Planungsgebiets über das Kasernenareal hinaus. Auf einer ca. 1.5 ha großen Fläche soll ein Biotop (Schilfröhrichtfläche) entwickelt werden.

Zur grünordnerischen Einbindung des „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ in das Planungsumfeld sind neben einer zentralen Grünachse in Südwest-Nordost-Richtung zwischen den einzelnen Rechenzentren Grüninseln mit Gehölzstrukturen geplant. An den Gebietsrändern sind begrünte Retentionsflächen und mehrere Habitatflächen vorgesehen. Die derzeit dort vorhandene Vegetation soll weitestgehend erhalten werden.

Zwischen den Rechenzentrumsgebäuden F und I im Nordosten ist die Anlage eines Teichs vorgesehen.

Auf den Dachflächen der einzelnen Rechenzentren sind ca. 60 Rückkühler platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen.

Die Rückkühler sind ständig in Betrieb, um für einen störungsfreien und geregelten Betrieb des Rechenzentrums zu sorgen.

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. Der Luftaustrittsvolumenstrom beträgt in der Regel bei ca. 161 – 163 m³/s. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen (0°C) beläuft sich der Luftvolumenstrom allerdings nur auf ca. 32 m³/s.

Die Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist laut Angaben des Betreibers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar.

Neben den Rückkühlern weisen die Rechenzentren jeweils auch neun Abluftkamine auf. Diese sind an 37 Generatoren gekoppelt (insgesamt auf dem Campus $9 \times 37 = 333$ Generatoren). In jedem einzelnen Rechenzentrum werden die Abgase von jeweils vier bzw. fünf Generatoren zu einem Kamin gebündelt.

Die Kamine, die die Abgase von jeweils vier bzw. fünf Generatoren bündeln, haben eine Auslasshöhe von ca. 42 m. Über diese werden Abgase (Wärme ca. 455 – 500°C) der Notstromaggregate (Dieselgeneratoren) abgeführt. Die Austrittsgeschwindigkeit liegt bei ca. 39.2 m/s. Die einzelnen Notstromaggregate werden in der Regel ca. 1 x pro Monat zu Überprüfungs Zwecken am Tag (zwischen 07:00 und 20:00 Uhr) angeworfen. Im Gesamtgebiet sind in der Regel an einem Tag fünf Kamine für 1.5 Std. in Betrieb.

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

Im Rahmen der durchgeführten Klimamodellierungen wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios davon ausgegangen, dass im Jahresverlauf täglich in jedem einzelnen Rechenzentrum ein Kamin über den gesamten Tageszeitraum in Betrieb ist (= neun Kamine in der Gesamtsumme). In den Nachtstunden ist kein Betrieb der Kamine zur Prüfung der Notstromaggregate vorgesehen.

Der vom Büro STADT.QUARTIER vorgelegte Bebauungsplanentwurf „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ weist das Planungsgebiet als Sondergebiet (SO) aus. Für die Rechenzentren sind, entsprechend des Masterplans, neun Baufelder gekennzeichnet. In diesen Bereichen sind max. Gebäudehöhen von 21.0 m und 32.0 m. Für Nebengebäude und für die Fläche des Umspannwerks sind max. Gebäudehöhen von 16.0 m geplant. Die festgesetzten Höhen der Oberkanten dürfen durch Abluftkamine überschritten werden.

Im Rahmen des anstehenden Planungsprozesses sind die ortsspezifischen strömungsdynamischen und thermischen / bioklimatischen Verhältnisse vertiefend zu analysieren und die aus den vorgesehenen Planungen resultierenden Modifikationen zu beurteilen.

Zur klimaökologischen Bewertung des vorgelegten Planungsentwurfs erfolgt zunächst eine Beschreibung der lokalen Klimasituation und möglicher Klimawandelfolgen.

In weiteren Analyseschritten werden die planungsbedingten Veränderungen im Kaltluftprozessgeschehen, bei den thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen und bei den ortsspezifischen Belüftungsverhältnissen bilanziert. Untersuchungen zur Spätfrostgefährdung und möglichen Auswirkungen der Warmluftemissionen der Rechenzentren auf die örtlichen Wolkenbildung/Wolkenauflösung und die Niederschläge ergänzen das Gutachten.

Ergänzende Modellrechnungen zeigen die lokalklimatischen Verhältnisse bei Betrieb der Abluftkamine und bei Berücksichtigung der in der Nachbarschaft bestehenden/geplanten Windenergieanlagen auf.

Wie die mehrjährigen Winddaten (2011 – 2020) des Windrosenatlases Rheinland-Pfalz zeigen, herrschen im Planungsgebiet im Allgemeinen südsüdwestliche bis westsüdwestliche und nordnordöstliche bis ostnordöstliche Winde vor.

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt im Bereich des Planungsgebiets ca. 3.4 - 3.7 m/s, wodurch eine intensive Durchlüftung möglich ist. Innerhalb der Bebauung kann die mittlere Windgeschwindigkeit auf Werte von unter 2.0 m/s sinken, so dass dort von insgesamt geringer Durchlüftungsintensität auszugehen ist.

In den Nachtstunden setzen bei wolkenarmen Himmel über den Hang- und Tallagen des Planungsumfeldes lokale Kaltluftbewegungen ein (ca. 22% der Nächte/Jahr), die wesentlich zur Belüftung der benachbarten Ortslagen (z.B. Dexheim, Schwabsburg, Friesenheim) beitragen.

Die thermische Situation an warmen / heißen Sommertagen wird im Wesentlichen durch die örtlichen Oberflächentemperaturen bestimmt.

Wie Ergebnisse satellitengebundener Infrarotaufnahmen für die Sommermonate 2018 – 2023 dokumentieren, zeigen die Wiesen/Landwirtschaftsflächen im Planungsgebiet mit 33 - 36°C am Tag größtenteils ein mittleres Oberflächentemperaturniveau. Im Planungsgebiet werden im Bereich versiegelter Flächen vermehrt Temperaturen von 36 – 42°C ermittelt. In Bereichen mit Gehölzbeständen (z.B. Engelsklauergraben) sind mittlere Oberflächentemperaturen von ca. 30 – 33°C zu bestimmen. Die thermische Gunstwirkung schattenwerfender Gehölzflächen und unversiegelter Freiflächen wird damit offensichtlich.

Die Ergebnisse der durchgeführten Modellrechnungen zum Kaltluftprozessgeschehen dokumentieren, dass im Ist-Zustand im Planungsgebiet in zentraler und westlicher Gebietslage Kaltluftvolumenstromdichten von ca. 5 – 10 m³/(m·s) vorliegen. Diese nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2024 – Entwurf) nur mit einem geringen bis mäßigen Kaltluftdurchlüftungspotenzial verbunden.

Das zentrale und westliche Planungsteilgebiet ist damit für die kaltluftbedingte Belüftung der benachbarten Siedlungslagen (Schwabsburg / Friesenheim / Dexheim) nur von untergeordneter Bedeutung. Im östlichen bzw. nordöstlichen Planungsteilgebiet sind Kaltluftvolumenstromdichten von ca. $10 - 20 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ zu bilanzieren. Diese Werte weisen auf ein bislang gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial hin. Während im westlichen Planungsteilgebiet durch die kuppenartige Lage nur lokale Kaltluftmächtigkeiten von ca. 15 - 30 m zu erwarten sind, können im nordöstlichen Teilgebiet vertikale Mächtigkeiten bis knapp über 40 m auftreten.

Im Plan-Zustand ändert sich durch die geplanten neuen Baustrukturen das lokale Kaltluftprozessgeschehen. Aufgrund der angestrebten baulichen Verdichtung gehen innerhalb des Planungsgebiets Kaltluftproduktionsflächen verloren, wodurch die nächtlichen Kaltluftproduktionsraten sinken.

Zudem wirken die bis zu 32 m hohen Rechenzentren (inkl. Technikaufbauten) sowie die bis zu 16 m hohen Nebengebäude als zusätzliche Strömungsbarrieren. Die Windgeschwindigkeit wird daher in den unmittelbaren Lee-Lagen der geplanten Bebauung reduziert. Gleiches gilt für die Luv-Lagen. Die räumliche Erstreckung dieser Bereiche bleibt aber auf das unbebaute Freiraumgefüge im Umfeld des Planungsgebiets beschränkt. Da die Abluftkamine in der Regel nur in den Tagstunden in Betrieb genommen werden, spielen die davon ausgehenden Wärmeemissionen bei der Betrachtung des Kaltluftprozessgeschehens keine Rolle.

Die Modellergebnisse zum Kaltluftvolumenstrom belegen, dass in den Ortslagen Dexheim und Schwabsburg keine auffallenden planungsbedingten Abnahmen zu bilanzieren sind. Sie betragen deutlich weniger als 5%.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist bei stadt-/siedlungsklimatisch bedeutsamen Kaltluftströmungen eine Verringerung der Kaltluftvolumina oder der Kaltluftfließgeschwindigkeit von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als Eingriff mit lokalklimatisch nachteiligen Folgen (Zunahme der thermischen Belastung) im Kaltluftzielgebiet zu bewerten.

Das Planungsvorhaben ist somit nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) als klimaverträglich zu bewerten.

Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) wird derzeit überarbeitet. Seit März 2024 liegt ein erster Entwurf vor. Demnach ist in Gebieten mit Kaltluftvolumenstromdichten von unter $25 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ (z.B. dicht bebaute Ortslagen von Dexheim und Schwabsburg) eine planungsbezogene relative Einschränkung des Kaltluftvolumenstroms um max. 5% tolerabel. Auch dieser Wert wird in den zum Planungsgebiet benachbarten Ortslagen nicht erreicht. Somit ist auch nach dem VDI-Richtlinienentwurf eine unzulässige Einschränkung der kaltluftspezifischen Belüftung nicht festzustellen.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zu den örtliche Belüftungsintensitäten am Tag lassen in den benachbarten Siedlungslagen ebenfalls keine bemerkenswerten Veränderungen erwarten.

Mit der Analyse des nächtlichen Lufttemperaturfeldes wird gezeigt, dass im Planungsgebiet im Ist-Zustand bereits mehrere größere Flächen bestehen, die sich in den Nachtstunden als kleinräumige Wärmeinseln darstellen. Allein im nordöstlichen Planungsteilgebiet bestehen größere Flächen, die zur örtlichen Kaltluftbildung beitragen.

Das von Landwirtschafts- und Weinbauflächen geprägte Umfeld bildet einen großflächigen thermischen Ausgleichsraum. Die Gunstflächen puffern den Wärmeeintrag vom Planungsgebiet in das Umfeld deutlich ab, so dass bislang vom Planungsgebiet für die nächstgelegenen Siedlungslagen von Schwabsburg und Dexheim keine thermische Negativwirkung ausgeht.

Mit Realisierung einer max. Bebauung nach Bebauungsplanentwurf ist in Lee-Lage bis in eine Entfernung von ca. 1.700 m mit einer nur sehr leicht abgeschwächten Belüftungsintensität (0.1 – 0.5 m/s) zu rechnen.

Deutlichere Windabschwächungen (über 1.0 m/s) bleiben im Wesentlichen auf den Bereich westlich der L 433 zwischen Dexheim und Schwabsburg begrenzt. Die Ortslagen von Schwabsburg und Dexheim sind von keinen Windgeschwindigkeitsmodifikationen betroffen.

Dreht der Wind am Tag vermehrt zu westlichen bis nordwestlichen und südsüdwestlichen Richtungen sind in Dexheim bzw. Schwabsburg Windgeschwindigkeitsreduktion von ca. 0.1 m/s bis 0.5 m/s zu erwarten. Da hiervon keine großflächig windschwachen Ortslagen betroffen sind, kann eine derart geringe Windgeschwindigkeitsreduktion aus gutachterlicher Sicht akzeptiert werden. Ein vermehrt Tendenz zu Luftstagnation ist nicht zu befürchten. Dies gilt auch bei Berücksichtigung des Regelbetriebs der Abluftkamine und der bestehenden/geplanten Windenergieanlagen im Planungsumfeld.

Das Planungsvorhaben führt somit am Tag in den benachbarten Siedlungslagen zu keinen bemerkenswerten Windfeldveränderungen.

Innerhalb des Planungsgebiets fungieren die Freiräume als Belüftungsflächen, über welchen der Höhenwind vermehrt bodennah durchgreifen kann.

Die Rechenzentren stoßen, wie bereits o.a., über Abluftkamine und Ventilatoren Warmluft aus. Durch die Auftriebsströmung an Rückkühlern kann das Windfeld bis in eine Höhe von ca. 120 m ü.G. beeinflusst werden. Aufgrund der Vermischung mit dem großräumig zumeist vorherrschenden Westsüdwestwinden (3 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.) wird die Warmluftfahne aber auch horizontal verfrachtet und damit vermehrt verdünnt, wodurch die Fahnenluft rasch den physikalischen Zustand (Wärmeinhalt, Feuchtegehalt und Geschwindigkeit) der Umgebungsluft annimmt. Eine relevante Herunterführung der Warmluft in bodennächste Luftschichten findet infolge der Konvektion am Tag nicht statt. Gleiches gilt für die Warmluftemissionen der Abluftkamine.

Mit Realisierung der geplanten Bebauung (Betrachtung eines Worst-Case Falles) kommt es in Strahlungsnächten allein im direkten Planungsumfeld zu Änderungen der Lufttemperaturverteilung. In den unmittelbaren Luv- und Lee-Lagen des Planungsgebiets nimmt die Lufttemperatur durch die leicht reduzierte Windgeschwindigkeit um ca. 0.1 – 0.5 K ab. In Bereichen mit vermehrter Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht steigt die Lufttemperatur hingegen um ca. 0.1 – 0.5 K an. Die Kaltluftbildung über dem Freiraumgefüge im Planungsumfeld ist ausreichend, um die Ausbildung einer prägnanten Wärmeinsel im Planungsgebiet zu unterbinden. Die benachbarten Ortslagen von Dexheim und Schwabsburg sind von keinen nächtlichen Lufttemperaturänderungen betroffen.

Auch die Ergebnisse zur bioklimatischen Belastung lassen durch die Planung in den nächstgelegenen Ortslagen Dexheim und Schwabsburg keine Zusatzbelastung erwarten. Die planungsbedingten Veränderungen bei der bioklimatischen Belastung beschränken sich auf das Planungsgebiet und dessen unmittelbaren Nahbereich. Innerhalb des Planungsgebiets bilden gehölzüberstellte Freiflächen durch die Schattenbildung bioklimatische Gunsträume.

Das Vorhaben führt somit im Planungsumfeld zu keiner auffallenden thermischen / bioklimatischen Zusatzbelastung.

Durch die baulichen Modifikationen im Bebauungsplangebiet „Rhein-Selz-Park II / Rechenzentrum“ ist nicht auszuschließen, dass es infolge von vermehrten Kaltluftstauwirkungen im Bereich angrenzender Weinbauflächen zu einer erhöhten Spätfrostgefährdung kommt.

Die Ergebnisse der dazu durchgeführten Modellrechnungen belegen, dass während Spätfrostsituationen im Frühling die planungsbedingt vermehrt turbulente Durchmischung der bodennahen Lufttemperaturschichten im direkten Planungsumfeld gegenüber dem Ist-Zustand zu einem leichten Lufttemperaturanstieg führt.

Hierdurch wird die Häufigkeit von Spätfrostereignissen reduziert. So nimmt bspw. im Bereich des Elbersbergs und im Unteren Naßgewann die Lufttemperatur um ca. 0.1 – 0.5 K zu. Dem steht in Weinbaulagen nur unmittelbar westlich des Planungsgebiets und in einem schmalen Streifen südlich der B 420 in Weinbaulagen eine planungsbedingte Lufttemperaturabnahme um ca. 0.1 -1.0 K gegenüber.

Bei einer Zunahme der Lufttemperatur um 0.1 – 0.5 K ist auf Grundlage von Messungen an den agrarmeteorologischen Klimamessstationen Nierstein und Dienheim im Bereich des Elbersbergs und im Unteren Naßgewann mit einer Reduktion der Häufigkeit von Spätfrostereignisse von ca. 0.1 bis 0.9 Tagen/10 Jahre bzw. von ca. 0.1 – 1.0 Tagen/10 Jahre zu rechnen.

Unmittelbar westlich des Planungsgebiet und in einem schmalen Streifen südlich der B 420 ist in Weinbaulagen hingegen mit einem leichten Anstieg der Spätfrosthäufigkeit bis ca. 1.0 Tage/10 Jahre zu rechnen.

Im Weinanbaugebiet „Roter Hang“ zeigen sich keine Veränderungen.

Die Spätfrostgefahr bei Weinreben kann nicht nur durch eine planungsbedingte Abnahme der morgendlichen Minimumtemperaturen erfolgen, sondern auch durch eine planungsbedingte Lufttemperaturzunahme am Tag.

Durch eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur im Planungsumfeld kann es zu einem früheren Austrieb bei den Reben kommen.

Fällt der Austrieb in den März, kann durch die in diesem Monat deutlich höhere Spätfrostgefahr eine vermehrte Schädigung der Rebkulturen eintreten. So zeigen Messdaten an der agrarmeteorologischen Messstation Dienheim, dass im März 2022 10 Frosttage auftraten und im April nur 4 Frosttage zu verzeichnen waren.

Auch im 2023 wurden im März gegenüber dem Monat April 7 Frosttage mehr gemessen (Datenquelle: <https://www.dlr.rlp.de>).

Ergebnisse von hierzu durchgeführten Modellsimulationen belegen, dass sich im Frühling bei windschwachen Strahlungswetterlagen die Flächen des geplanten Rechenzentrums durch die gebäudebedingten Schattenwürfe gegenüber dem Ist-Zustand langsamer erwärmen, so dass auch bei Berücksichtigung der Warmluftemissionen aus den Rückkühlern im Bereich der benachbarten Rebanlagen keine Lufttemperaturzunahmen zu bestimmen sind.

Auch bei vermehrt windigen Wetterlagen (z.B. Wind mit 3 m/s aus Westsüdwesten), die gehäuft mit Winden aus südwestlichen bis westlichen Richtungen verknüpft sind, unterliegen die angrenzenden Rebflächen keiner nennenswerten Lufttemperaturzunahme. Vorherrschende Winde aus nordöstlichen Richtungen sind zu dieser Jahreszeit meist mit kühlem Wetter verbunden so dass mögliche planungsbedingte Lufttemperaturzunahmen in Richtung Westen von eher untergeordneter Bedeutung für den Frühaustrieb der Reben sind.

Eine geringfügige Verschiebung des Austriebs kann aber nicht völlig ausgeschlossen werden. Räumlich betrifft dies ungefähr die Flächen mit prognostizierter erhöhter Spätfrostgefährdung im April und Mai.

Bezüglich einer vermehrten planungsbedingten Sonnenbrandgefahr für Weinreben weisen die durchgeführten Modellanalysen darauf hin, dass an schwachwindigen heißen Sommertagen im Bereich der benachbarten Rebflächen mit keiner signifikanten Zunahme der Hitze im Rebbestand zu rechnen ist. Im Planungsgebiet wirkt der Schattenwurf der Rechenzentren einer vermehrten Aufheizung entgegen, wodurch auch kein relevanter Warmlufttransport in die Umgebungsflächen mit Rebanlagen erfolgt.

Bestimmen kräftige Winde (z.B. 3 m/s) das ortsspezifische Strömungsgeschehen, ist bei vorherrschenden Winden aus östlichen Richtungssektoren eine geringfügige Lufttemperaturerhöhung (ca. 1.0 – 2.0 K) und damit eine Zunahme der Sonnenbrandgefahr in den unmittelbar westlich an das Planungsgebiet angrenzenden Rebflächen nicht vollständig auszuschließen. Die Lufttemperaturerhöhung ist dabei nicht auf die Warmluftemissionen der Rückkühler oder Abluftkamine zurückzuführen, sondern auf das im Plan-Zustand vergrößerte wärmeabstrahlende Bauvolumen und versiegelte Erschließungsflächen.

Da die Sonnenbrandgefahr bei Weinreben nicht alleine auf hohe Lufttemperaturen zurückzuführen ist, sondern es zumeist noch einen deutlichen Witterungsumschwung bedarf (kühle Witterung → warme Witterung), ist eine prozentuale Abschätzung der planungsbedingten Zunahme von Sonnenbrandschäden aber kaum möglich.

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 der einzelnen Rechenzentren ca. 60 Rückkühler platziert, die zur Abführung der Prozesswärme aus dem Rechenzentrum dienen. Die Rückkühler 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 Betreibers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft vergleichbar. Damit ist der spezifische Wassergehalt in der Abluftfahne der Rückkühler genauso groß wie in der Umgebungsluft.

Ergebnisse von umfangreichen Modellrechnungen durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (1992) für Luftkondensatoren, die mit ihrer Abluftfahne näherungsweise mit derjenigen von Rückkühlern vergleichbar sind zeigen, dass es erst ab einer Abwärmeleistung von 600 MW in aller Jahreszeiten zu Schwadenbildungen kommen kann. Dieser Wert wird von Rechenzentrum-Gebäuden mit 54-MW 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 Dieseldgeneratoren, zur Schwadenbildung kommen. Der Betrieb der Notstromaggregate ist allerdings in der Regel an Prüfungsphasen für die Notstromaggregate gebunden, wodurch am Tag immer nur wenige Kamine in Betrieb sind (Annahme bei den Modellrechnungen - bis zu neun Kamine). 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. Die Schwadenbildung hat damit keinen relevanten Einfluss auf die Entwicklung von Landwirtschaftskulturen / Weinreben.

Durch die Wärmeemissionen der Kamine (Temperaturen von ca. ca. 455 – 500°C) 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.

10 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 strömungsdynamische und thermische / bioklimatische Ungunst der geplanten Bebauung mit ergänzenden Ausgleichsmaßnahmen möglichst eng zu begrenzen.

Dies wird auch von Seiten des Landes Rheinland-Pfalz gefordert (**Abbildung 81**).



Abbildung 81: Deckblatt der Broschüre „Wege zur Planung eines nachhaltigen Gewerbegebiets. ENERGIEAGENTUR RHEINLAND-PFALZ GMBH. Gefördert durch: MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE UND MOBILITÄT RHEINLAND-PFALZ.

Nachfolgend werden daher klimawirksame Planungsempfehlungen skizziert, die Eingang in die Planung finden können.

Insgesamt bieten sich aus klimaökologischer Sicht fünf Handlungsfelder an (siehe auch **Abbildung 82**):

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

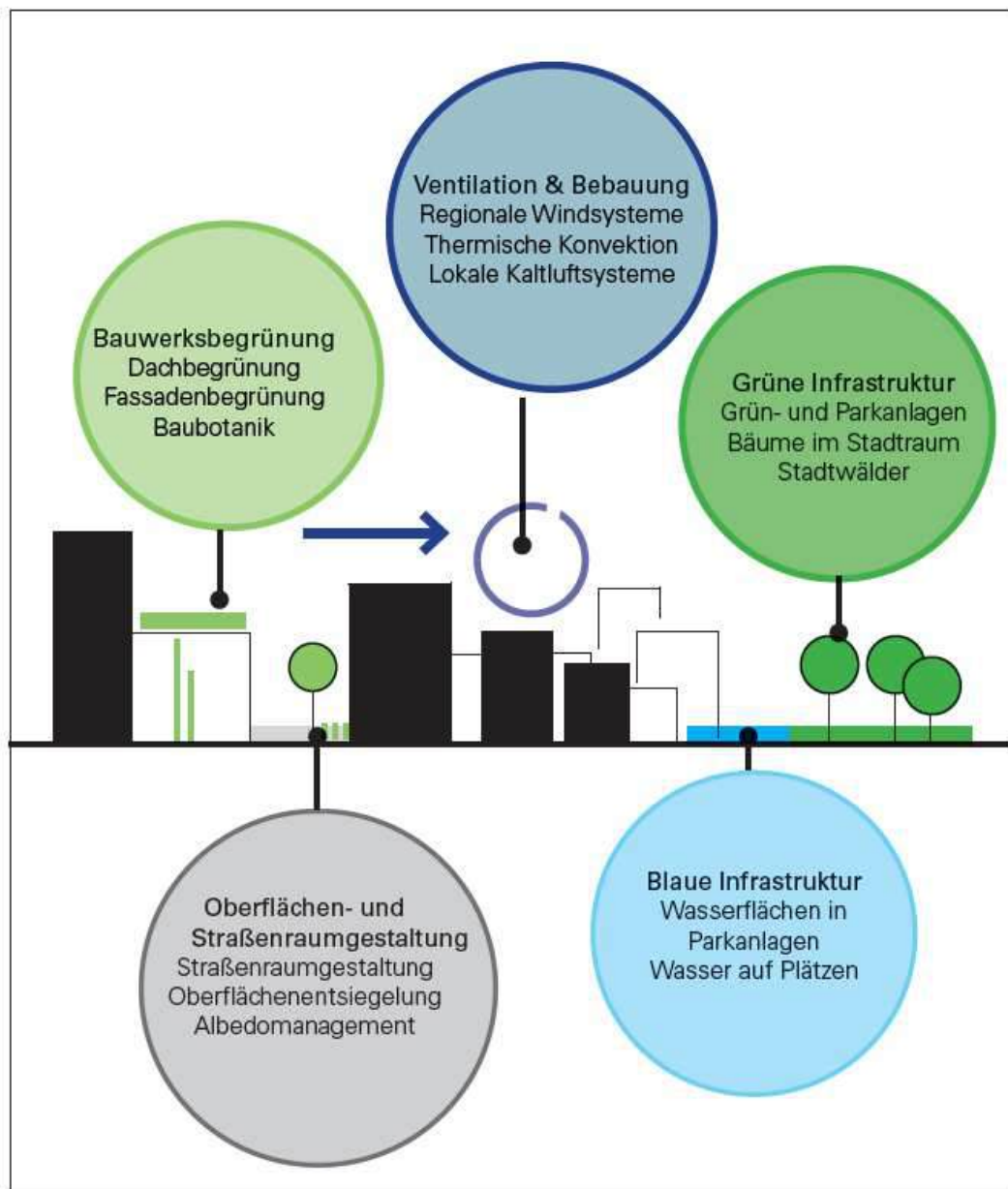


Abbildung 82: Mögliche Handlungsfelder zur Gestaltung günstiger klimatischer Umgebungsbedingungen (aus: Baumüller, N. 2018¹⁶)

¹⁶ **BAUMÜLLER, N. (2018):** Stadt im Klimawandel. Klimaanpassung in der Stadtplanung. Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente. Städtebau-Institut der Univ. Stuttgart.

Strömungsdynamik / Ventilation und geplante Bebauungsstrukturen:

Bebauungsinterne Ventilationsachsen dienen im Allgemeinen dazu, an heißen Sommertagen örtliche Wärmestaus zu unterbinden und ggf. Luftschadstoffakkumulationen zu vermeiden. Die Breite derartiger Zugbahnen sollte ein Mindestmaß von ca. 25 m aufweisen. Damit bleibt noch Raum für grünordnerische Maßnahmen in Form von Bäumen ohne die Durchlüftungsfunktion zu beeinträchtigen. Die Ventilationsachsen sollten möglichst in Hauptwindrichtung ausgerichtet sein.

Bebauungsinterne Abstandsflächen mit der Funktion „Kaltluftleitbahn“ sollen Kaltluftzuflüssen aus benachbarten klimaökologischen Ausgleichsräumen (z.B. Landwirtschaftsflächen) eine Durchdringung der Bebauung ermöglichen, um den örtlichen Wärmeinseleffekt zu minimieren. Diese sollten eine möglichst geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen. Sie können ggf. auch an Erschließungsstraßen geknüpft sein.

Die im Masterplan / Bebauungsplan (**Abbildungen 11 / 14**) dargestellte Bau- und Freiflächenstruktur folgt bereits wesentlichen Zielvorstellungen. Wie **Abbildung 27** dokumentiert, bestimmen im Planungsgebiet am Tag im Allgemeinen westsüdwestliche Winde das Luftaustauschgeschehen. Die zentrale Freiraum-/Grünachse im Planungsentwurf nimmt die Richtung auf und zeigt im westlichen und zentralen Planungsteilgebiet minimale Breiten von ca. 45 – 60 m, was eine ausreichende Durchlüftung ermöglicht.

Zwischen dem südlich und nördlich angrenzenden Freiraumgefüge und der plangebietsinternen Freiraum-/Grünachse bilden im vorgelegten Masterplan Nordnordwest-Südsüdost ausgerichtete Gebäudeabstandsflächen mit Maßen von ca. 30 – über 100 m funktionsfähige Belüftungsachsen, die u.a. das Einsickern von Kaltluft ermöglichen. Mögliche Parkierungsflächen (u.U. überstellt mit PV-Anlagen) bilden dabei nur geringfügige Strömungshindernisse.

Die angedachten Gebäudekubaturen können aus klimaökologischer Sicht ebenfalls befürwortet werden. Durch ihre Südsüdwest-Nordnordost-Längsausrichtung ist die gebäudebedingte Barrierewirkung gegenüber der Hauptwindrichtung Südsüdwest minimiert.

Im nordöstlichen Planungsteilgebiet können die potenziellen Rechenzentren durch ihre gereimte Anordnung umströmt werden. Grundsätzlich sind größere Gebäudehöhen gegenüber großflächig angelegten, niedrigeren Baustrukturen aus klimaköologischer Sicht zu befürworten.

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 PFOSE ET AL. (2013¹⁷) 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.

Grundsätzlich kann bei Fassadenbegrünungen zwischen wand- und bodengebundenen Systemen unterschieden werden, wovon vier Beispiele in **Abbildung 83** 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. Pflanzenkästen (3) oder mit Erdschichten versehene Paneele sein (sog. „living walls“) (4) - SANTI ET AL. (2019¹⁸).

¹⁷ PFOSE, 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.).

¹⁸ 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).

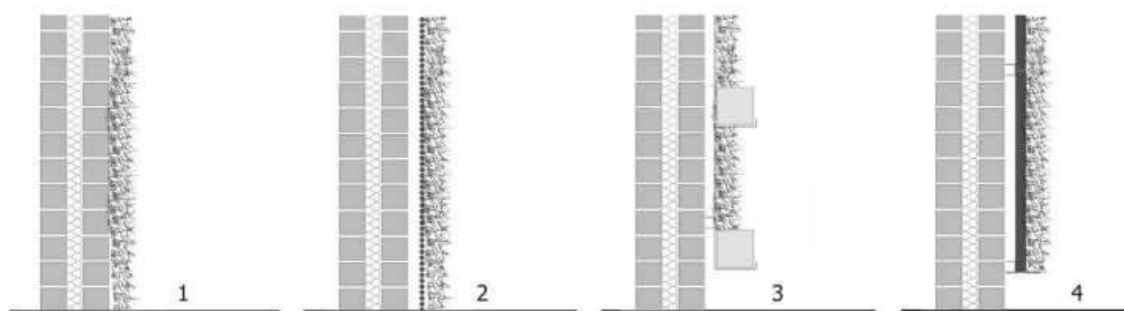


Abbildung 83: Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen (aus: SANTI ET AL. 2019: 115).

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

Bedeutsam sind die Fassadenbegrünungen insbesondere an den Süd- und Westfassaden.

Brandschutzrechtliche Anforderungen sind zu beachten.

Nebenanlagen (z.B. überdachte Radabstellplätze etc.) sollten ebenfalls begrünt werden.

Bauwerksbegrünung / Dachbegrünung:

Dachbegrünungen weisen folgende klimaökologischen Positiveffekte auf:

- Reduzierung der Luftschadstoffbelastung – insbesondere von Feinstaub – durch Erhöhung der schadstoffspezifischen Depositionsgeschwindigkeiten partikel- und gasförmiger Spurenstoffe. Durch die geringere Aufheizung der Luft über begrünten Dächern ist die vertikale Auftriebsströmung und somit die Stauaufwirbelung geringer.
- 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: 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 den Rechenzentrumsgebäuden ist eine großflächige Dachbegrünung nicht möglich. Auf Nebengebäuden sollte sie möglichst großflächig Berücksichtigung finden.

Eine Gestaltung PV-überdachter Parkierungsflächen wäre aus klimaökologischer Sicht zu begrüßen. Sie dienen dem Klimaschutz. Die PV-Anlagen schränken über der potenziellen Freifläche die nächtliche Ausstrahlung und somit die Abkühlung zwar leicht ein, aus Klimaschutzgründen sollten sie aber akzeptiert werden.

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 die Wege- und Platzflächen mit möglichst hellen Oberflächenbelägen (Hellbezugswert¹⁹ $\geq 50\%$, (siehe **Abbildung 84**) ausgestaltet werden.

¹⁹ 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.

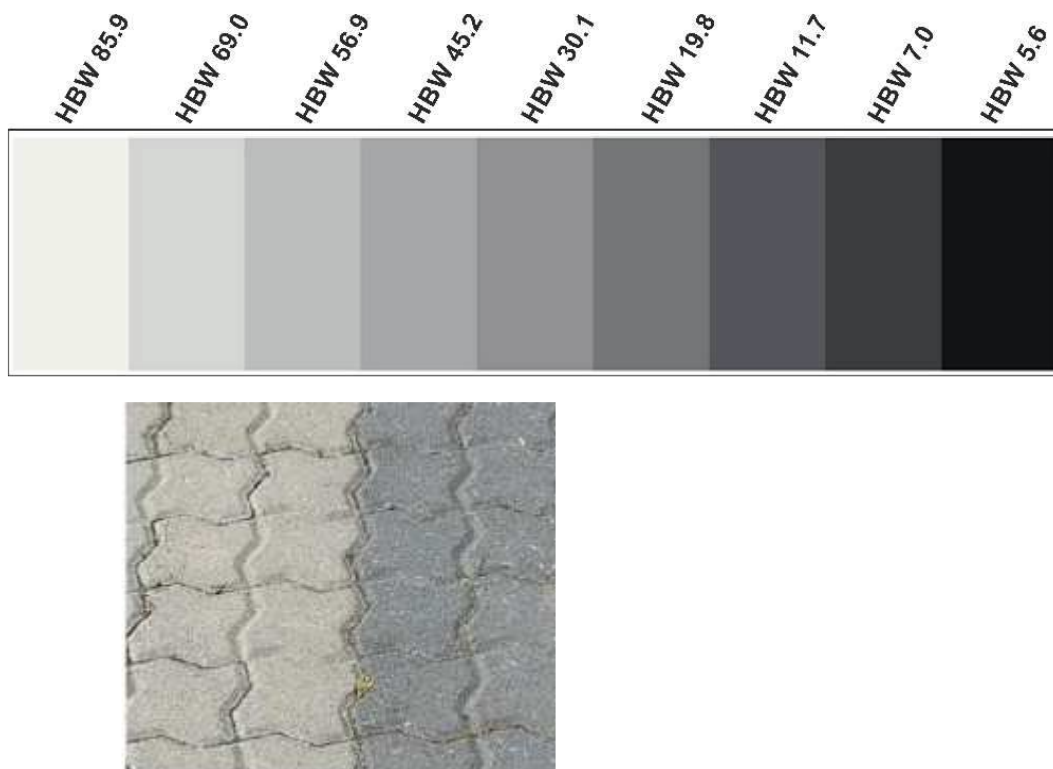


Abbildung 84: Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne und beispielhafter Pflastersteine (aus: <https://www.brillux.de>; Fotoaufnahme: ÖKOPLANA)

Wie **Abbildung 85** zeigt, weisen hellgraue Pflasterbeläge gegenüber schwarzen Asphaltflächen am Tag deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen auf. In den Nachtstunden wird zudem der Wärmeinseleffekt wirksam reduziert. Bei zu hellen Belägen (HBW >0.80) kann es am Tag zu Blendeffekten und zur Steigerung der bioklimatischen Belastung durch die Reflexstrahlung kommen.

Parkierungsflächen sollten möglichst mit 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.

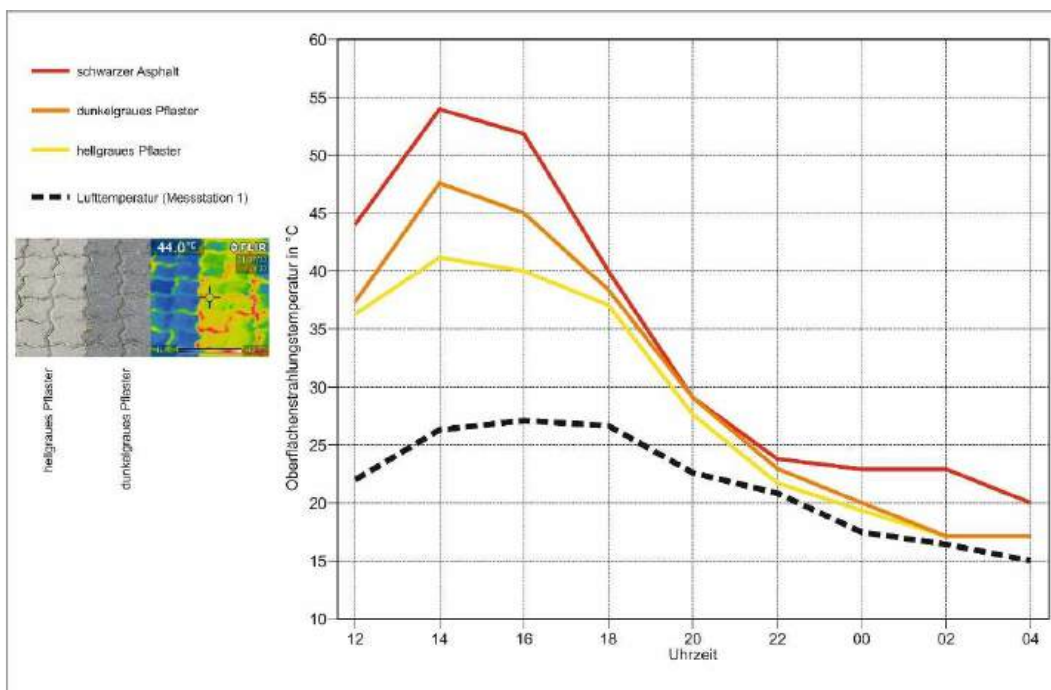


Abbildung 85: Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbeläge am 21./22.07.2020 zwischen 12:00 Uhr und 04:00 Uhr. (Messungen, Bilder: ÖKOPLANA)

Oberflächen- und Straßenraumgestaltung bzw. grüne Infrastruktur / Sicherung begrünter Flächen im Planungsgebiet:

Der vorgelegte Masterplan weist bereits Baumstandorte aus. Aus klimaökologischer Sicht ist die geplante Sicherung der vorhandenen Gehölze bzw. die Ergänzung an den Plangebietsrändern zu begrüßen. Sie bilden einen wirksamen Puffer, um die Wärmeaura des Plangebiets räumlich eng zu begrenzen.

Innerhalb des Planungsgebiets sollten an den Südseiten der Erschließungsstraßen Laubbäume gepflanzt werden, um über ihren Schattenwurf die Aufheizung der befestigten Fahrbahnen zu minimieren. Zwischen den Bäumen sollte der Abstand so gewählt werden, dass dazwischen max. die Krone eines ausgewachsenen Baumes Platz findet. Im Bereich von Parkierungsflächen, die nicht mit PV-Anlagen überdacht werden, sollten zur Schattenbildung und zur Erhöhung des örtlichen Grünvolumens ebenfalls Baumpflanzungen realisiert werden. Je fünf Pkw-Stellplätze sollte mindestens ein schattenwerfender Baum gepflanzt werden. Dabei ist auf eine klimaangepasste Artenwahl zu achten.

Auch innerhalb des gebietsinternen „Grünzugs“ sollten inselartig Baumgruppen (wie im Masterplan bereits kenntlich gemacht) platziert werden. Die Verschattung verringert die thermische Belastung durch die direkte Sonneneinstrahlung am Tag. Die gefühlte Temperatur (PET) ist in beschatteten Bereichen an heißen Sommertagen um bis zu über 10 K niedriger als in unbeschatteten Bereichen mit gleicher Bodenbedeckung (siehe **Abbildung 58**). 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.

Die Anlage von Retentionsbereichen (Versickerungsmulden), wie im aktuellen Masterplan bereits vorgesehen, wäre ebenfalls vorteilhaft. Sie tragen zur Vermeidung von Überschwemmungen bei Starkniederschlagsereignissen bei. Zudem ist eine Speicherung von Wasser für trockenere Perioden möglich.

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 (**Abbildung 86**). 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.



Abbildung 86: Beispielhaftes Wasserbecken, Brunnen mit kleinen Fontänen (Fotos: ÖKOPLANA, STADT LANDSCHAFT PLUS LANDSCHAFTSARCHITEKTEN GMBH)

Abschließende Bewertung:

Die zur Bewertung des vorgelegten Planungsentwurfs durchgeführten Klimaanalysen lassen im Planungsumfeld keine gravierenden klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung grundsätzlich entgegenstehen. Unvermeidbare strömungsdynamische Veränderungen führen in der nächstgelegenen Bestandbebauung (Dexheim, Schwabsburg, Friesenheim) zu keinen nennenswerten Beeinträchtigungen der nächtlichen Kaltluftbewegungen und der thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen.

In den benachbarten Weinbaulagen sind bzgl. der Spätfrostgefährdung und des Sonnenbrandrisikos keine großflächigen Beeinträchtigungen zu befürchten. Die möglichen Risikogebiete mit planungsbedingt vermehrter Spätfrost- und Sonnenbrandgefährdung sind kenntlich gemacht.

Die ergänzenden Planungsempfehlungen dienen dazu, in Anlehnung an die landesweite Strategie zur Entwicklung klimaangepasster Gewerbegebiete, die baulich-freiraumplanerische Entwicklung des Planungsgebiets frühzeitig, proaktiv und systematisch auf die negativen Folgen des Klimawandels, wie z.B. Hitze, Trockenheit und Starkniederschläge vorzubereiten und dessen Widerstandskräfte zu stärken (Klimaresilienz).

Burst

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

Mannheim, 28. April 2025

Quellenverzeichnis / weiterführende Literatur

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.

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.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1980): Die Beeinflussung von Wetter und Klima durch Wärmekraftwerke. Wetteramt München, Walter Schneider. München.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1988): Richtlinien für die Kartierung der Kaltluftgefährdung (spez. Frostgefährdung) durch Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes. Stand: 4.88. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1990): Internationaler Wolkenatlas. 2. Auflage. Offenbach a. M.

DEUTSCHER WETTERDIENST (1992): Amtliches Gutachten zum Klima am Standort und zu den klimatischen Auswirkungen des geplanten RM-HKW Esslingen. Offenbach a. M.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2004A): Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m ü.G.) in der Bundesrepublik Deutschland. Offenbach a. M.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2004B): Gutachten G 21.1 – Flugklimatologisches Gutachten zum Ausbau Flughafen Frankfurt Main. Mainz.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2008): Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms. Offenbach a. M.

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

- GROSS, G. 1985:** Numerische Simulationen nächtlicher Kaltluftabflüsse und Tiefsttemperaturen in einem Moselseitental, Meteorol. Rdsch., 38, 161-171.
- GROSS, G. (1992):** Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- GROSS, G. (2010):** Numerical simulations of the diurnal variation of wakes behind wind turbines. Meteorologische Zeitschrift 19, S. 91-99
- GROSS, G. (2017):** Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2
- HEIMANN, M. ET. AL (2011):** The wake of a wind turbine and its influence on sound propagation. Meteorologische Zeitschrift 20 S. 449 - 460
- HOPPMANN, D. (2010):** Terroir. Wetter, Klima und Boden im Weinbau. Stuttgart.
- IMA RICHTER & RÖCKLE (2021):** Stadtklimaanalyse für die Stadt Baden-Baden. Freiburg i. Br.
- KING, E. (1973):** Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefahr durch Straßenbauten. Berichte des DWD 130., Offenbach.
- 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
- ÖKOPLANA 2005:** Landschaftsprogramm Rheinland-Pfalz – Teilbeitrag Klima. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz vertreten durch die SGD-Süd. Mannheim.
- ÖKOPLANA 2023:** Klimagutachten zum Bebauungsplan N116 – „Erweiterung Gewerbegebiet Nord“ in Hattersheim am Main. Mannheim..

PFOSE, 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.).

RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM FÜR KLIMAWANDELFOLGEN (2020): Themenheft Klimawandel – Entwicklung in der Zukunft. Trippstadt.

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).

STAATLICHE LEHR- UND VERSUCHSANSTALT FÜR WEIN- UND OBSTBAU (LVWO) WEINSBERG: Sonnenbrand ein einmaliges Sonderereignis? Veröffentlicht: https://lvwo.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Fachinformationen/Sonnenbrand+ein+einmaliges+Sonderereignis_

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003/2024 - ENTWURF): 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.