

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller Straße 1 - 5
82152 Planegg

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.mbbm-ind.com

M.Sc. Erik Petersen
Telefon +49(89)85602 122
erik.petersen@mbbm-ind.com

22. September 2023
M175458/02 Version 4 PEK/WG

Planungsverband Straßkirchen/Irlbach

Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach“

Mikroklimatische Untersuchung

Bericht Nr. M175458/02

Auftraggeber:

**BMW Group
Immobilienmanagement
80788 München**

Bearbeitet von:

Erik Petersen, M. Sc.

Berichtsumfang:

Insgesamt 44 Seiten

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	7
2 Wetter, Klima und Mikroklima – Begriffliches und Eingrenzung des Untersuchungsmaßstabs	9
3 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	11
3.1 Beschreibung des Geltungsbereichs	11
4 Großräumige und regionale klimatologische Rahmenbedingungen	13
4.1 Methodik und Datengrundlagen	13
4.2 Allgemeine klimatische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet	14
4.3 Windverhältnisse	15
4.4 Beschreibung weiterer beurteilungsrelevanter Klimakenngrößen	18
4.5 Klimatopausstattung und mikroklimatische Bestandssituation im Untersuchungsgebiet	29
5 Planbedingte Wirkfaktoren	33
6 Empfehlungen für Minderungsmaßnahmen	36
7 Gesamtheitliche Betrachtung mikroklimatologischer Auswirkungen des Bebauungsplans	40
8 Literatur- und Quellenverzeichnis	42

Zusammenfassung

Die BMW Group (nachstehend auch „Vorhabenträgerin“) plant die Errichtung eines Standortes für die Montage von Hochvoltbatterien im Bereich der Gemeinden Straßkirchen und Irlbach.

Um die erforderlichen planungsrechtlichen Voraussetzungen für das Ansiedlungsvorhaben der BMW Group zu schaffen, soll ein qualifizierter Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach – Sondergebiet Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ aufgestellt werden. Des Weiteren ist im Bereich des Planungsgebietes die Änderung des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Straßkirchen sowie des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Irlbach vorgesehen.

Die Art der baulichen Nutzung wird im Bebauungsplan wie folgt beschrieben:

Das Sondergebiet dient der Unterbringung von großflächig produzierenden Gewerbebetrieben der Automobilbranche für die Komponentenfertigung von Kfz-Energiesystemen, sowie von Nebeneinrichtungen und Anlagen mit direktem Funktionsbezug zum Gewerbebetrieb.

Zulässige Nutzungen:

- *Entwicklung, Herstellung und Montage von Komponenten für Kfz-Energiesysteme inkl. erforderlicher Infrastruktur (z.B. Büros, Parkplätze, Kantinen, Werksarzt, Energieversorgung, Feuerwehr, IT)*
- *Lagerung und Umschlag von Komponenten für die Automobilproduktion*
- *Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen*

Unzulässige Nutzungen:

- *selbständige Betriebe mit einer Betriebsgröße < 3 ha (Ausnahme 3 zu Ziff. 3.3 (Z) des LEP)*
- *Eigenständige Logistikbetriebe*
- *Batteriezellfertigung*
- *Batterierecycling*
- *Gießereien*
- *Kunststoffspritzgussanlagen*
- *Lackierereien*
- *Stahlpresswerke*
- *Herstellung von Faserverbundwerkstoffen unter der Verwendung von Harzen*
- *Energieerzeugung mittels Verbrennungsprozessen (ausgenommen Notstromaggregate)*
- *Tankstellen*

Die im Geltungsbereich des Bebauungsplans möglichen Nutzungen sind durch die vorstehend genannten Festsetzungen zur Art der baulichen Nutzung eingeschränkt.

Insbesondere verbleibt als mögliche Nutzung die genannte Montage von Hochvoltbatterien (HV). Unter „Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ wären bei den explizit genannten zulässigen und unzulässigen Nutzungen z. B. noch die Montage von Brennstoffzellen, die Montage von Steuerelektronik für HV oder die Montage von Elektromotoren möglich.

Auswirkungen von Art und Maß der zulässigen Nutzungen wurden unter Beachtung der Angaben von BMW beurteilt. Dies erfolgte anhand der Montage von Hochvoltbatterien inkl. zugehörigem Kfz-Verkehr im Geltungsbereich des Bebauungsplans.

Wie eingangs beschrieben, ist als Nutzung im Geltungsbereich des Bebauungsplans die Montage von Hochvoltbatterien vorgesehen. Geplant ist die Produktion von bis zu 580.000 Einheiten Hochvoltbatterien pro Jahr (580.000 E/a).

Die Anlage zur Montage von Hochvoltbatterien wird in neu zu errichtenden Gebäuden/Hallen installiert. Das Vorhaben soll in mehreren Ausbaustufen (BA1, BA2 und ggf. BA3) schrittweise realisiert werden. Im BA3 sollen die Gebäude aus BA1 und BA2 erweitert und zwei zusätzliche Gebäude errichtet werden. Im Ausbau inkl. BA3 wird ein sogenanntes Wechselflächenkonzept realisiert.

Für die mikroklimatische Untersuchung wird die gesamte Fläche von 134 ha mit realisierter Werkserweiterung (BA3) inkl. geplanter Grundflächenzahl von 0,8 und max. angenommener Gebäudehöhe von 19,5 m berücksichtigt.¹

Nordöstlich wird das Plangebiet durch die Bundesstraße B8, südöstlich durch die Makofener Straße und südwestlich durch die Staatsstraße St 2325 begrenzt. Die Fläche des Plangebietes wird derzeit ausschließlich landwirtschaftlich genutzt.

Die nächstgelegenen schutzbedürftigen Nutzungen grenzen im Weiler Makofen im Süden direkt an das Plangebiet an. In einer Entfernung von etwa 600 m in nordwest-

¹ Im Rahmen weiterer Gutachten aus dem Hause Müller-BBM (u. a. Luftreinhaltung, M175645/01; Prüfung auf Anwendbarkeit der 12. BImSchV (StörfallV), M175397/01 sowie Geräuschimmissionsschutz, M175459/02) wurden folgende Fälle für die potenzielle Nutzung „Montage von Hochvoltbatterien“ geprüft:

- **Planfall 1:** Realisierung von BA1 und BA2 mit einer Gebäudehöhe von rund 12,7 m, Montagekapazität von 726.000 E/a bei einer Stundenleistung von 105 E/h¹.
- **Planfall 2:** Realisierung von BA1, BA2 sowie BA3 mit einer Gebäudehöhe von 19,5 m, Montagekapazität von 726.000 E/a bei einer Stundenleistung von 180 E/h im branchenüblichen Wechselflächenkonzept¹.
- **Planfall 3:** Realisierung von BA1, BA2 sowie BA3, qualitative Betrachtung für eine Montagekapazität von ca. 1.577.000 E/a bei einer Stundenleistung von 180 E/h.

Diese Fallbetrachtungen sind für mikroklimatische Fragestellungen nur bedingt sinnvoll, da diese auf die Produktionszahlen abstellen. Für die mikroklimatischen Gutachten wurde demnach konservativ von einer maximal möglichen Bebauung des Plangebietes ausgegangen.

licher Richtung liegt die nächstgelegene geschlossene Wohnbebauung in Straßkirchen.

Schutzbedürftige Naturflächen (FFH-Gebiete, Biotope) liegen in etwa 2 km Entfernung in nordöstlicher Richtung westlich der Donau.

Aus mikroklimatologischer Sicht stellt die Neuansiedlung eines Industriegebietes auf unbebauter Fläche eine Modifikation der lokalen Klimaverhältnisse dar. Diese reichen über die Änderung der Strahlungsbilanz unterschiedlicher Oberflächen bis hin zu Auswirkungen auf das Windfeld; Kaltluftabflüsse und Lufttemperatur- sowie Feuchteänderungen.

Im Rahmen der Bauleitplanung ist nach § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB zu prüfen, ob hinsichtlich des betreffenden Belangs des Klimaschutzes und der Klimaanpassung grundsätzliche, der Aufstellung des Bebauungsplans entgegenstehende Bedenken bestehen.

Als Grundlage für den Bebauungsplans wurde ein mikroklimatologisches Gutachten erstellt, um zu prüfen, ob durch das Plangebiet schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft erfolgen können.

Im Einzelnen sind folgende Feststellungen zu treffen:


- Die mikroklimatologischen Effekte des Plangebiets sind zum größten Teil auf die Flächen des Angebots-Bebauungsplans selbst beschränkt. In diesen Bereichen kommt es lokal zu einer deutlichen Modifikation insbesondere der Lufttemperatur und Luftfeuchte.
- Die Versiegelung im Planfall hat zudem einen mikroklimatologischen Einfluss auf die Verdunstungsleistung sowie die Wasseraufnahmekapazität des Bodens. So kann ein vermindertes Verdunstungspotential nur noch bedingt zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur beitragen und die verminderte Wasseraufnahmekapazität kann zu einem erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss führen.
- Zusammenfassend sind negative Beeinträchtigungen des Lokalklimas in eng begrenzten Bereichen zu erwarten, die im Wesentlichen auf den unmittelbaren Plangebietsumgriff beschränkt bleiben. Erhebliche nachteilige Beeinträchtigungen des Lokalklimas sind dagegen nicht zu erwarten.
- Die negativen Auswirkungen der Ansiedlung können mit Hilfe von festzusetzenden Minderungsmaßnahmen wie z. B. Dach- und Fassadenbegrünungen sowie Gehölzpflanzungen abgemildert werden.
- Der Bebauungsplan sieht bereits Maßnahmen vor, um klimabeeinflussende Effekte des Industrieklimas zu minimieren, bzw. Maßnahmen, die einen positiven Einfluss auf den anthropogen verursachten Klimawandel haben können.
- Der Bebauungsplan hat für die Kaltluftproduktion und den einen potenziellen Kaltluftabfluss Auswirkungen.
- Durch den Bebauungsplan wird weniger Kaltluft produziert werden.

- Bezüglich der Kaltluftdynamik wird mit dem vom DWD zur Verfügung gestellten Kaltluftsimulationsmodell KLAM_21 eine Simulation im Untersuchungsgebiet durchgeführt.
- Die Ergebnisse finden sich in Müller-BBM Bericht Nr. M175458/03.
- Es wurde zudem eine mikroklimatische Simulation mit Hilfe des Large-Eddy-Simulationsmodells PALM² durchgeführt.
- Die Ergebnisse finden sich in Müller-BBM Bericht Nr. M176018/01 und bestätigen die Aussagen des vorliegenden Berichts.

Es bestehen somit keine Anhaltspunkte dafür, dass durch den Bebauungsplan mikroklimatisch vermittelte schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden können.



Erik Petersen, M. Sc.
(Bearbeitung)



Dipl.-Met. Axel Rühling
(Qualitätssicherung)

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.

² PArallelized Large-Eddy Simulation Model for Atmospheric and Oceanic Flows

1 Situation und Aufgabenstellung

Die BMW Group (nachstehend auch „Vorhabenträgerin“) plant die Errichtung eines Standortes für die Montage von Hochvoltbatterien im Bereich der Gemeinden Straßkirchen und Irlbach.

Um die erforderlichen planungsrechtlichen Voraussetzungen für das Ansiedlungsvorhaben der BMW Group zu schaffen, soll ein qualifizierter Bebauungsplan „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach – Sondergebiet Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ aufgestellt werden. Des Weiteren ist im Bereich des Planungsgebietes die Änderung des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Straßkirchen sowie des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Irlbach vorgesehen.

Die Art der baulichen Nutzung wird im Bebauungsplan wie folgt beschrieben:

Das Sondergebiet dient der Unterbringung von großflächig produzierenden Gewerbebetrieben der Automobilbranche für die Komponentenfertigung von Kfz-Energiesystemen, sowie von Nebeneinrichtungen und Anlagen mit direktem Funktionsbezug zum Gewerbebetrieb.

Zulässige Nutzungen:

- *Entwicklung, Herstellung und Montage von Komponenten für Kfz-Energiesysteme inkl. erforderlicher Infrastruktur (z. B. Büros, Parkplätze, Kantinen, Werksarzt, Energieversorgung, Feuerwehr, IT)*
- *Lagerung und Umschlag von Komponenten für die Automobilproduktion*
- *Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen*

Unzulässige Nutzungen:

- *selbständige Betriebe mit einer Betriebsgröße < 3 ha (Ausnahme 3 zu Ziff. 3.3 (Z) des LEP)*
- *Eigenständige Logistikbetriebe*
- *Batteriezellfertigung*
- *Batterierecycling*
- *Gießereien*
- *Kunststoffspritzgussanlagen*
- *Lackierereien*
- *Stahlpresswerke*
- *Herstellung von Faserverbundwerkstoffen unter der Verwendung von Harzen*
- *Energieerzeugung mittels Verbrennungsprozessen (ausgenommen Notstromaggregate)*
- *Tankstellen*

Die im Geltungsbereich des Bebauungsplans möglichen Nutzungen sind durch die vorstehend genannten Festsetzungen zur Art der baulichen Nutzung eingeschränkt. Insbesondere verbleibt als mögliche Nutzung die genannte Montage von Hochvoltbatterien (HV). Unter „Komponentenfertigung für Kfz-Energiesysteme“ wären bei den explizit genannten zulässigen und unzulässigen Nutzungen z. B. noch die Montage von Brennstoffzellen, die Montage von Steuerelektronik für HV oder die Montage von Elektromotoren möglich.

Auswirkungen von Art und Maß der zulässigen Nutzungen wurden unter Beachtung der Angaben von BMW beurteilt. Dies erfolgte anhand der Montage von Hochvoltbatterien inkl. zugehörigem Kfz-Verkehr im Geltungsbereich des Bebauungsplans.

Wie eingangs beschrieben, ist als Nutzung im Geltungsbereich des Bebauungsplans die Montage von Hochvoltbatterien vorgesehen. Geplant ist die Produktion von bis zu 580.000 Einheiten Hochvoltbatterien pro Jahr (580.000 E/a).

Die Anlage zur Montage von Hochvoltbatterien wird in neu zu errichtenden Gebäuden/Hallen installiert. Das Vorhaben soll in mehreren Ausbaustufen (BA1, BA2 und ggf. BA3) schrittweise realisiert werden. Im BA3 sollen die Gebäude aus BA1 und BA2 erweitert und zwei zusätzliche Gebäude errichtet werden. Im Ausbau inkl. BA3 wird ein sogenanntes Wechselflächenkonzept realisiert.

Für die mikroklimatische Untersuchung wird konservativ die gesamte Fläche von 134 ha als „GI Industriegebiet“ mit realisierter Werkserweiterung (BA3) inkl. geplanter Grundflächenzahl von 0,8 und max. angenommener Gebäudehöhe von 19,5 m berücksichtigt.

Im Rahmen der Bauleitplanung ist nach § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB zu prüfen, ob hinsichtlich des betreffenden Belangs des Klimaschutzes und der Klimaanpassung grundsätzliche, der Aufstellung des Bebauungsplans entgegenstehende Bedenken bestehen.

2 Wetter, Klima und Mikroklima – Begriffliches und Eingrenzung des Untersuchungsmaßstabs

Unter dem *Klima* wird die Gesamtheit der in einem bestimmten Gebiet auftretenden *Wetterphänomene* und deren zeitliche Verteilung (d. h. tages- und jahreszeitliche Variabilität sowie die typische Abfolge von Wetter- bzw. Witterungsphänomenen) verstanden. Als *Wetter* ist der kurzzeitige physikalische (und ggf. auch chemische) Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Punkt (z. B. an der Erdoberfläche) definiert.

Das Klima wird charakterisiert durch *Klimaelemente* als messbare Einzelercheinungen der Atmosphäre (z. B. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung) und sog. *Klimafaktoren* als Eigenschaften des Raumes, die das Klima im Raum beeinflussen (z. B. geographische Breite, Höhe über NHN, Kontinentalität, Vegetation, Oberflächeneigenschaften). Vor dem Hintergrund der Prägung des Klimas durch die Klimafaktoren wird deutlich, dass Klima nicht nur als das Wirken von Prozessen innerhalb der Erdatmosphäre zu begreifen ist, sondern nur durch die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und den weiteren Sphären der Erde: Lithosphäre (Erdkruste; ggf. auch tieferliegende Erdschichten), Pedosphäre (Boden), Relief, Hydrosphäre (flüssiges Wasser), Kryosphäre (Eis) sowie Biosphäre einschließlich anthropogener Einflüsse (Anthroposphäre).

Meteorologische und klimatische Prozesse können nach ihrer räumlichen Ausdehnung sowie ihrer zeitlichen Dauer in raum-zeitliche Maßstabbereiche (Skalen) unterteilt werden. Diese werden in der nachfolgenden Abbildung 1 verdeutlicht.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist die Darstellung und Bewertung der planbedingten Klimafaktoren, die im Bereich des Angebotsbebauungsplans und dessen näherem Umfeld direkte klimatische Auswirkungen hervorrufen können. Diese konzentrieren sich im Wesentlichen auf das Anlagengelände und dessen näheres Umfeld. Der Untersuchungsrahmen erstreckt sich daher im Wesentlichen auf die Mikroskalen sowie den unteren mesoskaligen Bereich (Meso-Gamma).

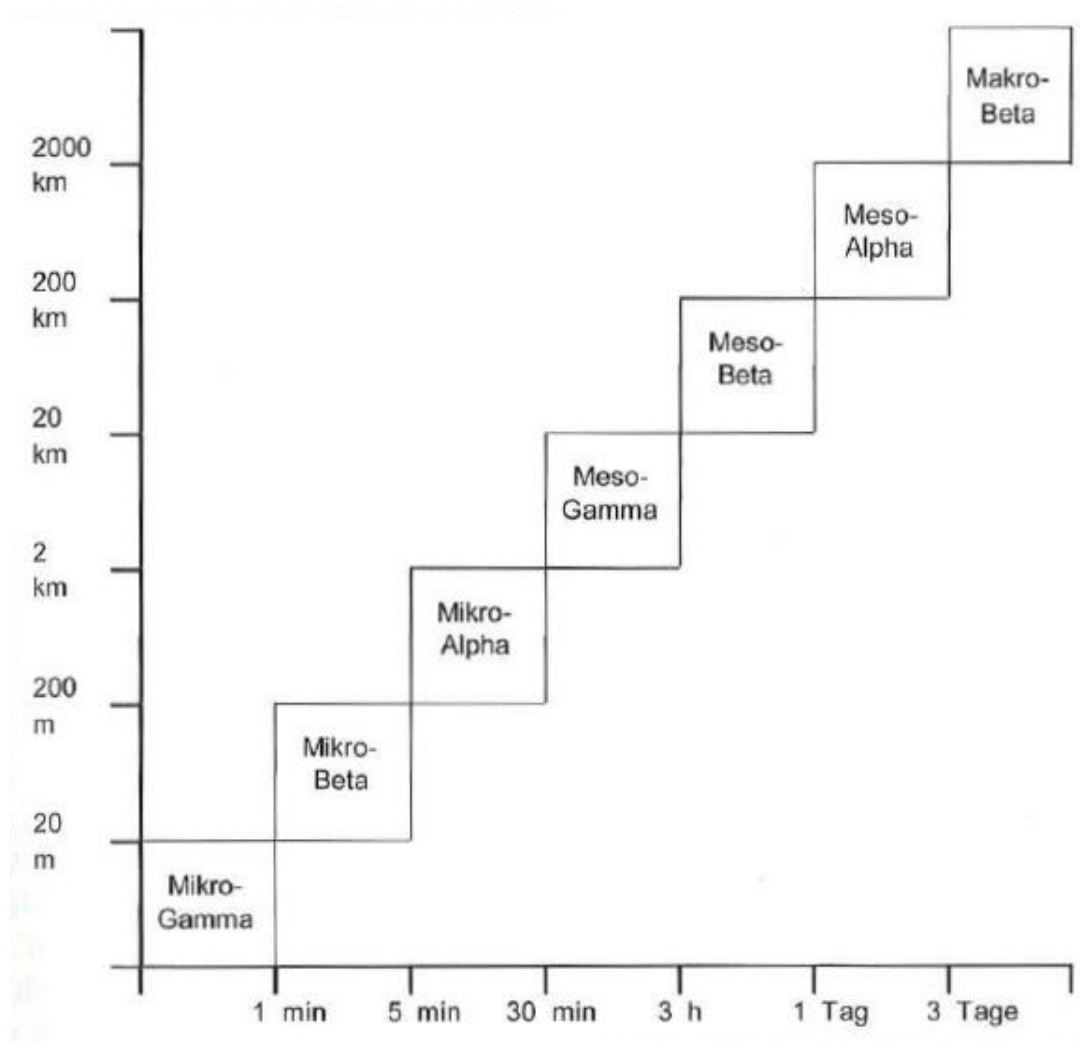


Abbildung 1. Maßstabszuordnung atmosphärischer Prozesse entsprechend Orlanski (1975) [1], aus [3].

Zu bewerten sind neben planbedingten Veränderungen einzelner Klimaelemente innerhalb des Untersuchungsgebiets insbesondere auch deren Bedeutung für die klimaökologischen Funktionen der Landschaft. Wesentliche Schutzziele sind die Erhaltung von Reinluftgebieten, die Erhaltung oder Verbesserung des Bestandsklimas (z. B. im Bereich von Siedlungen) sowie die Erhaltung oder die Schaffung von klimatischen Ausgleichsräumen hinsichtlich der lokalklimatischen Regenerations- und Austauschfunktion. Die meteorologischen Standortbedingungen, v. a. die Windrichtungsverteilung und die Windgeschwindigkeit sowie die atmosphärische Turbulenz, haben darüber hinaus einen wesentlichen Einfluss auf die Verlagerung und Verdünnung von Luftschadstoffen.

3 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

3.1 Beschreibung des Geltungsbereichs

Der Geltungsbereich des geplanten BMW-Standortes liegt auf der Flur der Gemeinden Straßkirchen und Irlbach. Das Gebiet liegt südöstlich der Gemeinde Straßkirchen südlich der Bundesstraße 8.

Der Standort wird aktuell landwirtschaftlich genutzt. Umliegend sind weitere großflächige landwirtschaftliche Nutzungen anzutreffen. Südöstlich schließen Flächen für die Photovoltaiknutzung an.

Etwa 2,4 km nordöstlich befindet sich eine Schleife der Donau.

Die nächstgelegenen Wohnnutzungen sind ca. 750 m nordwestlich (Straßkirchen), 160 m südlich (Markofen) und 1.400 m nordöstlich (Loh) des Plangebiets gelegen.

Der Standort ist in der Großlandschaft „Alpenvorland“ gelegen. Naturräumlich liegt das geplante Bebauungsplan im „Unterbayerischen Hügelland und Isar-Inn-Schotterplatten“ (Naturraum ID: D65) in der Haupteinheit Dungau (Haupteinheit ID: 064).

Ein Überblick über die räumliche Lage kann dem nachfolgenden Kartenauszug entnommen werden.

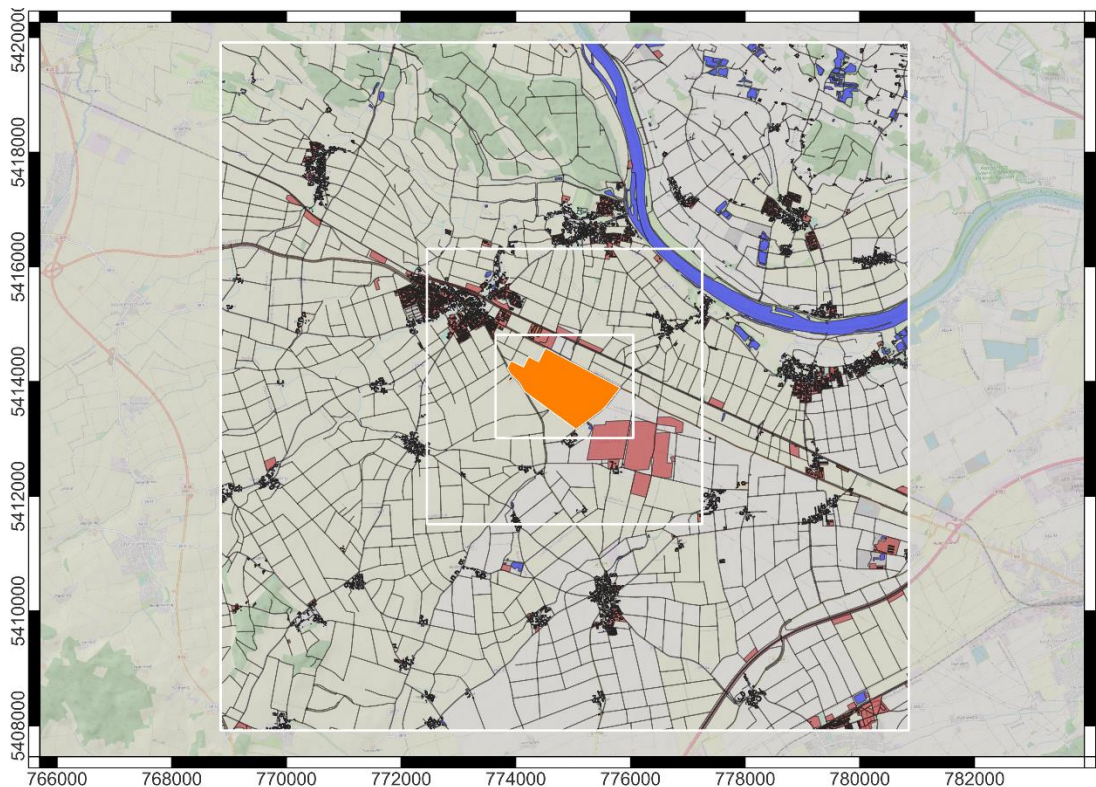


Abbildung 2. Übersichtliche Darstellung einer topographischen Karte. Die weißen Umrundungen zeigen die 3 ineinander liegenden Nester des Stadtklimamodells (vgl. Müller-BBM Berichtsnr. M176018/01). Im innersten Bereich befindet sich das Areal der Überbauung (orange Farbe). Feste Strukturen sind in rotem Farbton dargestellt, hierzu zählt z..B der Solarpark östlich des Überbauungsareals. Die Grundrisse bestehender Häuser sind schwarz eingetragen. Kartenhintergrund: [5].

Der Geltungsbereich befindet sich auf einer geodätischen Höhe von ca. 330 m ü. NHN. Der nähere Umgriff um den Standort kann als orographisch flach bezeichnet werden.

4 Großräumige und regionale klimatologische Rahmenbedingungen

Die Klimaverhältnisse einer Landschaft werden durch das Zusammenwirken von Relief, Boden, Wasserhaushalt und Vegetation, den menschlichen Einflüssen bzw. Nutzungsformen sowie der übergeordneten makroklimatischen Ausgangssituation bestimmt. Das Regionalklima wird dabei v. a. durch natürliche Wirkfaktoren wie z. B. die geographische Breite, die Entfernung zur Meeresküste, die Geländehöhe sowie die orographische Gliederung der Landschaft beeinflusst.

Im Allgemeinen können sich aus verschiedenen Standortfaktoren wie z. B. dem Relief, der Verteilung von aquatischen und terrestrischen Arealen, dem Bewuchs und der Bebauung lokalklimatische Unterschiede ergeben, für die i. d. R. keine Messdaten vorliegen. Auf die bodennahen Luftschichten bzw. das Lokalklima üben dabei sowohl die Topographie als auch die Unterlage, d. h. die Bodenbeschaffenheit, einen Einfluss aus.

4.1 Methodik und Datengrundlagen

Zur Beschreibung der großräumigen und regionalen klimatischen Ausgangssituation im Untersuchungsgebiet wurden die Messdaten der Klima- bzw. Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Umfeld des Bebauungsplans ausgewertet. Es wurden nur solche Messstationen in die Untersuchung eingestellt, die für die Beschreibung der klimatischen Ausgangssituation sowie zur Beurteilung der planbedingten Auswirkungen auf das Lokalklima eine ausreichende bzw. für das Untersuchungsgebiet repräsentative Datenbasis liefern.

Zur Beschreibung der Klimaparameter (Wind, Lufttemperatur, Niederschläge, Bewölkung und Sonnenscheindauer) wurde auf die vieljährigen Stationsmittelwerte an der DWD Messstation Straubing (DWD 04911) für den Bezugszeitraum 1991 - 2020 zurückgegriffen, welche vom DWD bereitgestellt werden [11] - [15]. Die Station liegt ca. 14 km westlich des Plangebietes im selben Naturraum „Unterbayerisches Hügelland und Isar-Inn-Schotterplatten“ in derselben Haupteinheit „Dungau“ (ID 064). Die Messstation liegt auf dem Areal der Gäubodenkaserne östlich der Ortschaft von Mitterhartshausen auf einer Höhe von 350 m ü. NHN. Aufgrund der ähnlichen topografischen Höhe und eines ähnlichen Klimatops werden an dieser Station ähnliche mikrometeorologische Bedingungen erwartet.

Die ausgewählten DWD-Messstationen gewährleisten die im Rahmen der verfügbaren Wetterinformationen bestmögliche Beschreibung der meteorologischen und klimatischen Situation am Standort. Aufgrund der Vergleichbarkeit des Naturraums sowie einer ähnlichen geographischen Lage können alle in diesem Gutachten behandelten meteorologischen Größen auf das Plangebiet übertragen werden. Eine gewisse Modifikation u. a. der Luftfeuchte und Windverhältnisse ist aufgrund der Lage des Bebauungsplans jedoch nicht auszuschließen.

Darüber hinaus wurde zur Beschreibung der allgemeinen klimatischen Bedingungen im langjährigen Mittel der vom DWD herausgegebene Klimaatlas der Bundesrepublik Deutschland ausgewertet [12].

Nachfolgend werden zunächst die langjährigen Mittel sowie ggf. Amplituden der wesentlichen Klimaelemente auf Grundlage des Klimaatlanten und der langjährigen Messdaten des DWD aus den Jahren 1991 - 2020 beschrieben.

4.2 Allgemeine klimatische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Alpenvorland auf einem Niveau von etwa 330 m ü. NHN. Die Landschaft ist als relativ eben zu charakterisieren. Räumlich liegt das Plangebiet in Zentraleuropa und weist hier im Vergleich zu westlicher gelegenen Teilen Europas kontinental klimatisch beeinflusste Verhältnisse auf. Dabei wird das Untersuchungsgebiet im Vergleich zu anderen deutschen Regionen in stärkerem Maße durch im Jahresgang stärker schwankende Lufttemperaturen geprägt, insbesondere in den winterlichen Monaten. In den Sommermonaten kann auch der gemäßigte maritime Einfluss aus Westen prägend sein.

Längere stabile Hochdruckwetterlagen stellen sich im Sommerhalbjahr durch die Ausdehnung des Azorenhochs bis nach Mitteleuropa und im Winter durch die Ausweitung des kontinentalen Kältehochs über dem osteuropäischen Festland ein.

Ebenso wie der Jahresgang der Lufttemperatur ist auch deren Tagesgang im Vergleich zu maritim geprägten Bereichen deutlich ausgeprägter.

Für den Zeitraum 1991 - 2020 stellen sich gemäß dem Deutschen Klimaatlas des DWD [12] die langjährigen Mittelwerte der wichtigsten Klimaparameter im Bereich des Untersuchungsgebietes für den o. g. Zeitraum folgendermaßen dar:

- Das langjährige Mittel der Lufttemperatur beträgt 9,2 °C. Im Sommer (Monate Juni, Juli und August) werden Durchschnittswerte von 17,6 °C bis 19,1 °C erreicht; im Winter (Monate Dezember, Januar und Februar) von -1,1 °C bis 0,6 °C. Die wärmsten Monate mit Durchschnittswerten von über 18,5 °C sind der Juli und August, während der Dezember mit Werten von durchschnittlich unter 0 °C am kältesten ist.
- Die jährliche Niederschlagshöhe liegt im Durchschnitt bei etwa 684 mm. Die größten Niederschlagsmengen fallen im langjährigen Mittel in den Monaten Mai bis August mit Höhen über 75 mm. Am niederschlagsärmsten sind die Monate Februar und April mit unter 41 mm, wobei April mit 35 mm am niederschlagsärmsten ist. Das Sommerhalbjahr (April bis September) ist im Mittel mit 401,9 mm niederschlagsreicher als das Winterhalbjahr (Oktober bis März) mit 282,2 mm. Im Schnitt fällt im Vergleich zum gesamtdeutschen Mittel von ca. 820 mm deutlich weniger Niederschlag im Jahr.
- Die mittlere Sonnenscheindauer liegt bei ca. 1.792 Stunden pro Jahr.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Klimaparameter im langjährigen Mittel (1991 - 2020) der DWD-Station Straubing (DWD 04911) aufgeführt, die mehrjährige Messdaten für die Umgebung liefert [12].

Tabelle 1. Die wichtigsten Klimaparameter im langjährigen Mittel (1991 – 2020) der DWD-Station Straubing (DWD 04911) Quelle: [12].

Klimaparameter	Straubing
Mittleres Jahresmittel der Lufttemperatur (°C)	9,2
Mittleres jährliches Maximum der Lufttemperatur (°C)	14,0
Mittleres jährliches Minimum der Lufttemperatur (°C)	4,5
Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C)	51,4
Anzahl der heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C)	9,6
Anzahl der Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur ≤ 0 °C)	103,2
Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≤ 0 °C)	27,5
Mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe (mm)	684
Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Nebel	70
Jahressumme der Sonnenscheindauer in Stunden	1.792

4.3 Windverhältnisse

Die Windrichtungsverteilung an einem Standort wird primär durch die großräumige Druckverteilung geprägt. Die Strömung in der vom Boden unbeeinflussten Atmosphäre (ab ca. 1.500 m über Grund) hat daher in Mitteleuropa ein Maximum bei südwestlichen bis westlichen Richtungen. Ein zweites Maximum, das vor allem durch die Luftdruckverteilung in Hochdruckgebieten bestimmt wird, ist bei Winden aus Ost bis Nordost vorherrschend. In Bodennähe, wo sich der Hauptteil der lokalen Ausbreitung von Schadstoffen abspielt, kann die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung jedoch durch die topographischen Strukturen modifiziert sein.

Geprägt durch die großräumige Luftdruckverteilung sind regional übergeordnet vor allem Winde aus westlichen bis südwestlichen Richtungen sowie sekundär aus östlichen Richtungen zu erwarten. Diese regionale Verteilung ist aufgrund einer wenig ausgeprägten orografischen Gliederung auch am Standort zu erwarten.

Zwischen der zu erwartenden Windrichtungsverteilung am Standort und der real gemessenen Windrichtungsverteilung gemittelt über die letzten 10 Jahre am Standort der DWD-Messstation Straubing besteht hinsichtlich des primären und sekundären Maximums (Südwesten und Osten) eine gute Übereinstimmung.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung sowie die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklassen.

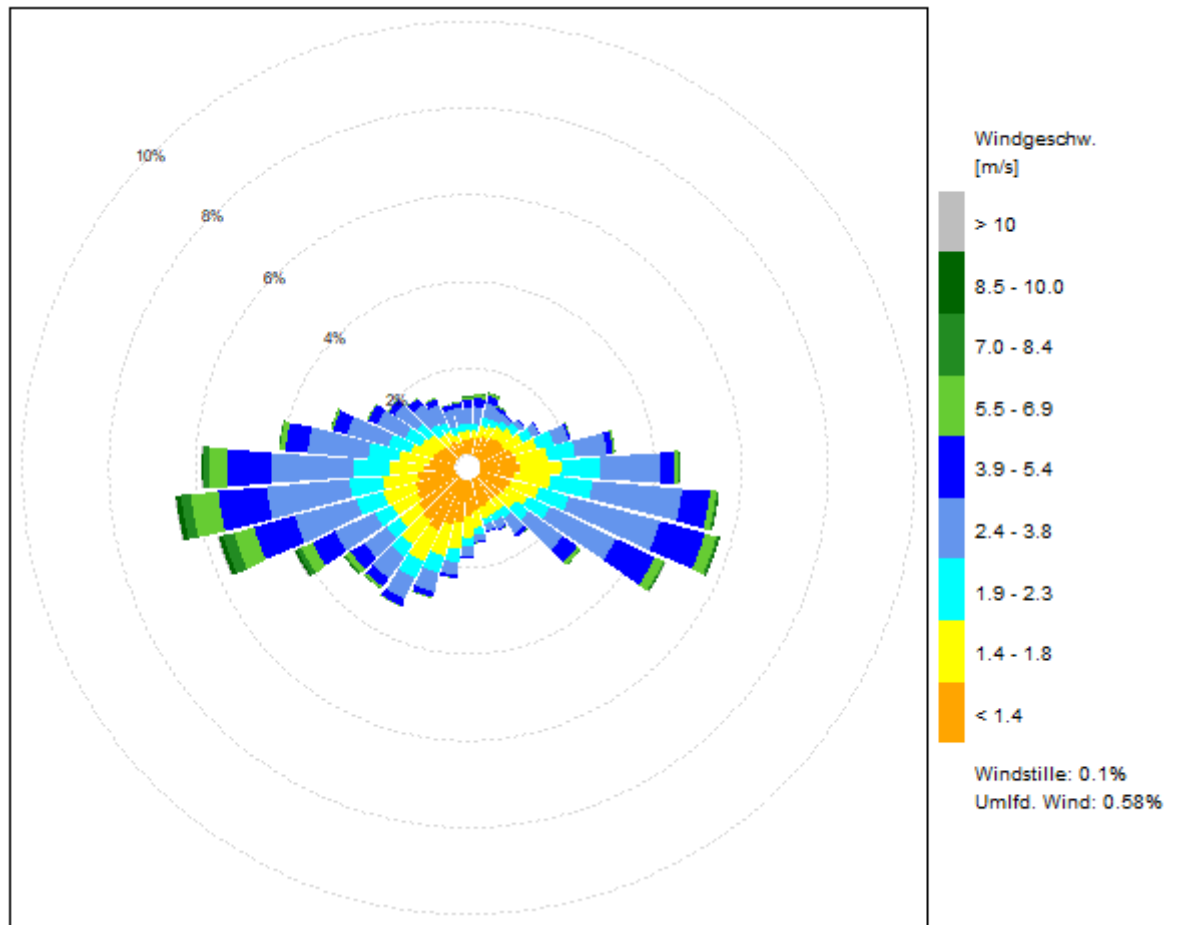


Abbildung 3. Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, DWD Station Straubing für den Zeitraum 2013 bis 2022 [11].

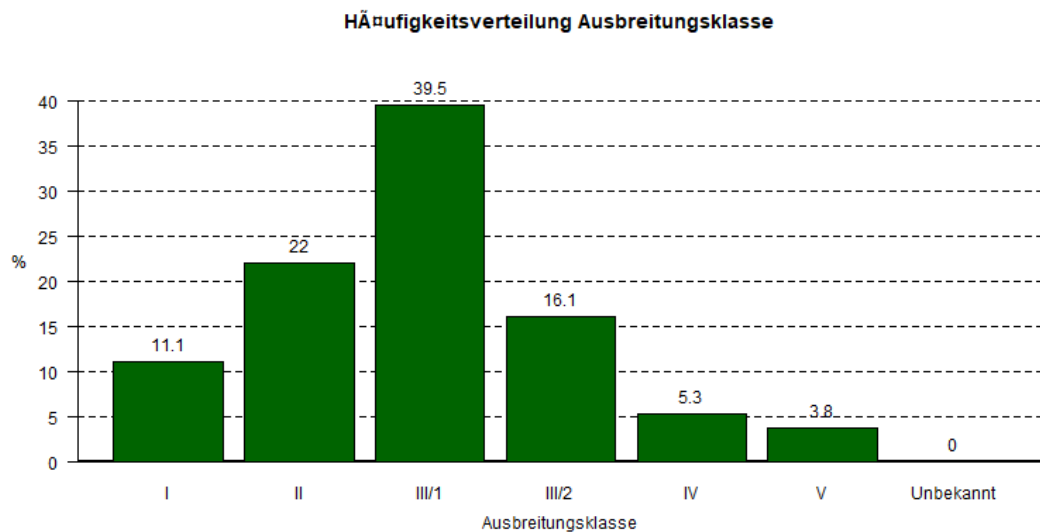
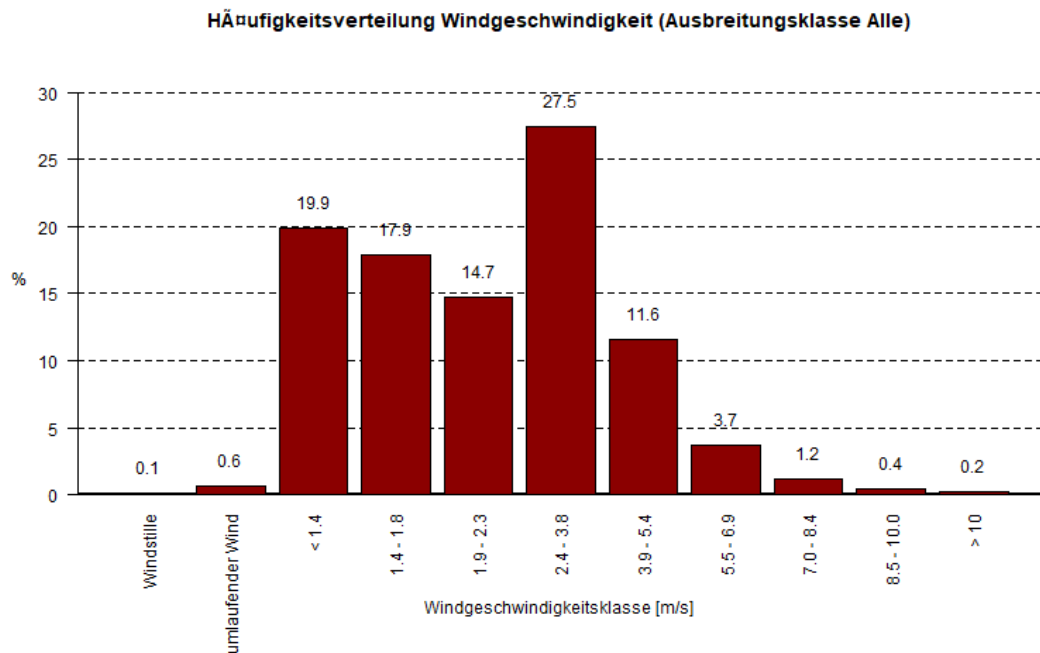


Abbildung 4. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklassen, DWD Station Straubing für den Zeitraum 2013 bis 2022 [11].

Die Windrose zeigt ein typisches Maximum aus westlicher Richtung (breit von und Sekundärmaximum aus Richtung Osten auf.

Die mittlere Windgeschwindigkeit über den 10-jährigen Zeitraum beträgt an der Station Straubing ca. 2,6 m/s, Schwachwindwetterlagen mit Windgeschwindigkeiten bis maximal 1,4 m/s inklusive umlaufende Winde treten in 20,6 % der Jahresstunden auf. Stabile Ausbreitungssituationen (Ausbreitungsklassen I und II) liegen in ca. 33,1 % der Jahresstunden vor.

Starkwindsituationen mit Windstärken > 7 m/s und damit hoher atmosphärischer Turbulenz treten hauptsächlich bei Winden aus südwestlicher Richtung auf.

4.4 Beschreibung weiterer beurteilungsrelevanter Klimakenngrößen

Nachfolgend werden die Klimaelemente Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer, Bewölkung und Globalstrahlung näher betrachtet. Hierzu wurden Klimamessstationen hinsichtlich der verfügbaren gemessenen Klimaelemente ausgewertet; der Betrachtungsfokus liegt hierbei – ergänzend zum langjährigen Bezugszeitraum (1991 - 2020) des Klimaatlas des Deutschen Wetterdiensts – auf dem Vergleich mit in älterer Vergangenheit liegenden Messjahrgängen (falls vorhanden), um potentielle klimawandelbedingte Auswirkungen aufzeigen zu können.

4.4.1 Lufttemperatur

Zur Beschreibung des Klimaelements Lufttemperatur wurde auf die vieljährigen Stationsmittelwerte aus der DWD Messstation Straubing (DWD 04911) für den Bezugszeitraum 1991 - 2020 zurückgegriffen [12]. Die Daten wurden vom DWD u. a. auf Standortänderungen und Instrumentenwechsel korrigiert.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Maximal-, Minimal- und Durchschnittstemperatur zusammengefasst sowie in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Gemittelte monatliche Werte der durchschnittlichen Lufttemperatur, Maximaltemperatur und Minimaltemperatur im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 an der Messstation Straubing (DWD 04911). Alle Angaben in [°C]. Quelle: Daten aus [12].

mittlere Lufttemperatur	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Durchschnitt	-1,1	0,6	4,6	9,6	14,1	17,6	19,1	18,7	13,9	9,1	4	0,3	9,2
Maximum	1,6	4,4	9,5	15,5	19,6	23,1	25	24,7	19,5	13,7	6,9	2,8	14
Minimum	-4,2	-3,2	-0,1	3,4	7,9	11,3	12,7	12,5	8,5	4,7	0,9	-2,3	4,5

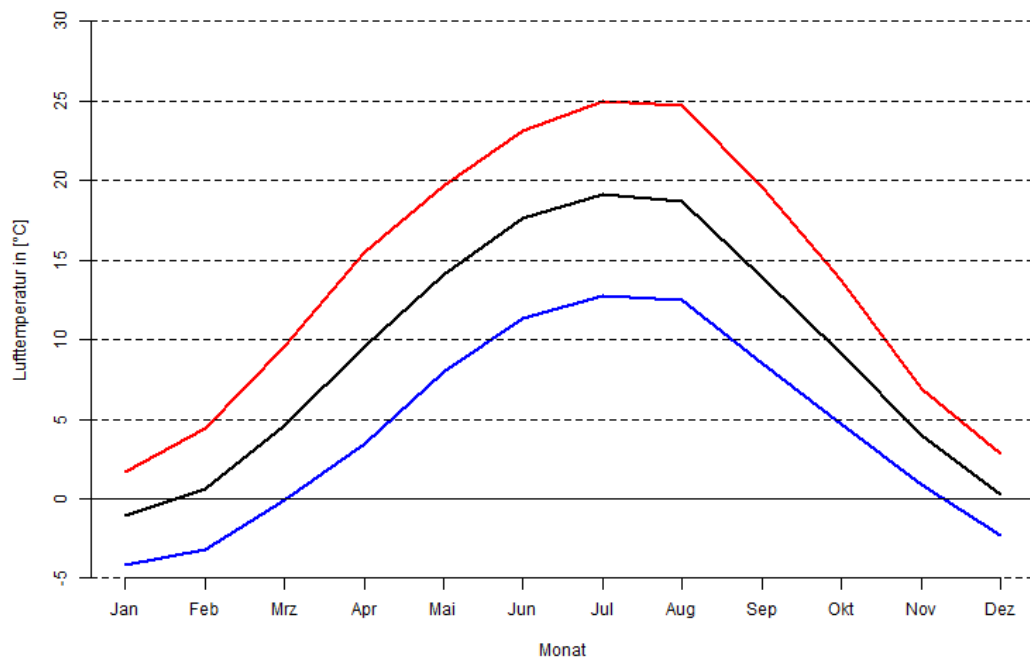


Abbildung 5. Monatliche Mittelwerte der mittleren Lufttemperatur (schwarz), Maximaltemperatur (rot) und Minimaltemperatur (blau) des Bezugszeitraums 1991 bis 2020 der DWD-Station Straubing. Quelle: eigene Berechnungen mit Daten aus [11] und [12].

Die mittlere Lufttemperatur an der Messstation Straubing weist ein, für die geographische Lage in Mitteleuropa, typisches Profil auf. Das Minimum der Lufttemperatur findet sich im Januar und das Lufttemperaturmaximum im Juli [12]. Dem kontinentalen Einfluss Eurasiens ist die ausgeprägte Temperaturamplitude von ca. 19 °C geschuldet, da der ausgleichende maritime Einfluss des Atlantiks in diesem Bereich Mitteleuropas zunehmend abnimmt. Es herrscht ein typisches Jahreszeitenklima vor, bei dem die Lufttemperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht geringer sind als die zwischen den Jahreszeiten [2].

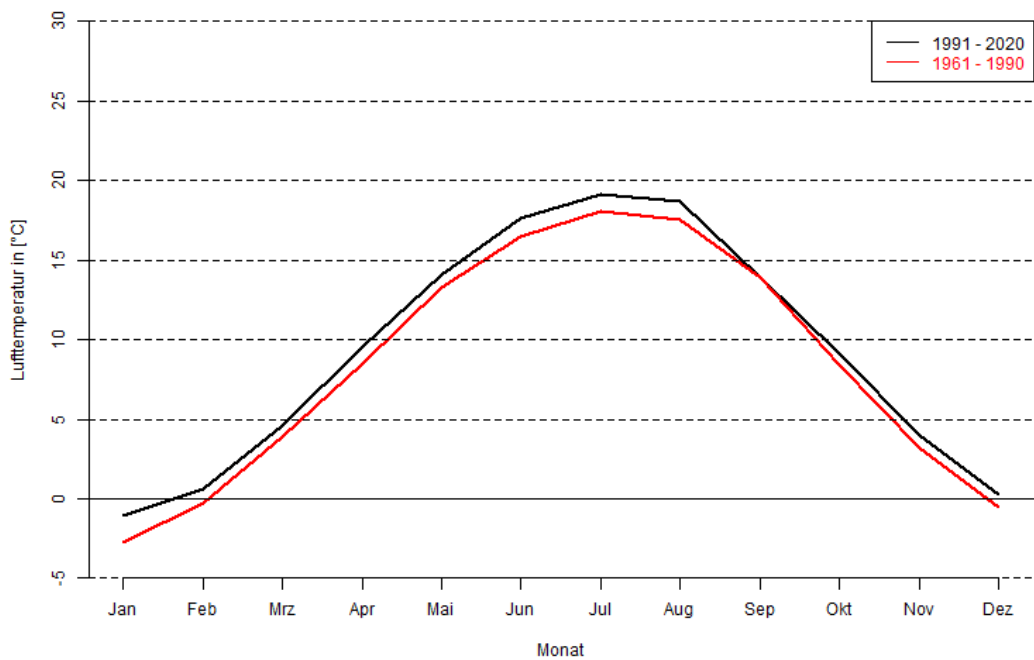


Abbildung 6. Monatliche mittlere Lufttemperatur an der DWD-Station Straubing während den Klimareferenzperioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020; Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus [12].

Die durchschnittliche jährliche Lufttemperatur im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 beträgt an der DWD Station Straubing 9,2 °C und liegt im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 um ca. 0,9 °C höher. Ein Vergleich der monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur zwischen der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 und dem Bezugszeitraum 1991 – 2020 zeigt ebenfalls für jeden Monat eine Erhöhung der monatlichen mittleren Temperatur, siehe Abbildung 6.

Die Wirkung des Klimawandels auf die mittlere Jahrestemperatur ist in Abbildung 7 dargestellt.

Mittlere Jahrestemperatur Straubing 1883 - 2022

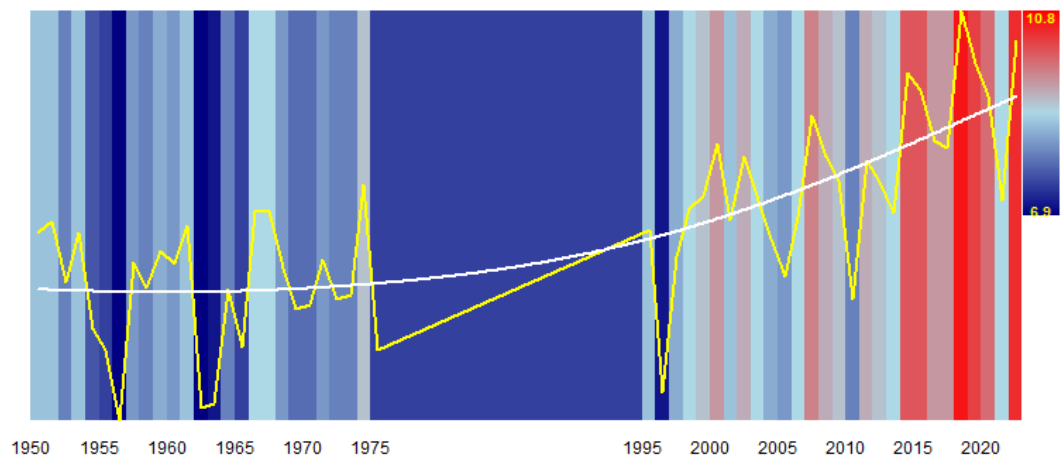


Abbildung 7. Jährliche mittlere Temperatur an der DWD Station Straubing, dargestellt als sog. Klimastreifen: blaue Farbtöne zeigen kältere Jahre, rote Farbtöne wärmere Jahre. Die gemessene Jahresmitteltemperatur ist mit der gelben Kurve dargestellt. Zwischen 1975 und 1995 wurden vorliegend keine Daten herausgegeben. Die weiße Kurve zeigt einen geglätteten Verlauf der Temperatur.

An der nächstgelegenen repräsentativen DWD-Messstation Straubing (DWD-ID: 04911) lag der Temperaturdurchschnitt in der Klimaperiode 1991 – 2020 bei 9,2 °C. Der durchschnittlich wärmste Monat ist in dieser Periode der Juli mit 19,1 °C und der kälteste der Januar mit -1,1 °C, welcher damit als einziger Monat Durchschnittstemperaturen unterhalb des Gefrierpunktes aufweist [11][12].

Die Temperaturdaten der DWD-Station Straubing werden seit dem Jahr 1951 erhoben und zeigen ab den 1960er Jahren einen deutlichen Trend eines Anstiegs der Lufttemperatur, welcher ursächlich mit dem anthropogenen Klimawandel begründbar ist. Den relativen Anstieg der Temperaturen kann man visuell gut anhand der sog. Klimastreifen (vgl. Abbildung 7) verdeutlichen. In Abbildung 6 ist erkennbar, dass die Temperaturen vor allem im Winter, Frühjahr und Sommer höher liegen. Im Herbst sind die Lufttemperaturen zwischen den Referenzperioden relativ gleich.

Das LfU hat unter Berücksichtigung verschiedenster Gesellschafts- und Klimaszenarien Prognosen für das Voranschreiten des Klimawandels bis zum Ende des Jahrhunderts getätigt. Demnach wird sich die Durchschnittstemperatur in Bayern um bis zu 1,6 °C erhöhen, wenn Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Ohne Klimaschutzmaßnahmen könnte die Jahresmitteltemperatur in der Klimaregion Donauregion (Klima in Niederbayern) sogar um bis zu 4,7 °C ansteigen. Im Vergleich zur Mitte des 20. Jahrhunderts liegt die mittlere Temperatur dieser Region bereits heute ca. 2,1 °C höher. Acht der zehn wärmsten Jahre in Bayern wurden nach dem Jahr 2000 verzeichnet [23].

Die Verhältnisse der Lufttemperatur am Messstandort Straubing lassen sich aufgrund der naturräumlichen Lage und einer ähnlichen Höhenlage (die DWD Station Straubing liegt auf einer Höhe von 350 m NHN) gut auf das Plangebiet übertragen.

4.4.2 Kaltluftabflüsse

Die Topographie des Untergrundes kann auf die bodennahen Luftschichten einen erheblichen Einfluss ausüben und durch ihr Relief das Windfeld nach Richtung und Geschwindigkeit modifizieren. Aufgrund einer unterschiedlichen Erwärmung und Abkühlung der Erdoberfläche können sich lokale, thermische Windsysteme bilden. Besonders bedeutsam sind Kaltluftabflüsse.

Unter Kaltluft versteht man bodennahe Luft, die kälter als die Luft in ihrer Umgebung ist. Kaltluft wird entweder vor Ort aufgrund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche gebildet oder durch kleinräumige Zirkulation herantransportiert. Kaltluftentstehung und -abfluss hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab. Lokale Kaltluft entsteht während des abendlichen Abkühlungsprozesses und insbesondere in der Nacht an der Erdoberfläche.

In wolkenlosen Nächten kann die Erdoberfläche nahezu ungehindert Energie abstrahlen, wodurch sie sich merklich abkühlt und die darüber liegende Luft ebenfalls. Die Intensität der Abkühlung ist in erster Linie abhängig von der Bodenbedeckung. Wälder, Wiesen und landwirtschaftlich genutzte Flächen mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Oberflächen gelten als wichtige Kaltluft produzierende Flächen.

Von höher gelegenen Flächen fließt die Kaltluft dem Geländegefälle folgend zu tiefer gelegenen Gebieten ab. Während die Fließgeschwindigkeit von Neigung und Rauigkeit der Oberfläche abhängig ist, wird die Fließrichtung durch die Geländeform bestimmt. Als Leitlinien des Kaltluftabflusses treten lang gestreckte Hohlformen mit gleichsinnigem Gefälle auf. In tiefer gelegenen konkaven Geländeteilen wie in Tälern, Talkesseln, Schluchten und Mulden kann sich die Kaltluft sammeln und es können sich Kaltluftseen bilden.

Kaltluftabflüsse haben i. d. R. nur eine relativ geringe Höhe. Kaltluftseen dagegen können sich je nach Geländeprofil prinzipiell auch mit größerer vertikaler Ausdehnung ausbilden. Innerhalb von Kaltluftabflüssen und insbesondere in Kaltluftseen kann es vermehrt zu einer Gefahr von Bodenfrost und Glätte kommen. Zudem haben Kaltluftabflüsse einen abkühlenden Effekt auf die durchflossenen Gebiete und versorgen diese mit frischer, von Schadstoffen weniger oder nicht belasteten, Luft.

Zu Beginn einer Kaltluftnacht fließt die Kaltluft primär den orografischen Verhältnissen folgend senkrecht zu den Höhenlinien von höherem zu niedrigerem Gelände ab (Hangabwinde). In Talbereichen sammelt sich die Kaltluft und fließt im weiteren Verlauf talabwärts weiter. Kommt es aufgrund eines geringen Talgefälles zur Stagnation, so dass sich die Kaltluft im Tal sammelt, so nimmt unter Umständen im weiteren Verlauf der Nacht die nachfließende Kaltluft einen anderen Weg als den entlang der Talachse. Kaltluftabflüsse sind in solchen Fällen sehr dynamische Strömungsphänomene, die im Laufe einer Nacht wechselnde Richtungen und unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten aufweisen können.

Der Bereich des Plangebietes selbst ist in seinem derzeitigen Zustand (Freifläche/ Ackerland) als Kaltluftproduktionsfläche einzustufen. Diese Funktion wird mit der geplanten Umwandlung und Bebauung eingeschränkt werden. Gewerbe- und Industriegebiete fungieren vielmehr als Kaltluftsenke und Strömungshindernis für Kaltluftabflüsse.

Bezüglich der Kaltluftdynamik wird mit dem vom DWD zu Verfügung gestellten Kaltluftsimulationsmodell KLAM_21 eine Simulation im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich in Müller-BBM Bericht Nr. M175458/03.

So zeigt sich, dass nach vier Stunden Kaltluftentwicklung kein relevanter Unterschied zwischen dem Ist- und Planfall vorliegt. Der Vergleichsfall (Ist – Plan) weist im gesamten Gebiet keine Unterschiede in der Kaltluflhöhe mehr aus.

Die Nutzungsänderung des geplanten Bebauungsplans stellt den Untersuchungen zu Folge kein nachhaltiges Hindernis für die Kaltluftausbreitung dar.

Angesichts der geringen Fließgeschwindigkeiten und der Stagnation der nächtlichen Kaltluft im Donautal sind relevante Einflüsse durch Kaltluftereignisse auf die Ausbreitungssituationen nicht zu erwarten.

4.4.3 Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit ist ein Relativmaß, definiert als der aktuelle Wasserdampfdruck im Verhältnis zum Sättigungsdampfdruck über Wasser bei der aktuellen Lufttemperatur. Sie stellt daher kein absolutes Maß für den Wasserdampfgehalt der Luft dar (dieser ergibt sich jedoch aus der relativen Luftfeuchte in Verbindung mit der Lufttemperatur) und ist bei gegebenem Wasserdampfpartialdruck in starkem Maße von der Lufttemperatur abhängig. Sie ist dennoch eine wichtige diagnostische Größe, da sie erkennen lässt, in welchem Maß die Luft mit Wasser gesättigt ist bzw. im Umkehrschluss, welche Wasserdampfaufnahmekapazität (bei relativen Luftfeuchten <100 %) bzw. welches Potential, verfügbares Wasser zu verdunsten, noch gegeben ist, bis es zur Sättigung (relative Luftfeuchte 100 %) oder gar zur Kondensation (relative Luftfeuchte > 100 %) und damit zum Ausfall tropfenförmigen Wassers kommt (Nebel, Niederschlag).

Die relative Luftfeuchte nimmt Werte bis knapp über 100 % ein (zu relativen Luftfeuchten von über 100 % und damit Übersättigung kann es kommen, wenn kein hinreichendes Angebot an Kondensationskeimen vorliegt) und bewegt sich in unseren Breiten typischerweise zwischen 20 und 100 %. Luftfeuchten von 0 % sind in der Troposphäre nicht anzutreffen.

Zur Beschreibung der relativen Luftfeuchtigkeit wird auf stündliche Messdaten der Messstation Straubing (DWD 04911) zurückgegriffen. Diese Station ist die am nächsten gelegene Wetterstation, mit einem durchgehenden Datensatz der Luftfeuchtigkeit für die Klimaperiode 1991 – 2020. Der Bebauungsplan liegt in einer ähnlichen Höhe wie die Messstation (350 m NHN), so dass auch ähnliche Werte der Feuchte erwartet werden.

In der folgenden Tabelle werden die mittleren monatlichen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit an der Messstation Straubing im Klimareferenzperiode 1991 bis 2020 aufgeführt; das darauffolgende Histogramm verdeutlicht die Häufigkeitsverteilung der Luftfeuchtigkeit im genannten Bezugszeitraum.

Tabelle 3. Rel. Luftfeuchte im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 an der Messstation Straubing (DWD 04911). Angegeben sind die langjährigen Monatsmittel sowie das langjährige Maximum und Minimum aus den monatlichen Mittelwerten. Datengrundlage sind Stundenwerte der relativen Luftfeuchte. Alle Angaben in [%]. Quelle: eigene Berechnungen mit Daten aus [11].

rel. Feuchte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Durchschnitt	89	84	77	70	72	73	72	73	80	87	91	90
Maximum	95	89	84	81	82	80	80	80	86	93	96	94
Minimum	81	79	69	51	59	64	63	58	72	77	84	85

In Tabelle 3 ist ein deutlicher Jahresgang der monatlichen mittleren relativen Luftfeuchtigkeit zu erkennen, wobei hohe Werte in den Wintermonaten und geringere Werte in den Sommermonaten zu verzeichnen sind. Da die relative Luftfeuchtigkeit lufttemperaturabhängig ist, weisen beide Jahresgänge einen antizyklischen Gang auf. Da typischerweise im Sommer wärmere Temperaturen vorliegen, liegt eine höhere Wasserdampfaufnahmekapazität vor als in den kühlen Wintermonaten.

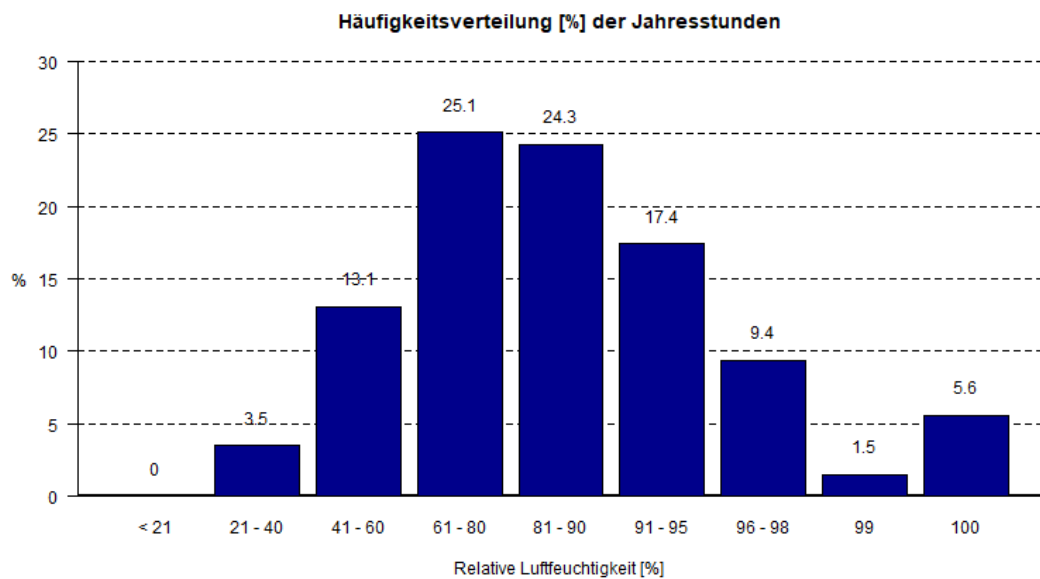


Abbildung 8. Häufigkeitsverteilung der rel. Luftfeuchtigkeit an der Station Straubing (DWD 04911) im Bezugszeitraum 1991 – 2020. Quelle: eigene Berechnungen mit Daten aus [11].

4.4.4 Nebelhäufigkeiten

Das Untersuchungsgebiet ist aufgrund seiner Lage im Bereich der Donau sowie der Regen durch eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit geprägt. Es kann demnach eine relativ hohe Anzahl an Nebelereignissen ermittelt werden.

Die DWD-Wetterstation Straubing verzeichnet im o. g. Zeitraum eine mittlere Anzahl der Tage mit Nebelereignissen von 70 [12].

4.4.5 Niederschläge

Für die Beschreibung der Niederschläge wurde ebenfalls auf die DWD-Station Straubing zurückgegriffen. Niederschläge sind regional sehr differenziert zu betrachten und können sich lokal deutlich unterscheiden. Insbesondere konvektive Niederschlagsereignisse (z. B. während eines Gewitters) sind meist auf kleine lokale Skalen begrenzt.

Im Durchschnitt der Bezugsperiode von 1991 bis 2020 wurden an der Messstation Straubing ca. 684 mm an Niederschlag registriert im Vergleich zur Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990, in welcher durchschnittlich ca. 784 mm registriert wurden. In der aktuellen Bezugsperiode fiel demnach durchschnittlich 100 mm weniger Niederschlag pro Jahr.

Abbildung 9 zeigt die monatliche mittlere Niederschlagsverteilung an der Messstation Straubing während der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 sowie der Bezugsperiode 1991 – 2020. In beiden Bezugsperioden sind die meisten Niederschläge in den Sommermonaten zu verzeichnen. Der verhältnismäßig niederschlagsärmste Monat ist in der aktuellen Periode der April.

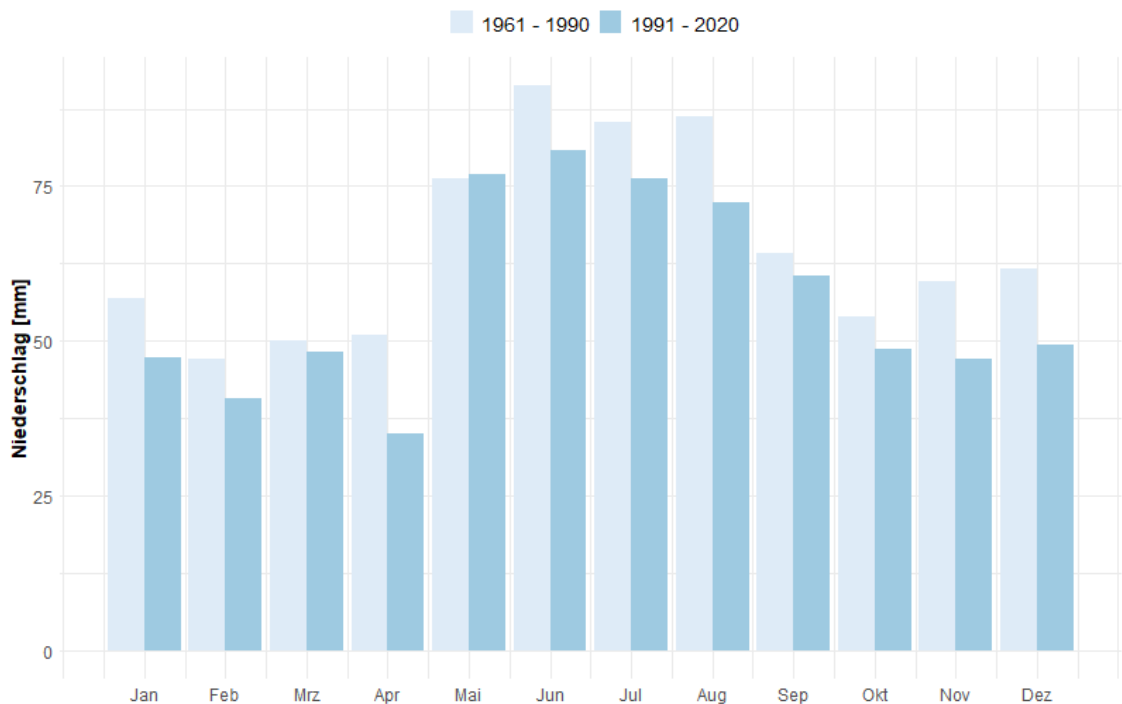


Abbildung 9. Monatliche mittlere Niederschlagsverteilung an der Station Straubing (DWD 04911) während der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 und der Bezugsperiode von 1991 - 2020 Quelle: eigene Berechnungen mit Daten aus [12].

Im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 ist eine leichte Zunahme der Niederschlagsmengen ausschließlich im Monat Mai zu verzeichnen. Alle anderen Monate verzeichnen teils deutlich sinkende Niederschlagssummen. Insbesondere die Sommer- wie auch die Wintermonate zeigen teils eine deutliche Reduktion der Niederschlagssummen. Am auffälligsten ist jedoch der Monat April.

Ohne Klimaschutzmaßnahmen könnten bis Ende des Jahrhunderts im Sommer tendenziell geringere und im Winter tendenziell höhere Niederschlagsmengen zu erwarten sein. Jedoch wird mit einer Zunahme von bis zu + 1,7 Tagen mit Starkregenereignissen ausgegangen. Es wird nicht erwartet, dass sich die mittlere Jahresniederschlagsmenge nennenswert verändert [23].

Lokale Starkniederschläge stellen insbesondere für dicht bebaute und versiegelte Regionen sowie kleine Flussbereiche in Tallagen ein erhöhtes Risiko von Überflutungen dar. Wälder und Freiflächen können dagegen einen bedeutenden Beitrag zum Hochwasserschutz leisten. Wald- und Freiflächen sind in der Lage große Mengen an Wasser zu speichern. Damit bremsen diese den Wasserabfluss und beugen Hochwasserspitzen vor.

4.4.6 Bedeckungsgrad

Der Bedeckungsgrad ist ein Maß für die Stärke der Bewölkung an einem Ort. Dabei wird die Bewölkung auf einer Skala von 0 (keine Bedeckung) bis 8 (vollständige Bedeckung) über den gesamten sichtbaren Himmel gegeben.

Für das Klimaelement Bewölkung (Bedeckungsgrad) wurde auf die DWD-Station Straubing (DWD 04911) zurückgegriffen.

In der nachstehenden Tabelle 4 und in Abbildung 10 werden die monatlichen Mittelwerte, die Maxima und Minima der Bedeckungsgradaten für die Bezugsperiode 1991 – 2020 dargestellt.

Tabelle 4. Monatliche Mittelwerte des Bedeckungsgrads im Bezugszeitraum 1991 – 2020 an der Messstation Straubing (DWD 04911). Eigene Berechnungen mit Daten aus [11].

Bewölkung	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Durchschnitt	6,2	5,5	4,9	4,5	4,8	4,6	4,3	4,3	4,7	5,4	6,2	6,3
Maximum	7,4	7,2	6,9	6,1	6,5	5,7	6	6,2	6,7	7,3	7,3	7,6
Minimum	4,7	3,2	2	1,7	2	2,7	2	2,4	1,5	3,4	4,2	4,8

Die Tabelle zeigt – charakteristisch für den Bedeckungsgrad – einen mäßig akzentuierten Jahresgang mit höheren Bedeckungsgraden im Winter- als im Sommerhalbjahr.

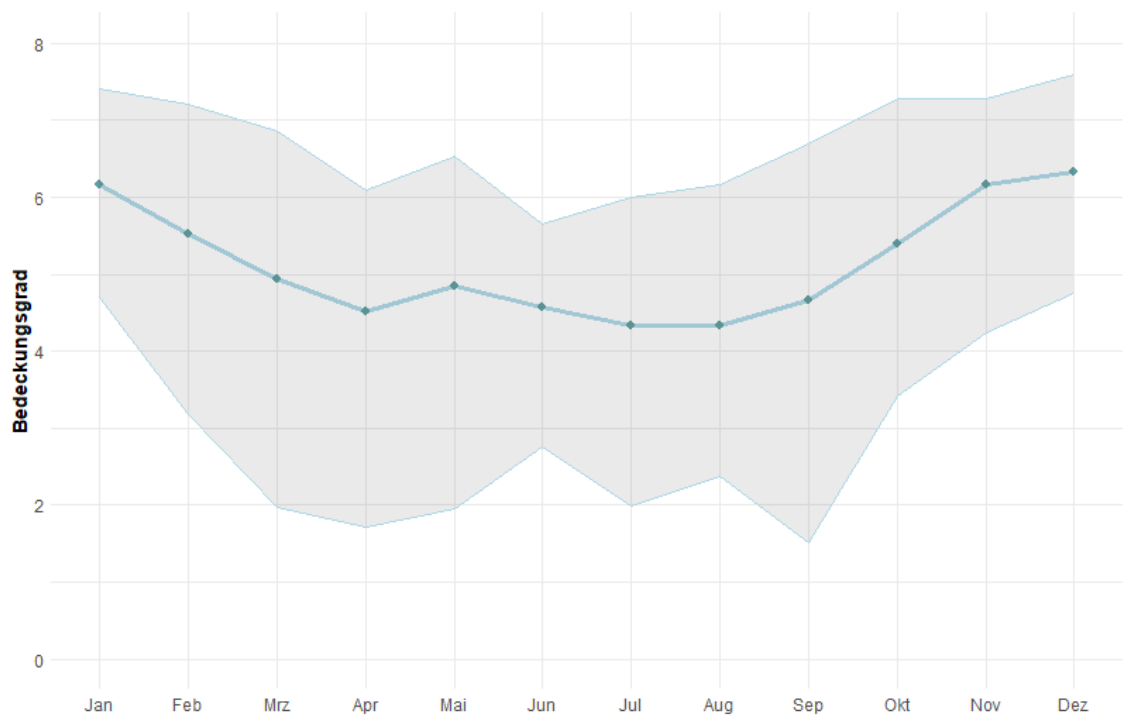


Abbildung 10. Jahrgang des Bedeckungsgrades im Bezugszeitraum 1991 – 2020 an der Messstation Straubing (DWD 04911). Die schattierte Fläche zeigt die Bandbreite des Bedeckungsgrades, die während des Bezugszeitraums auftrat. Quelle: Eigene Berechnungen mit Daten aus [11].

4.4.7 Kurzwellige (solare) Strahlung

(Tatsächliche) Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer ist zwischen der astronomischen und der tatsächlichen Sonnenscheindauer zu unterscheiden.

Die astronomische Sonnenscheindauer ist ein Maß für die maximale Sonnenscheindauer. Sie misst die Länge des Tages von Sonnenaufgang bis Untergang. Die astronomische Sonnenscheindauer erfasst die maximale Dauer, die unter idealen Bedingungen (wolkenlose, ungetrübt klare Atmosphäre, keine Horizontüberhöhung durch Geländeerhebungen oder Gebäude) möglich ist. Die astronomische Sonnenscheindauer ist abhängig von der geographischen Breite sowie der Jahreszeit und wird auch als theoretische Sonnenscheindauer bezeichnet.

Demgegenüber stellt die tatsächliche Sonnenscheindauer die an einem bestimmten Ort in Wirklichkeit auftretende Dauer des Sonnenscheins dar. Diese ist neben den astronomischen Gegebenheiten u. a. abhängig vom Gelände, der Vegetation und der Gebäude sowie von der Bewölkung und Trübung der Atmosphäre. Die tatsächliche Sonnenscheindauer liegt somit unterhalb der astronomischen Sonnenscheindauer.

In der nachfolgenden Tabelle 5 wird die monatliche Sonnenscheindauer in der Bezugsperiode 1991 bis 2020 sowie der Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 an der DWD-Messstation Straubing (DWD 04911) dargestellt.

Tabelle 5. Gemittelte, monatliche Sonnenscheindauer in Stunden des Bezugszeitraums sowie der Klimareferenzperiode an der DWD-Messstation Straubing (DWD 04911). Daten aus [12].

Sonnenscheindauer	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1961 - 1990	41	74	120	166	211	209	237	215	158	107	47	36	1621
1991 - 2020	53	90	144	197	222	243	248	229	168	109	52	45	1792

Wie Tabelle 5 zeigt, sind die Sommermonate am sonnenreichsten, während der Winter aufgrund des Sonnenstandes und des im Allgemeinen im Winter höheren Bedeckungsgrades sonnenärmer ist. Dies liegt u. a. an der intraannuellen Schwankungsbreite von Hoch- und Tiefdruckgebieten, welche am Standort aufgrund der überwiegend kontinentalen Prägung eine Häufung von bodennahen Hochdruckgebieten in den Sommermonaten und demnach eine relative Häufung an Tiefdruckgebieten in den Wintermonaten nach sich zieht.

Der sonnenreichste Monat war in beiden Perioden der Juli; der sonnenärmste Monat ist der Dezember. Auffällig ist, dass alle Monate eine Steigerung der tatsächlichen Sonnenscheindauer verzeichnen, siehe Abbildung 11.

Mit einem Mittelwert von 1.792 Sonnenstunden im Jahr lag die Sonnenscheindauer in der neueren Referenzperiode über dem Mittel für Deutschland (1.600 h/a) [16]. Die Sonnenscheindauer hat sich im Vergleich der Referenzperioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020 um 171 Stunden im Jahr erhöht.

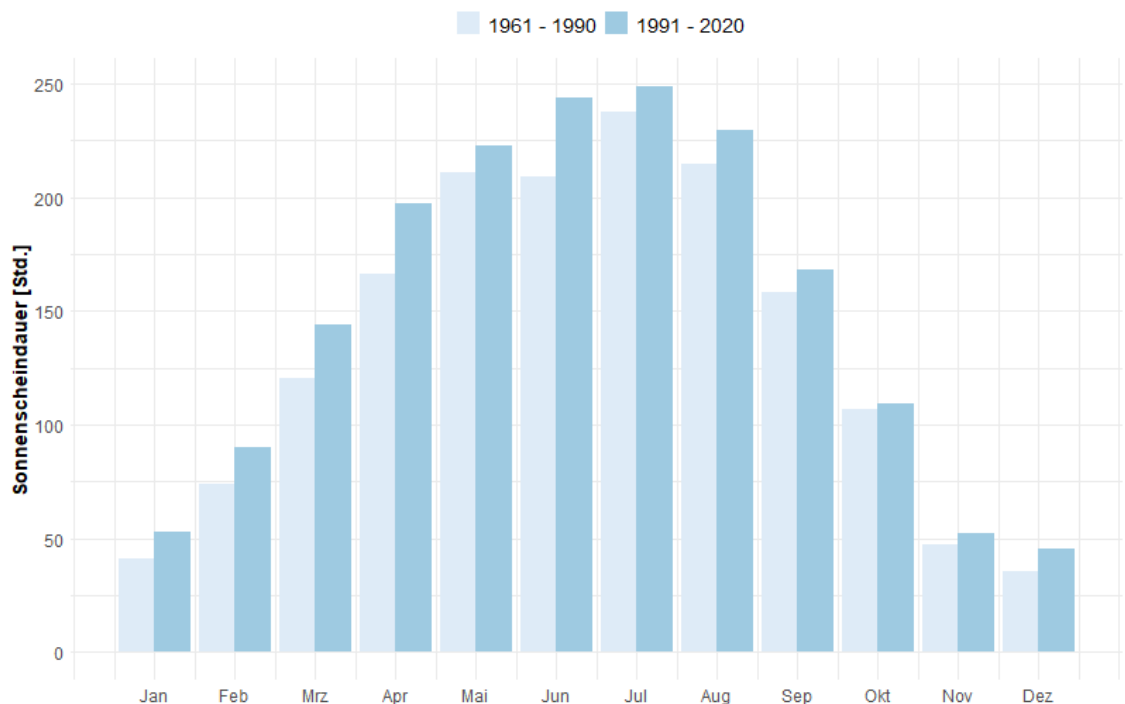


Abbildung 11. Mittlere Sonnenscheindauer in Stunden für die Klimareferenzperioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020 an der Messstation Straubing. Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus [12].

Globalstrahlung

Unter der Globalstrahlung versteht man die gesamte auf die Erdoberfläche einfallende kurzwellige Strahlung, die etwa 96 % des Spektralbereiches der Sonne umfasst. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten solaren Strahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammen. Die diffuse Himmelsstrahlung resultiert aus gestreutem und reflektiertem Sonnenlicht und ist die Summe dieser Strahlungsflüsse, welche aus dem oberen Halbraum mit Ausnahme der Sonnenscheibe einfällt [22]. Die Erdatmosphäre dient in diesem Zusammenhang als ein „Schutzschild“, welches durch Absorption, Reflexion und Streuung die direkte Solarstrahlung bzw. Bestrahlungsstärke insgesamt verringert sowie insbesondere auch schädliche kurzwellige Anteile (v. a. UV-C und UV-B) ganz bzw. zu großen Anteilen ausfiltert.

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor auf die Globalstrahlung übt der Bedeckungsgrad aus, da bei Bewölkung die direkte Strahlung stark reflektiert und gestreut wird, so dass die direkten Strahlungsanteile reduziert werden und die diffusen an Gewicht gewinnen. Während einzelne Wolken an ansonsten sonnigen Tagen, die nicht die Sonnensichtbarkeit selbst verschatten, durch Reflexion an den weißen Wolkenflanken sogar zu kurzzeitigen Strahlungsspitzen führen können, die über die für den unbewölkten Zustand möglichen Werte hinausgehen, führen hohe Bewölkungsgrade zu einer in der Regel stark reduzierten Globalstrahlung, die dann durch die diffuse Strahlung dominiert wird.

Nach [18] weist die Region um den Standort im Bezugszeitraum von 1991 bis 2020 eine jährliche Globalstrahlung von 1.141 – 1.160 kWh/m² auf, wobei diese in den Wintermonaten aufgrund des geringeren Elevationswinkels der Sonne mit 21 – 25 kWh/m² im Dezember (niedrigster Monatswert) deutlich geringer ist als im Juni und Juli mit 171 – 175 kWh/m² (höchster Monatswert). Die monatlichen Summen der Globalstrahlung folgen – wie die Sonnenscheindauer – demnach im Wesentlichen dem Jahresgang des Sonnenstands, werden jedoch auch durch Witterungseinflüsse (insbesondere dem Bewölkungsgrad) beeinflusst.

4.5 Klimatopausstattung und mikroklimatische Bestandssituation im Untersuchungsgebiet

Im Allgemeinen können sich aus verschiedenen Standortfaktoren, wie z. B. dem Relief, der Verteilung von aquatischen und terrestrischen Arealen, dem Bewuchs und der Bebauung lokalklimatische Unterschiede ergeben, für die i. d. R. keine Messdaten vorliegen. Auf die bodennahen Luftschichten bzw. das Lokalklima üben dabei sowohl die Topographie als auch die Unterlage, d. h. die Bodenbeschaffenheit, einen Einfluss aus.

Vor diesem Hintergrund können im Untersuchungsgebiet verschiedene Klimatope abgegrenzt werden. Unter einem Klimatop wird ein Gebiet bezeichnet, das ähnliche mikroklimatische Ausprägungen aufweist. Klimatope lassen sich allerdings nicht parzellenscharf abgrenzen, sondern gehen i. d. R. fließend ineinander über.

Der überwiegende Anteil im Untersuchungsgebiet ist dem Klimatop des Freilandklima zugeordnet, zu dem auch das Planungsgebiet vollständig gehört (IST-Zustand). Die Industriefläche süd-östlich des Planungsgebietes ist ein bestehender Solarpark.

4.5.1.1 Freilandklimatop

Das weitere Umfeld des Plangebietes wird hauptsächlich durch zusammenhängende Freiflächen geprägt. Diese Flächen werden größtenteils landwirtschaftlich genutzt. Südöstlich des Standortes befindet sich ein großflächiges Freiland-Photovoltaik-Kraftwerk.

In Freilandklimatopen findet in windschwachen Strahlungsnächten eine intensive nächtliche Frischluft- und Kaltluftproduktion statt. Insbesondere bei autochthonen Wetterlagen und nächtlicher Ausstrahlung kommt es zu einer Ausbildung von Kaltluft. Bereits durch geringe Geländesteigungen >2 Grad können die, aufgrund der kühleren Lufttemperatur, dichteren Luftmassen hangabwärts strömen. Auf dem Plangebiet selbst ist keine solche Steigung vorhanden. Generell fällt das Gelände minimal in Richtung Donau ab.

Neben einer starken nächtlichen Abkühlung ist das Freilandklima durch einen deutlich ausgeprägten Jahres- und Tagesgang der Lufttemperatur gekennzeichnet. Bei einer guten Wasserversorgung des Oberbodens zeichnen sich diese Flächen durch hohe latente Wärmeumsätze und damit durch hohe Verdunstungsraten aus. Die hohe Bodenfeuchte führt insbesondere in Herbst- und Wintermonaten zu häufigen Nebelbildungen sowie allgemein zu hoher Luftfeuchte. Durch die hohe Luftfeuchtigkeit im Bereich der Freiflächen werden auch angrenzende Klimatope beeinflusst.

4.5.1.2 Waldklimatop

Zusammenhängende Waldflächen sind im Untersuchungsgebiet nördlich der Gemeinde Irlbach und etwas entlang der Donau vorzufinden. Auf dem Gebiet des Angebots-B-Plans befinden sich keine Waldflächen.

Innerhalb eines Waldklimatops herrschen eine reduzierte Ein- und Ausstrahlung bei allgemein niedrigeren Temperaturen, eine höhere Luftfeuchtigkeit sowie eine relative Windruhe vor. In den Sommermonaten heben sich diese Klimatope als nächtliche Wärmeinseln von den Freiflächen in der Umgebung ab, da der Kronenraum der Bäume die Wärmeausstrahlung behindert.

Ein Waldklimatop zeichnet sich ferner durch stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchteverhältnisse aus. Während tagsüber durch die Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts relativ milde Temperaturen auf.

Zudem wirkt das Blätterdach, der Kronenraum, als Filter gegenüber Luftschadstoffen, so dass Waldklimatope als Regenerationszonen für die Luft und als Erholungsraum für den Menschen dienen. Hierbei bestimmen die Vegetationsart und -struktur (Alter, Schichtung, Bedeckungsgrad), die räumliche Ausdehnung und Größe sowie der Gesundheitszustand der Vegetation maßgeblich die Fähigkeit, Luftschadstoffe aus der Luft auszufiltern und klimatische Ausgleichsfunktionen wahrzunehmen.

4.5.1.3 Klimatop der Gewerbe- und Industrieflächen

Das Klima der Industrie- und Gewerbeflächen ist durch einen hohen Versiegelungsgrad und ggf. eine erhöhte Luftschadstoff- und Abwärmebelastung geprägt. Darüber hinaus sind die mikroklimatischen Verhältnisse gegenüber einem naturnahen Standort verändert: Böden zeichnen sich in Abhängigkeit der Nutzungsart durch eine unterschiedliche Erwärmung der darüber liegenden Luftmassen aus. Diese Unterschiede resultieren aus der Veränderung der Verdunstungsfähigkeit, der Wärmeleitung und -speicherkapazität sowie des Absorptionsvermögens solarer Strahlung. Hierbei sind versiegelte Flächen im Gegensatz zu vegetationsbedeckten Flächen durch eine stärkere Erwärmung der darüber liegenden Luftmassen gekennzeichnet.

Ferner ist die Wärmespeicherfähigkeit von Baumaterialien höher, so dass versiegelte und überbaute Bereiche generell ein wärmeres Klima aufweisen als vergleichbare Standorte im Offenland. Versiegelte und überbaute Böden heizen sich am Tage schneller auf, während nachts die gespeicherte Wärme an die Umgebung freigesetzt wird. Diese führt wiederum zu einer nächtlichen Überwärmung im Vergleich zu unversiegelten und unbebauten Bereichen.

Stark differenzierte Bauwerkshöhen, die für Gewerbe- und Industriegebiete i. d. R. typisch sind, führen darüber hinaus zu einer Erhöhung der aerodynamischen Rauigkeit und damit zu einer Bremsung des bodennahen Windfeldes. Hierdurch können ausgeprägte Turbulenzstrukturen bei der Gebäudeumströmung entstehen.

Im Untersuchungsgebiet sind im Nullfall nur kleine Gewerbe- und Industrieflächen nördlich der Bundesstraße 8 südöstlich Straßkirchens verortet. Weiterführend sind die großflächigen Photovoltaikkraftwerke zu nennen, welche ebenfalls eine klimatische Wirkung haben können.

Der vorliegende Angebots-Bebauungsplan sieht am Standort eine neue Ansiedlung von Automobilindustrie vor. Hiermit würde sich das aktuell vorherrschende Freilandklima im Charakter grundlegend hin zu einem Industrieflächenklima verändern.

4.5.1.4 Vorstadt- oder Ortsklimatop

Die mikroklimatischen Bedingungen der im Untersuchungsgebiet gelegenen Ortschaften können hauptsächlich als Ortsklimatop charakterisiert werden.

Aufgrund der geringen Höhe der Bebauung und der relativ geringflächigen Ausmaße der Ortschaften wird sich keine, für ein Stadtklimatop charakteristische Wärmeinsel ausprägen. Es überwiegen hier deutlich die Einflüsse des unbebauten Geländes.

Aufgrund der Bebauung in den Ortschaften können eventuell im Gamma und Beta Bereich (vgl. Kapitel 2, Abbildung 1) des Mikroklimas (bis 200 m), kleinere Effekte auf die Windrichtung und Geschwindigkeit festgestellt werden. Eine weiterreichende Modifikation des umliegenden Freiflächenklimatops ist jedoch nicht zu erwarten.

4.5.1.5 Gewässer- und Seenklimatop

Das für das Untersuchungsgebiet prägendste Fließgewässer ist die Donau, welche sich nördlich des Plangebietes (von Nordwest bis Ost) entlang erstreckt. Seen oder weitere für das Mikroklima bedeutsame Gewässer liegen nicht vor.

Gewässerflächen weisen in der Regel einen ausgleichenden thermischen Einfluss auf die Umgebung auf. So wird die Lufttemperatur in der Nähe eines Flusses, insbesondere in den Sommermonaten, tagsüber niedriger und nachts höher ausfallen als in Freiflächen ohne Gewässer.

Charakteristisch ist ebenfalls eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit um den Fluss und über den Auen. Dies kann vor allem in den Herbst und Wintermonaten zu vermehrter Nebelbildung im Flussbett führen. Letzteres wird durch den vom Fluss induzierten o. g. thermischen Einfluss aufgrund stabilerer vertikaler Luftschichtung im Flussauenbereich verstärkt.

Aufgrund ihrer aerodynamisch glatten Oberfläche stellen Gewässeroberflächen überdies potenziell wertvolle Strömungs- und somit Luftleitbahnen dar.

4.5.1.6 Stadtrand- und Innenstadtklimatop

Die klimatischen Bedingungen des Stadtklimas sind mit den klimatischen Verhältnissen von Gewerbe- und Industriestandorten vergleichbar. Unterschiede ergeben sich jedoch durch die Art der tatsächlichen baulichen Nutzungen. Je dichter und weitläufiger die Siedlungsbereiche sind, desto stärker treten die stadtklimatischen Auswirkungen auf das Lokalklima in Erscheinung.

Stadtklimatope zeichnen sich oftmals durch geradlinig verlaufende Schneisen aus, wie z. B. Straßen und Bahnlinien, welche bei einer entsprechenden Anströmung zu düsenartigen Verstärkungen von Windgeschwindigkeiten führen können, über die aber auch Frisch- und Kaltluft in das Stadtgebiet eingetragen werden können.

Typischerweise bilden sich innerhalb dieses Klimatops aufgrund der in Kap. 4.5.1.3 beschriebenen Prozesse die sogenannten städtischen Wärmeinseln aus. Außerdem nehmen die bodennahe Windgeschwindigkeit und der Luftaustausch innerhalb der städtischen Bebauung häufig spürbar gegenüber dem unbebauten Umland ab. Bei schwachwindigen Wetterlagen kann es dadurch in den Stadtgebieten zu einer Anreicherung der im Stadtgebiet insbesondere bodennah freigesetzten Luftschadstoffe kommen.

Die nächstgelegene größere Kommune im Untersuchungsgebiet ist die kreisfreie Stadt Straubing, welche sich etwa 11 km nordwestlich befindet. Mit einer Einwohnerzahl von etwa 49.200 und einer Ausdehnung von 7 x 4 km (Kernbereich) kann sich ein Stadtklima ausprägen. Vorliegend kann von einem Stadtklima ausgegangen werden. Bei den anderen umliegenden Städten (Plattling, Deggendorf) kann sich kein vollumfängliches Stadtklima ausbilden.

5 Planbedingte Wirkfaktoren

Unter Wirkfaktoren werden bestimmte Eigenschaften eines Bebauungsplans verstanden, die von diesem ausgehen und die in der Umwelt bzw. den einzelnen Schutzgütern (z. B. Klima, Mensch, Boden) bestimmte Reaktionen auslösen könnten. Ein von einem Plangebiet ausgehender Wirkfaktor kann zu unterschiedlichen direkten oder indirekten Einwirkungen bzw. Wirkprozessen in der Umwelt führen. Ein Wirkfaktor kann sich zudem auf mehrere Schutzgüter auswirken und zu einer Beeinflussung der Umweltfunktionen oder der Ausgestaltung eines Umweltbestandteils führen. Nachfolgend sind die planbedingten Wirkfaktoren zusammengestellt und deren Einfluss auf die Schutzgüter beschrieben.

Die derzeit unbebaute Fläche in der maximalen Größe von ca. 134 ha, welche im Zuge des Angebots-Bebauungsplans zu einem Sondergebiet umgewandelt werden soll, wird vorliegenden Informationen zu Folge zu einem großen Teil durch Hallen und Fahrwege versiegelt. Hierbei ist anzumerken, dass vorliegend die maximal mögliche Bebauung (Grundflächenzahl 0,8; Nutzung der gesamten Fläche) betrachtet wird.

Es sind an den Fassaden der Hallen auf mindestens 20 % der Fläche Fassadenbegrünungen vorgesehen. Zudem sollen abseits von notwendigen technischen Dachaufbauten die Dachflächen zu 60 % begrünt werden. Unterhalb notwendiger Photovoltaikanlagen ist zudem Dachbegrünung zulässig. Auf den Flächen sollen insbesondere im Sinne des Lärm- und Sichtschutzes Baumanpflanzungen stattfinden. Diese Maßnahmen können die potentiell negativen Auswirkungen auf dem Anlagengelände selbst minimieren jedoch nicht gänzlich verhindern.

Freiflächen und deren Böden zeigen in Abhängigkeit der Nutzungsart aufgrund der Unterschiede der Verdunstungsfähigkeit, der Wärmeleitung und -speicherkapazität sowie des Absorptionsvermögens solarer Strahlung eine unterschiedliche Erwärmung der über dem Boden liegenden atmosphärischen Grenzschicht. Eine Versiegelung durch Gebäude und Asphalt führt gegenüber der Umgebung zu einer zunehmenden Überwärmung des Bodens. Die veränderte Bodenenergiebilanz hat u. a. eine höhere Lufttemperatur und eine geringere Luftfeuchte in Bodennähe gegenüber den Freiflächen zur Folge.

Die Veränderungen gegenüber einer unbebauten Umgebung sind abhängig von der Wetterlage. Bei stärkerem Wind und allgemein unbeständiger Witterung sind bei der Temperatur kaum spürbare Unterschiede über den verschiedenen Oberflächen zu erwarten. An wolkenarmen Tagen mit viel Sonnenschein ist dagegen die Wärmeaufnahme von asphaltierten, dunklen Flächen am Tage höher. In der Nacht geben diese Flächen Wärme langsamer ab.

Aufgrund der Änderung der Oberflächenbeschaffenheit auf dem geplanten Areal kommt es sowohl zu Änderungen der Oberflächentemperatur als auch der Rauigkeit, was Einfluss auf das Mikroklima haben kann. Bezüglich der Oberflächentemperaturen ist im Planfall aufgrund einer zunehmenden Versiegelung durch Verkehrswege und Gebäude wie Hallen mit einer Zunahme zu rechnen. Dieses wird sich aufgrund der Strahlungsbilanz ebenfalls auf die lokalen Lufttemperaturen auswirken und innerhalb des Industrieareals zu einer Erhöhung dieser führen.

Bezüglich der Rauigkeitsänderung sind die Unterschiede in der Gebäudehöhe zu berücksichtigen. Fragmentierte Gebäudehöhen führen i. d. R. zu einer Erhöhung der Rauigkeit und somit lokal zu einer Abnahme der Windgeschwindigkeit. Laut dem Angebots-Bebauungsplan sind maximale Gebäudehöhen von 19,50 m über Grund erlaubt. Dabei sollen alle Hallen als auch die Nebengebäude eine ähnliche Höhe erzielen.

An scharfen Gebäudekanten kann es zudem aufgrund von Turbulenz- und Düsen-effekten lokal zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit kommen, was zu einem Winddiskomfort führen kann. Dies kann durch Fassadenbegrünung oder strategische Baum- und Heckenpflanzungen abgemildert werden.

Weiterhin ist im Planfall von einer Abnahme der Luftfeuchte in Bodennähe auszu-gehen, da feuchtigkeitsspendende Gräser nur noch in deutlich verringerter Menge zur Verfügung stehen. Die Versiegelung im Planfall hat zudem einen mikroklimato-logischen Einfluss auf die Verdunstungsleistung sowie die Wasseraufnahmekapazität des Bodens. So kann ein vermindertes Verdunstungspotential nur noch bedingt zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur beitragen und die verminderte Wasserauf-nahmekapazität kann zu einem erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss führen.

Das Plangebiet umfasst einen Bereich, der aktuell durch ein Freiflächenklima zu beschreiben ist und hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt wird. Aufgrund der teilweisen Versiegelung kommt es zu mikroklimatischen Auswirkungen, insbesondere zu Temperaturerhöhungen und Luftfeuchtereduktion. Dies kann zu einer veränderten Aufenthaltsqualität auf dem Gelände führen. Die vorgenannten mikroklimatischen Auswirkungen sind i. d. R. lokal auf den überprägten Bereich beschränkt. Wegen der räumlich begrenzten Fläche kann davon ausgegangen werden, dass – insbesondere in den nächstgelegenen Wohngebieten – klimatische Parameter wie relative Feuchte, Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge, -abfluss oder -häufigkeit nicht wesentlich beeinflusst werden. Genauere Informationen können durch eine mikroklimatische Simulation erzielt werden. Diese wurde ebenfalls von Müller-BBM durchgeführt und ist im Müller-BBM Bericht Nr. M176018/01 dokumentiert.

Die Auswirkungen durch die im Rahmen des geplanten Bebauungsplans bzw. der geplanten Nutzung vorgesehenen Nutzungsänderungen auf die Hitzebelastung während eines heißen Sommertags beschränken sich in den Modell-Simulationen im Wesentlichen auf das Areal der Überbauung. Über den neu zu errichtenden Gebäu-den und den neu versiegelten Flächen steigt die nächtliche Lufttemperatur um vier bis fünf Kelvin an. Bereits in den unversiegelten Flächen um die neu zu errichtenden Gebäude herum, bleibt der nächtliche Temperaturanstieg auf ca. ein bis zwei Kelvin beschränkt.

Die Überbauung trägt zwar wesentlich zu Änderungen des lokalen, mikroklimatischen Temperaturgeschehen bei. Eine zusätzliche belastende Wirkung bleibt in der heißen Sommernacht auf das Überbauungsgebiet beschränkt. Die human-bioklimatische Wirkung wird durch eine Betrachtung des PET Index dargestellt. Die Änderungen der PET aufgrund der Überbauung sind marginal. Im Vergleich zum IST-Fall trägt die Überbauung im PLAN-Fall nicht zu einer merklichen Änderung der bioklimatischen Situation bei.

Freiland, d. h. Wiesen, Felder, Brachland und Gartenland mit niedriger Vegetationsdecke produzieren aufgrund ihrer nächtlichen Auskühlung die größten Kaltluftmengen. Die hohe Kaltluftproduktivität grünen Freilandes ist zudem mit der Eigenschaft verbunden, dass die von hier abfließende Kaltluft in nur geringem Maß durch Strömungshindernisse gebremst wird.

Waldflächen wirken ebenfalls als nächtliche Kaltluftproduzenten; es werden dort jedoch kaum die tiefen Temperaturen der Freiflächen erreicht. Durch das Plangebiet wird weniger Kaltluft produziert werden. Bezüglich der Kaltluftdynamik wird mit dem vom DWD zu Verfügung gestellten Kaltluftsimulationsmodell KLAM_21 eine Simulation im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich in Müller-BBM Bericht Nr. M175458/03.

Die Effekte der Flächeninanspruchnahme auf die lokalklimatischen Bedingungen werden demnach, wie ausgeführt, auf den Standort und den angrenzenden Nahbereich begrenzt sein, und sind durch entsprechende Maßnahmen zu reduzieren. Aufgrund der Lage des Plangebietes sowie seiner Ausdehnung sind nachteilige Veränderungen der Klimaparameter im gesamten Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten.

Zusammenfassend betrachtet sind Beeinträchtigungen der lokalklimatischen Situation im Bereich des Plangebietes sowie des angrenzenden direkten Umfeldes im Umkreis weniger 100 m zu erwarten. Großräumige klimatische Beeinträchtigungen sind dagegen aufgrund der örtlich begrenzten Einflüsse nicht zu erwarten.

6 Empfehlungen für Minderungsmaßnahmen

Nachfolgend werden allgemeine Empfehlungen gegeben, wie das geplante Industriegebiet ggf. angepasst werden kann, um die mikroklimatischen Folgen abzumildern. Es handelt sich hierbei um allgemeine Empfehlungen und Hinweise, da eine Konkretisierung der Minderungsmaßnahmen bzgl. der Mikroklimatologie erst nach Vorlage konkreter Bebauungsstrukturen gegeben werden kann.

Regulation der Oberflächentemperatur

Die Oberflächentemperatur bestimmt maßgeblich den Wärmehaushalt der bodennahen Luftschichten. Dabei entscheiden insbesondere Faktoren wie Albedo, Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeichervermögen, Verdunstungspotential und das Maß an direkter Sonneneinstrahlung über die Intensität der Erwärmung einer Oberfläche. Hohe Speicherwirkungen und hohe Wärmeleitfähigkeiten wirken ausgleichend auf die Oberflächentemperaturen. Eine Reduzierung der Oberflächentemperaturen kann beispielsweise durch Verschattung erzielt werden. Konkrete Vorschläge für eine Verringerung der Oberflächentemperatur sind:

- Helle Bodenbeläge wählen, da diese aufgrund der hohen Albedo mehr kurzwellige Strahlung reflektieren und sich weniger stark aufheizen.
- Leichte Materialien verwenden: Holz und grobporige Steinplatten speichern weniger Energie als bspw. schwere Materialien (Granit, Beton). In der Übergangsjahreszeit können temperatenausgleichende Effekte durch die materialbedingte Wärmeabgabe in den Abendstunden durchaus positive Effekte auf die thermischen Umgebungsbedingungen haben. In Hitzeperioden wird allerdings die thermische Belastung zusätzlich verschärft. An entsprechenden Aufenthaltsplätzen sind ggf. diese Aspekte gegeneinander abzuwägen.
- Wasserspeicherfähigkeit des Oberbodens beibehalten, wenn möglich keine Versiegelung. So entstehender latenter Wärmefluss kann zu einer Abkühlung der oberflächennahen Lufttemperatur führen.

Technische Maßnahmen

Die VDI 3787 Blatt 8 [33] schlägt einige technische Maßnahmen zur Regulierung der Temperatur im Straßenraum vor. So sind z.B. Sonnenschirme/-segel, Markisen, PV-Module und Cool Colors genannt.

Besondere Bedeutung kommt Maßnahmen in Aufenthalts- und Wartepositionen, wie Haltestellen, Straßenquerungen oder Sitzgelegenheiten im öffentlichen Raum, zu. Dabei spielen die Wärmespeicherkapazität und Albedo der verwendeten Baumaterialien sowie das Stadtmobiliar eine wichtige Rolle. Hier sind intelligente, multifunktionale Lösungen zu bevorzugen. Auch die Verwendung von Wasser, wie Wasserspielen, Gradierwerken und Laufbrunnen, kann zur Linderung von Hitzestress beitragen [33].

Außerdem sollten vorübergehende oder saisonale Zwischennutzungen berücksichtigt werden, wie z. B. den Einsatz von Pflanzkübeln und technischem Sonnenschutz als Aufenthaltsbereiche. Vorab sollte das Nutzerverhalten vor Ort analysiert und in die Planungen einbezogen werden [33].

Urbane Grüne Infrastruktur (UGI)-Maßnahmen

Durch den Einsatz von urbanen grünen Infrastrukturen (UGI) können Ökosystemdienstleistungen zur Klimaanpassung beitragen. Als UGI versteht man multifunktionale Netzwerke von Grün- und Freiflächen, um bspw. regulierende Leistungen für die Klimaanpassung zu erhalten. Im vorliegenden Fall können bspw. die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen für eine Reduktion der thermischen Belastung im Untersuchungsgebiet sorgen:

- Der gezielte Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünung kann zu einer Reduktion der thermischen Belastung in dicht bebauten Industriebereichen führen. Wenn abzuwägen ist, welche Fassaden zu begrünen sind, sollten dies südlich gelegene sein, da dort sie solare Einstrahlung am größten ist. Hier kann sich der positive Effekt auf das Mikroklima am besten entfalten. Dach- und Fassadenbegrünung sind im Bereich der Industrieflächen aufgrund des erhöhten Versiegelungsgrades besonders hervorzuheben. Eine begrünte Dachfläche verbessert das thermische und energetische Potenzial des Gebäudes. Fassadenbegrünung reduziert durch Blattwerk, Luftpolster und Verdunstung die Aufheizung der Gebäudeflächen im Sommer [33].

Die Begrünung vieler Dachflächen, insbesondere von Flachdächern niedriger Gebäude wie Garagen, Gewerbe- und kleineren Industriehallen, hat auch positive Auswirkungen auf das Mikroklima im innerstädtischen Raum unterhalb des mittleren Dachniveaus [33].

Fassadenbegrünungen haben ähnliche positive Auswirkungen auf das thermische und energetische Potenzial eines Gebäudes wie Dachbegrünungen. Blattwerk, Luftpolster und Verdunstung reduzieren die Aufheizung bei starker Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten sowie den Wärmeverlust im Winter. Bei künstlich bewässerten Fassadenbegrünungen werden in der Literatur Lufttemperaturminderungen von über 1 °C im Vergleich zu einer unbegrünten Referenzwand angegeben [34]. Die Oberflächentemperaturen liegen um mehr als 10 °C niedriger als bei einer unbegrünten Wand [33].

Zudem gibt es zahlreiche Synergieeffekte, welche positiv auf das Stadtklima und die Luftqualität wirken können. So wirkt eine Begrünung durch die Aufnahme und die Filterung von Luftschadstoffen wie Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Ozon und Feinstaub positiv auf die lufthygienische Situation in Innenstädten. Zudem können so geschaffene Grünflächen als Speichermedium für Niederschlagswasser dienen.

- Frühe Anpflanzung von Bäumen bereits während der Bauphase. Insbesondere an Strahlungstagen sind die Effekte (Verschattung, Strahlungsumsetzung im Kronenbereich) deutlich spürbar.
- Durch die Anpflanzung von Bäumen oder insbesondere von Sträuchern und Hecken kann die Oberflächenrauigkeit erhöht werden und somit eine Reduktion der Windgeschwindigkeiten in Bodennähe erzielt werden. Insbesondere in Bereichen scharfer Gebäudekanten und schmaler Wege zwischen Gebäuden kann ein Düseneffekt so vermindert werden.

- Nach VDI 3787 Blatt 8 [33] sind die folgenden Baumarten und Sträucher für das trockene Sommermonate und feuchtere Wintermonate geeignet:
 - Aus dem südosteuropäischen Raum: Blumenesche, Hopfenbuche, Ungarische Eiche, Ungarische Silberlinde und Baumhasel
 - Aus dem asiatischen Raum: Blauglockenbaum, Blasenbaum, Schnurbaum
 - Aus Nordamerika: Gleditschie und Amberbaum
- Sollen weiterhin heimische Baumarten gepflanzt werden muss darauf geachtet werden, dass diese gut an Trockenheit und Wärme angepasst sind [33].
- Rasenflächen sind ausreichend zu bewässern, um ihre Kühleffekte zu erhalten. Urbanes Gelände sollte mit Vegetation bepflanzt werden, die die Erde auflockert, um Bodenerosion bei Starkregenereignissen zu vermeiden und eine bessere Versickerung und Wasseraufnahmefähigkeit zu gewährleisten [33].
- Es sollte zudem auf die Wasserspeicherfähigkeit geachtet werden, statt Niederschlagswasser abzuleiten. Eine hohe Wasserspeicherfähigkeit kann neben dem zu Verfügung stellen von Wasser für Begrünung zudem durch Verdunstung zu einer gemäßigten oberflächennahen Temperatur führen und somit die Wärmelast reduzieren.

Der Angebots-Bebauungsplan sehen bereits Maßnahmen vor, um klimabeeinflussende Effekte des Industrieklimas zu minimieren, bzw. Maßnahmen, die einen positiven Einfluss auf den anthropogen verursachten Klimawandel haben können.

So wird festgesetzt, dass Flachdächer eine extensive Dachbegrünung auf mindestens 60 % der Summe aller Dachflächen (exkl. Vordächer) aufweisen müssen. Zudem ist auch die Kombination mit Photovoltaikanlagen zulässig und anrechenbar, so dass unterhalb von PV-Modulen begrünt werden kann. Die Begrünung ist mit einem humusierten Aufbau und extensiv auszuführen.

Fassadenbegrünung ist an 20 % der Fassaden anzubringen. Nach Angebots-Bebauungsplan sollen hochwüchsige und ausdauernde heimische Kletterpflanzen und Bepflanzungssysteme je nach Ausrichtung, Verschattung/Besonnung, Wuchshöhe und Windverhältnisse ausgewählt werden.

Zudem wird festgesetzt, dass die Bepflanzung und Pflege des jeweiligen Bauabschnittes in der Pflanzperiode nach Nutzungsaufnahme des jeweiligen Bauabschnittes erfolgen müssen. Der Ausfall muss auf Kosten der Eigentümerin nachgepflanzt werden.

Die PKW-Stellplätze sind in wasserdurchlässiger, demnach maximal teilversiegelter Bauweise auszuführen. Hierzu zählen Rasengittersteine, Schotterterrassen oder Pflaster mit Rasenfugen.

Der Angebots-Bebauungsplan sieht vor, dass alle angefangene 750 m² ein Baum zu pflanzen und zu pflegen ist. Die Vorhabenträgerin sieht vor, die geplanten Parkplätze mit Bäumen zu verschatten und entlang der Straßenzüge sowohl innerhalb als auch außerhalb des Werkszauns gilt dies entsprechend.

Weiterführend sieht der Angebots-Bebauungsplan die Pflanzung trockenresilienter und standortgerechter Baumarten sowie Strauch- und Gehölzpflanzungen vor.

Mindestens 20 % der Gesamtfläche sind zudem als Vegetationsflächen anzulegen. Diese sind als artenreiche Blumenwiese, als Bienen-/Insektenweide oder auch als Blühstreifen oder Saumstrukturen im Falle von Restflächen zulässig. Weiterführend sind Teiche und Feuchtbiotope möglich.

Die Festsetzungen des qualifizierten Bebauungsplans „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach“ sind aus mikroklimatischer Sicht für den Schutz umliegender Ortschaften und der dortigen Aufenthaltsqualität ausreichend. Die vorangehenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Auswirkungen des Bebauungsplans nahezu vollumfänglich auf das Gelände selbst wirken.

7 Gesamtheitliche Betrachtung mikroklimatologischer Auswirkungen des Bebauungsplans

Durch den geplanten Angebots-Bebauungsplan sind Auswirkungen auf das Mikroklima in verschiedener Form und Ausprägung zu erwarten.

Die weitreichendste Änderung für das Lokalklima wird die erhöhte Versiegelung durch Verkehrswege und Gebäude sein. Diese kann Änderungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte in der betroffenen Luftschicht direkt bewirken.

Aufgrund der Änderung der Oberflächenbeschaffenheit auf dem geplanten Areal kommt es sowohl zu Änderungen der Oberflächentemperatur als auch der Rauigkeit, was Einfluss auf das Mikroklima haben kann.

Bezüglich der oberflächennahen Temperaturen ist auf den versiegelten Flächen mit einer Zunahme zu rechnen. Höhere Oberflächentemperaturen führen i. d. R. zu einer verminderten Aufenthaltsqualität. Bezüglich der Rauigkeitsänderung können fragmentierte Gebäudehöhenunterschiede zu einer Zunahme und daraus resultierend einer Windgeschwindigkeitsreduktion führen. Scharfe Gebäudekanten können jedoch auch im nahen Umfeld durch Turbulenz- und Düseneffekten zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit und einem Winddiskomfort führen. Die geplante Ansiedlung sieht solche Höhenunterschiede jedoch nicht vor.

Weiterhin ist im Planfall von einer Abnahme der Luftfeuchte in Bodennähe auszugehen, da feuchtigkeitsspendende Gräser nicht mehr zu Verfügung stehen. Die Versiegelung im Planfall hat zudem einen mikroklimatologischen Einfluss auf die Verdunstungsleistung sowie die Wasseraufnahmekapazität des Bodens. So kann ein vermindertes Verdunstungspotential nur noch bedingt zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur beitragen und die verminderte Wasseraufnahmekapazität kann zu einem erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss führen.

Die mikroklimatischen Auswirkungen sind i. d. R. lokal auf den überprägten Bereich beschränkt. Wegen der räumlich begrenzten Fläche kann davon ausgegangen werden, dass – insbesondere in den nächstgelegenen Wohngebieten – klimatische Parameter wie relative Feuchte, Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge, -abfluss oder -häufigkeit nur gering beeinflusst werden. Insbesondere die Windrichtungsverteilung trägt dazu bei, dass Temperatureffekte eher auf den weiteren Freiflächen im Nordosten des Standortes verlagert werden. Die nächstgelegene Siedlung Straßkirchen liegt im Nordwesten des Angebots-Bebauungsplans.

Freiland, d. h. Wiesen, Felder, Brachland und Gartenland mit niedriger Vegetationsdecke produzieren aufgrund ihrer nächtlichen Auskühlung die größten Kaltluftmengen. Die hohe Kaltluftproduktivität grünen Freilandes ist zudem mit der Eigenschaft verbunden, dass von hier abfließende Kaltluft in nur geringem Maß durch Strömungshindernisse gebremst wird. Durch das Plangebiet wird weniger Kaltluft produziert werden. Bezüglich der Kaltluftdynamik wird mit dem vom DWD zu Verfügung gestellten Kaltluftsimulationsmodell KLAM_21 eine Simulation im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich in Müller-BBM Bericht Nr. M175458/03.

Es ist anzumerken, dass vorliegend die maximal mögliche Bebauung (Grundflächenzahl 0,8 ; Nutzung der gesamten Fläche) betrachtet wurde. Die mikroklimatische Betrachtung kann demnach als konservativ eingestuft werden.

Zusammenfassend betrachtet sind Beeinträchtigungen der lokalklimatischen Situation nur im Bereich des Angebots-Bebauungsplans sowie des angrenzenden direkten Umfeldes zu erwarten. Darüberhinausgehende klimatische Beeinträchtigungen sind dagegen aufgrund der örtlich begrenzten Einflüsse nicht zu erwarten. Es stehen demnach hinsichtlich des Untersuchungsgegenstandes Mikroklima keine Bedenken gegenüber dem Erlass des qualifizierten Bebauungsplans „Gemeinsames Sondergebiet Straßkirchen / Irlbach“ entgegen.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Isidoro Orlanski: A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes. In: Bulletin of the American Meteorological Society 56 (1975), Nr. 5, S. 527–530. URL <https://www.istor.org/stable/26216020>
- [2] Schönwiese, C.-D. (2008): Klimatologie. Eugen Ulmer KG, 472 S
- [3] Foken, Thomas: Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2003
- [4] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2021): TopPlusOpen
- [5] © OpenStreetMap-Mitwirkende. Creative-Commons-Lizenz - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 (CC BY-SA) – <https://www.openstreetmap.org/copyright>.
- [6] Openstreetmap-Mitwirkende: SRTM | Kartendarstellung: © OpenTopoMap: Weitergabe unter gleichen Bedingungen (CC-BY-SA)
- [7] ALKIS Basis-DLM. Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem. Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de
- [8] Imperviousness Density (IMD). Copernicus Land monitoring services. High Resolution land cover characteristics for the 2018 reference year. 2018
- [9] Impervious Built-up (IBU). Copernicus Land monitoring services High Resolution land cover characteristics for the 2018 reference year. 2018
- [10] Bundesamt für Naturschutz; <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>; abgerufen im November 2022.
- [11] Deutscher Wetterdienst: Stationsdaten. URL https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/
- [12] Deutscher Wetterdienst: Klimadaten Deutschland: Vieljährige Mittelwerte. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html?nn=16102&lsblid=343278
- [13] Deutscher Wetterdienst DWD, Offenbach: Statistisches Windfeldmodell; https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland_und_bundeslaender.html; abgerufen im Dezember 2021.
- [14] DWD, Merkblatt Bestimmung der in Austal2000 anzugebenden Anemometerhöhe, Manyslo, 15.10.2014
- [15] DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der monatlich gemittelten Lufttemperaturmaxima und -minima (2m) für Deutschland, Version v1.0
- [16] Deutscher Wetterdienst; Karsten Friedrich, Florian Imbery, Juliane Breyer (Mitarb.): Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2020. 04.03.2021. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2020.pdf?blob=publicationFile&v=3
- [17] Deutscher Wetterdienst: Leistungen, Zeitreihen und Trends der Sonnenscheindauer; URL: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>

- [18] Deutscher Wetterdienst: Leistungen, Globalstrahlung (mittlere 30-jährigen Monats- und Jahressummen); URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_mvs.html
- [19] Bendix, J.: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland: Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Nebelklima. München, Heidelberg: Elsevier, Spektrum, Akad. Verl., 2003 (3)
- [20] Deutscher Wetterdienst: Starkniederschläge in Sachsen im August 2002: Eine meteorologisch-synoptische und klimatologische Beschreibung des Auguthochwassers im Elbegebiet. 16.08.2007. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20070816_metanalysehochwasser2002.html
- [21] U. Riediger; Karsten Friedrich, Thomas Deutschländer, Juliane Breyer (Mitarb.): Klimastatusbericht 2012: Wetterlagen ändern sich mit dem Klimawandel. 2013. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2012.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [22] Deutscher Wetterdienst: Globalstrahlung. 2021. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/fernerkund_globalstrahlung_sis/fernerkund_globalstrahlung_sis.html
- [23] Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU), (2021): Bayerns Klima im Wandel; Klimaregion Donau. <https://www.lfu.bayern.de/klima/klimawandel/klimazukunft/index.htm>
- [24] Michael Bruse: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Bochum, Ruhr Universität Bochum. Dissertation. 1999
- [25] Bruse, Michael; Fleer, Heribert: Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. In: Environmental Modelling & Software 13 (1998), 3 - 4, S. 373 - 384
- [26] Informationen und Unterlagen des Auftraggebers
- [27] Höppe, P. R. (Hrsg.): Energiebilanz des Menschen: Wissenschaftliche Mitteilungen der Universität München, 1984 (Nr. 49)
- [28] Höppe, P. R.: Heat balance modelling. In: Experientia 49 (1993), Nr. 9, S. 741 - 746
- [29] Holst, J., Mayer, H.: Urban human-biometeorology: Investigations in Freiburg (Germany) on human thermal comfort. In: Urban Climate News (2010), Nr. 38, S. 5 - 10
- [30] A. Kazmierczak ; S. Pauleit ; L. Liu ; J. Ahern ; J. Niemela ; J.H. Breuste ; G. Guntenspergen ; N.E. Mcintyre ; T. Elmquist ; P. James: Multifunctional Green Infrastructure Planning to Promote Ecological Services in the City. In: Urban Ecology. Patterns, Processes, and Applications. United Kingdom: Oxford University Press, 2011, S. 272 – 285
- [31] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Handbuch Stadtklima – Teil II Methoden, Arbeitspaket 1. Düsseldorf. 2014. (unveröffentlicht)

- [32] VDI 3787 Blatt 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Sept. 2015.
- [33] VDI 3787 Blatt 8: Umweltmeteorologie – Stadtentwicklung im Klimawandel. 2020-09
- [34] Wong, N.H.; Tan, A.Y.K.; Chen, Y.; Sekar, K.; Tan, P.Y.; Chan, D.; Chiang, K.; Wong, N.C.: Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. In: Building and Environment, 45 (2010), pp. 663-672.