

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

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

www.MuellerBBM.de

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

31. März 2023
M173107/01 Version 2 PEK/MRC

Baugesellschaft Walter Hellmich GmbH

Postfrachtzentrum in Köngen

Mikroklimatologische Untersuchung

Bericht Nr. M173107/01

Auftraggeber:

Baugesellschaft Walter Hellmich GmbH
Postfach 10 06 40
46526 Dinslaken

Bearbeitet von:

Erik Petersen, M. Sc.

Berichtsumfang:

Insgesamt 38 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	5
2 Wetter, Klima und Mikroklima – Begriffliches und Eingrenzung des Untersuchungsmaßstabs	6
3 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse und klimatischen Gegebenheiten	8
3.1 Beschreibung des Standortes	8
3.2 Großräumige und regionale klimatologische Rahmenbedingungen	11
3.3 Klimatopausstattung und mikroklimatische Bestandssituation im Untersuchungsgebiet	29
4 Vorhabenbedingte Wirkfaktoren	33
5 Gesamtheitliche Betrachtung mikroklimatologischer Auswirkungen des Vorhabens	35
6 Literatur- und Quellenverzeichnis	36

Zusammenfassung

Die DHL betreibt ein Postfrachtzentrum in Köngen in der Robert-Bosch-Straße. Bedingt durch den zunehmenden Online-Handel und die damit verbundene deutliche Erhöhung des Sendungsaufkommens, werden derzeit bundesweit Kapazitätserweiterungen im Bereich der Postverteilungszentren erforderlich. Dies betrifft auch den Standort Köngen.

Die DHL sieht daher am Standort in Köngen eine Bestandssicherung durch Kapazitätserhöhung sowie eine strategische Neuausrichtung in Bezug auf die Erschließung vor.

Der hierzu erstellte vorhabenbezogene Bebauungsplan setzt keine Art der baulichen Nutzung gemäß BauNVO fest, sondern listet die konkret geplanten Nutzungen auf.

Im Anschluss an das Bestandsgebäude soll in östlicher Richtung eine CoLocation (CoLo) errichtet werden. Die Planung sieht im oberen westlichen Teil des Geländes eine Parkhausanlage vor. Im Anschluss daran sollen in nordöstlicher Richtung auf dem ehemaligen Mitarbeiterparkplatz Stellplätze für Gliederzüge entstehen. Die bisherigen Wechselbehälterstellplätze sollen im hinteren Bereich ausgebaut werden. Am Ende des nordwestlichen Schenkels des Postfrachtzentrums sollen neue Wechselbehälterstellplätze entstehen.

Auf dem heutigen Grünlandgebiet soll die neue CoLo (Abkürzung für: Verteilerzentrum) und eine Zustellbasis (ZB) errichtet werden. Die CoLo wird mit den erforderlichen operativen Flächen sowie angemessenen Verwaltungs- und Sozialflächen ausgestattet sein. Die ZB ist im hinteren Bereich der CoLo in nordöstlicher Richtung untergebracht. An den nördlichen und südlichen Längsseiten sind Anschlussmöglichkeiten für LKW-Andockstellen und Zustellfahrzeugtore mit entsprechenden Anfahrten geplant. Es ist auch vorgesehen, gegenüber der CoLo in Richtung Plochinger Straße weitere Parkplätze bereitzustellen. An der östlichen Querseite wird ein Parkhaus errichtet, während an der Längsseite in südlicher Richtung weitere Parkflächen vorgesehen sind. Die Maßnahmen erfordern zudem die Errichtung einer Schallschutzwand.

Aus mikroklimatischer Sicht stellt insbesondere die Errichtung der Baukörper sowie die Oberflächenbehandlung eine Modifikation der lokalen Klimaverhältnisse dar.

Das vorliegende Gutachten beinhaltet die Untersuchung der (mikro-)klimatischen Auswirkungen unter besonderer Berücksichtigung der Kaltluftzufuhr.

Im Einzelnen sind folgende Feststellungen zu treffen:

- Die mikroklimatischen Effekte des geplanten Vorhabens sind zum größten Teil auf das Vorhabengelände selbst beschränkt. In diesen Bereichen kommt es lokal zu einer Modifikation der Lufttemperatur und ggf. Luftfeuchte.
- Eine dauerhafte bzw. nachhaltige Beeinflussung der Klimafaktoren und damit auch etwaige Einflüsse auf im Umfeld befindliche Nutzungen (z. B. Wohnnutzungen bzgl. der bioklimatischen Bedingungen) sind aufgrund des vergleichsweise geringen Eingriffs und der damit verbundenen kleinflächigen Veränderung auszuschließen.
- Durch das Entfernen der vorhandenen Vegetation kann es zu einem geringeren Verdunstungspotenzial kommen, wobei dieses vorliegend bereits anthropogen überprägt ist. Ein vermindertes Verdunstungspotential kann nur noch bedingt zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur beitragen und die verminderte Wasseraufnahmekapazität der Bodenoberfläche kann zu erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss führen.
- Es liegt eine gute Versorgung mit Kalt- bzw. Frischluft durch die aus Süden strömenden Kaltluftflüsse vor.
- Durch die Kaltluftschichthöhe von 150 m bis zu 300 m stellen die geplanten Baustrukturen kein Hindernis dar. Es kommt demnach nicht zu einem Kaltluftstau.
- Wegen der räumlich begrenzten Fläche kann davon ausgegangen werden, dass außerhalb des Vorhabengeländes klimatologische Parameter wie relative Feuchte, Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge, -abfluss oder -häufigkeit nicht beeinflusst werden.
- Zusammenfassend betrachtet sind Beeinträchtigungen der lokalklimatischen Situation allenfalls im Bereich des Vorhabenstandortes selbst sowie des anlagennächsten Umfeldes zu erwarten. Großräumige klimatische Beeinträchtigungen, z. B. auf die benachbarten Wohn- oder Gewerbegebiete, sind dagegen aufgrund der örtlich begrenzten Einflüsse nicht zu erwarten.

Es bestehen somit keine Anhaltspunkte dafür, dass durch das Vorhaben mikroklimatisch vermittelte schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren (z. B. verstärkter Oberflächenabfluss), erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden können.



Erik Petersen, M. Sc.

(Bearbeitung)



Dipl.-Geoökl. Michael Kortner

(Qualitätssicherung)

1 Situation und Aufgabenstellung

Die DHL betreibt ein Postfrachtzentrum in Köngen in der Robert-Bosch-Straße. Bedingt durch den zunehmenden Online-Handel und die damit verbundene deutliche Erhöhung des Sendungsaufkommens, werden derzeit bundesweit Kapazitätserweiterungen im Bereich der Postverteilungszentren erforderlich. Dies betrifft auch den Standort Köngen.

Die DHL sieht daher am Standort in Köngen eine Bestandssicherung durch Kapazitätserhöhung sowie eine strategische Neuausrichtung in Bezug auf die Erschließung vor.

Der hierzu erstellte vorhabenbezogene Bebauungsplan setzt keine Art der baulichen Nutzung gemäß BauNVO fest, sondern listet die konkret geplanten Nutzungen auf.

Im Anschluss an das Bestandsgebäude soll in östlicher Richtung eine CoLocation (CoLo) errichtet werden. Die Planung sieht im oberen westlichen Teil des Geländes eine Parkhausanlage vor. Im Anschluss daran sollen in nordöstlicher Richtung auf dem ehemaligen Mitarbeiterparkplatz Stellplätze für Gliederzüge entstehen. Die bisherigen Wechselbehälterstellplätze sollen im hinteren Bereich ausgebaut werden. Am Ende des nordwestlichen Schenkels des Postfrachtzentrums sollen neue Wechselbehälterstellplätze entstehen.

Auf dem heutigen Grünlandgebiet soll die neue CoLo (Abkürzung für: Verteilerzentrum) und eine Zustellbasis (ZB) errichtet werden. Die CoLo wird mit den erforderlichen operativen Flächen sowie angemessenen Verwaltungs- und Sozialflächen ausgestattet sein. Die ZB ist im hinteren Bereich der CoLo in nordöstlicher Richtung untergebracht. An den nördlichen und südlichen Längsseiten sind Anschlussmöglichkeiten für LKW-Andockstellen und Zustellfahrzeugtore mit entsprechenden Anfahrten geplant. Es ist auch vorgesehen, gegenüber der CoLo in Richtung Plochinger Straße weitere Parkplätze bereitzustellen. An der östlichen Querseite wird ein Parkhaus errichtet, während an der Längsseite in südlicher Richtung weitere Parkflächen vorgesehen sind. Die Maßnahmen erfordern zudem die Errichtung einer Schallschutzwand.

Das vorliegende Gutachten beinhaltet die Untersuchung der (mikro-)klimatischen Auswirkungen unter besonderer Berücksichtigung der Kaltluftzufuhr.

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. geografische 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 Maßstabsbereiche (Skalen) unterteilt werden. Diese werden in der nachfolgenden Abbildung 1 verdeutlicht.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist die Darstellung und Bewertung der durch die vorhabenbedingten Klimafaktoren in dessen näherem Umfeld direkt hervorgerufenen klimatischen Auswirkungen. 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).

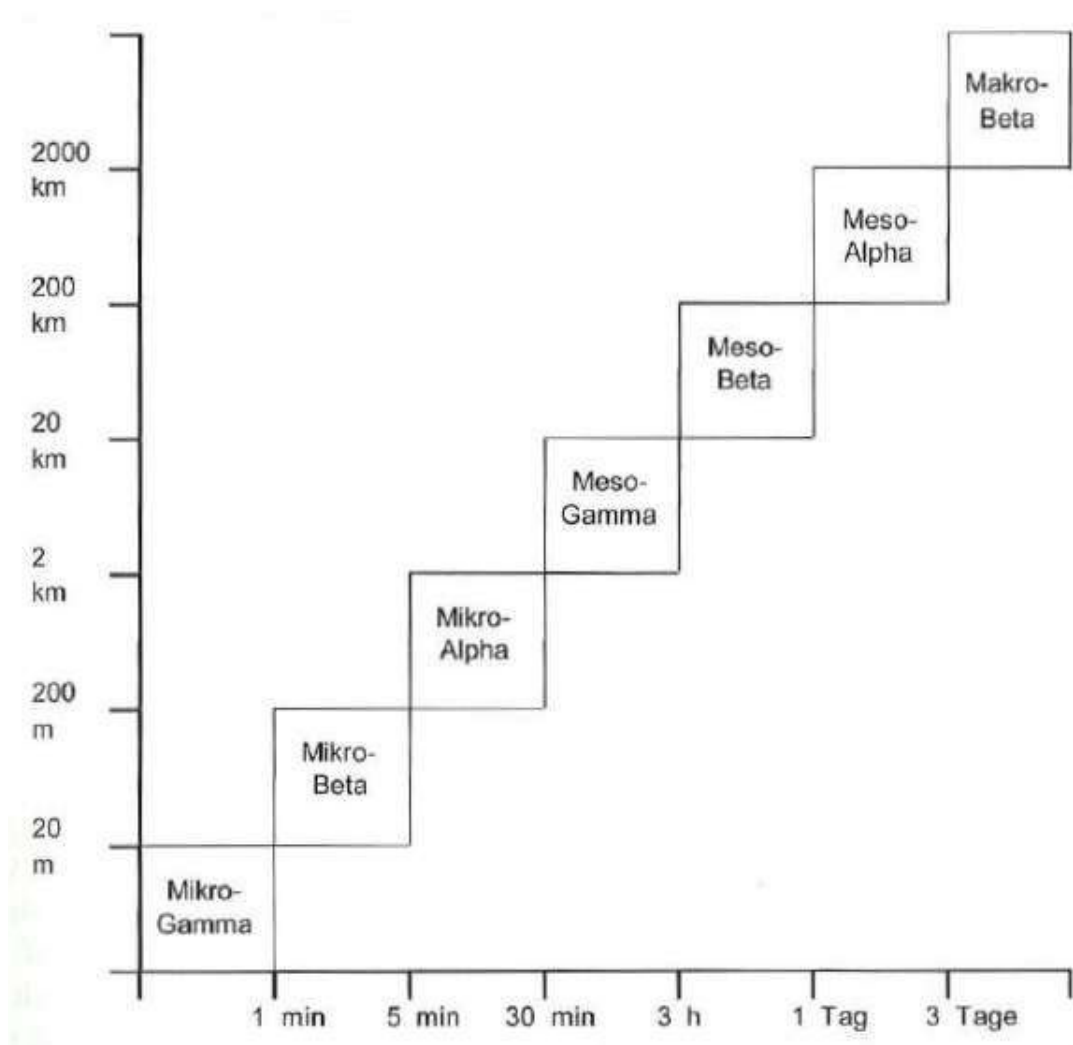


Abbildung 1. Maßstabszuordnung atmosphärischer Prozesse entsprechend Orlanski (1975) [1], aus [2].

Zu bewerten sind neben vorhabenbedingten 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 und klimatischen Gegebenheiten

3.1 Beschreibung des Standortes

Der Standort des neu geplanten CoLo inkl. ZB befindet sich im Norden der Gemeinde Köngen nordöstlich des bestehenden DHL-Verteilzentrums auf den bisherigen Flächen des MSC Köngen-Wendlingen zwischen der Plochinger Straße und der B 313.

Südlich der Bundesstraße B 313 befinden sich die Neckarwasen und in etwa 250 m der Neckar. Nordwestlich des geplanten Standortes steigt das Gelände teils deutlich an. Auch südöstlich des Neckars liegen größere Steigungen vor.

Der Standort liegt auf einer geodätischen Höhe von ca. 260 m ü. NHN im Flusstal des Neckars.

Der Standort ist in der Großlandschaft „Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland“ gelegen. Naturräumlich liegt das Areal im „Schwäbischen Keuper-Liasland“ (Naturraum ID: D58) in der Haupteinheit „Filder“ (Haupteinheit ID: 106). Der Verlauf des Neckars östlich stellt die Grenze zur Haupteinheit „Vorland der mittleren Schwäbischen Alb“ (Haupteinheit ID: 101) dar.

Die nächstgelegene naturschutzfachlich als Schutzgebiet ausgewiesene Fläche ist das Naturschutzgebiet 1.184 „Neckarwasen“, welches sich ca. 200 m östlich und des Standortes befindet.

Der Standort sowie die Umgebung sind aus der nachfolgenden topografischen Karte, der Geländekarte sowie eines Bauplans (Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4) zu entnehmen.

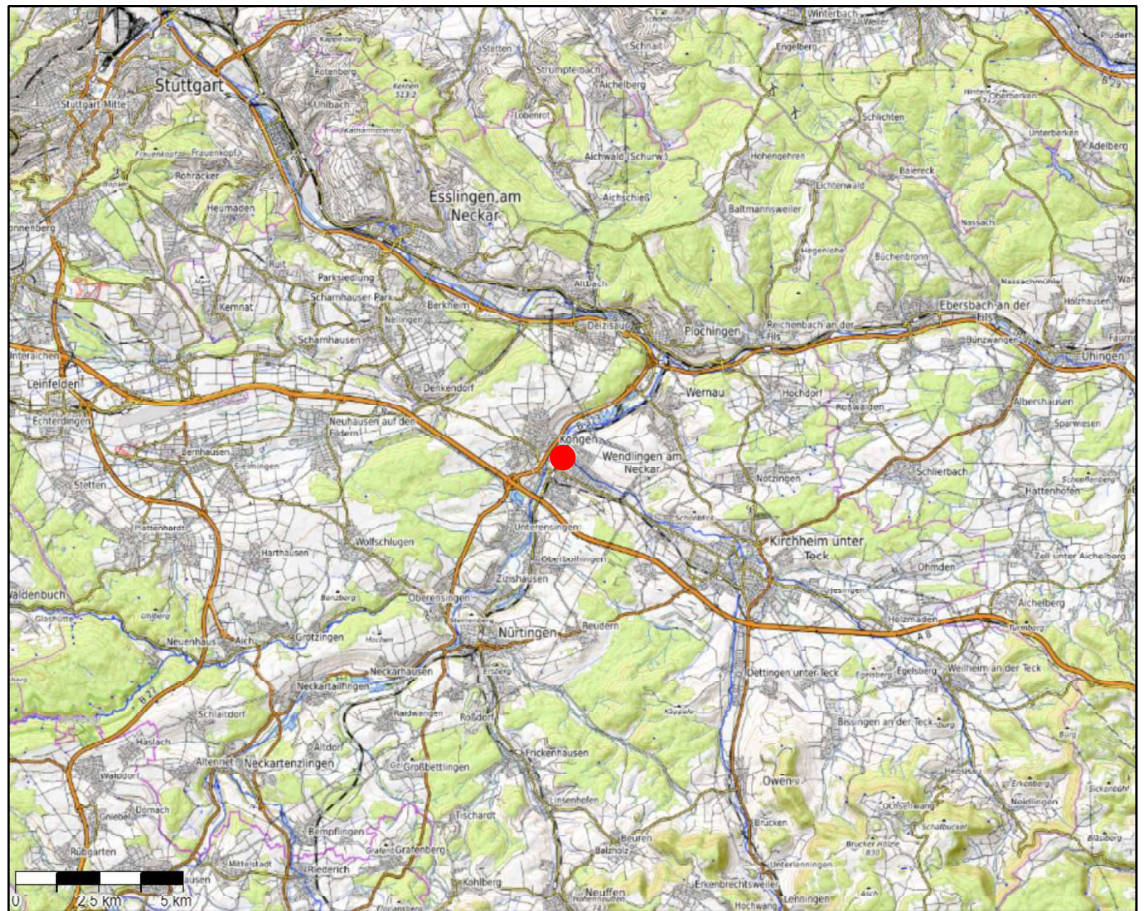


Abbildung 2. Topografische Karte des Standortumfeldes. Standort der geplanten CoLo roter Punkt. Karte genordet. Kartengrundlage: [4].

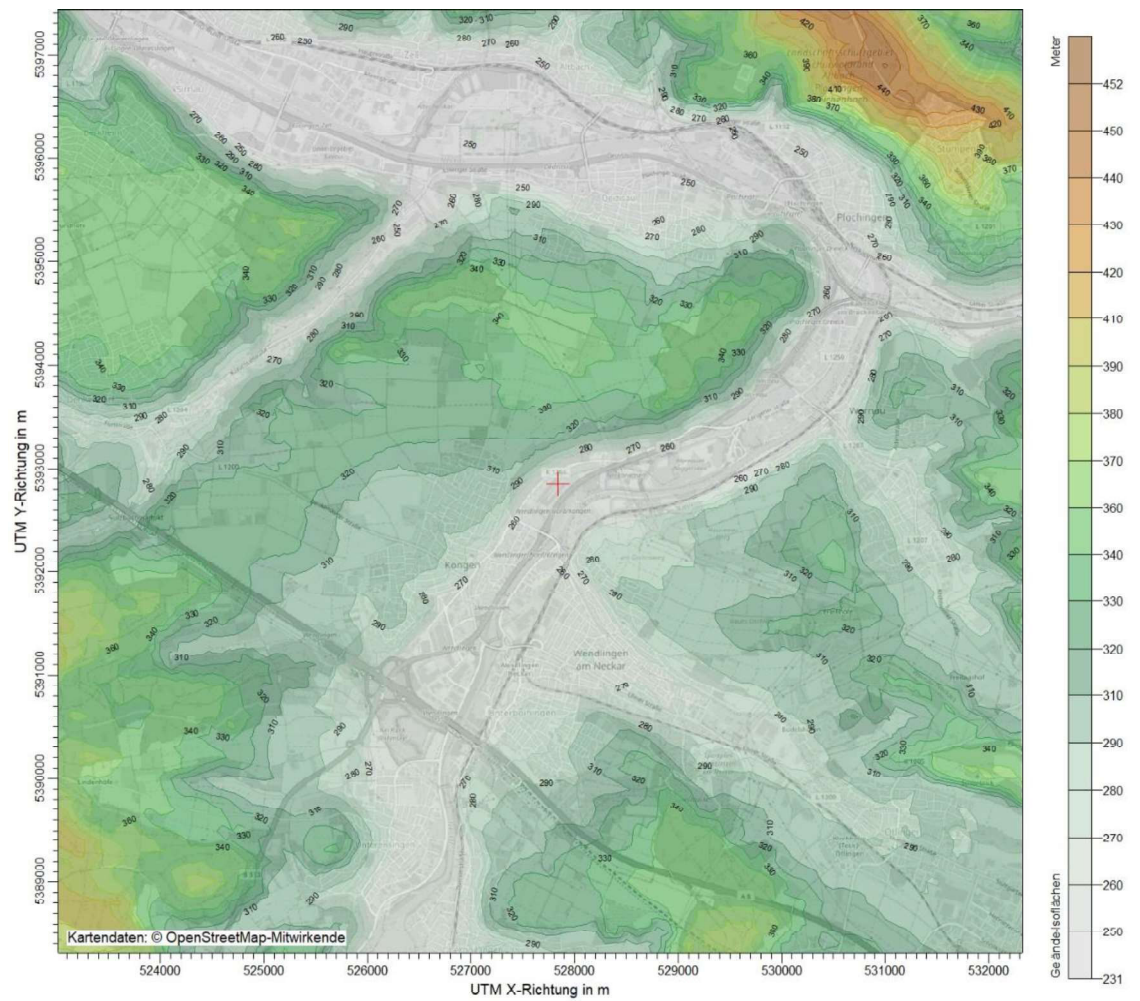


Abbildung 3. Geländehöhen im Bereich des Untersuchungsgebiets. Planstandort am roten Kreuz, Hintergrundkarte nach [3], SRTM Höhendaten aus [5].



Abbildung 4. Verortung der geplanten CoLo mit ZB auf dem Vorhabenstandort (Neubauf Flächen gelbgrün, Bestandsflächen in grau, Bestandsgebäude in rosa) [22].

3.2 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 geografische Breite, die Entfernung zur Meeresküste, die Geländehöhe sowie die orografische 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 Topografie als auch die Unterlage, d. h. die Bodenbeschaffenheit, einen Einfluss aus.

3.2.1 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 Vorhabenstandortes ausgewertet. Es wurden nur solche Messstationen in die Untersuchung eingestellt, die für die Beschreibung der klimatischen Ausgangssituation sowie zur Beurteilung der vorhabenbedingten Auswirkungen auf das Lokalklima eine ausreichende bzw. für das Untersuchungsgebiet repräsentative Datenbasis liefern.

Die folgenden meteorologischen Parameter wurden an der DWD-Messstation Stuttgart-Echterdingen (DWD-ID: 04931), welche etwa 11,6 km westlich des Standortes auf einer Hochfläche liegt, erhoben. Aufgrund der räumlichen Nähe kann die Station aus fachlicher Sicht eine übergeordnet klimatische Einordnung der Parameter Wind, Lufttemperatur, Niederschläge, Nebelhäufigkeiten, Bewölkung, Sonnenscheindauer sowie Luftfeuchte geben.

Die ausgewählte Messstation gewährleistet die im Rahmen der verfügbaren Wetterinformationen bestmögliche Beschreibung der meteorologischen und klimatischen Situation am Standort. Aufgrund der Vergleichbarkeit des Naturraums sowie der nahen geografischen Lage können die in diesem Gutachten behandelten meteorologischen Größen mit denen am Standort verglichen werden. Eine Modifikation u. a. der Luftfeuchte und Lufttemperaturen sowie Nebelhäufigkeiten ist aufgrund der orografischen Situation jedoch wahrscheinlich, da der Planstandort im Gegensatz zur Messstation nicht auf einer Hochfläche, sondern im Tal gelegen ist. Aus diesem Grund wurden weitere, synthetische Erkenntnisquellen herangezogen.

Aufgrund der ausgeprägten Tallage werden die Windbedingungen ebenfalls anhand synthetischer Daten beschrieben.

Darüber hinaus wurde zur Beschreibung der allgemeinen klimatischen Bedingungen im langjährigen Mittel der vom DWD herausgegebene Klimaatlas der Bundesrepublik Deutschland ausgewertet [7].

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.

3.2.2 Allgemeine klimatische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Südwestdeutschen Mittelgebirge auf einem Niveau von ca. 260 m ü. NHN. Die Landschaft ist als hügelig zu charakterisieren und im Standortverlauf durch das Tal des Neckars geprägt. Räumlich liegt der Anlagenstandort in Zentraleuropa und weist hier gemäßigte klimatische Verhältnisse auf. Dabei wird das Untersuchungsgebiet im Vergleich zu anderen deutschen Regionen in stärkerem Maße durch Feuchtigkeit und im Jahresgang weniger stark schwankende Lufttemperaturen geprägt, was durch den maritimen Einfluss des Atlantiks verursacht wird.

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 aufgrund des gemäßigten Klimas weniger ausgeprägt als in kontinental geprägten östlichen Gebieten und insbesondere in den Wintermonaten relativ mild.

Für den Zeitraum 1991 - 2020 stellen sich gemäß dem Deutschen Klimaatlas des DWD [7] die langjährigen Mittelwerte der wichtigsten Klimaparameter im Bereich des Untersuchungsgebietes für den o. g. Zeitraum folgendermaßen dar:

- Das langjährige Mittel der Lufttemperatur beträgt 9,8 °C. Im Sommer (Monate Juni, Juli und August) werden Durchschnittswerte von 17,2 - 19,1 °C erreicht; im Winter (Monate Dezember, Januar und Februar) von 1,1 - 2,0 °C. Die wärmsten Monate mit Durchschnittswerten von um 19 °C sind der Juli und August, während der Januar mit 1,1 °C am kältesten ist.
- Die jährliche Niederschlagshöhe liegt im Durchschnitt bei 684 mm. Die größten Niederschlagsmengen fallen im langjährigen Mittel im Juni und Juli mit über 85 mm. Am niederschlagsärmsten sind die Monate Februar bis April mit deutlich unter 45 mm, wobei Februar mit 33,4 mm am trockensten ist. Der Niederschlag fällt hauptsächlich in den Sommermonaten. Das Sommerhalbjahr ist im Mittel mit 411,5 mm deutlich niederschlagsreicher als das Winterhalbjahr mit 269,4 mm. Im Schnitt fällt im Vergleich zum gesamtdeutschen Mittel von ca. 820 mm deutlich weniger Niederschlag.
- Die mittlere Sonnenscheindauer liegt bei ca. 1.842 Stunden pro Jahr.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Klimaparameter im langjährigen Mittel (1991 - 2020) der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen (ID-Nr. 04931) aufgeführt [7].

Tabelle 1. Die wichtigsten Klimaparameter im langjährigen Mittel (1991 - 2020) der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen (ID-Nr. 04931) Quelle: [7] [10].

Klimaparameter	Stuttgart-Echterdingen
Mittleres Jahresmittel der Lufttemperatur (°C)	9,8
Mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	14,6
Mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	5,3
Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 25 °C)	47,2
Anzahl der heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C)	9,8
Anzahl der Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur ≤ 0 °C)	82,5
Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≤ 0 °C)	15,7
Mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe (mm)	683,8
Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Nebel	35
Jahressumme der Sonnenscheindauer in Stunden	1.841,6

3.2.3 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 topografischen Strukturen modifiziert sein.

Geprägt durch die großräumige Luftdruckverteilung sind regional übergeordnet vor allem Winde aus südsüdwestlichen bis westlichen Richtungen sowie sekundär aus nordnordöstlichen bis ostnordöstlichen Richtungen zu erwarten. Geprägt durch die orografische Struktur am Standort wird diese mesoskalige Windrichtungshäufigkeitsverteilung jedoch überprägt. Unter Berücksichtigung der lokalen Situation am Standort in der urban, industriell geprägten Umgebung des Neckartals sind vor allem Winde mit einem Hauptmaximum aus West-Nordwest sowie ein Nebenmaximum aus Ost-Südost zu erwarten.

Im vorliegenden Fall können die übergeordneten Windverhältnisse durch die DWD Station Stuttgart-Echterdingen beschrieben werden [6]. Die Lage der Messstation auf der Anhöhe sorgt für eine durch die Orografie relativ ungestörte Anströmung. Daher wird zunächst auf diese Station eingegangen. Bezüglich der lokalen Situation moduliert durch das Neckartal wird nachfolgend auf synthetische Winddaten, welche von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg zu Verfügung gestellt werden, abgestellt [14].

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung sowie die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklassen der Messstation Stuttgart-Echterdingen.

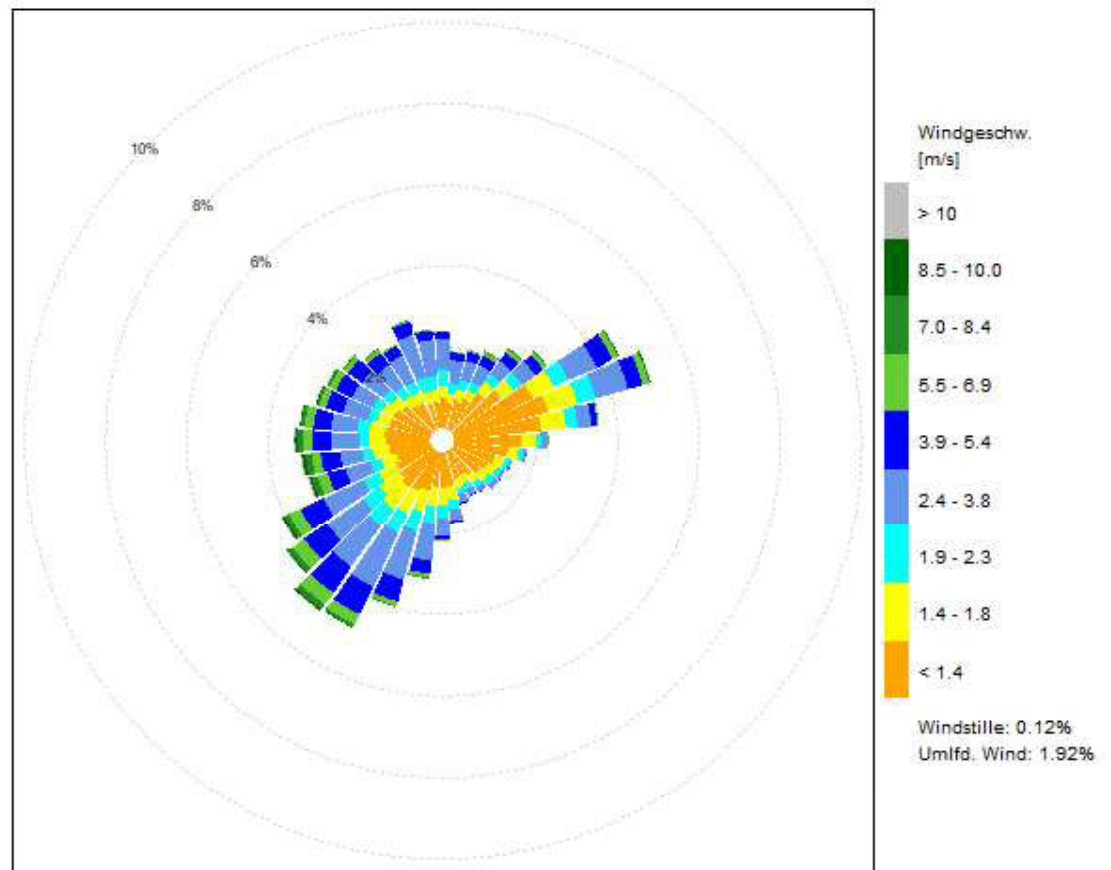


Abbildung 5. Häufigkeitsverteilung in Form einer Windrose der Windrichtung sowie Windgeschwindigkeitsklassen der DWD Station Stuttgart-Echterdingen. Zeitraum ist vorliegend das Mittel der Jahre 2012 bis 2021, eigene Darstellung erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten von: [6].

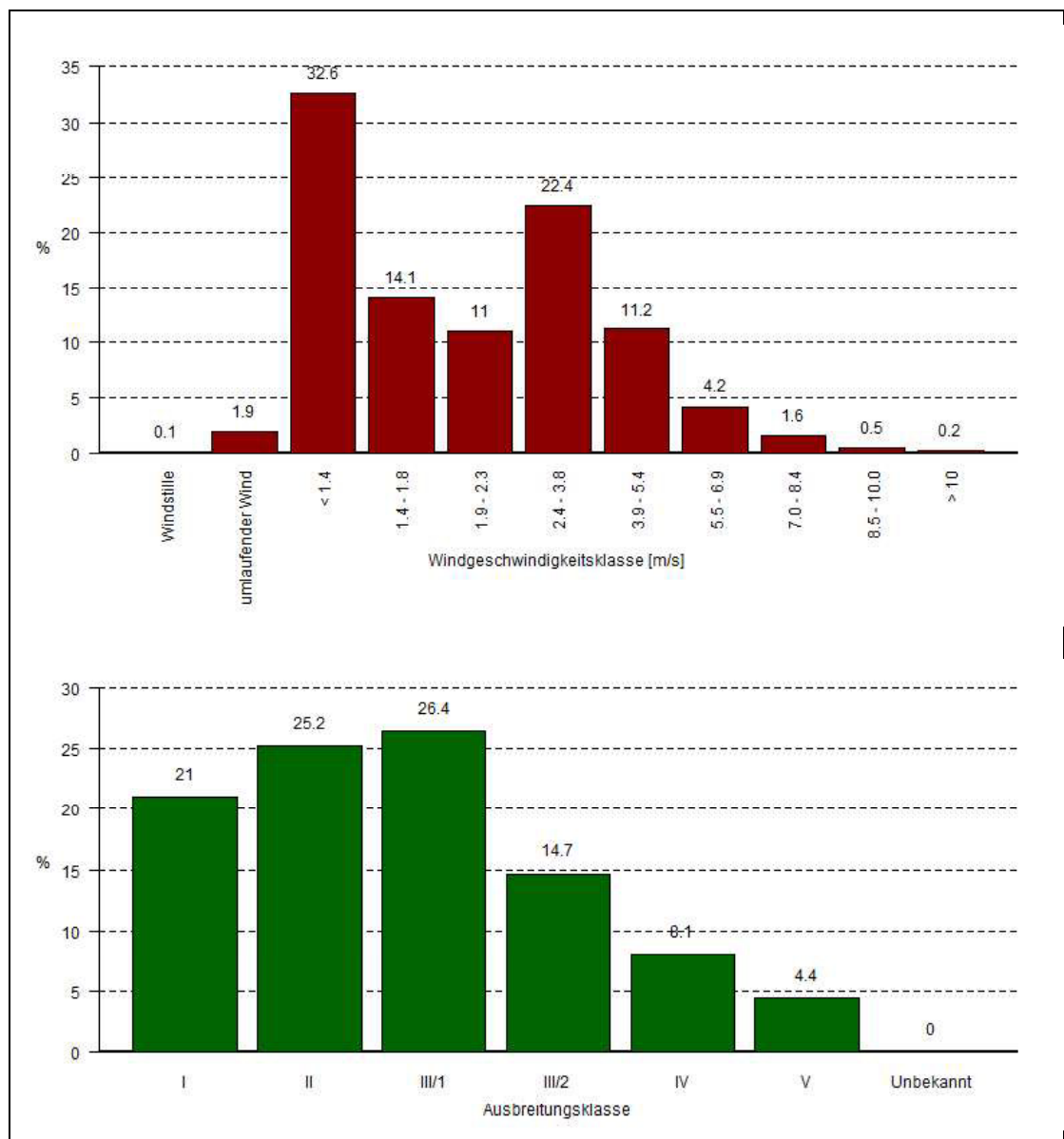


Abbildung 6. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen und Ausbreitungsklassen, DWD Station Stuttgart-Echterdingen. Zeitraum ist vorliegend das Mittel der Jahre 2012 bis 2021, eigene Darstellung erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten von: [6].

Die Windrose zeigt das erwartete primäre Maximum aus südsüdwestlicher Richtung. Ein Sekundärmaximum tritt geprägt durch Schwachwinde aus Richtung Ostnordost auf.

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt ca. 2,4 m/s, Schwachwindwetterlagen mit Windgeschwindigkeiten bis maximal 1,4 m/s treten in rund 34,5 % der Jahresstunden auf. Stabile Ausbreitungssituationen (Ausbreitungsklassen I und II) liegen in ca. 46,2 % der Jahresstunden vor.

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

Im Neckartal am geplanten Standort weichen sowohl Windgeschwindigkeit als auch Windrichtung teils deutlich von den geostrophischen Bedingungen ab.

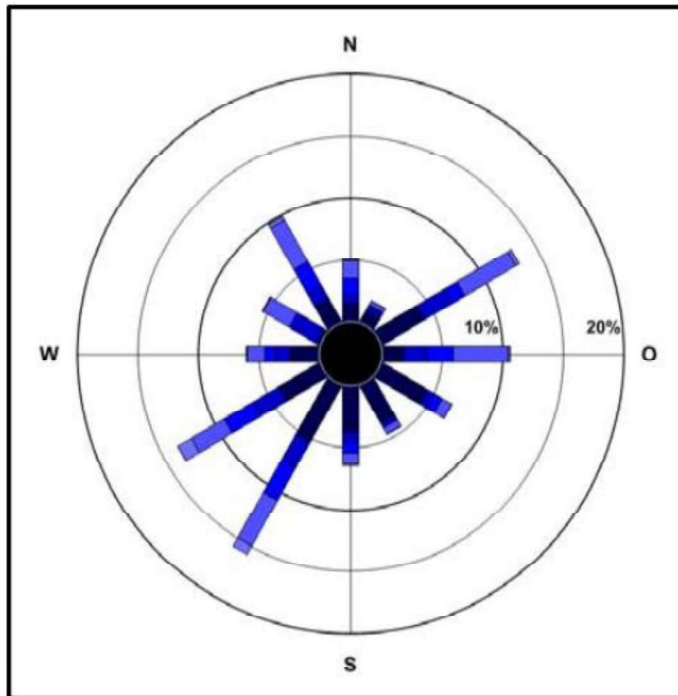


Abbildung 7. Synthetische Windrose über dem Standort berechnet in 10 m über Grund.
Quelle: [14]

Aus Abbildung 7 geht hervor, dass die Windrichtungshäufigkeitsverteilung im Neckartal durch die Orografie leicht moduliert wird. Es ist erkennbar, dass die Hauptwindrichtungen aufgrund der vorliegenden Orientierung des Neckartals nur in begrenztem Ausmaß geändert werden, lediglich das tertiäre Maximum aus Nordnordwest ist deutlich akzentuierter zu erwarten als in Stuttgart-Echterdingen.

Schwachwinde dominieren vorliegend zudem die Windrichtungshäufigkeitsverteilung (vgl. Abbildung 7) aus südlichen und südöstlichen Richtungen. Dies sind vornehmlich durch Kaltluftströmung induzierte, allerdings nur mäßig akzentuierte Schwachwinde (vgl. Abschnitt 3.2.4.2).

Die mittlere synthetische Windgeschwindigkeit beträgt 1,9 m/s. Die Tallage führt demnach zu schwächeren Winden, bzw. einer Häufung von Schwachwinden.

3.2.4 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 und jüngerer Vergangenheit liegenden Messjahren (falls vorhanden), um potenzielle klimawandelbedingte Auswirkungen aufzeigen zu können.

3.2.4.1 Lufttemperatur

Zur Beschreibung des Klimaelements Lufttemperatur wurde auf die vieljährigen Stationsmittelwerte an der DWD Messstation Stuttgart-Echterdingen (ID-Nr. 04931) für den Bezugszeitraum 1991 – 2020 zurückgegriffen, welche vom DWD bereitgestellt werden [7] [10].

In der nachfolgenden Tabelle sind die im mehrjährigen Mittel für den jeweiligen Kalendermonat sowie im Gesamtjahr ermittelten Maximal-, Minimal- und Durchschnittstemperaturen zusammengefasst, sowie in Abbildung 8 grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Gemittelte monatliche Werte der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur, Maximaltemperatur und Minimaltemperatur im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 an der Messstation Stuttgart-Echterdingen (DWD ID: 04931) in [°C] (Jahresmittelwerte). Quelle: eigene Berechnung mit Daten aus [7] [10].

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
mittlere Lufttemperatur	1,1	2,0	5,6	9,7	13,8	17,2	19,1	18,8	14,3	9,7	4,8	1,9	9,8
Maximaltemperatur	4,3	6,1	10,5	15,1	19,0	22,6	24,7	24,6	19,9	14,7	8,6	5,0	14,6
Minimaltemperatur	-2,1	-1,8	1,0	4,2	8,4	11,9	13,7	13,4	9,4	5,6	1,6	-1,2	5,3

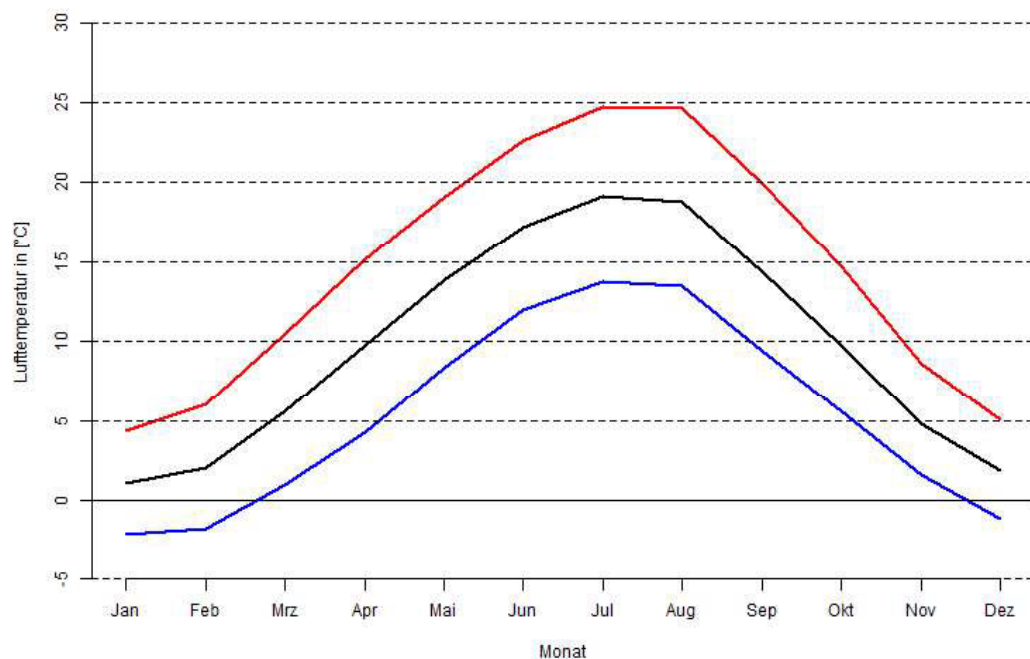


Abbildung 8. Diagramm der monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur (schwarz), monatlich gemittelte Maximaltemperatur (rot) und monatlich gemittelte Minimaltemperatur (blau) des Bezugszeitraums 1991 bis 2020 der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen in [°C]. Quelle: eigene Grafik erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten aus [7] [10].

Die mittlere Lufttemperatur an der Messstation Stuttgart-Echterdingen weist ein für die geografische Lage in Mitteleuropa typisches Profil auf. Das Minimum der Lufttemperatur findet sich im Januar und das Lufttemperaturmaximum im Juli. Die Temperaturamplitude von 18 °C ist für die Lage in Mitteleuropa ein Anzeichen für

gemäßigtes Klima, wo weder der maritime Einfluss des Atlantiks noch der kontinentale Einfluss Eurasiens für die Lufttemperaturen hauptsächlich sind. Es herrscht ein typisches Jahreszeitenklima vor, bei dem die Lufttemperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht geringer sind als die zwischen den Jahreszeiten.

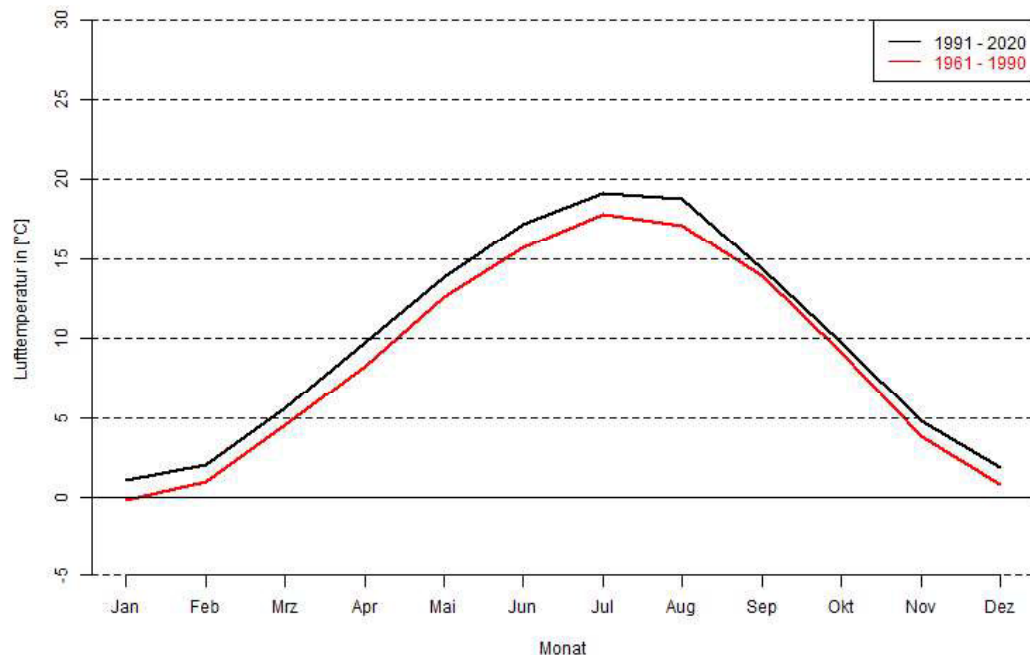


Abbildung 9. Monatliche mittlere Lufttemperatur der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen während der Klimareferenzperiode 1961 - 1990 sowie der Bezugsperiode von 1991 - 2020; Quelle: eigene Grafik erstellt mit dem Programm R: [33] mit Daten aus [7].

Die durchschnittliche Lufttemperatur im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 beträgt 9,8 °C und liegt somit im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 um 1,1 °C höher. Ein Vergleich der monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur zwischen der Klimareferenzperiode und dem Bezugszeitraum zeigt im Verlauf für jeden Monat eine Erhöhung des Temperaturmittelwert (vgl. Abbildung 9).

Die Temperaturdaten der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen liegen ab dem Jahr 1958 digital sowie auswertbar vor und zeigen 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 10) verdeutlichen.

Für das Land Baden-Württemberg geht die Landesanstalt für Umwelt (LUBW) von einem weiteren Temperaturanstieg in der Zukunft aus. Laut RCP-Modellszenarien¹ reichen die Temperaturanstiege im Jahresmittel zwischen +0,8 °C bis +1,8 °C zum

¹ Repräsentativer Konzentrationspfad (engl. representative concentration pathway, kurz: RCP) dient seit dem 5. Sachstandsbericht des IPCC der Beschreibung unterschiedlicher Szenarien für den Verlauf der absoluten Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre.

Jahr 2050 und zwischen +3,0 °C und +4,5 °C bis zum Jahr 2100.

Dabei sind insbesondere die Tallagen in Baden-Württemberg, demnach der Oberrheingraben und das Neckartal von erhöhten Temperaturen betroffen. In diesen Bereichen könnte die Jahresmitteltemperatur im fernen Zeitraum (2071 - 2100) bei 16 °C liegen. Dies wären vergleichbare Temperaturen, wie sie heutzutage in Rom oder der Toskana auftreten [13].

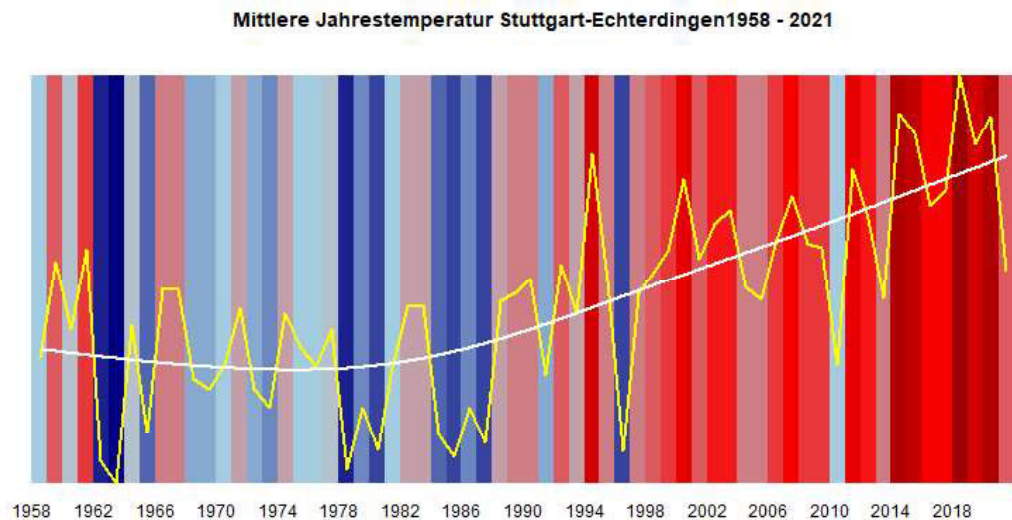


Abbildung 10. Jährliche mittlere Temperatur an der DWD Station Stuttgart-Echterdingen, dargestellt als sog. Klimastreifen: blaue Farbtöne zeigen kältere Jahre, rote Farbtöne wärmere Jahre als im Durchschnitt der Jahre 1958 - 2021. Die gemessene Jahresmitteltemperatur ist mit der gelben Kurve dargestellt. Die weiße Kurve zeigt einen geglätteten Verlauf der Temperatur. Eigene Grafik erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten aus [6].

Die Verhältnisse der Lufttemperatur an der Messstation „Stuttgart-Echterdingen“ lassen sich aufgrund der räumlichen Nähe von 11,6 km gut auf den Standort übertragen. Aufgrund der unterschiedlichen orografischen Lage kann es jedoch zu Unterschieden kommen. Den Temperaturkarten des Verbands Region Stuttgart zu urteilen, ist aufgrund des Höhenunterschieds im Mittel mit einer etwa 1 °C höheren Temperatur im Neckartal am Standort gegenüber der o. g. Messstation zu rechnen [29]. Unter Kaltluftsituationen können die Temperaturunterschiede deutlicher nach unten abweichen.

3.2.4.2 Kaltluft

Die Topografie des Untergrundes kann auf die bodennahen Luftschichten einen erheblichen Einfluss ausüben und durch ihr Relief das Windfeld nach Richtung und Geschwindigkeit modifizieren. Es können sich wegen der unterschiedlichen Erwärmung und Abkühlung der Erdoberfläche 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. Kaltluftentste-

hung 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. 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 tiefergelegenen 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.

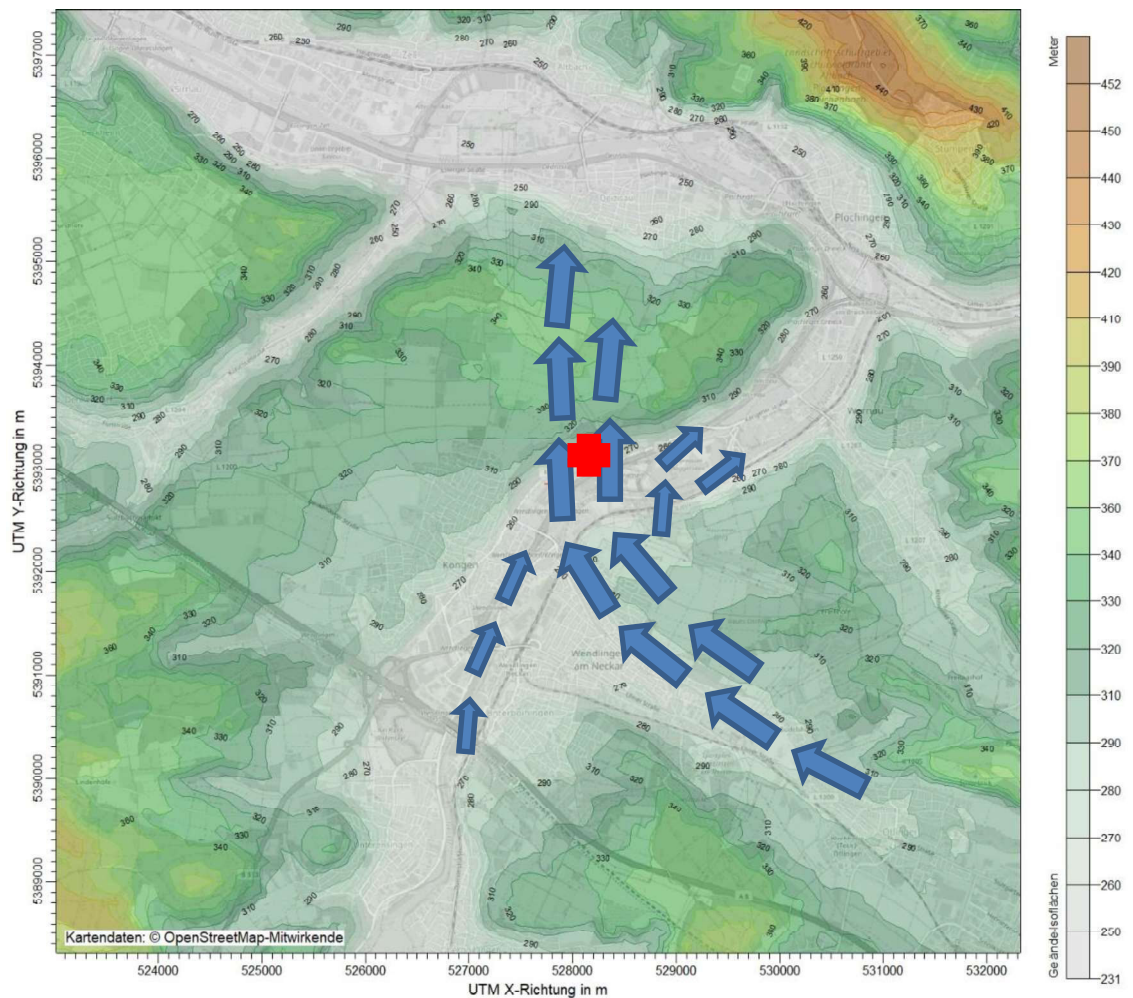


Abbildung 11. Geländehöhen im Bereich des Untersuchungsgebiets sowie eine schematische Darstellung der Kaltluftdynamik (gerichtete Pfeile nach [31]). Planstandort am roten Kreuz, Hintergrundkarte nach [3], SRTM Höhendaten aus [5].

Das geplante Vorhaben befindet sich im Bogen des Neckartals nordwestlich des Neckars. Aufgrund der orografischen Gegebenheiten ist mit Kaltlufteinflüssen auf das Mikroklima zu rechnen. Nach [30] ist die Fließrichtung von Kaltluft aufgrund der Schichthöhen vorliegend jedoch nur bedingt dem Neckartal folgend. Eine talfolgende Strömung stellt sich erst flussabwärts ab Höhe der Baggerseen ein (vgl. Abbildung 11). Über dem Vorhabengebiet fließt die Kaltluft mit einem Volumenstrom von > 60 bis $120 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ aus Richtung Süden direkt nach Norden. Bei einer Schichthöhe von bis 300 m (nach 4 Stunden Entwicklungszeit, vgl. [30]) wird der ca. 80 m Höhenunterschied des Geländes nördlich des Vorhabenstandortes deutlich überspült.

Die Fläche, auf der die CoLo und das ZB entstehen sollen, ist nach [30] als Kaltluftproduktionsfläche ausgewiesen. Im Hinblick auf die großflächigen Kaltluftproduktionsgebiete im Umkreis und der zuvor dargestellten Kaltluftflüsse und Schichtdicken weist die geplante neu versiegelte Fläche von $5,3 \text{ ha}$ jedoch einen relativ geringen Einfluss auf. Auch die Gebäudehöhen und die teils 16 m hohen Lärmschutzwände stellen aus diesem Grund kein Hindernis für die Versorgung mit Frisch- bzw. Kaltluft dar.

Betrachtet man den anfänglichen Verlauf der Kaltluftproduktion, kann es nach [31] von Norden aus zu geringen Kaltluftabflüssen in Richtung Neckar führen. Diese werden jedoch nicht durch den Bestandsbau behindert. Zu einem Kaltluftstau kommt es vorliegend demnach nicht.

Aufgrund der vorliegenden Daten ist demnach nicht mit einem negativen Einfluss auf die Kalt- bzw. Frischluftzufuhr der umliegenden Gemeinden zu rechnen.

3.2.4.3 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.

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

Tabelle 3. Monatsmittelwerte der rel. Luftfeuchte, mittlere Maximalwerte und mittlere Minimalwerte im Bezugszeitraum 1991 bis 2020 an der Messstation Stuttgart-Echterdingen (DWD ID: 04931) in [%] (Jahresmittelwerte). Quelle: eigene Berechnung mit Daten aus [6].

rel. Luftfeuchte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittelwert	83	79	73	67	70	69	68	70	75	82	85	85
Maximum	89	87	85	77	80	76	78	85	85	91	97	90
Minimum	76	69	61	53	59	62	58	53	62	75	80	81

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 eine antizyklische Amplitude auf. Da typischerweise im Sommer wärmere Temperaturen vorliegen, liegt eine höhere Wasserdampfaufnahmekapazität vor als in den kühlen Wintermonaten.

Am Standort selbst sind aufgrund der Tallage und des Neckars etwas höhere Anteile mit relativen Luftfeuchten von $\geq 100\%$ zu erwarten.

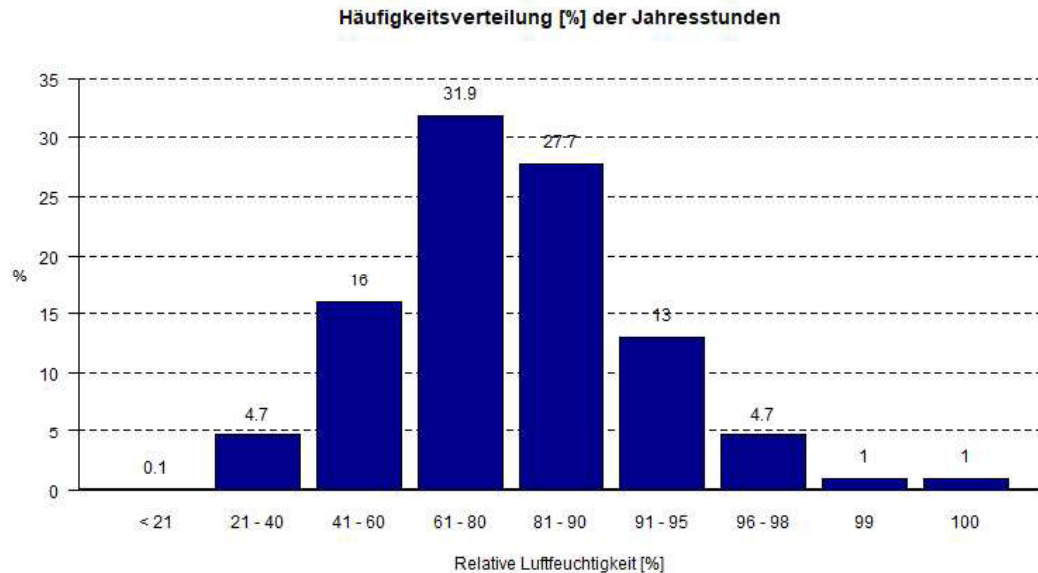


Abbildung 12. Häufigkeitsverteilung der rel. Luftfeuchtigkeit an der Station Stuttgart-Echterdingen (DWD ID: 04931) im Bezugszeitraum 1991 - 2020. Quelle: eigene Berechnung und Grafik erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten aus [6].

3.2.4.4 Nebelhäufigkeiten

Das Untersuchungsgebiet ist aufgrund seiner Lage direkt am Flusslauf durch eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit geprägt. In Verbindung mit den am Standort vorliegenden autochthonen Wetterlagen liegt die relative Nebelhäufigkeit² von Strahlungsnebel bei 30 - 40 % [18], was ca. 21 bis 26 Nebeltagen entspricht. Im Neckartal steigt die Nebelhäufigkeit im Bereich des Standortes auf 40 - 50 % an, was 26 - 31 Nebeltagen entspricht.

Die DWD-Wetterstation Stuttgart-Echterdingen verzeichnet im Bezugszeitraum eine mittlere Anzahl der Tage mit Nebelereignissen von 34,7 [6]. Gerade Nebelereignisse sind jedoch sehr lokal. Die äußeren Umstände – Tallage, Flussnähe, größere Freiflächengebiete – sind hierbei zu berücksichtigen.

3.2.4.5 Niederschläge

Für die Beschreibung der Niederschläge wurde ebenfalls auf die DWD-Station Stuttgart-Echterdingen (ID: 04931) zurückgegriffen. Niederschläge sind regional sehr differenziert zu betrachten und können sich lokal deutlich unterscheiden. Insbesondere konvektive Niederschlagsereignisse sind meist auf kleine lokale Skalen begrenzt.

² Die relative Nebelhäufigkeit gibt die Nebelhäufigkeit im Verhältnis zum nebeligsten Gebiets Deutschlands (Bodenseeregion, relative Nebelhäufigkeit = 100 %) an.

Im Durchschnitt der Bezugsperiode von 1991 bis 2020 fielen an der Messstation Stuttgart-Echterdingen 684 mm an Niederschlag in flüssiger wie fester Form. Im Vergleich zur Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990, in welcher durchschnittlich ca. 719 mm fielen, sind dies 35 mm weniger [9].

Abbildung 13 zeigt die monatliche mittlere Niederschlagshöhe an der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 und der Bezugsperiode von 1991 – 2020. Es ist auffällig, dass in den meisten Monaten zwischen der Referenz- und Bezugsperiode eine Abnahme der Niederschläge zu verzeichnen ist. Besonders auffällig ist die Abnahme an Niederschlägen im Monat April. Die einzigen Monate mit einer Zunahme an Niederschlägen sind Juli und Oktober. Insbesondere die Niederschlagszunahme im Juli fällt relativ deutlich aus. Dies könnte mit einer Häufung von Starkniederschlägen aufgrund thermischer Konvektionsbewölkung erklärbar sein.

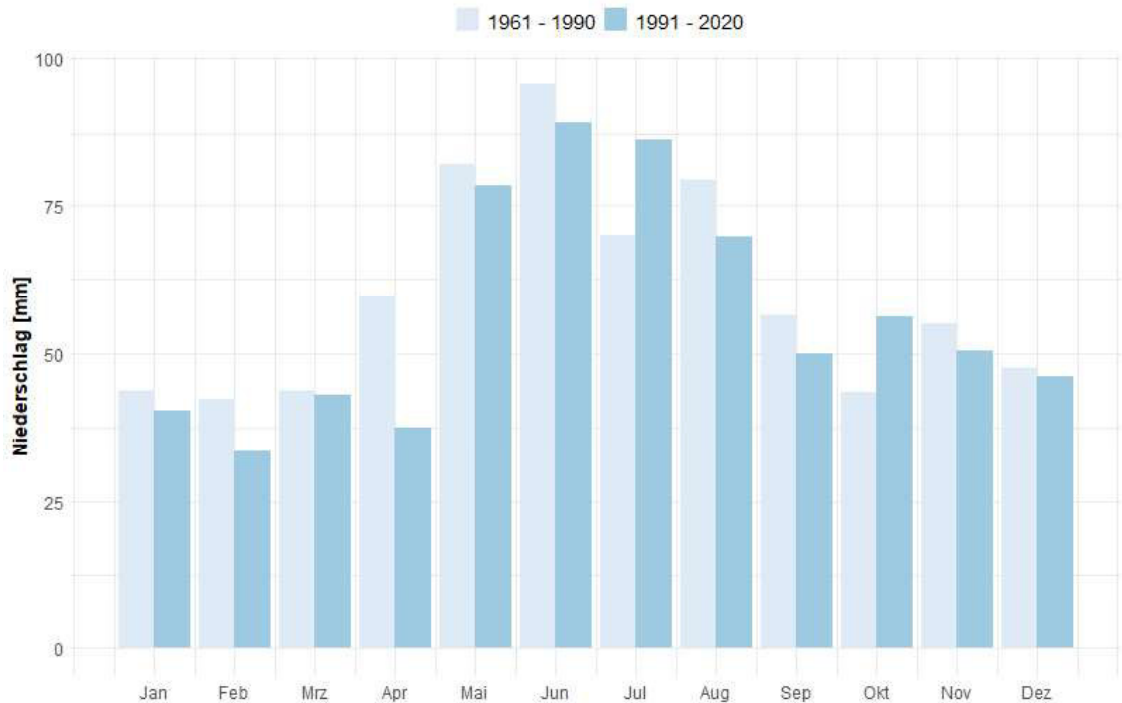


Abbildung 13. Monatliche mittlere Niederschlagsverteilung der DWD-Station Stuttgart-Echterdingen der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 und der Bezugsperiode von 1991 – 2020. Quelle: eigene Grafik erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten aus [7].

Ohne Klimaschutzmaßnahmen sind bis Ende des Jahrhunderts im Sommer geringere und im Frühjahr und Winter tendenziell höhere Niederschlagsmengen zu erwarten. Es wird jedoch nicht erwartet, dass sich die mittlere Jahresniederschlagsmenge nennenswert verändert. Es wird allerdings von häufigeren und intensiveren Starkregenereignissen ausgegangen [13].

Lokale Starkniederschläge stellen insbesondere für dicht bebaute und versiegelte Regionen sowie kleine Flussbereiche in Tallagen ein erhöhtes Risiko von Überflutungen dar.

3.2.4.6 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 Stuttgart-Echterdingen (DWD-ID 04931) zurückgegriffen. In der nachstehenden Tabelle 4 werden die monatlichen Mittelwerte, die Maxima und Minima der Bedeckungsgraddaten für die Bezugsperiode 1991 - 2020 dargestellt.

Tabelle 4. Monatliche Mittelwerte des Bedeckungsgrads im Bezugszeitraum 1991 - 2020 an der DWD-Messstation Stuttgart-Echterdingen (DWD-ID 04931). Eigene Berechnungen mit Daten aus [6].

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittelwert	5,8	5,6	5,2	5,1	5,2	5,0	4,7	4,5	4,8	5,4	5,9	6,0
Maximum	7,1	6,9	6,6	6,5	6,4	5,8	5,7	6,1	6,1	6,5	6,7	7,2
Minimum	4,5	3,7	3,9	2,5	3,9	3,7	3,3	3,2	3,4	3,8	4,5	4,4

Die Tabelle zeigt – charakteristisch für den Bedeckungsgrad – einen mäßig akzentuierten Jahresgang mit höheren Bedeckungsgraden im Winter- als im Sommerhalbjahr. Grafisch unterstützt wird dies durch Abbildung 14.

Der Monat mit dem durchschnittlich geringsten Bedeckungsgrad ist August, gefolgt von September. Der höchste Bedeckungsgrad wird mit 6,0 im Dezember erreicht. Bezüglich der Maximalwerte sind insbesondere die Wintermonate Dezember, Januar und Februar mit Werten um die 7 zu nennen. Die geringsten Minimalwerte treten im Sommer auf, wobei der April im Frühjahr mit 2,5 den geringsten durchschnittlichen Minimalwert aufweist.

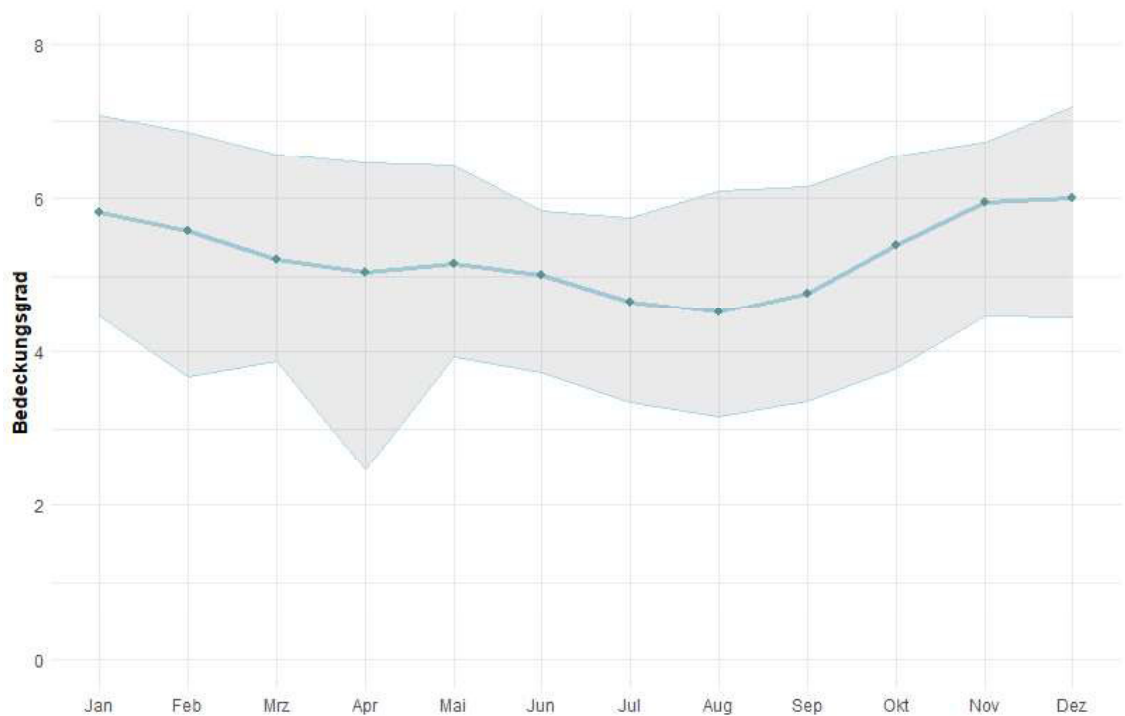


Abbildung 14. Jahresgang des Bedeckungsgrads im Bezugszeitraum 1991 - 2020 an der Messstation Stuttgart-Echterdingen (DWD-ID 04931). Die schattierte Fläche zeigt die Bandbreite, also Minima und Maxima, des Bedeckungsgrades, die während des Bezugszeitraums auftrat. Quelle: eigene Berechnungen erstellt mit dem Programm R: [32] mit Daten aus [7].

Die beschriebene Antikorrelation zwischen Bedeckungsgrad und Niederschlagsmenge lässt darauf schließen, dass die Niederschläge in den Sommermonaten tendenziell stärker ausfallen als in den Wintermonaten.

3.2.4.7 Kurzwellige (solare) Strahlung

(Tatsächliche) Sonnenscheindauer

Es ist zu unterscheiden in eine astronomische und eine tatsächliche Sonnenscheindauer.

Die theoretische Sonnenscheindauer ist ein Maß für die maximale Sonnenscheindauer eines Tages, Monats oder Jahres, die unter idealen Bedingungen (wolkenlose, ungetrübt klare Atmosphäre, keine Horizontüberhöhung durch Geländeerhebungen oder Gebäude) möglich ist. Die Sonnenscheindauer ist abhängig von der geographischen Breite sowie der Jahreszeit und wird auch als astronomische 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 wird die monatliche Sonnenscheindauer in der Bezugsperiode 1991 bis 2020 und der Bezugsperiode 1961 bis 1990 an der DWD-Messstation Stuttgart-Echterdingen dargestellt.

Tabelle 5. Gemittelte, monatliche Sonnenscheindauer in [h] des Bezugszeitraums sowie der Klimareferenzperiode an der DWD-Messstation Stuttgart-Echterdingen. Daten aus [6].

Sonnenscheindauer	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1961 - 1990	69	90	131	154	198	206	242	211	170	130	75	64	1.740
1991 - 2020	74	95	144	184	210	226	243	226	174	121	76	65	1.842

Wie die Tabelle 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 interannuellen Schwankungsbreite von Hoch- und Tiefdruckgebieten, welche in der Lage eine Häufung von bodennahen Hochdruckgebieten in den Sommermonaten und demnach eine relative Häufung an Tiefdruckgebieten in den Wintermonaten nach sich zieht.

Der sonnenreichste Monat ist in beiden Perioden der Juli, der sonnenärmste Monat ist der Dezember. Auffällig ist, dass die tatsächliche Sonnenscheindauer in den Monaten April bis August teils deutlich ansteigt, während sie in den Herbst- und Wintermonaten teils rückläufig bzw. nur schwächer ansteigend ist.

Mit einem Mittelwert von 1.842 Sonnenstunden im Jahr liegt die Sonnenscheindauer über dem Mittelwert für Deutschland (1.600 h/a) [15].

Globalstrahlung

Unter der Globalstrahlung versteht man die gesamte auf die Erdoberfläche einfallende kurzwellige Strahlung, auf die etwa 96 % des Spektralbereiches der Sonne fallen. 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 [19]. 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 [17] weist die Region um den Standort im Bezugszeitraum von 1991 bis 2020 eine jährliche Globalstrahlung von 1.181 – 1.200 kWh/m² auf, wobei diese in den Wintermonaten aufgrund des geringeren Elevationswinkels der Sonne mit 16 - 25 kWh/m² im Dezember (niedrigster Monatswert) deutlich geringer ist als im 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 den Bewölkungsgrad) beeinflusst.

3.3 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 Topografie 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.

3.3.1 Klimatop der Industrie- und Gewerbeflächen

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 dem Absorptionsvermögen 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. Dies 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.

Der Standort selbst ist nach [31] in einem Gewerbegebiet angesiedelt. Dieses erstreckt sich vom DHL-Depot in Richtung Süden etwa 500 m bevor das Gewerbegebiet in ein Mischgebiet mündet. Das Gebiet ist von der Größe nicht ausreichend, um ein vollumfängliches Gewerbe- und Industrieklimatop auszubilden, zumal vorliegend keine starke Differenzierung der Bauwerkshöhen zu verzeichnen ist.

3.3.2 Stadtklimatop

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. 3.3.1 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.

Unterformen des Stadtklimatops sind in Form des Gartenstadt- und Stadtrandklimatops im näheren Umfeld vorzufinden. Ein Gartenstadt-Klimatop zeichnet sich als Mischform aus, in der offene ein bis dreigeschossige Bebauung durch reichhaltige Grünflächen aufgebrochen sind. Es sind gegenüber des Freiland-Klimatops jedoch alle Klimaelemente modifiziert. Das Stadtrand-Klimatop ist demgegenüber bereits etwas dichter besiedelt und weist vornehmlich dreigeschossige Einzelgebäude sowie Reihenhäuser oder Blockbebauung auf. Die nächtliche Abkühlung ist in diesen Bereichen bereits merklich modifiziert und abhängig insbesondere von Regionalwinden [31].

Die nächstgelegenen Gartenstadt- und Stadtrandklimatope sind nach [31] im Siedlungsbereich von Königen und Wendlingen am Neckar (süd-)westlich bzw. südöstlich des Standortes verortet. Das nächstgelegene größere Stadtklimatop ist im Innenstadtbereich Wendlingens zu verzeichnen. Größere Siedlungsbereiche mit einem Stadtkernklimatop finden sich im Untersuchungsgebiet nicht.

3.3.3 Gewässerklimatop

Das prägendste Gewässer im Untersuchungsgebiet ist der Neckar. Der Neckar durchfließt das Gebiet von Süd-Südwest nach Ost-Nordost direkt südlich des Standortes. Als ein weiteres Gewässer sind die Wernauer Baggerseen zu nennen, welche in ca. 350 m östlicher Richtung zwischen der B 313 und dem Neckar liegen. Größere Seen sind im Untersuchungsgebiet jedoch nicht präsent.

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 Flusstal 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.

3.3.4 Waldklimatop

Auf den Hängen nördlich der Plochinger Straße bzw. im Talverlauf nordwestlich des Neckars sind Waldflächen zu verzeichnen, welche als Waldklimatop ausgewiesen sind. Diese erstrecken sich teils bis an die Ortschaft Deizisau im Norden der Gemeinde Köngen.

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.

3.3.5 Freiflächenklimatop

Die Anhöhen nördlich des Standortes sowie die Bereiche süd-südöstlich des Neckars zwischen Wendlingen und Wernau (Neckar) sind nach [31] als Freiland bzw. Freiflächenklimatope ausgezeichnet.

Neben einer starken nächtlichen Abkühlung ist das Freiflächenklima durch einen deutlich ausgeprägten Jahres- und Tagesgang der Lufttemperatur gekennzeichnet. Bei einer guten Wasserversorgung des Oberbodens, wie sie im Untersuchungsgebiet vorherrscht, 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 Vorhabenbedingte Wirkfaktoren

Unter Wirkfaktoren werden bestimmte Eigenschaften eines Vorhabens verstanden, die von einem Vorhaben ausgehen und die in der Umwelt bzw. den einzelnen Schutzgütern (z. B. Klima, Mensch, Boden) bestimmte Reaktionen auslösen könnten. Ein von einem Vorhaben 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 vorhabenbedingten Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme und -Versiegelung zusammengestellt und deren Einfluss auf die Schutzgüter beschrieben.

Die geplante CoLo soll nordöstlich des bestehenden DHL-Logistikzentrums errichtet werden. Die Flächen sind dabei weitgehend unversiegelt, jedoch anthropogen überprägt. Nach [31] dient das Vorhabengebiet keiner wichtigen klimatischen Funktion. Es wird jedoch sowohl in [30] als auch [31] als Kaltluftproduktionsgebiet und Kaltluft-sammelgebiet bezeichnet. Aufgrund der in Abschnitt 3.2.4.2 genannten Gründe überwiegen vorliegend jedoch die mesoklimatischen Faktoren und die daraus resultierende gute Versorgung des Neckartals mit Kaltluft aus Süden deutlich. Die Fläche von 5,3 ha des Vorhabens, ist im Vergleich zu klein, um einen signifikant positiven Effekt auf die Kaltluftproduktion und Abfluss aufzuweisen.

Die Veränderungen gegenüber der unversiegelten Bestandsfläche sind abhängig von der Wetterlage. Bei stärkerem Wind und allgemein unbeständiger Witterung sind bei der Lufttemperatur kaum spürbare Unterschiede über den verschiedenen Oberflächen zu erwarten. An wolkenarmen Tagen mit viel Sonnenschein ist dagegen die Wärmeaufnahme von versiegelten sonnenexponierten Flächen am Tage höher. In solchen Fällen kann es zu einer lokal auf den Vorhabenstandort beschränkte Erhöhung der Strahlungstemperatur und somit folglich der Lufttemperatur kommen.

Das geplante Vorhaben umfasst einen Bereich, der bereits durch die bestehenden Nutzungen durch intensive anthropogene Nutzungen gekennzeichnet ist. Wegen der räumlich begrenzten Fläche des Vorhabens von 5,3 ha und der ohnehin schon belasteten mikroklimatischen Situation kann davon ausgegangen werden, dass – insbesondere in den nächstgelegenen Siedlungsbereichen – klimatische Parameter wie relative Feuchte, Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge, -abfluss oder -häufigkeit nicht beeinflusst werden.

Die Effekte des Vorhabens auf die lokalklimatischen Bedingungen werden, wie ausgeführt, auf den Standort und den angrenzenden Nahbereich begrenzt sein. Aufgrund der Lage des Standortes sowie seiner Ausdehnung sind nachteilige Veränderungen der Klimaparameter im gesamten Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten. Eine dauerhafte bzw. nachhaltige Beeinflussung der Klimafaktoren und damit auch etwaige Einflüsse auf im Umfeld befindliche Nutzungen (z. B. Wohnnutzungen bzgl. der bioklimatischen Bedingungen) sind aufgrund des vergleichsweise geringen Eingriffs und der damit verbundenen kleinflächigen Veränderung auszuschließen.

Zusammenfassend betrachtet sind Beeinträchtigungen der lokalklimatischen Situation allenfalls im Bereich des Vorhabenstandortes selbst sowie des unmittelbar angrenzenden kleinräumigen Umfeldes zu erwarten. Großräumige klimatische Beeinträchtigungen sind dagegen aufgrund der örtlich begrenzten Einflüsse nicht zu erwarten.

5 Gesamtheitliche Betrachtung mikroklimatologischer Auswirkungen des Vorhabens

Durch die Errichtung der CoLo und der ZB sind geringe Auswirkungen auf das Mikroklima in verschiedener Form und Ausprägung zu erwarten.

Da die zu überbauende Fläche weitgehend unversiegelt ist, sind geringe Effekte auf die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zu erwarten. Aufgrund der Bauwerke und der verwendeten Materialien kann es zu einer Erhöhung der Strahlungs- und demnach folglich mit einer Erhöhung der Lufttemperatur kommen. Bzgl. der Luftfeuchte ist im Vergleich zum Bestand aufgrund der Versiegelung mit einer Reduzierung zu rechnen, da auf der Fläche keine Evapotranspiration stattfinden kann. Ein vermindertes Verdunstungspotential kann nur noch bedingt zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur beitragen und die verminderte Wasseraufnahmekapazität kann zu erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss führen.

Aufgrund der orografischen Gegebenheiten ist mit Kaltlufteinflüssen auf das Mikroklima zu rechnen. Nach [30] ist die Fließrichtung von Kaltluft aufgrund der Schichthöhen vorliegend jedoch nur bedingt dem Neckartal folgend. Dies stellt sich erst flussabwärts ab Höhe der Baggerseen ein. Über dem Vorhabengebiet fließt die Kaltluft mit einem Volumenstrom von > 60 bis $120 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ aus Richtung Süden direkt nach Norden. Bei einer Schichthöhe von bis 300 m (nach 4 Stunden Entwicklungszeit, vgl. [30]) wird der ca. 80 m Höhenunterschied des Geländes nördlich des Vorhabenstandortes deutlich überspült.

Die Fläche auf den die CoLo und der ZB entstehen sollen, ist nach [30] als Kaltluftproduktionsfläche ausgewiesen. Im Hinblick auf die großflächigen Kaltluftproduktionsgebiete im Umkreis und der vorangestellten Kaltluftflüsse und Schichtdicken weist die geplante neu versiegelte Fläche von 5,3 ha jedoch einen relativ geringen Einfluss auf. Auch die Gebäudehöhen und die teils 16 m hohen Lärmschutzwände stellen aus diesem Grund kein Hindernis für die Versorgung mit Frisch- bzw. Kaltluft dar.

Aufgrund der vorliegenden Daten ist demnach nicht mit einem negativen Einfluss auf die Kalt- bzw. Frischluftzufuhr der umliegenden Gemeinden zu rechnen.

Die Angaben zu Kaltluftvolumenströmen aus [30] wurden durch Simulationen während Windstille und somit autochthonen Witterungsbedingungen erzeugt. Die Aussagen zu den daraus resultierenden mikroklimatischen Änderungen im Gutachten sind demnach auch, bzw. insbesondere, auf Inversionswetterlagen übertragbar.

Unter Berücksichtigung der nur geringen mikroklimatischen Auswirkungen bestehen somit keine Anhaltspunkte dafür, dass durch das geplante CoLo und ZB mikroklimatisch vermittelte schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden können.

6 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.jstor.org/stable/26216020>.
- [2] Foken, Thomas: Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden. Berlin, Heidelberg, s. l.: Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [3] OpenStreetMap-Mitwirkende. Creative-Commons-Lizenz - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 (CC BY-SA) – <https://www.openstreetmap.org/copyright>.
- [4] Openstreetmap-Mitwirkende: SRTM | Kartendarstellung: © OpenTopoMap: Weitergabe unter gleichen Bedingungen (CC-BY-SA) <https://www.opentopomap.org/>.
- [5] SRTM-30. Shuttle Radar Topography Mission, USGS.
- [6] Deutscher Wetterdienst: Stationsdaten. URL https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/.
- [7] Deutscher Wetterdienst: Klimadaten Deutschland: Vieljährige Mittelwerte. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html?nn=16102&lsbld=343278.
- [8] Deutscher Wetterdienst DWD, Offenbach: Statistisches Windfeldmodell; https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland_und_bundeslaender.html; abgerufen im Dezember 2021.
- [9] DWD, Merkblatt Bestimmung der in Austal2000 anzugebenden Anemometerhöhe, Manyslo, 15.10.2014.
- [10] DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der monatlich gemittelten Lufttemperaturmaxima und -minima (2m) für Deutschland, Version v1.0.
- [11] Argusim Umwelt Consult: *Dokumentation und Überarbeitung eines Wetterdatensatzes zur Verwendung in Ausbreitungsrechnungen : Meteomedia Station Fürth (MG 107370)*.
- [12] Argusim Umwelt Consult: Gutachten. Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten gemäß VDI-RL 3783 Blatt 20 für ein Prüfgebiet bei Heilbronn. 10.09.2020.
- [13] LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg., 2021): Klimazukunft Baden-Württemberg – Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! Klimaleitplanken 2.0, Karlsruhe. URL file:///C:/Users/pek/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/fe3b6eda-af8f-4c64-81d2-60abf0a816f0/10200-Klimaleitplanken_2.0.pdf.
- [14] LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg., 2021): https://rips-dienste.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/windsteckbriefe_2019/SynRepAKTerm/Steckbriefe/pdf-NO/E32527413_N5396281-synAKS.pdf.

- [15] 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.
- [16] Deutscher Wetterdienst: Leistungen, Zeitreihen und Trends der Sonnenscheindauer; URL: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>.
- [17] Deutscher Wetterdienst: Leistungen, Globalstrahlung (mittlere 30-jährigen Monats- und Jahressummen);
URL:
https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_mvs.html.
- [18] Bendix, J.: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland: Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Nebelklima. München, Heidelberg: Elsevier, Spektrum, Akad. Verl., 2003 (3).
- [19] Deutscher Wetterdienst: Globalstrahlung. 2021. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/fernerkund_globalstrahlung_sis/fernerkund_globalstrahlung_sis.html.
- [20] VDI 3784 Blatt 1: Ausbreitung von Emissionen aus Naturzug-Naßkühltürmen. 1986-06.
- [21] Michael Bruse: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Bochum, Ruhr Universität Bochum. Dissertation. 1999.
- [22] Informationen und Unterlagen des Auftraggebers.
- [23] VDI 3787 Blatt 4: Umweltmeteorologie - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung. 2020-12.
- [24] VDI 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung Teil I: Klima. 2008-11.
- [25] Höppe, P. R. (Hrsg.): Energiebilanz des Menschen: Wissenschaftliche Mitteilungen der Universität München, 1984 (Nr. 49).
- [26] Höppe, P. R.: Heat balance modelling. In: Experientia 49 (1993), Nr. 9, S. 741 - 746.
- [27] 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.
- [28] A. Kazmierczak ; S. Pauleit ; L. Liu ; J. Ahern ; J. Niemela ; J.H. Breuste ; G. Guntenspergen ; N.E. McIntyre ; T. Elmqvist ; 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.
- [29] Verband Region Stuttgart: Regionales Rauminformationssystem Stuttgart. Temperatur – Klimaatlas. https://webgis.region-stuttgart.org/Test/AlleAnwendungenV6_BETA/Temperatur.html ; zuletzt abgerufen am 22.11.2022.

- [30] Verband Region Stuttgart: Regionales Rauminformationssystem Stuttgart. Kaltluft – Klimaatlas. https://webgis.region-stuttgart.org/Test/AlleAnwendungenV6_BETA/Kaltluft.html ; zuletzt abgerufen am 22.11.2022.
- [31] Verband Region Stuttgart: Regionales Rauminformationssystem Stuttgart. Klimatope – Klimaatlas. https://webgis.region-stuttgart.org/Test/AlleAnwendungenV6_BETA/Klimatope.html ; zuletzt abgerufen am 22.11.2022.
- [32] R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.