



Dr. Dütemeyer
Umweltmeteorologie

Kruppstraße 82-100 / ETEC
45145 Essen
Tel.: (0201) 72 66 72 0
E-Mail: info@dr-duetemeyer.de
Internet: www.dr-duetemeyer.de

Klimagutachten zum Planvorhaben „Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz“

Auftraggeber (AG):

Stadt Teublitz
Bauverwaltung
Platz der Freiheit 7
93158 Teublitz

AG-Auftragsdatum:

30.07.2024

Durchführung:
(verantwortlich)



Dipl.-Geogr. Dr. rer. nat. D. Dütemeyer
Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie
Kruppstr. 82 – 100 / ETEC
45145 Essen

in Kooperation mit:



Dipl.-Ing. M. Rau
Ingenieurbüro Rau – Wind Wasser Umwelt
Bottwarbahnstraße 4
74081 Heilbronn

und



Prof. Dr.-Ing. I. Papadakis & Dipl.-Ing. (FH) H. Schröder
dr. papadakis GmbH
Hydrologie und Siedlungswasserwirtschaft
Kaiser-Otto Platz 13
45276 Essen

Fassung:

1b

Digitale Fassung ohne Unterschrift

Essen, 16.12.2024
Ort und Datum

gez. Dirk Dütemeyer
Dr. Dirk Dütemeyer Unterschrift Projektleiter

Redaktionelle und rechtliche Hinweise zu diesem Bericht mit dem Titel:

Klimagutachten zum Planvorhaben „Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz“
von Düttemeyer et al., 2024

A) Versionshinweise

– keine –

B) Sprachregelung

Die Berichtssprache ist deutsch und folgt den aktuellen amtlichen Sprachregelungen des *Rates für deutsche Rechtschreibung* (RdR) von 26. März 2021. Eine sog. „gendergerechte“ Sprache wird daher nicht verwendet.

C) Urheberrechtshinweise und Haftungsausschluss zur Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes

- **Nutzungs- und Veröffentlichungsrechte**

Alle Nutzungs- und Veröffentlichungsrechte dieses Berichtes liegen vollständig und ausschließlich bei dem auf dem Titelblatt genannten Auftraggeber.

Bei der Weitergabe von *Auszügen* dieses Berichtes sind diese mit einem kleinen lesbaren Randvermerk zu den Autoren und zum Erscheinungsjahr zu versehen, hier z. B. „(Quelle: Düttemeyer et al. 2024)“ oder „Quelle: Düttemeyer et al. (2024)“.

- **Prävention vor Abmahnungen durch Dritte**

In diesem Bericht werden Informationen aus externen Quellen verwendet. Die urheberrechtlich zulässige Verwendung dieser Informationen wurde geprüft und ergab folgende **wichtige Nutzungshinweise**:

Einige der aus den externen Quellen stammenden Informationen sind laut den jeweiligen Urhebern kostenfrei verwendbar, wenn die Informationen mit einer eindeutigen **Herkunftskennzeichnung** deutlich versehen sind.

In diesem Bericht sind daher an den betreffenden Stellen, insbesondere an Abbildungen und Tabellen, die erforderlichen Herkunftskennzeichnungen oder Verwendungshinweise gemäß der von den Urhebern geforderten Zitierweisen direkt und eindeutig in kursiver Schrift vermerkt.

Im Falle der Weiterverwendung der Inhalte dieses Berichtes, insbesondere bei der – auch auszugsweisen – Offenlegung oder Weitergabe, sind unbedingt die Herkunftskennzeichnungen der jeweiligen Informationen zu übernehmen bzw. die Hinweise zu deren Weiterverwendung zu beachten.

- **Haftungsausschluss**

Die Autoren haften **nicht** für **Abmahnungen** wegen fehlender Herkunftskennzeichnungen, fehlender Urheberverweise oder unzulässigen Informationsweitergaben bei der Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes. Im Streitfall wird der Autor dieses Berichtes durch Vorlage des Originalberichtes seine erbrachte Zitierpflicht nachweisen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Verzeichnis der Tabellen | II |
| Verzeichnis der Abbildungen | II |
| Zusammenfassung | 1 |
| 1 Thematische Einführung | 3 |
| 1.1 Lokalklimatologie | 3 |
| 1.2 Rechtslage | 6 |
| 2 Aufgabenstellung | 7 |
| 3 Methodik | 8 |
| 4 Geografie | 9 |
| 5 Ergebnisse | 13 |
| 5.1 Klima | 13 |
| 5.1.1 Jahresmittleres Klima | 13 |
| 5.1.2 Thermische Verhältnisse an heißen Tagen | 15 |
| 5.1.3 Kaltluftprozesse in Nächten heißer Tage | 19 |
| 5.2 Windwurfgefahr | 29 |
| 5.3 Luftqualität | 30 |
| 5.3.1 Zielsetzung | 30 |
| 5.3.2 Bewertung der großräumigen Emissions- und Immissionssituation | 30 |
| 5.3.3 Bewertung der lokalen Emissions- und Immissionssituation | 35 |
| 5.3.3.1 Emissionsbestimmung Verkehr A93 | 35 |
| 5.3.3.2 Bestimmung der Immissionskonzentration | 36 |
| 5.3.3.3 Immissionsseitige Auswirkungen | 37 |
| 5.3.4 Bewertung des Immissionsschutzwaldes im Bezug zur Lufthygiene | 40 |
| 5.4 CO ₂ -Bilanz | 41 |
| 5.5 Wasserhaushalt | 45 |
| 5.5.1 Bestandssituation im Einzugsgebiet | 45 |
| 5.5.2 Planzustand | 47 |
| 5.5.3 Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung | 48 |
| 5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse | 50 |
| 6 Empfehlungen für die weitere Planung | 51 |
| 7 Abschließende Bemerkung | 52 |
| 8 Arbeitsmaterialien und Literatur | 52 |
| 8.1 Arbeitsmaterialien | 52 |
| 8.2 Literatur | 53 |
| Anhang | 55 |
| A1 Empirische Berechnungen zu Kaltluftprozessen | 55 |

Verzeichnis der Tabellen

| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 1: | Klimaaktive Wald- und Freilandflächen im Einzugsbereich des Plangebietes. | 9 |
| Tab. 2: | Flächennutzung des Planentwurfs. | 11 |
| Tab. 3: | Skala der PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006). | 15 |
| Tab. 4: | Thermisches Empfinden in 2 m ü. Gr. an ausgewählten Orten an Nachmittagen heißer Tage (Zahlenangaben in °C PET). | 17 |
| Tab. 5: | Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. an ausgewählten Orten in Nächten heißer Tage (Zahlenangaben in °C). | 17 |
| Tab. 6: | Anteil des Plangebietes an der Kaltluftproduktion im Kaltlufteinzugsgebiet, berechnet nach WIESEN (1986). | 20 |
| Tab. 7: | Empfehlungen der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ (VDI 2003a) zur abschätzenden Beurteilung der Auswirkungen der Veränderungen der Kaltluftproduktion. | 20 |
| Tab. 8: | Empirisch geschätzte Kaltluftmerkmale ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Untersuchungsraum (berechnet nach DEFANT und BRIGGS gemäß VDI (2003a)). | 23 |
| Tab. 9: | Hintergrundbelastung für den Kreis Teublitz nach RLUS (RLUS 2023a). | 31 |
| Tab. 10: | Verkehrszahlen für die betrachteten Streckenabschnitte in [Kfz/24h]. | 35 |
| Tab. 11: | Emissionsmengen für die betrachteten Streckenabschnitte der A93. | 36 |
| Tab. 12: | Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit (39. BImSchV). | 37 |
| Tab. 13: | Flächennormierte CO ₂ -Budgets für ausgewählte Gebäude- und Vegetationstypen. | 41 |
| Tab. 14: | Überschlägige, vereinfachte CO ₂ -Bilanz für den Waldverbund i. e. S. (Waldverbund S). | 43 |
| Tab. 15: | Überschlägige, vereinfachte CO ₂ -Bilanz für den Waldverbund i. w. S. (Waldverbund S + N). | 44 |
| Tab. 16: | Ermittlung der abflusswirksamen Fläche unter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung. | 49 |

Verzeichnis der Abbildungen

| | | |
|---------|--|----|
| Abb. 1: | Kaltluftmächtigkeiten, -transporte und -eindringtiefen in die Bebauung in Abhängigkeit der Geländeneigung (schematisch). | 5 |
| Abb. 2: | Flächennutzungskarte zum Umfeld des Plangebietes. | 7 |
| Abb. 3: | Luftbildkarte zum näheren Umfeld des Plangebietes. | 10 |
| Abb. 4: | Reliefstruktur im Umfeld des Plangebietes. | 11 |
| Abb. 5: | Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan "Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz" (STADT TEUBLITZ 2021). | 12 |
| Abb. 6: | Karte zur Jahresmitteltemperatur. | 13 |

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 7: | Karte zur jährlichen Anzahl der Sommertage. | 14 |
| Abb. 8: | Karte der jahresmittleren Windgeschwindigkeit. | 14 |
| Abb. 9: | Karte der Wärmebelastung (PET) in 2 m ü. Gr. am Nachmittag heißer Tage, heute und im starken Klimawandel. | 16 |
| Abb. 10: | Karte der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. in Nächten heißer Tage, heute und im starken Klimawandel. | 18 |
| Abb. 11: | Lagekarte der Verbünde der Wald- und Freilandgebiete. | 19 |
| Abb. 12: | Relief- und Flächennutzungskarten zu hypothetischen (oben) und realen (unten) Kaltluftabflussbahnen. | 22 |
| Abb. 13: | Karte zu Grundzügen regionaler strahlungsnächtlicher bodennaher Winde (Kaltluftströme in 20 m ü. Gr.). | 25 |
| Abb. 14: | Karten zu strahlungsnächtlichen bodennahen Kaltluftströmen. | 26 |
| Abb. 15: | Auszug aus der Klimaanalysekarte, heute und im starken Klimawandel. | 27 |
| Abb. 16: | Auszug aus der Planungshinweiskarte. | 28 |
| Abb. 17: | Skizze zur Darstellung der Überströmung eines Waldstückes (links) sowie Eindringen des Windes in einen Waldbestand bei Kahlschlag (rechts).. | 29 |
| Abb. 18: | Skizze zur Darstellung der Überströmung eines Waldstückes mit eingebetteter Bebauung..... | 30 |
| Abb. 19: | Ausschnitt des Waldfunktionsplans. | 31 |
| Abb. 20: | Emittentenstruktur und Emissionsdichte im Bereich Teublitz. | 32 |
| Abb. 21: | Luftschadstoffzusatzbelastung aus dem Straßenverkehr im Bereich Teublitz. | 33 |
| Abb. 22: | Raum mit hoher verkehrsbedingter Zusatzbelastung im Bereich Teublitz. | 34 |
| Abb. 23: | Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynAKTerm 2009) im Bereich Teublitz (METSOFT 2024). | 37 |
| Abb. 24: | Abklingkurve nach RLUS 3 – Abschnitt Schwandorf-Mitte. | 38 |
| Abb. 25: | Abklingkurve nach RLUS 3 – Abschnitt Regensburg - Pfaffenstein. | 39 |
| Abb. 26: | Entfernung nächstgelegener Wohnbebauung vom Plangebiet. | 40 |
| Abb. 27: | Einzugsgebiete und Messstationen an den Oberflächengewässern im Untersuchungsgebiet (Quelle: PIEWAK 2024). | 46 |
| Abb. 28: | Vergleich der hydrologischen Kenndaten zwischen Istzustand und Planzustand für das Untersuchungsgebiet. | 48 |
| Abb. 29: | Einfluss von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB-Maßnahmen) auf die hydrologischen Kennwerte im Untersuchungsgebiet. | 50 |

Zusammenfassung

Die Stadt Teublitz plant an der Autobahnanschlussstelle Teublitz die Ansiedlung eines ca. 21 ha großen Industrie- und Gewerbegebietes. Das Areal liegt in einem großen Wald, der aktuell die Funktion eines Klimaschutzwaldes hat.

Diese Untersuchung schätzt und bewertet die klimatischen Auswirkungen des Vorhabens bezüglich der Themen sommerliche Wärmebelastung, lokale Winde, CO₂-Budget, Luftqualität, Windwurf und Wasserhaushalt.

Die Untersuchung ergab, dass sich der Wald des Plangebietes im Gegensatz zu den Siedlungen Teublitz und Katzheim **thermisch** als mild und ohne sommerliche Wärmebelastung darstellt, während die Austauschverhältnisse sehr schwach sind und mangels Ventilationsbahnen keine Wirkungen auf die Siedlungen haben. Die im Plangebietsbereich über den Baumkronen zu erwartenden **lokalen Kaltluftflüsse** sind bereits im Ist-Zustand zu niedrig und langsam sowie bezüglich des Erreichens des Siedlungsrandes zu segmentiert, sodass sie nicht zu einer Belüftung der Siedlungsbereiche beitragen. Das Planvorhaben hat daher keinen zusätzlichen Einfluss auf die mangelnde Kaltluftventilation.

Die **regionalen Windfelder** zeigen oberhalb des Kronendachs des Plangebietes sehr schwache, von den Siedlungen weggerichtete Kaltluftströmungen. Im Bodenniveau (Stammraum) des Plangebietswaldes sind die Kaltluftströme ebenfalls schwach und von den Siedlungen weggerichtet. Die Planungshinweiskarte stuft den Plangebietsbereich daher als klimatischen Ausgleichsraum von nur *geringer Bedeutung* ein. Eine Wirkung auf Siedlungen ist nicht gegeben. Die klimatische Wohlfahrtswirkung bleibt auf die örtliche Erholfunktion beschränkt.

Bei der **Windwurfgefahr** bzw. Sturmgefährdung ist davon auszugehen, dass die vermutlich großen Gebäude des Planentwurfs den Wind auf unkritische Windgeschwindigkeiten bremsen werden und damit die Windwurfgefahr eher gering ist

Die **Luftqualität** ist im Plangebietsbereich als eher unkritisch einzustufen. Im Plangebiet werden die Grenzwerte für Stickoxide und Feinstaub sicher eingehalten. Die Walrodung wird keine nennenswerten Auswirkungen auf die Umgebung haben und in den umliegenden Bebauungen nicht mehr nachweisbar sein,

Bei ausschließlicher Betrachtung der Veränderungen der Außenbereiche des Planvorhabens sind je nach Bezug zur Waldflächengröße die **CO₂-Speicherverluste** von 0,9 % bis 0,2 % sehr gering. Bei einer weiteren Ausdehnung des Waldflächenbezuges wird der Anteil des Plangebietes am CO₂-Speicher vernachlässigbar. Bei der Planung der späteren Nutzung sollte jedoch auf minimale Treibhausgasemissionen geachtet werden.

Beim **Wasserhaushalt** wird aufgrund der durch die Baumaßnahme zu erwartenden Versiegelung der Oberflächenabfluss deutlich zunehmen, sodass für Verdunstung und Grundwasserneubildung weniger Wasser zur Verfügung steht und diese entsprechend abnehmen werden. Für die ausstehende Erschließungsplanung wird eine Versickerung empfohlen und sollte geprüft werden. Aufgrund des kleinen hydrologischen Einzugsgebiets sind nur lokale Veränderungen im direkten Umfeld der geplanten Bebauung zu erwarten.

Da bereits im Ist-Zustand das Plangebiet keine ungünstigen klimatischen Wirkungen auf die umliegenden Siedlungsbereiche zeigt, sind vom Planvorhaben keine weiteren Auswirkungen zu erwarten.

Der weiterhin um das Plangebiet gelegene Wald hat hierbei im Sinne einer Immissionschutzpflanzung eine puffernde Wirkung bezüglich Spurenstoffen und Lärm, zumal aufgrund der vorgeschlagenen Gebäudehöhen die Baukörper niedriger als der Wald sein werden, so-

dass das Windfeld der Umgebung kaum gestört werden dürfte. Daher sollten maximale Gebäudehöhen von 18 m ü. Gr. nicht überschritten werden.

Bezüglich der Windwurfgefahr wird empfohlen, die Walddrohung ggf. entsprechend dem Baufortschritt vorzunehmen, um die „Kahlschlagsituation“ mit einer entsprechend höheren Gefährdung bei eventuell auftretenden Sturmereignissen möglichst zu minimieren.

Darüber hinaus beinhaltet eine klimaoptimierte Bebauung idealerweise Maßnahmenbündel aus aufgelockerten Gebäudeanordnungen ohne Gebäuderiegel, unversiegelte, optimalerweise begrünte Flächen, helle Oberflächen von Gebäuden und Versiegelungsflächen, Dach und Fassadenbegrünungen, Verschattungen sowie energiesparende Bauweise und Nutzung regenerativer Energiequellen.

1 Thematische Einführung

1.1 Lokalklimatologie

Das Klima eines Ortes wird neben der zugehörigen Klimazone und dem Lagebezug zu den Ozeanen vor allem durch die vorhandene Topografie und das Relief geprägt (HUPFER & KUTTLER 2006).

Während sog. **allochthoner**, d. h. **austauschreicher** Witterung, welche den **Normalzustand** der Atmosphäre darstellt, sind die **Effekte** der **Topografie** und des **Reliefs** eher **schwach** ausgeprägt: Die übergeordneten, überregionalen und mehrere hundert Meter bis einige Kilometer hohen Windfelder der Troposphäre durchdringen mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten die bodennahe Atmosphäre und verwischen dabei die lokalen Klimaeffekte durch Durchmischung und schnellen Abtransport. Diese Witterungssituation stellt i. d. R. *keine* für die menschliche Gesundheit kritische Situation dar.

Während sog. **autochthoner**, d. h. wolkenfreier und sonnenreicher sowie **austauscharmer**, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, Wetterlagen tritt hingegen das **lokale Klima** deutlicher in Erscheinung. Das Klima wird hierbei *maßgeblich* durch das lokale Relief und die Topografie geprägt, allerdings ist deren räumliche Wirkung aufgrund des Fehlens eines überregionalen Windfeldes auf die nähere Umgebung beschränkt. Winde treten hierbei nur lokal vorzugsweise auf Freilandflächen und überwiegend nachts in Form *bodengebundener schwacher Kaltluftströmungen* auf, die äußerst anfällig für Strömungshindernisse wie z. B. städtische Bebauung, Dämme, Gehölzstreifen oder Wälder sind (VDI 2003a). Flächenutzungen mit für die menschliche **Gesundheit** ungünstigen klimatischen oder lufthygienischen Eigenschaften können bei solchen Wetterlagen fallweise ein **Problem** darstellen.

Städte zeichnen sich gegenüber der freien Landschaft im Allgemeinen durch eine durch Sonneneinstrahlung bedingte Aufheizungstendenz von Gebäuden und versiegelten Oberflächen („Städtische **Wärmeinsel**“) sowie durch Industrie, Hausbrand und Verkehr bedingte erhöhte **Spurenstoffbelastungen** bei gleichzeitig Bebauung bedingten reduzierten Durchluftungsverhältnissen aus (KUTTLER & GROSS 2023).

Die Ausprägung der **stadtklimatischen Effekte** ist primär von der Lagedichte der Bebauung und der räumlichen Verteilung von versiegelten Flächen und Quellen atmosphärischer Spurenstoffe abhängig (HELBIG et al. 1999). Mit zunehmender räumlicher Dichte dieser Faktoren verstärken sich die o. g. stadtklimatischen Effekte, die in dicht bebauten Innenstadtbereichen deutlicher ausgeprägt sind als an aufgelockert bebauten und grüneren Stadträndern oder in ländlichen Siedlungen (MW-BW 2012).

Einen Beitrag zur **Verbesserung des Stadtklimas** können **Freiflächen** in der Peripherie von Städten leisten (MW-BW 2012). Diese „**Freilandklimatope**“ umfassen Landwirtschaftsflächen (Wiesen, Weiden, Äcker, Brachen, jedoch keinen Wald (s. u.)) und besitzen günstige klimatisch-lufthygienische Eigenschaften mit „Wohlfahrtswirkung“ (VDI 3787/1 2015): Sie weisen einen aufgeprägten Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte sowie gute Austauschverhältnisse bei geringen Windfeldveränderungen auf. In austauscharmen wind-schwachen Strahlungsnächten ist aufgrund starker Oberflächenabkühlung **Kaltluft**produktion möglich. Ferner sind die Areale i. d. R. aufgrund fehlender Emittenten lufthygienisch unbelastet („**Frischluf**t“). Dies trifft insbesondere auf ausgedehnte Wiesen- und Ackerflächen sowie auf Freiflächen mit lockerem Gehölzbestand zu. Den Freiflächen kommt daher eine hohe **Erholungsfunktion** zu. Ferner können die Freiflächen unter bestimmten Voraussetzungen auch auf die Umgebung wirken und z. B. die klimatische Situation in einer angrenzenden Bebauung verbessern.

Wälder haben ebenfalls eine klimatische Wohlfahrtswirkung (VDI 3787/1 2015). Das Klima in Bodennähe (sog. „Stammraum“) ist durch gedämpfte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte sowie von niedrigen Windgeschwindigkeiten geprägt, weil das Kronendach sowohl die sonnenbedingte Erwärmung am Tage als auch die nächtliche Auskühlung reduziert und

den Wind bremst. Kaltluftentstehung findet daher oberhalb des Kronenraums statt, allerdings ist die Kaltluftproduktion im Vergleich zu unbewaldeten und vegetationsbestandenen Freilandgebieten geringer und deren Fließgeschwindigkeit deutlich niedriger (bis -80 %). Wälder sind auch ausgeprägte **Strömungshindernisse** für *bodennahe* Winde, sodass sie insbesondere träge bodennahe Kaltluftflüsse stoppen (**Kaltluftstau**) und zu **Kaltluftseen** aufstauen können. Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und human-bio-meteorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emittenten die Funktion als Frischluft- und Reinluftgebiete. Bei vorhandenen Emittenten wirken Wälder auch als Spurenstofffilter und Lärmschutz. Aufgrund ihrer hohen Strömungsrauigkeit können Wälder jedoch keine Luftleitfunktion übernehmen.

Freiland- und Waldklimatope werden daher im Allgemeinen mit einer hohen **Empfindlichkeit** gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d. h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen können zu spürbaren klimatischen Beeinträchtigungen der Klimafunktion der Frei- oder Waldflächen führen. Die konkrete **planerische Relevanz** von Freiland- oder Waldklimatopen ist jedoch im Einzelfall immer von den lokalen Verhältnissen oder den Witterungsverhältnissen abhängig.

Die planerische Relevanz von Freiland- und Waldklimatopen ist insbesondere dann gegeben, wenn neben der **lokalen Erholungsfunktion** die Möglichkeit besteht, dass unter geeigneten Relief- und Witterungsbedingungen die kühlere und ggf. auch saubere Luft aus dem Umland in **angrenzende Gebiete** mit ungünstigeren mikroklimatischen Bedingungen transportiert werden und dort zu einer **Verbesserung** des Klimas beitragen kann (MW-BW 2012). Die Fläche besitzt dann eine hohe „**Klimaaktivität**“. Diese Funktion ist insbesondere während **windschwacher** oder **heißer Witterungsbedingungen** von Bedeutung. Insbesondere in heißen, klaren Nächten kann durch den Zustrom kühlerer Luft aus dem Umland (**Kaltluft**) in Stadtquartieren die **Wärmebelastung** spürbar reduziert werden.

Da lokale Kaltluft aufgrund der relativen Schwere am Boden lagert und dort äußerst lagestabil ist, erfolgt bei Fehlen eines übergeordneten Windes ein **Kaltlufttransport** entweder über einen **gravitativen Abfluss** in geneigtem Gelände oder durch eine nahe gelegene, ausgeprägte städtische **Wärmeinsel**, die als relatives örtliches Tiefdruckgebiet die Kaltluft bodennah vom Umland („von der Flur“) in Richtung Siedlung saugt (**Flurwind**) (VDI 3787 / 5 2003a). Je größer das Geländegefälle oder je ausgeprägter die Wärmeinsel ist, desto höher sind vertikale Mächtigkeit und Fließgeschwindigkeit der Kaltluft (**Abb. 1**). Andererseits reagiert fließende Kaltluft empfindlich auf Strömungshindernisse wie Wälder, Hecken/Gehölze, Dämme oder Bebauung, welche zum **Kaltluftstau** führen können.

Die **planerische Relevanz** eines Freiland- oder Waldklimatops bezüglich der Kaltluft wäre nach VDI 3787 / 5 (2003a) dadurch gegeben, dass

- die Kaltluft ohne Einfluss eines etwaigen übergeordneten Windfeldes entweder rein gravitativ, d. h. aus **eigenem Antrieb**, oder als durch eine städtische Wärmeinsel initiiert **Flurwind** aus der Fläche (**Quellgebiet**) abfließt,
- hinsichtlich der Fließrichtung einer wärmeren Fläche oder einem wärmeren Gebiet mit sensibler Nutzung zufließt (**Wirkraum**, z. B. Wohngebiet), in dem die Kaltluft zur Verbesserung des Klimas beitragen kann,
- die Kaltluft eine hinreichende Geschwindigkeit und vertikale Mächtigkeit hat, um in den Wirkraum einzudringen.
- die Kaltluft im Wirkraum noch eine hinreichende **Untertemperatur** besitzt, um einen spürbaren Kühlungseffekt zu erzielen.

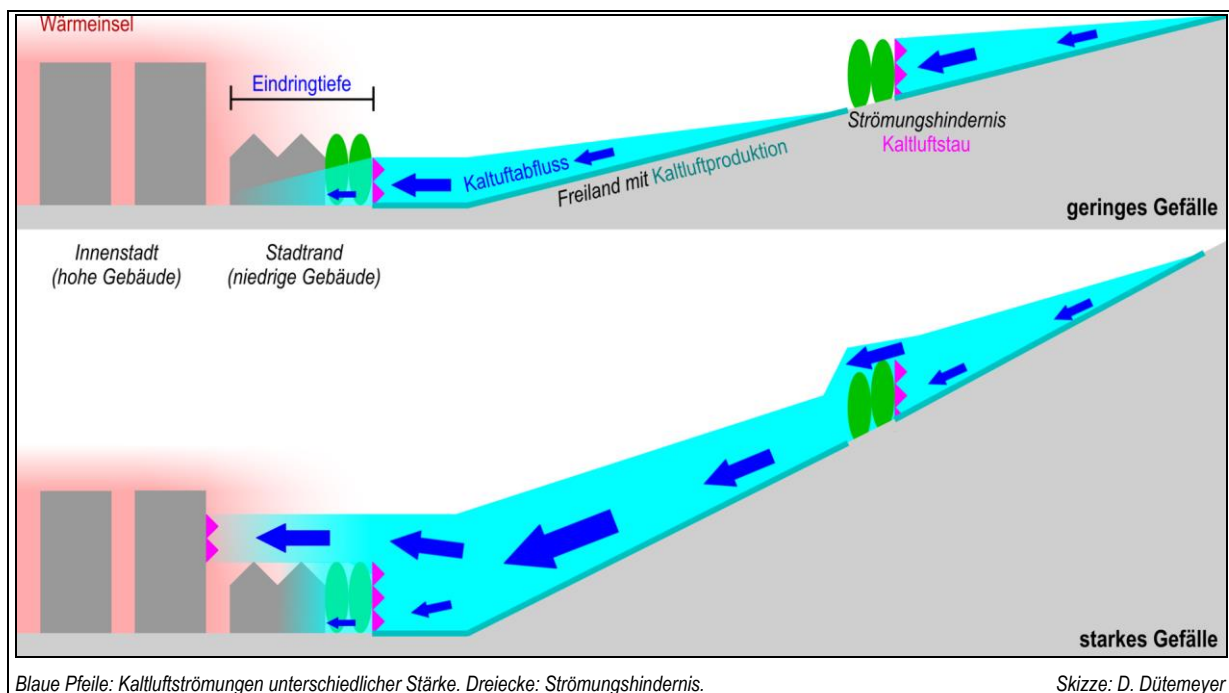


Abb. 1: Kaltluftmächtigkeiten, -transporte und -eindringtiefen in die Bebauung in Abhängigkeit der Geländeneigung (schematisch).

Kaltluft, die diese Anforderungen erfüllt, benötigt zur Entstehung sehr große Freiland- oder Waldflächen von i. d. R. mehreren Quadratkilometern **Größe** (VDI 3787 / 5 2003a). Zwar wird auch auf kleineren Freiflächen Kaltluft gebildet, deren Merkmale sind jedoch deutlich schwächer ausgeprägt und deren räumliche Wirkung ist stark begrenzt (z. B. bei **innerstädtischen Parks**) (KUTTLER 2011). Innerhalb der **dichten Bebauung** ist auf kleinsten Freiflächen (z. B. Baulücken oder größeren grünen Verkehrsinseln) die positive Klimawirkung nur noch schwach bis gar nicht ausgeprägt und ohne nennenswerte Wirkung auf die Umgebung, deren Überwärmung an dieser Stelle dominiert und die Wirkung der kleinen Freiflächen überlagert.

Die **Eindringtiefe** von Kaltluft aus dem Umland in die **Bebauung** ist von der vertikalen Kaltluftmächtigkeit abhängig (**Abb. 1**). Ist diese niedriger als die städtischen Bebauungsstrukturen, bleibt die Eindringtiefe in Bodennähe aufgrund der Riegelwirkung der Bebauung auf einige zehner bis wenige hundert Meter beschränkt, wenn nicht raugkeitsarme, d. h. von Strömungshindernissen freie, **Ventilationsbahnen** vom Umland her weit in die Bebauung hineinreichen (DÜTEMEYER 2000). Nach MAYER et al. (1994) sollten Ventilationsbahnen mindestens 1 Kilometer lang und 50 Meter breit sein. Selbst unter diesen günstigen Voraussetzungen ist die Tiefenwirkung der Kaltluft begrenzt, weil sie mit zunehmender Eindringtiefe durch die warme Bebauung zunehmend erwärmt wird (sog. „Altern der Kaltluft“).

Ist die Kaltluftmächtigkeit höher als die städtischen Bebauungsstrukturen, besteht die Möglichkeit, dass Teile der Kaltluft zunächst über die Bebauung hinwegströmen, um anschließend an geeigneten offenen Stellen (z. B. größere baumfreie Parks, Verkehrsachsen oder Bahntrassen) wieder zum Boden abzusinken.

Fließt die Kaltluft *nicht* in Richtung Bebauung, sondern in entgegen gesetzter Richtung zu tiefer gelegenen Umlandbereichen ab, bleibt die Relevanz auf die lokale Erholungsfunktion beschränkt.

Wird in Gebieten mit ausgeprägtem Relief **lokale** Kaltluft auch in der **großräumigen Umgebung** gebildet (z. B. in den ländlichen Räumen der Mittelgebirge), fließt die im Verlaufe der Nacht in den Talverbünden stetig akkumulierte Kaltluft in der fortgeschrittenen Nacht schließlich als **regionaler Kaltluftstrom** Richtung Gebirgsausgang bzw. -abdachung. Dabei werden in Verbünden aus Tälern unterschiedlicher Größenordnungen die Kaltluftströme in kleineren (Seiten-) Tälern von den regionalen bzw. **mesoskaligen Kaltluftströmen** aus den nachgeordneten größeren Tälern überlagert, sodass die lokale Kaltluft hangaufwärts bis über die Talschulter in Nachbartäler geschoben wird. In dieser Situation ist die Klimafunktion der *lokalen* Freiland- oder Waldflächen und deren planerische **Relevanz** insofern **vernachlässigbar**, als dass durch den permanenten *regionalen* Kaltluftzustrom die Kaltluftversorgung der Umgebung (z. B. Siedlungen) auch *ohne* die lokalen Freiland- oder Waldflächen *sichergestellt* ist.

Die Bildung von lokaler Kaltluft in austauscharmen Nächten heißer Tage ist nicht obligatorisch, wenn z. B. die **Böden** des Freilandes **trocken** sind und sich daher ebenso erwärmen können wie versiegelte Flächen oder wenn aufgrund einer geeigneten Wetterlage heiße Luft aus dem **Mittelmeerraum** oder aus **Kontinentaleuropa** heranströmt, die auch nachts die lokale Abkühlung auf den Freiflächen kompensiert.

1.2 Rechtslage

Im Rahmen der umweltgerechten Gestaltung von Bauvorhaben gilt es im kommunalen räumlichen Planungsbereich u. a., die Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ besonders zu berücksichtigen (BauGB (2023) § 1 Abs. 6 Nr. 7, UVPG (2024) § 16 & Anl. 4 Nr. 4 b & c, BImSchG 2023).

Bei größeren Umwidmungen der Flächennutzung können die geplanten Bauvorhaben das Klima im lokalen Umfeld (Mikroklima) deutlich modifizieren (KUTTLER & GROSS 2023). Dieses betrifft sowohl die thermischen und hygrischen Verhältnisse als auch die Austauschverhältnisse. Als potenzielle ungünstige Folgen sind die Erhöhung der sommerlichen Wärmebelastung, sowie modifizierte Strömungsverhältnisse (allgemeine Durchlüftungsreduktion, fallweise auch gegenteilige Düseneffekte) sowie bei gewerblichen oder industriellen Nutzungen erhöhte Konzentrationen atmosphärischer Spurenstoffe zu nennen, die es so weit wie möglich zu reduzieren gilt. Bei Wohnbebauungen ist ein dauerhaft gesundes klimatisches Umfeld anzustreben.

Im Rahmen von B-Planverfahren sind daher die klimatischen Auswirkungen von Bauvorhaben mittels Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) oder Strategischer Umweltprüfung (SUP) zu untersuchen und zu bewerten (BauGB 2023, UVPG 2024, BImSchG 2020). Dabei ist bei Bauvorhaben auch dem Nachhaltigkeitsprinzip in verstärktem Maße Rechnung zu tragen, indem Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel schon heute zu ergreifen sind (BauGB (2023) § 1a Abs. 5, KAnG (2023) § 3 Abs. 2 Nr. 4) (VDI 2020, BAUMÜLLER & KATZSCHNER 2023).

Weitere, ausführlichere Informationen zur Gelände- und Stadtklimatologie sind z. B. in der *städtebaulichen Klimafibel* (MW-BW 2012) zu finden: <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/pdf/Klimafibel-2012.pdf>

2 Aufgabenstellung

Die Stadt Teublitz plant an der Autobahnanschlussstelle Teublitz die Ansiedlung eines ca. 21 ha großen Industrie- und Gewerbegebietes. Das Areal liegt in einem großen Wald, der aktuell die Funktion eines Klimaschutzwaldes gemäß Art. 5 + 6 BayWaldG hat (**Abb. 2**).

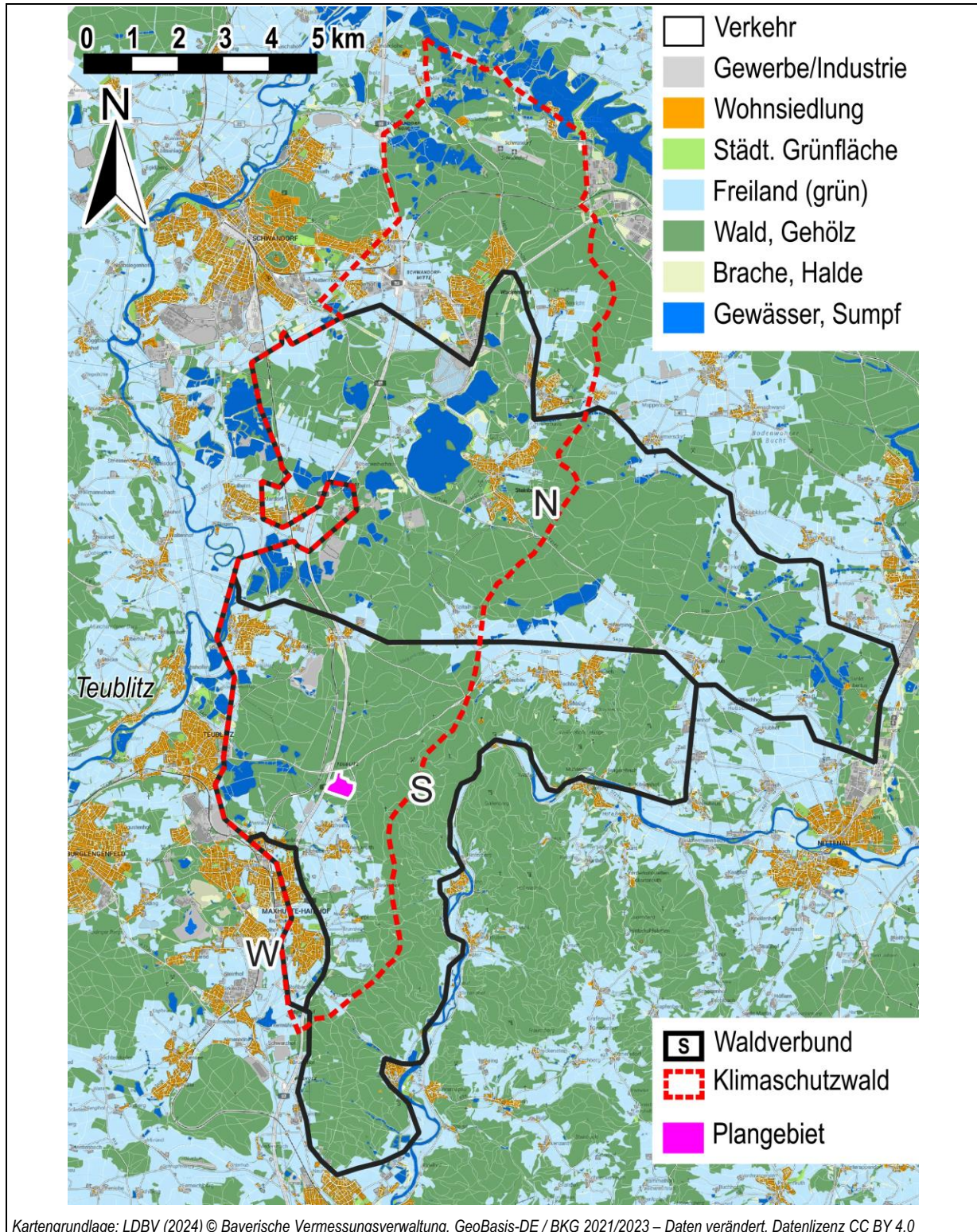


Abb. 2: Flächennutzungskarte zum Umfeld des Plangebietes.

Im Rahmen der frühzeitigen Fachstellen- und Öffentlichkeitsbeteiligung wurde von Trägern öffentlicher Belange, Naturschutzverbänden und Privatpersonen der Einwand gebracht, dass sich die Errichtung des Gewerbe- und Industriegebiets negativ auf das regionale Klima auswirken wird. Konkret werden folgende Aspekte angesprochen:

1. eine mögliche Änderung des lokalen Klimas in den umliegenden Ortschaften durch die Wärmeentwicklung in dem Gebiet infolge einer Temperaturänderung und einer Änderung der bodennahen Strömungsverhältnisse,
2. eine Änderung der CO₂-Bilanz durch die Rodung bzw. die Bodenarbeiten für das geplante GE/GI-Gebiet,
3. eine Verschlechterung der Luftqualität durch Rodung von Bäumen, die als „Filter“ für Luftschadstoffe wirken,
4. Entstehung einer erhöhten Windwurfgefahr für die bestehenden Bäume durch die Rodung,
5. eine lokale Klimaänderung durch Trockenlegung des feuchten Waldgebietes.

Diese fünf Aspekte werden hier einer fachlichen Prüfung unterzogen.

3 Methodik

Die hier verwendeten Untersuchungsmethoden werden arbeitsmethodisch nach den Empfehlungen der VDI-Richtlinien-Reihen „Umweltmeteorologie“ (Reihen 3781 – 3790) der „Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss“ (KRdL), Düsseldorf, sowie nach der 39. BImSchV / TA-Luft durchgeführt.

Bei diesem Gutachten handelt es sich auftragsgemäß um eine argumentativ-qualitative Ersteinschätzung. Dabei werden mittels auf Expertenwissen beruhenden Analogieschlussbetrachtungen bzw. Plausibilitätsprüfungen für den Untersuchungsraum **bereits vorliegende Fachunterlagen ausgewertet** und/oder andernorts festgestellte klimatologische Sachverhalte zu vergleichbaren Fragestellungen unter Berücksichtigung lokaler Spezifika auf das hiesige Untersuchungsgebiet übertragen, wobei auch einfache **empirische Methoden** zum Einsatz kommen. Diese Vorgehensweise ist allgemein anerkannt, da die Problematik und Behandlung der vorliegenden Fragestellung ortsunabhängig immer den gleichen Mustern folgen und in der Fachliteratur seit vielen Jahren zahlreich für viele Orte beschrieben sind, sodass die dortigen Aussagen als gesichert gelten. Die Herleitung einer plausiblen Einschätzung des hiesigen Planvorhabens ist somit möglich.

Die Ersteinschätzung Stellungnahme befasst sich mit denjenigen klimatisch-lufthygienischen Sachverhalten, die in der Umweltplanung und der Umweltrechtssprechung von Belang sind. Diese sind die Lufttemperatur, die Austauschverhältnisse (Wind) einschließlich potenzieller Kaltluftprozesse, die human-bioklimatische thermische Behaglichkeit (Wärmebelastung) und die Luftqualität. Bei der Luftqualität wird der Fokus auf die zur Ausweisung von Umweltzonen relevanten atmosphärischen Spurenstoffe Feinstaub (PM_x) und Stickoxide (NO_x) gelegt.

Bei der Auswertung vorhandener oder bereitgestellter Fachunterlagen wurden ausschließlich diejenigen Unterlagen berücksichtigt, deren Aussagen wissenschaftsmethodisch eindeutig dargelegt, plausibel und mit einer nachprüfbaren Autoren- bzw. Quellangabe versehen sind.

Ergänzend wurden öffentlich zugängliche, kostenfreie Fachinformationsquellen und Literatur ausgewertet, sofern diese wissenschaftlich etabliert sind und sachdienliche Informationen liefern. Die Auswahl der Fachinformationsquellen erfolgte ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Primäre Datenquellen für diese Untersuchung sind:

- Klimakarten von Deutschland (DWD 2024)
- Landesweite Schutzgutkarte Klima/Luft (LFU 2024)
- Karten zur Waldfunktionsplanung (STMLF 2024)
- Digitale Kartendienste zu Flächennutzung und Relief des LDBV (2023)
- Diverse Voruntersuchungen zum Plangebiet
(FLORA & FAUNA 2020, PIEWAK 2020 & 2024, TAUW 2020)

Eine vollständige Übersicht der verwendeten Unterlagen befindet sich im Kap. 8.1 „Arbeitsmaterialien“ auf S. 52.

Ergänzend wurden einige einfache empirische kartografisch-topografische Analysen zu folgenden Sachverhalten durchgeführt:

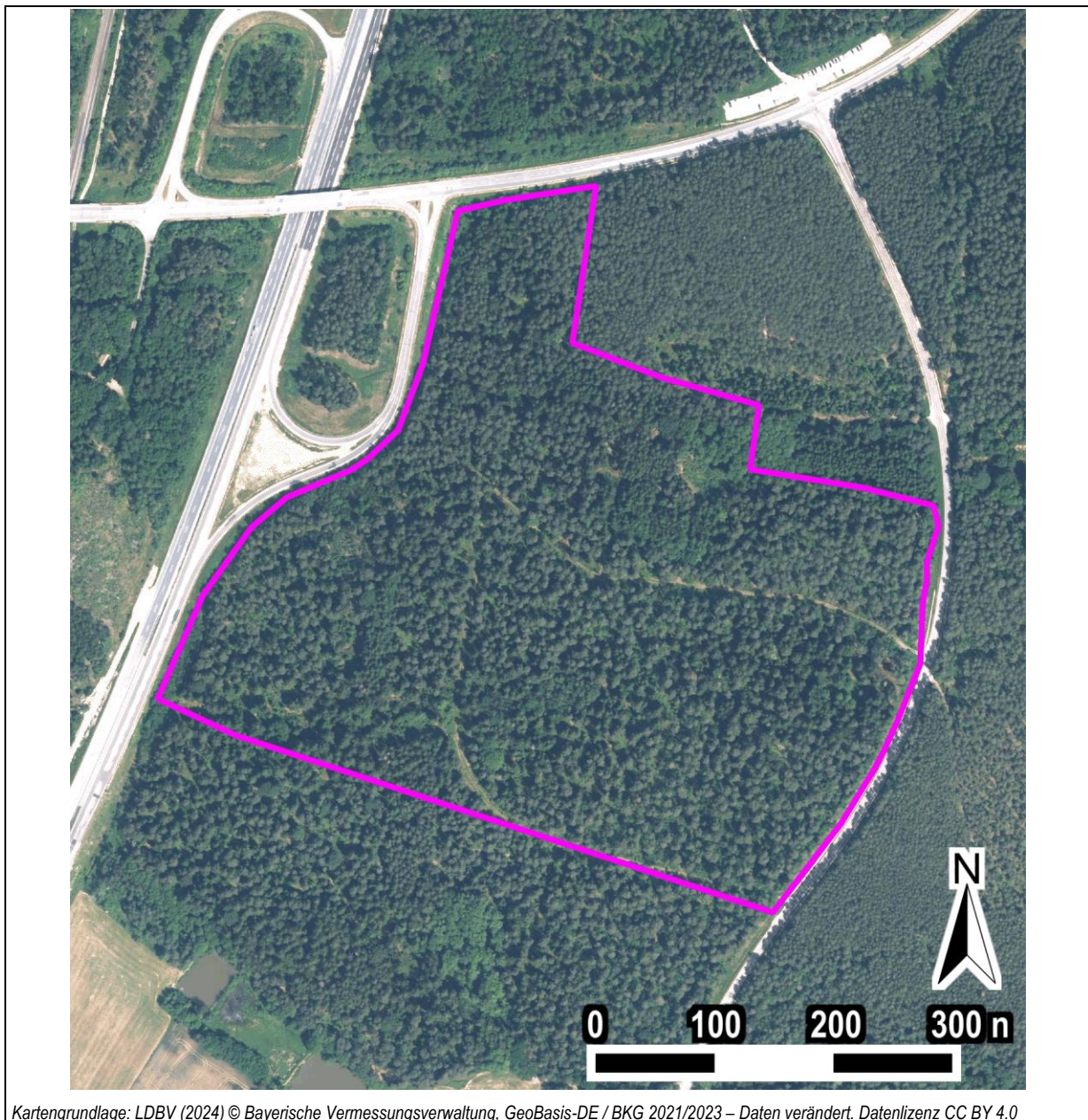
- Eigenschaften potenzieller Kaltluftprozesse gemäß VDI-„Kaltlufttrichtlinie“ VDI 3787 Blatt 5 (zur Methodik siehe Anhang A1)
 - Abschätzung der Kaltluftproduktion nach WIESNER
 - Abschätzung von Kaltluftschichtdicken und -fließgeschwindigkeiten nach DEFANT und BRIGGS
- Bestimmung von Ventilationsbahnen nach MAYER et al. (1994)
- Die CO₂-Bilanz wird überschlägig über vereinfachte Annahmen zu Gebäude- und Haushaltsenergieeffizienzen sowie über die (Nutz-) Flächengrößen von Gebäuden und der Vegetation abgeschätzt. Der Kfz-Verkehr wird hierbei nicht berücksichtigt.
- Die Luftqualität wird mithilfe des empirischen Gauß-Modells RLuS (RLUS 2023a+b) untersucht.

4 Geografie

Das auf dem Osthang des Naabtals gelegene, 21,3 ha große Plangebiet (**Abb. 3**) ist vollständig bewaldet und Bestandteil eines größeren Waldverbundes (**Abb. 2**, S. 7). Das Plangebiet ist primär dem 38,7 km² großen südlichen Waldverbund S zuzuordnen und hat dort einen Anteil von 0,6 % (**Tab. 1**).

Tab. 1: Klimaaktive Wald- und Freilandflächen im Einzugsbereich des Plangebietes.

| Flächenverbund | Fläche (km ²) | Anteil des Plangebietes (%) | davon Klimaschutzwald (km ²) | Anteil des Plangebietes (%) |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| Waldverbund S | 51,1 | 0,4% | 24,3 | 0,9% |
| - Wald | 38,7 | 0,6% | 17,9 | 1,2% |
| - Freiflächen | 12,4 | | 6,4 | |
| Waldverbund N | 58,4 | 0,0% | 30,2 | 0,0% |
| - Wald | 42,2 | 0,0% | 21,5 | 0,0% |
| - Freiflächen | 16,2 | | 8,7 | |
| Waldverbund S + N | 109,6 | 0,2% | 54,5 | 0,4% |
| - Wald | 80,9 | 0,3% | 39,4 | 0,5% |
| - Freiflächen | 28,6 | | 15,1 | |



Kartengrundlage: LDBV (2024) © Bayerische Vermessungsverwaltung, GeoBasis-DE / BKG 2021/2023 – Daten verändert. Datenlizenz CC BY 4.0

Abb. 3: Luftbildkarte zum näheren Umfeld des Plangebietes.

Im weiteren Sinne kann der Verbund um den Abschnitt N (Nord) erweitert werden. An der dann 80,9 km² großen Waldfläche hat das Plangebiet einen Anteil von 0,3 %. Die Verbundflächen N und S sind für die CO₂-Bilanzierung von Bedeutung.

Für die lokalklimatischen Wirkungen sind diejenigen Bereiche der Verbundflächen von Bedeutung, deren Relief – ausgehend vom Plangebiet – in die Richtung von Siedlungsbereichen abfällt. Diese Bereiche sind identisch mit der Zone des **Klimaschutzwaldes** (rote Strichelung in Abb. 2, S. 7), deren Ostgrenze der Kammlinie des Höhenzuges zwischen Regental und Naabtal folgt. Die Westgrenze liegt in der Talsohle des Naabtals.

Der Anteil des Plangebietes am **Klimaschutzwald** beträgt bezogen auf den Waldverbund S 0,9 % und bezogen auf den Waldverbund S + N 0,4 % (**Tab. 1**). Der lokalklimatische Wirkraum des Plangebietes lässt sich auf den in **Abb. 4** dargestellten Gebietsbereich einschränken.

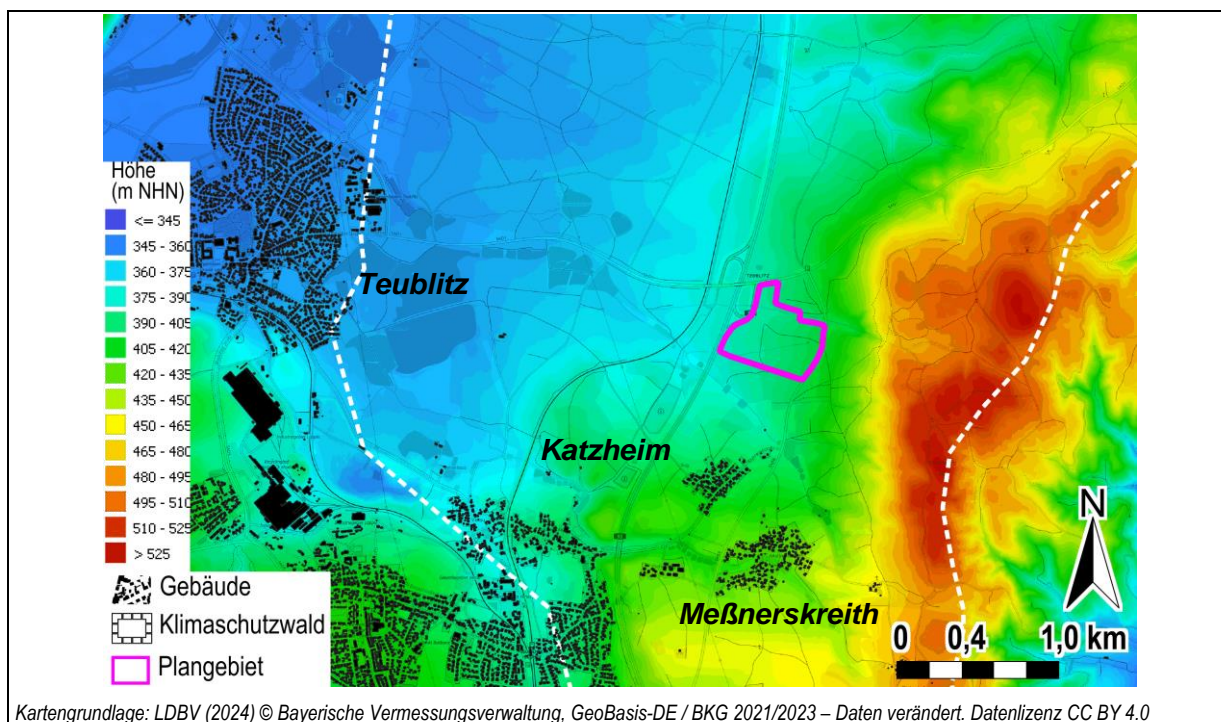


Abb. 4: Reliefstruktur im Umfeld des Plangebietes.

Als potenzielle Wirkgebiete einer potenziellen klimatischen Fernwirkung des Plangebietes auf eine sensible Flächennutzung sind die 530 m südliche gelegene Siedlung Katzheim (Maxhütte-Haidhof) sowie die 2,3 km westlich gelegene Stadt Teublitz zu nennen. Die Siedlung Maßnerskreith liegt aufgrund der höheren Relieflage bereits außerhalb des potenziellen Wirkungsbereichs des Plangebietes.

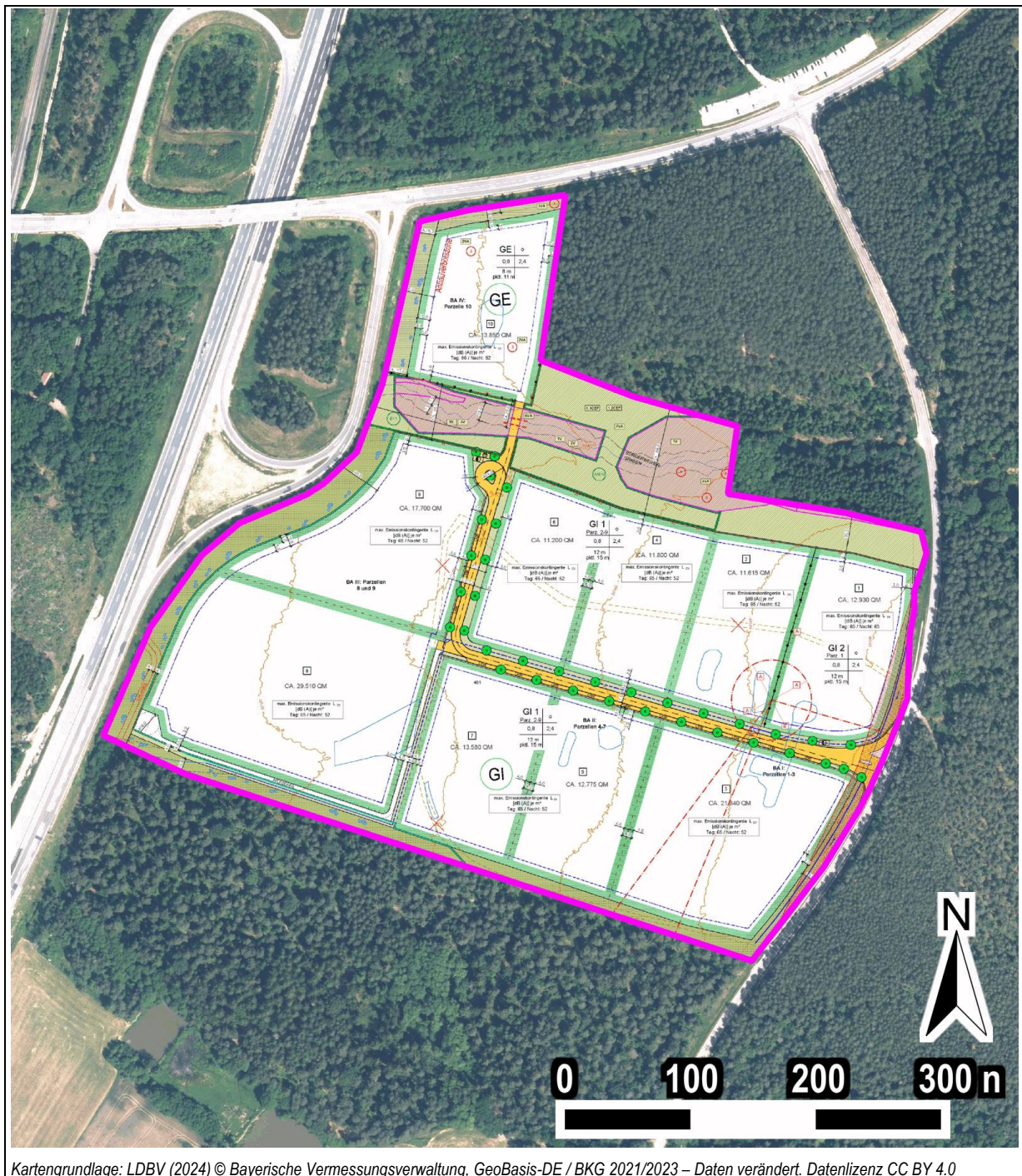
Richtung Katzheim schließt an das Plangebiet ein 180 m bis 240 m breiter Waldsaum an (**Abb. 3**). Rauigkeitsarme Ventilationsbahnen, die vom Plangebiet direkt auf die Siedlungen führen, sind nicht vorhanden.

Der **Planentwurf** ist mit Ausnahme der westlichen Grenze an der Autobahn vollständig in das Waldgebiet eingebettet. Eine direkte Verbindung zu den Siedlungen ist nicht gegeben.

Der Planentwurf sieht 10 Baufelder vor, wovon neun Felder als Industrie und das nördlichste Feld als Gewerbe vorgesehen sind (**Tab. 7**). Die Baufelder umfassen zusammen 73,7 % der Fläche (**Tab. 2**). Bei Hinzurechnung der Verkehrsflächen beträgt die Versiegelung 77,4 %.

Tab. 2: Flächennutzung des Planentwurfs.

| Nutzung | Fläche | | GRZ | Max. Gebäudehöhe |
|----------------------------|----------------|---------------|-----|------------------|
| | m ² | % | 1 | m |
| Nettobauland GI | 142.950 | 67,2% | 0,8 | 12 |
| Nettobauland GE | 13.850 | 67,2% | 0,8 | 8 |
| Nettobauland gesamt | 156.800 | 73,7% | 0,8 | |
| Verkehrsflächen gesamt | 7.935 | 3,7% | | |
| Versiegelte Flächen gesamt | 164.735 | 77,4% | | |
| Grünflächen gesamt | 48.055 | 22,6% | | |
| Gesamtfläche | 212.790 | 100,0% | | |



Kartengrundlage: LDBV (2024) © Bayerische Vermessungsverwaltung, GeoBasis-DE / BKG 2021/2023 – Daten verändert. Datenlizenz CC BY 4.0

Abb. 5: Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan "Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz" (STADT TEUBLITZ 2021).

5 Ergebnisse

5.1 Klima

5.1.1 Jahresmittleres Klima

Der Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2024) gibt für das Plangebiet eine Jahresmitteltemperatur von 7,9 °C an. Für die Stadt Teublitz werden 8,0 °C und für Katzheim 7,6 °C genannt (**Abb. 6**).

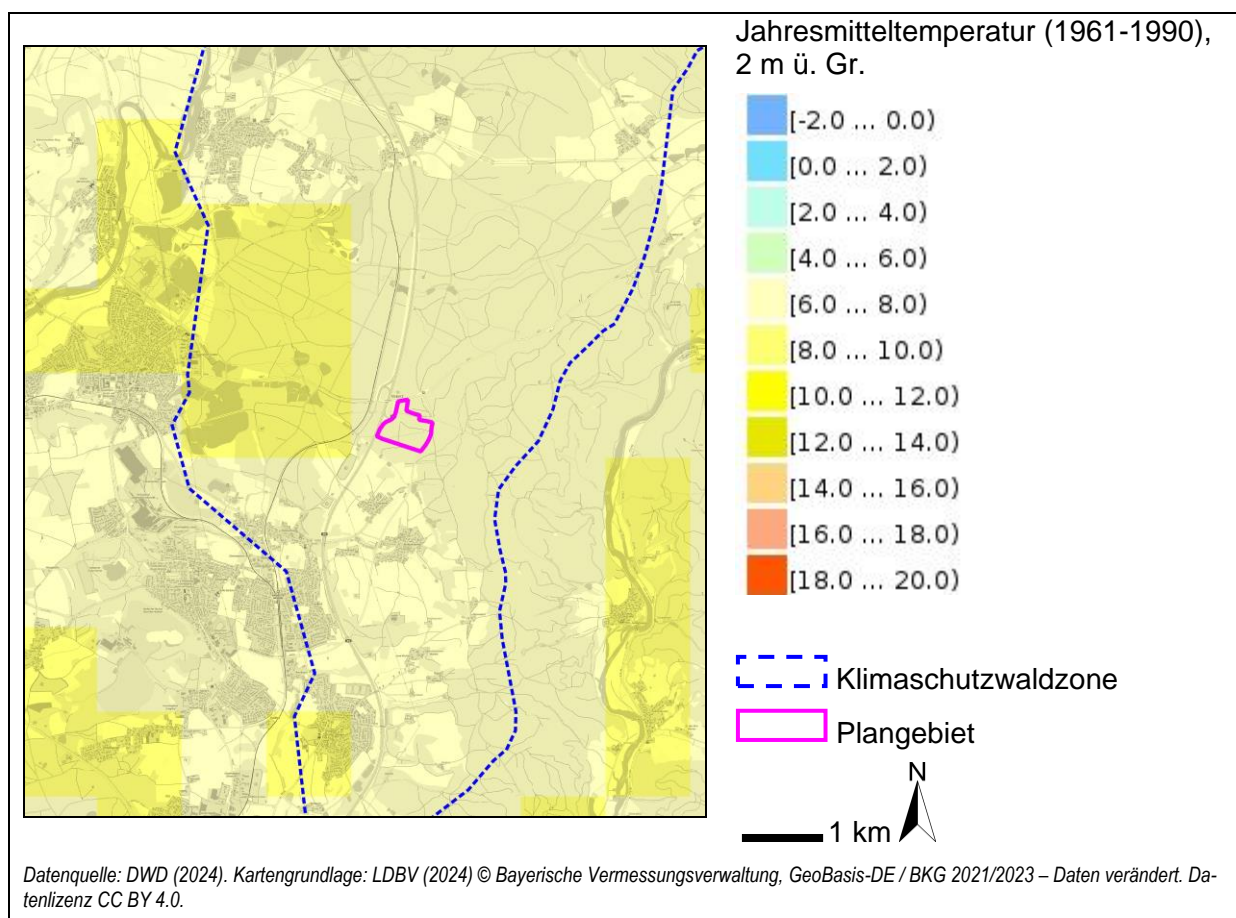


Abb. 6: Karte zur Jahresmitteltemperatur.

Die jährliche Anzahl der Sommertage (**Abb. 7**) beträgt für das Plangebiet 39 Tage, für Katzheim 37 Tage und für Teublitz 42 Tage. Die jährliche Anzahl der Frosttage beträgt für das Plangebiet 104 Tage, für Katzheim 108 Tage und für Teublitz 103 Tage.

Anhand dieser thermischen Kennzahlen ist zu erkennen, dass die im Freiland gelegene Siedlung am kühlpsten und die größere Siedlung Teublitz am wärmsten ist. Der Wald des Plangebietes ist erwartungsgemäß als mild temperiert einzustufen.

Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit beträgt für das Plangebiet 2,6 m/s, für Katzheim 2,8 m/s und für Teublitz 2,5 m/s (**Abb. 8**). Die Hauptwindrichtung folgt dem Verlauf des kanalisierenden Naabtals und liegt bei südlichen bis südwestlichen Richtungen (vgl. Abb. 23, S. 37).

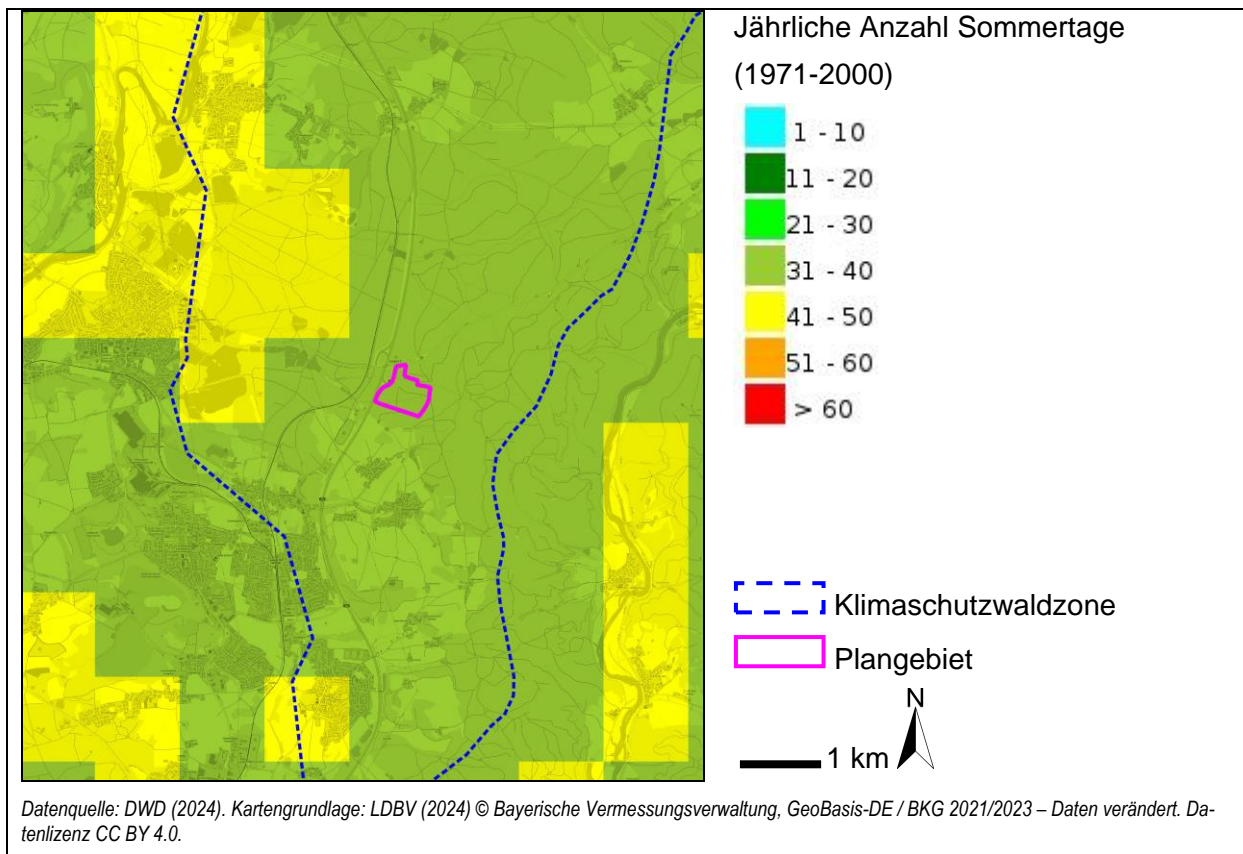


Abb. 7: Karte zur jährlichen Anzahl der Sommertage.

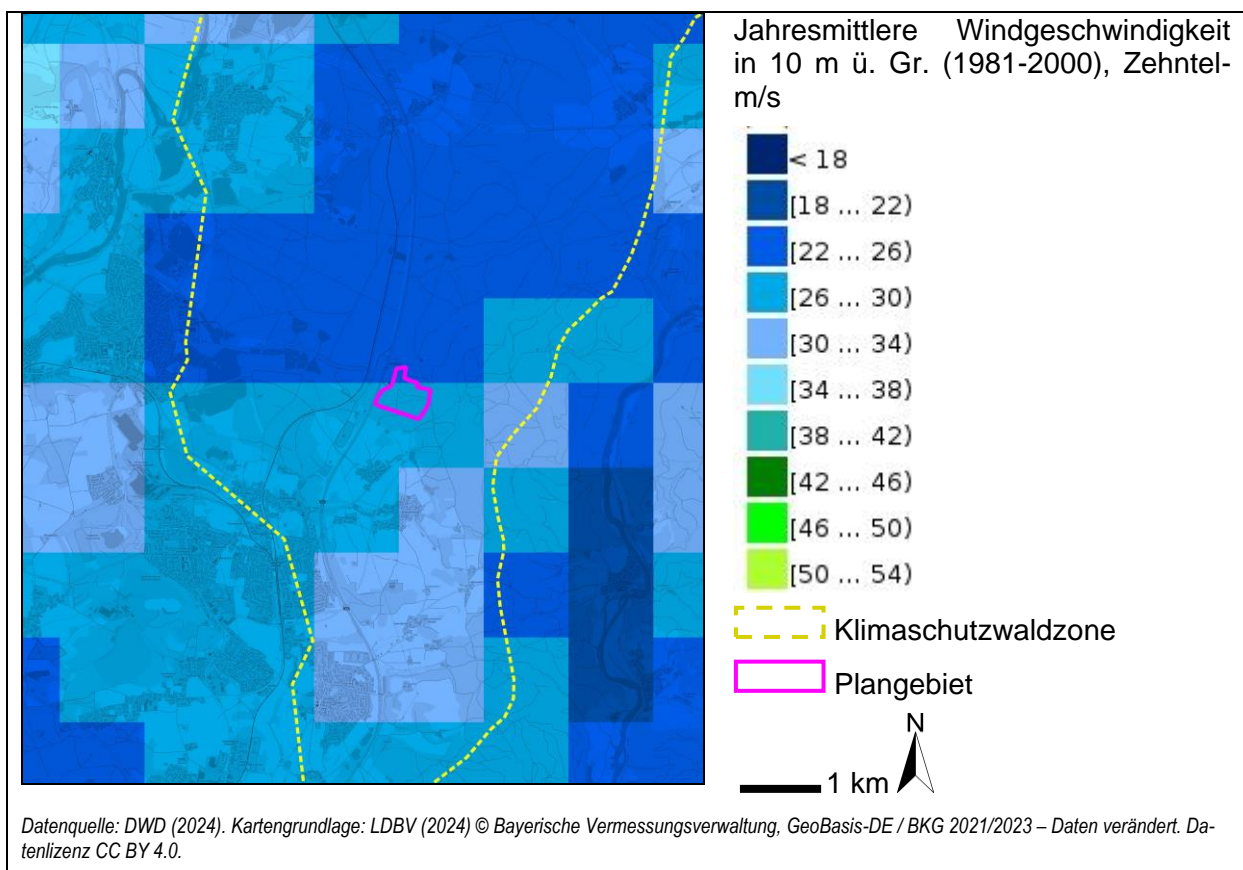


Abb. 8: Karte der jahresmittleren Windgeschwindigkeit.

5.1.2 Thermische Verhältnisse an heißen Tagen

Während des Nachmittages von sehr warmen bis heißen Sommertagen werden die höchsten Tagestemperaturen erreicht, sodass zu dieser Zeit auch die Wärmebelastung am größten ist. Aus bioklimatischer Sicht ist dieser Zeitpunkt daher als Worst-Case zu betrachten.

Die Schutzgutkarte Klima/Luft des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LFU 2024) zeigt für die Nachmittage und Nächte heißer Tage die räumliche Verteilung des thermischen Niveaus sowohl für die heutige Situation als auch für die zukünftige Situation eines stark ausgeprägten Klimawandels.

Die thermische Situation an Nachmittagen heißer Tage ist in **Abb. 9** dargestellt. Dort wird für die Bemaßung des thermischen Empfindens von Personen die *Physiologische Äquivalenttemperatur* (PET) ¹ verwendet (**Tab. 3**)

Tab. 3: Skala der PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).

| PET in °C | Thermisches Empfinden | Belastungsstufe | Physiologische Wirkung |
|--------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| 4 | sehr kalt | extreme Belastung | Kältestress |
| 8 | kalt | starke Belastung | |
| 13 | kühl | mäßige Belastung | |
| 18 | leicht kühl | schwache Belastung | Kühlereiz |
| 23 | behaglich | keine Belastung | |
| 29 | leicht warm | schwache Belastung | Wärmereiz |
| 35 | warm | mäßige Belastung | |
| 41 | heiß | starke Belastung | |
| | sehr heiß | extreme Belastung | Hitzestress |

Der Wald des Plangebietes hat mit der Einstufung *warm* eine nur *mäßige* Wärmebelastung, die sich auch im starken Klimawandel kaum ändert (**Tab. 4**).

Die Kleinsiedlung Katzheim ist als *warm* und damit als *mäßig* belastet einzustufen, erfährt aber bei starkem Klimawandel eine Erhöhung der Belastung auf *heiße* Bedingungen bzw. eine *starke* Belastung.

Die größere Siedlung von Teublitz ist bereits aktuell an Nachmittagen heißer Tag als *heiß* einzustufen (*starke* Belastung), wird mit dem Klimawandel aber *sehr heiße* Bedingungen und damit *extreme* Belastungen aufweisen.

¹ Die *Physiologische Äquivalenttemperatur* (PET) (VDI 2008, MAYER 2006) ist ähnlich der *gefühlten Lufttemperatur* des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ein Wärmebehaglichkeitsmaß und berücksichtigt neben der Lufttemperatur weitere meteorologische Einflussgrößen, welche die Thermoregulation des menschlichen Körpers beeinflussen. Hierzu zählen die Luftfeuchtigkeit (vgl. trockene „Wüsten“- vs. feuchte „Tropen“-Hitze), die Transpiration fördernde Windgeschwindigkeit (zur Schweißverdunstung), die Wärmestrahlung der Oberflächen und umliegenden Gebäude sowie insbesondere die Exposition zur direkten Sonneneinstrahlung am Tage („Weißes- vs. Schwarzes-T-Shirt-Effekt“ und Sonnenstich). Daher kann an heißen Tagen die Hitzebelastung auf sonnenexponierten Freilandflächen am Tage deutlich höher sein als z. B. in verschatteten Straßenschluchten einer dichten Bebauung.

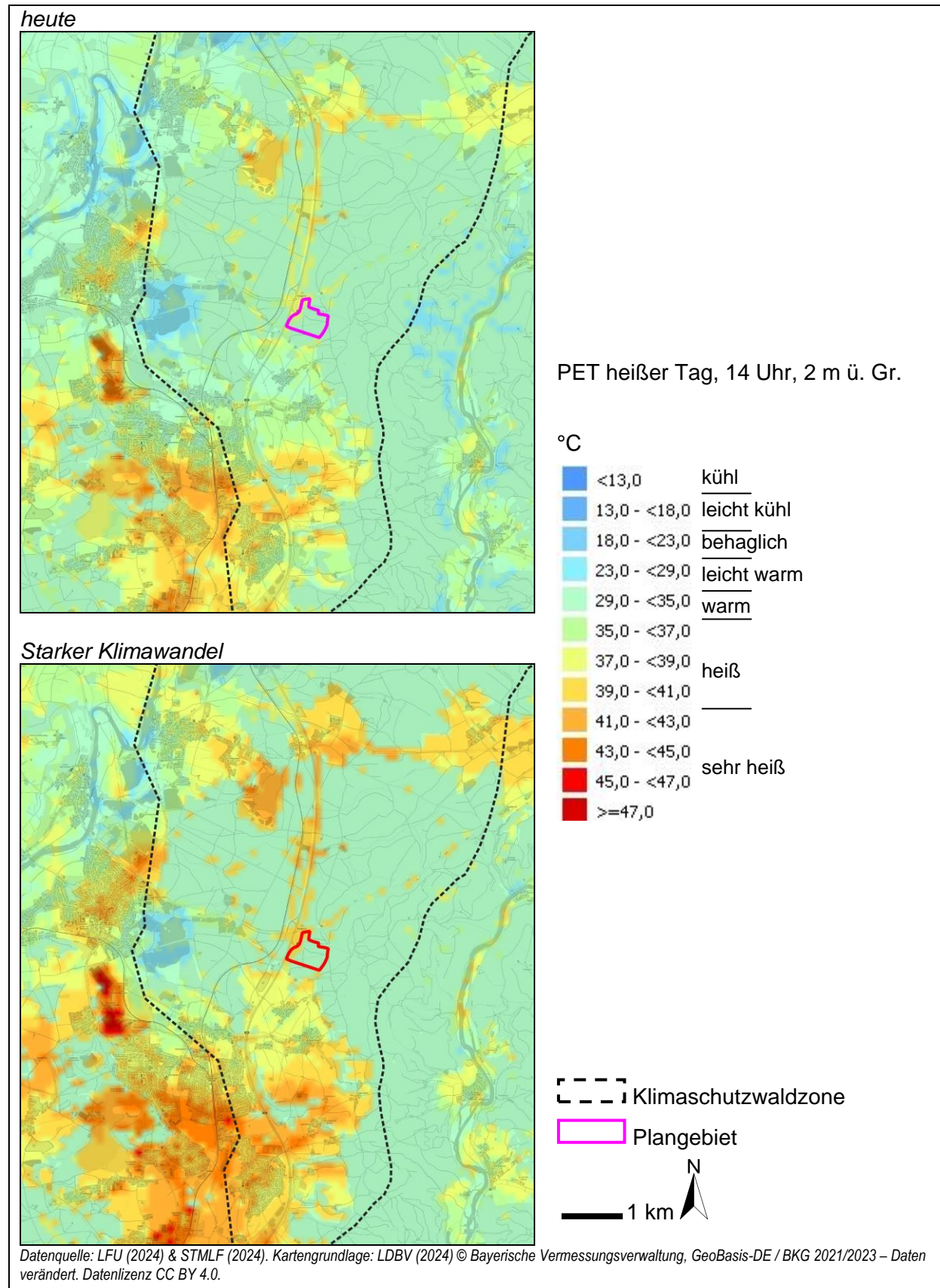


Abb. 9: Karte der Wärmebelastung (PET) in 2 m ü. Gr. am Nachmittag heißer Tage, heute und im starken Klimawandel.

Tab. 4: Thermisches Empfinden in 2 m ü. Gr. an ausgewählten Orten an Nachmittagen heißer Tage (Zahlenangaben in °C PET).

| Ort | Heute | | Starker Klimawandel | | Differenz |
|-------------------|-------|------|---------------------|-----------|-----------|
| Plangebiet (Wald) | 31,0 | warm | 33,2 | warm | +2,2 K |
| Katzheim | 32,7 | warm | 35,4 | heiß | +2,7 K |
| Teublitz | 40,1 | heiß | 42,7 | sehr heiß | +2,6 K |

Zum Ende der Nacht werden früh morgens kurz vor Sonnenaufgang die niedrigsten Tagestemperaturen erreicht, sodass diese Tageszeit das Optimum der für einen sehr warmen bis heißen Sommertag zu erwartenden thermischen Verhältnisse aufzeigt.

Die Lufttemperatur für die fortgeschrittene Nacht heißer Tage (4 Uhr) ist in **Abb. 10** und in **Tab. 5** dargestellt.

Tab. 5: Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. an ausgewählten Orten in Nächten heißer Tage (Zahlenangaben in °C).

| Ort | Heute | | Starker Klimawandel | | Differenz |
|-------------------|-------|--|---------------------|--|-----------|
| Plangebiet (Wald) | 17,5 | | 19,6 | | +2,1 K |
| Katzheim | 15,3 | | 17,3 | | +2,0 K |
| Teublitz | 15,8 | | 18,1 | | +2,3 K |

Erwartungsgemäß stellt der Wald des Plangebietes sowohl heute als auch im starken Klimawandel in Bodennähe den wärmsten Bereich dar, da die Baumkronen eine nächtliche Abstrahlung der Bodenwärme in die freie Atmosphäre verhindern (sog. *Stammraumklima*).

Die Siedlungen sind mit 15 °C bis 16 °C kühler, wobei beim starken Klimawandel in Katzheim die Lufttemperatur um 2,0 K auf 17,3 °C und in Teublitz um 2,3 K auf 18,1 °C ansteigt.

Alle genannten Werte liegen deutlich unterhalb der Bedingungen von *Tropennächten*, für die eine nächtliche Minimumlufttemperatur von 20 °C gilt. Nächtliche Wärmebelastungen sind daher auch in Zukunft nicht zu erwarten.

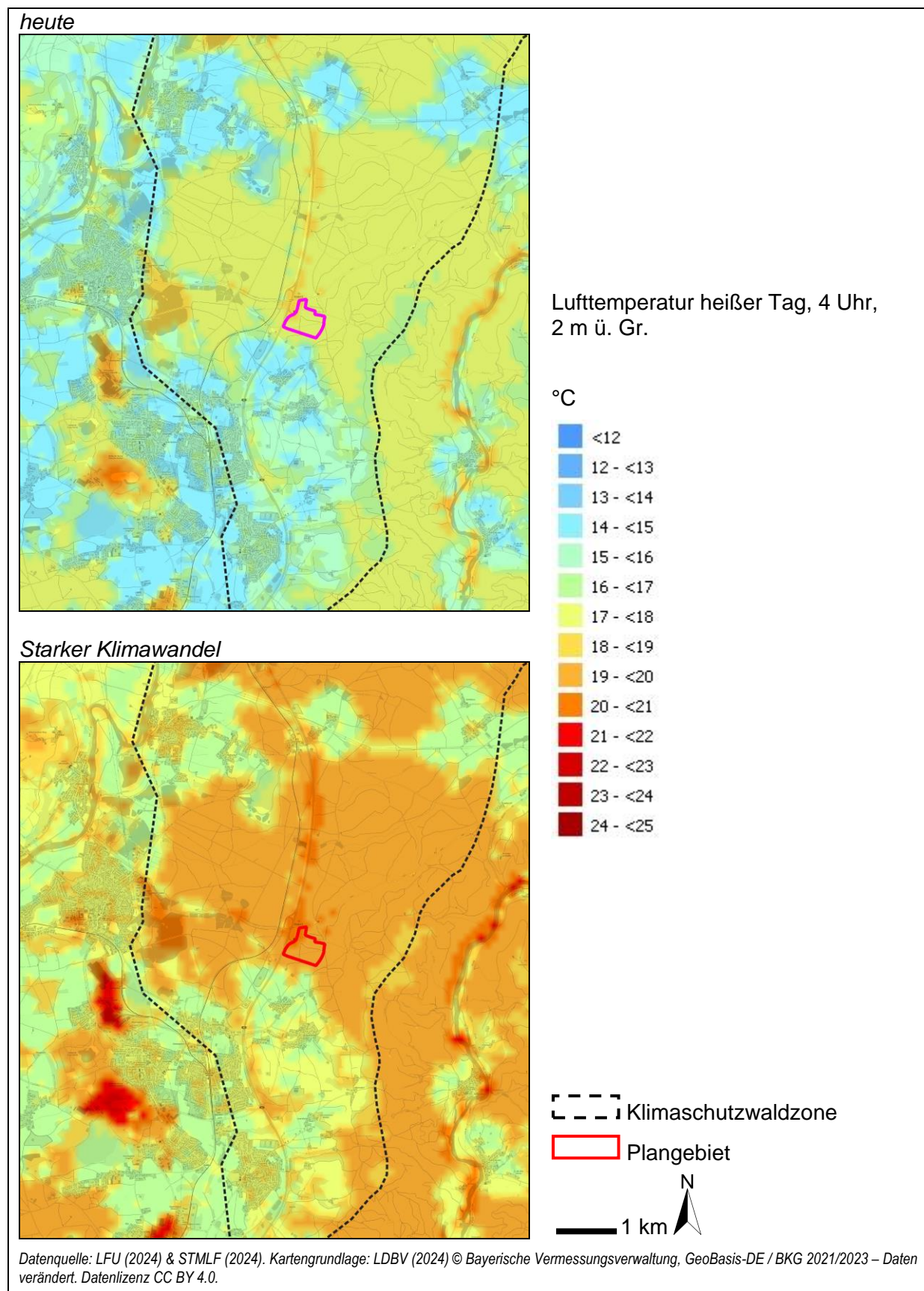


Abb. 10: Karte der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. in Nächten heißer Tage, heute und im starken Klimawandel.

5.1.3 Kaltluftprozesse in Nächten heißer Tage

In austauscharmen Strahlungsnächten wird das lokale Klima durch das Relief und die örtliche Flächennutzungsstruktur geprägt. Zu Beginn der Nacht wird das Klima durch das nähere Umfeld geprägt. Im Verlaufe der Nacht wird das Klima jedoch durch regionale Kaltluftprozesse überlagert (vergl. Hinweise auf S. 6).

Zunächst wird die Kaltluftproduktion für die Wald- und Freilandflächen des Waldverbundes S (**Abb. 11**) abgeschätzt. Dabei wird neben dem gesamten Verbundbereich der Anteil des Klimaschutzwaldes separat betrachtet (**Tab. 6**). Zur Methodik siehe Anhang A1 (S. 55).

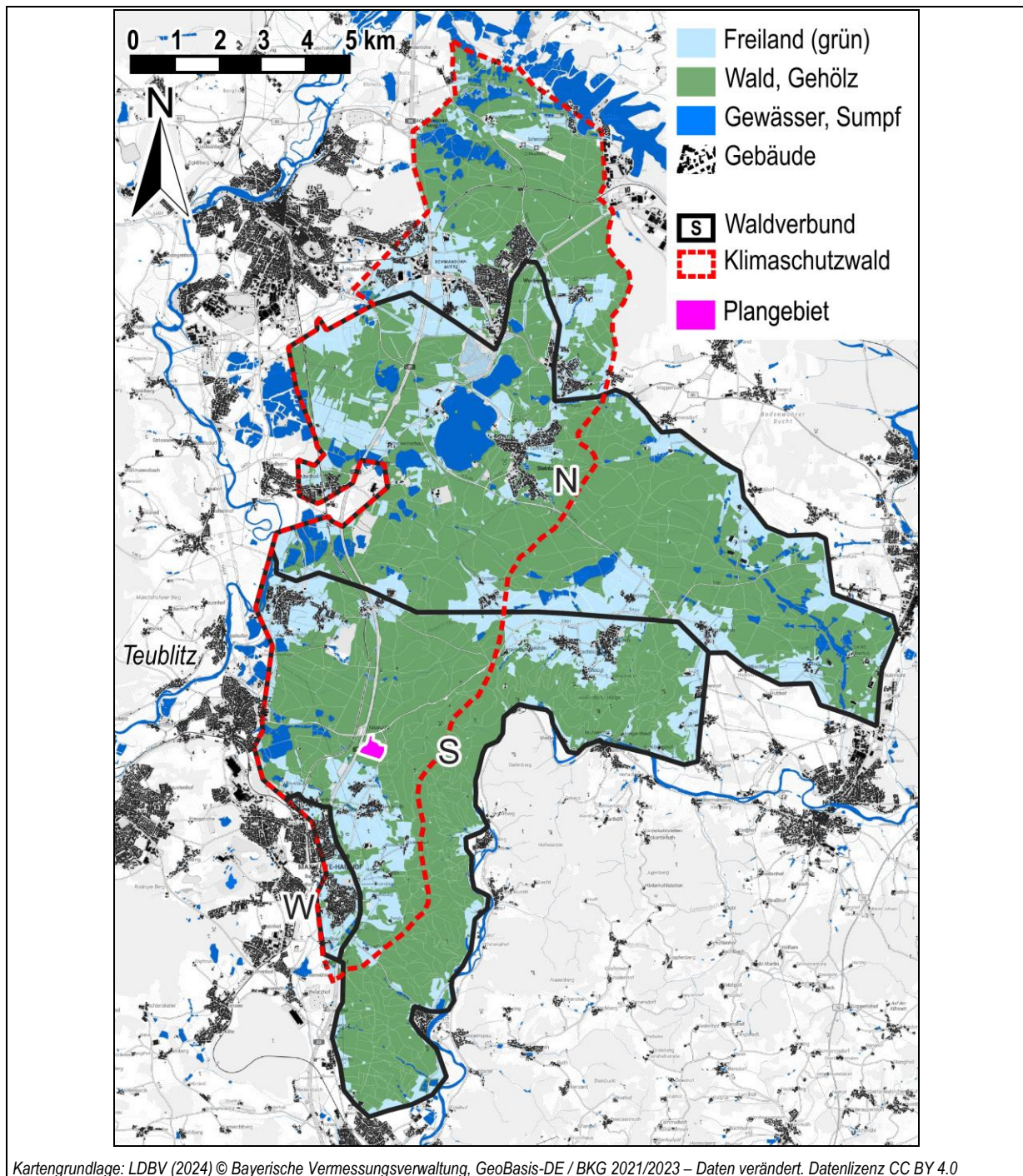


Abb. 11: Lagekarte der Verbünde der Wald- und Freilandgebiete.

Tab. 6: Anteil des Plangebietes an der Kaltluftproduktion im Kaltlufteinzugsgebiet, berechnet nach WIESEN (1986).

Bezugsfläche: Klimaschutzwald im Waldverbund S

| | Ist-Zustand | | | Plan-Zustand | | | Differenz Plan - Ist-Zustand | | | |
|--|-------------|----------|---------|--------------|----------|---------|------------------------------|-------|-------|---------------|
| Nutzung | Freiland | Wald | 0,0 | Freiland | Wald | 0,0 | Freiland | Wald | Summe | Anteil |
| Fläche (ha) | 638,96 | 1.794,44 | 2.433,4 | 643,76 | 1.773,16 | 2.416,9 | 4,8 | -21,3 | -16,5 | -0,68% |
| Stundenvolumen der Teilflächen (Mio. m³) | | | | | | | | | | |
| Frühjahr | 101,9 | 282,6 | 384,6 | 102,7 | 279,3 | 382,0 | 0,8 | -3,4 | -2,6 | -0,67% |
| Sommer | 93,2 | 241,6 | 334,7 | 93,9 | 238,7 | 332,6 | 0,7 | -2,9 | -2,2 | -0,65% |
| Herbst | 81,9 | 212,4 | 294,3 | 82,5 | 209,9 | 292,4 | 0,6 | -2,5 | -1,9 | -0,65% |
| Winter | 128,7 | 356,8 | 485,5 | 129,7 | 352,6 | 482,2 | 1,0 | -4,2 | -3,3 | -0,67% |
| Jahr | 101,4 | 273,3 | 374,8 | 102,2 | 270,1 | 372,3 | 0,8 | -3,2 | -2,5 | -0,66% |
| Gesamtnächtliches Volumen der Teilflächen (Mio. m³) | | | | | | | | | | |
| Frühjahr | 1.478,1 | 4.098,0 | 5.576,1 | 1.489,3 | 4.049,4 | 5.538,6 | 11,1 | -48,6 | -37,5 | -0,67% |
| Sommer | 885,2 | 2.294,7 | 3.179,9 | 891,8 | 2.267,5 | 3.159,4 | 6,7 | -27,2 | -20,6 | -0,65% |
| Herbst | 1.188,0 | 3.079,7 | 4.267,7 | 1.196,9 | 3.043,2 | 4.240,1 | 8,9 | -36,5 | -27,6 | -0,65% |
| Winter | 2.509,5 | 6.957,4 | 9.466,9 | 2.528,4 | 6.874,9 | 9.403,3 | 18,9 | -82,5 | -63,6 | -0,67% |
| Jahr | 1.515,2 | 4.107,5 | 5.622,7 | 1.526,6 | 4.058,7 | 5.585,4 | 11,4 | -48,7 | -37,3 | -0,66% |
| Einstufung der Auswirkungen gemäß VDI-Kaltlufttrichtlinie: | | | | | | | | | | gering |

Bezugsfläche: Waldverbund S gesamt

| | Ist-Zustand | | | Plan-Zustand | | | Differenz Plan - Ist-Zustand | | | |
|--|-------------|----------|----------|--------------|----------|----------|------------------------------|-------|-------|---------------|
| Nutzung | Freiland | Wald | Summe | Freiland | Wald | Summe | Freiland | Wald | Summe | Anteil |
| Fläche (ha) | 1.241,50 | 3.873,43 | 5.114,9 | 1.246,30 | 3.852,15 | 5.098,5 | 4,8 | -21,3 | -16,5 | -0,32% |
| Stundenvolumen der Teilflächen (Mio. m³) | | | | | | | | | | |
| Frühjahr | 198,1 | 610,1 | 808,1 | 198,8 | 606,7 | 805,5 | 0,8 | -3,4 | -2,6 | -0,32% |
| Sommer | 181,0 | 521,4 | 702,5 | 181,7 | 518,5 | 700,3 | 0,7 | -2,9 | -2,2 | -0,31% |
| Herbst | 159,2 | 458,5 | 617,7 | 159,8 | 455,9 | 615,8 | 0,6 | -2,5 | -1,9 | -0,31% |
| Winter | 250,1 | 770,2 | 1.020,2 | 251,0 | 765,9 | 1.016,9 | 1,0 | -4,2 | -3,3 | -0,32% |
| Jahr | 197,1 | 590,0 | 787,1 | 197,9 | 586,8 | 784,6 | 0,8 | -3,2 | -2,5 | -0,32% |
| Gesamtnächtliches Volumen der Teilflächen (Mio. m³) | | | | | | | | | | |
| Frühjahr | 2.872,0 | 8.845,8 | 11.717,8 | 2.883,2 | 8.797,2 | 11.680,3 | 11,1 | -48,6 | -37,5 | -0,32% |
| Sommer | 1.719,9 | 4.953,4 | 6.673,3 | 1.726,6 | 4.926,1 | 6.652,7 | 6,7 | -27,2 | -20,6 | -0,31% |
| Herbst | 2.308,3 | 6.647,8 | 8.956,1 | 2.317,2 | 6.611,3 | 8.928,5 | 8,9 | -36,5 | -27,6 | -0,31% |
| Winter | 4.876,0 | 15.018,0 | 19.894,1 | 4.894,9 | 14.935,5 | 19.830,4 | 18,9 | -82,5 | -63,6 | -0,32% |
| Jahr | 2.944,1 | 8.866,2 | 11.810,3 | 2.955,5 | 8.817,5 | 11.773,0 | 11,4 | -48,7 | -37,3 | -0,32% |
| Einstufung der Auswirkungen gemäß VDI-Kaltlufttrichtlinie: | | | | | | | | | | gering |

Tab. 7: Empfehlungen der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ (VDI 2003a) zur abschätzenden Beurteilung der Auswirkungen der Veränderungen der Kaltluftproduktion.

| Prozentuale Änderung gegenüber dem Ist-Zustand | ≤ 5% | ≤ 10 % | > 10 % |
|--|--------|--------|--------|
| Auswirkung | gering | mäßig | hoch |

Bei dem Vergleich zwischen Plan-Zustand und Ist-Zustand ist zu berücksichtigen, dass im Plan-Zustand der Wald zwar entfernt wurde, aber im Zuge der Planung neue Grünflächen in geringem Umfang von 4,8 ha angelegt werden (vgl. auch Tab. 2, S. 11).

Der durch das Plangebiet verursachte Verlust an Kaltluftproduktion beträgt bei ausschließlicher Betrachtung des Klimaschutzwaldes im Waldverbund S -0,66 % sowie im gesamten Waldverbund S -0,32 %. Bezogen auf den Waldverbund N+S wäre der Verlust noch geringer. Der Verlust an Kaltluftproduktion ist somit äußerst gering und laut der VDI-Kaltluftrichtlinie (**Tab. 7**) bezüglich der Auswirkungen ebenfalls als *gering* einzustufen.

Für die Kaltluftproduktionsflächen sind aufgrund des lokalen Reliefs Kaltluftabflüsse aus dem Bereich des Plangebietes Richtung Westen zum tiefer gelegenen Naabtal zu erwarten. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit der Kaltluftströme gegenüber Strömungshindernissen sind Fließstrecken ohne eingelagerte Strömungshindernisse von Vorteil. Sie bestehen idealerweise aus Freilandflächen (ohne Bäume) und sind mindestens 50 Meter breit (MAYER et al. 1994) (vgl. S. 5). Die über den Kronendächern von Wäldern generierte Kaltluft hingegen ist weniger kühl als die über Freiland entstehende Kaltluft und hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit um bis zu 80% langsamer.

Im Untersuchungsgebiet befinden sich keine vom Plangebiet auf die Siedlungen gerichtete Ventilationsbahnen. Stattdessen dominieren hier Wälder. Da allerdings die Siedlungen bezüglich ihrer Gebäudehöhen niedriger sind als die Bäume der Wälder, ist davon auszugehen, dass die schwachen Kaltluftflüsse von den Kronendächern bis in die Siedlungen gelangen könnten.

In **Abb. 12** sind im oberen Teil einige exemplarische Geländesenken dargestellt, die zunächst allein aufgrund des Gefälles und ungeachtet der Flächennutzung hypothetische Kaltluftabflussbahnen darstellen könnten. Hierbei führen die drei Senken A, B und C durch das Plangebiet bis an den Teublitzter Bebauungsrand. Die nördlichen Senken E und D liegen außerhalb des Plangebietesbereichs und führen an der Teublitzter Bebauung vorbei. Die südlichen Senken F, G und H liegen ebenfalls außerhalb des Plangebietesbereichs, reichen jedoch bis zum Teublitzter Bebauungsrand. Die Siedlung Katzheim ist vom Plangebiet durch die querende Senke F getrennt, sodass zwischen beiden Gebieten keine *direkt* verbindende Senke besteht.

Unter Berücksichtigung der Flächennutzung stellt *keine* der hypothetischen Senken eine *durchgehende*, bis in die Teublitzter oder Katzheimer Bebauung reichende Kaltluftabflussbahn dar, siehe untere Darstellung in Abb. 12. Als größte Hindernisse sind die zahlreichen, insbesondere am Stadtrand konzentrierten, Gewässer zu nennen, die nachts sehr warm sind (SCHERER 2023) und damit Kaltluftflüsse deutlich schwächen. Diese treten überwiegend über den Wäldern auf und sind daher ihrerseits bereits schwach ausgeprägt. Demgegenüber gibt es nur wenige und überwiegend kurze Abschnitte auf Freiland, wo die Voraussetzungen für kräftige Kaltluftflüsse deutlich besser sind.

Für die einzelnen Kaltluftbahnsegmente wurden die vertikalen Mächtigkeiten und Fließgeschwindigkeiten der Kaltluftströme anhand der empirischen Verfahren von DEFANT und BRIGGS abgeschätzt (**Tab. 8**, S. 23) (zur Methodik siehe Anhang A1, S. 55). Die Strecken A, B und C verlaufen durch das Plangebiet und werden im Planfall auf die westlich des Plangebietes gelegenen Segmente reduziert (in der Tabelle in roter Schrift dargestellt).

Auf der Senke A enden die zum Plangebiet gehörende Segmente A1+2 bereits am Autobahnkreuz. Die Kaltluftmächtigkeit beträgt 8,9 m und die Fließgeschwindigkeit sehr schwache 0,4 m/s. Sowohl im Ist- als auch im Plan-Zustand verbleibt das Segment A3 mit 4,2 m Kaltfluthöhe und 0,3 m/s Fließgeschwindigkeit, ohne die Bebauung zu erreichen.

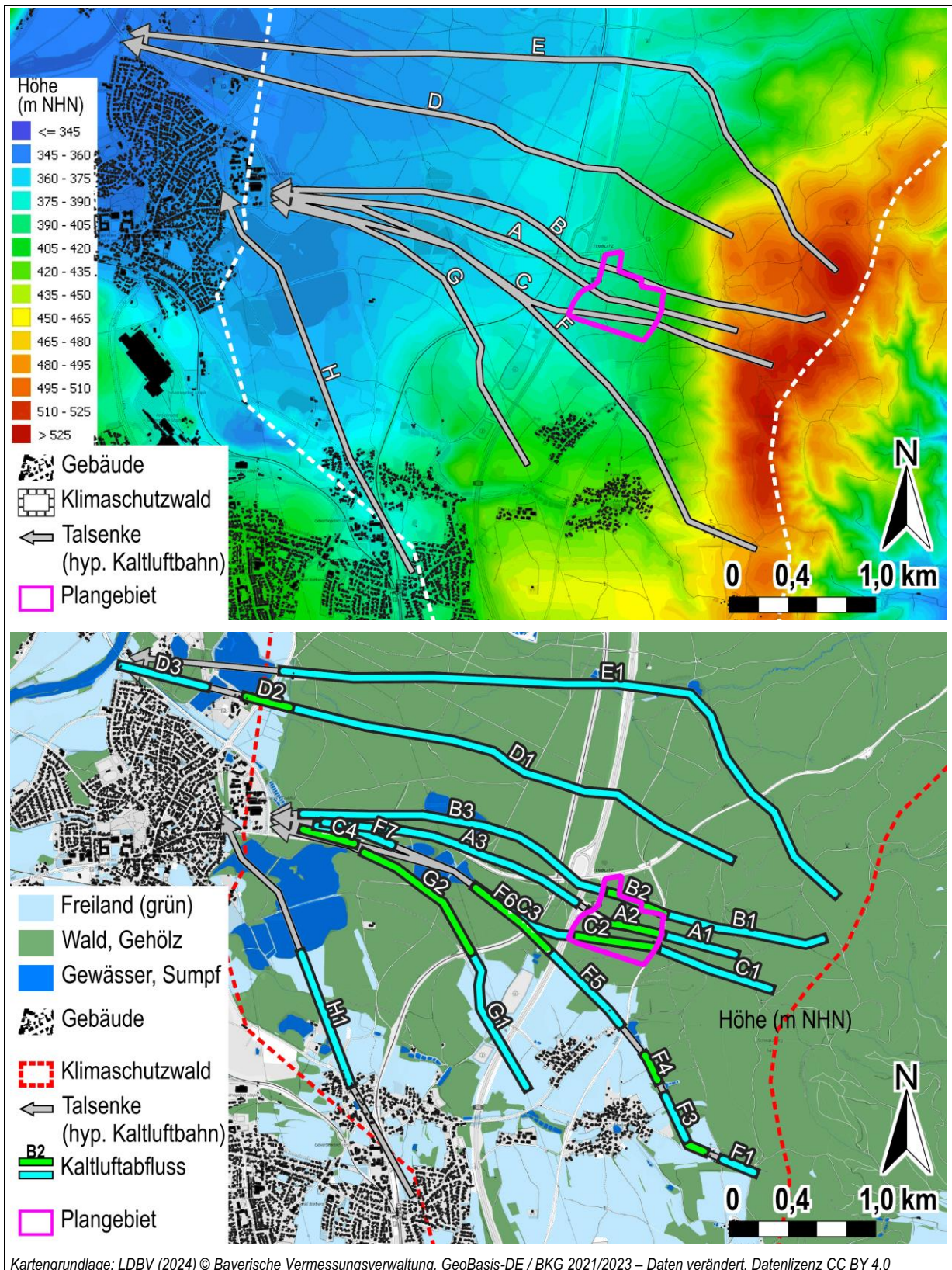


Abb. 12: Relief- und Flächennutzungskarten zu hypothetischen (oben) und realen (unten) Kaltluftabflussbahnen.

Tab. 8: Empirisch geschätzte Kaltluftmerkmale ausgewählter Kaltluftabflussbahnen im Untersuchungsraum (berechnet nach DEFANT und BRIGGS gemäß VDI (2003a)).
Legende:

zo oberer Geländepunkt (NHN)
zu unterer Geländepunkt (NHN)
dz Höhendifferenz

PG Plangebiet

x Fließstrecke

α Hangneigung

FN Flächennutzung

μ Reibungskonstante

hKL Höhe der Kaltluft

uKL Fließgeschwindigkeit der Kaltluft

V Kaltluftvolumenstrom pro s oder h

| Relief- senke | Kaltluft- bahn- segment | Relief | | | | | Topografie | | Klimatologie | | | |
|------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|--------|-----------|------------|-------|--------------|------------|----------------|-----------|
| | | zo m | zu m | dz m | x m | α Grad | FN | μ | hKL m | uKL m/s | V m³/(m² s) | m³/(m² h) |
| A | Hypoth. | 507 | 354 | 153 | 3.371 | 2,6 | Freiland | 0,002 | 16,1 | 7,8 | 125,7 | 452.451 |
| | A1 | 507 | 407 | 100 | 520 | 11,1 | Wald | 0,100 | 6,5 | 1,4 | 9,4 | 33.810 |
| | A2 PG | 407 | 384 | 23 | 522 | 2,5 | Wald | 0,100 | 2,4 | 0,4 | 1,0 | 3.729 |
| | A1+2 | | | | | | | | 8,9 | 0,4 | 3,8 | 13.651 |
| | A3 | 382 | 354 | 28 | 1.831 | 0,9 | Wald | 0,100 | 4,2 | 0,3 | 1,4 | 5.009 |
| B | Hypoth. | 523 | 352 | 171 | 3.986 | 2,5 | Freiland | 0,002 | 18,3 | 8,1 | 148,5 | 534.600 |
| | B1 | 523 | 407 | 116 | 1.117 | 6,0 | Wald | 0,100 | 9,3 | 1,3 | 11,7 | 42.241 |
| | B2 PG | 407 | 387 | 20 | 453 | 2,5 | Wald | 0,100 | 2,1 | 0,4 | 0,8 | 3.024 |
| | B3 | 387 | 353 | 34 | 2.193 | 0,9 | Wald | 0,100 | 5,1 | 0,4 | 1,9 | 6.703 |
| | B1-3 | | | | | | | | 16,5 | 0,4 | 6,0 | 21.617 |
| C | Hypoth. | 533 | 352 | 181 | 3.663 | 2,8 | Freiland | 0,002 | 18,5 | 8,7 | 161,7 | 582.174 |
| | C1 | 533 | 406 | 127 | 833 | 8,8 | Wald | 0,100 | 8,9 | 1,5 | 13,4 | 48.390 |
| | C2 PG | 406 | 381 | 25 | 599 | 2,4 | Wald | 0,100 | 2,7 | 0,4 | 1,2 | 4.226 |
| | C3 | 381 | 364 | 17 | 739 | 1,3 | Wald | 0,100 | 2,2 | 0,3 | 0,7 | 2.370 |
| | C1-3 | | | | | | | | 13,9 | 0,3 | 4,1 | 14.653 |
| D | Hypoth. | 492 | 349 | 143 | 4.435 | 1,8 | Freiland | 0,002 | 16,8 | 6,7 | 113,6 | 408.826 |
| | D1 | 492 | 349 | 143 | 3.249 | 2,5 | Wald | 0,100 | 15,2 | 1,1 | 16,1 | 57.817 |
| | D2 | 349 | 349 | 0 | 305 | 0,0 | Freiland | 0,002 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| | D1+2 | | | | | | | | 15,2 | 1,1 | 16,1 | 57.817 |
| | D3 | 349 | 349 | 0 | 595 | 0,0 | Wald | 0,100 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| E | Hypoth. | 538 | 348 | 190 | 5.599 | 1,9 | Freiland | 0,002 | 22,0 | 7,9 | 173,9 | 626.131 |
| | E1 | 538 | 350 | 188 | 4.532 | 2,4 | Wald | 0,100 | 20,4 | 1,2 | 24,2 | 87.154 |
| F | Hypoth. | 488 | 352 | 136 | 4.319 | 1,8 | Freiland | 0,002 | 16,2 | 6,5 | 105,3 | 379.178 |
| | F1 | 488 | 484 | 4 | 229 | 1,0 | Wald | 0,100 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 270 |
| | F2 | 455 | 447 | 8 | 162 | 2,8 | Freiland | 0,002 | 0,8 | 1,8 | 1,5 | 5.410 |
| | F3 | 447 | 419 | 28 | 324 | 5,0 | Wald | 0,100 | 2,4 | 0,6 | 1,4 | 5.009 |
| | F1-3 | | | | | | | | 3,2 | 0,6 | 1,9 | 6.734 |
| | F4 | 414 | 403 | 11 | 190 | 3,3 | Wald | 0,100 | 1,1 | 0,3 | 0,3 | 1.233 |
| | F5 | 395 | 375 | 20 | 712 | 1,6 | Freiland | 0,002 | 2,5 | 2,4 | 5,9 | 21.384 |
| | F6 | 375 | 365 | 10 | 530 | 1,1 | Freiland | 0,002 | 1,4 | 1,5 | 2,1 | 7.560 |
| | F5+6 | | | | | | | | 3,9 | 1,5 | 5,8 | 20.802 |
| G | Hypoth. | 424 | 353 | 71 | 2.737 | 1,5 | Wald | 0,002 | 9,0 | 4,4 | 39,7 | 143.028 |
| | G1 | 424 | 378 | 46 | 1.034 | 2,5 | Freiland | 0,002 | 4,9 | 4,3 | 20,7 | 74.588 |
| | G2 | 378 | 357 | 21 | 1.029 | 1,2 | Wald | 0,100 | 2,9 | 0,3 | 0,9 | 3.254 |
| | G1+2 | | | | | | | | 7,7 | 0,3 | 2,4 | 8.750 |
| | Hypoth. | 386 | 353 | 33 | 2.946 | 0,6 | Freiland | 0,002 | 5,5 | 2,3 | 12,6 | 45.322 |
| H | H1 | 374 | 356 | 18 | 953 | 1,1 | Freiland | 0,002 | 2,5 | 2,0 | 5,1 | 18.258 |

Die Senke B umfasst die lückenlos verbundenen Segmente B1 – B3, an deren Endpunkt die Kaltluft mit 0,4 m/s eine Mächtigkeit 16,5 m erreicht. Im Planfall verbleibt das Segment B3 mit einer Kaltluftmächtigkeit von 5,1 m und 0,4 m/s Fließgeschwindigkeit, ohne die Bebauung zu erreichen.

Auf der Senke C liegen die zusammenhängenden Segmente C1 – C3 sowie mit deutlichem Abstand das Segment C4, ohne die Bebauung zu erreichen. Am Segment C3 werden 13,9 m

Kaltluflthöhe und 0,3 m/s Fließgeschwindigkeit beobachtet. Im Planfall verbleiben die Segmente C3 und C4 mit Kaltluflthöhen $\leq 2,2$ m und Fließgeschwindigkeiten $\leq 0,8$ m/s.

Bessere Durchlüftungspotenziale sind auf den größeren Segmenten D1+2 und E1 zu erwarten, wo die Kaltluftmächtigkeiten ≥ 15 m und die Fließgeschwindigkeiten ≥ 1 m/s sind. Allerdings reichen auch diese Segmente in keine Siedlungen.

Zusammenfassend sind die im Plangebietsbereich über den Baumkronen zu erwartenden Kaltluftflüsse bereits im Ist-Zustand zu niedrig und langsam sowie bezüglich des Erreichens des Siedlungsrandes zu segmentiert, sodass sie zu einer Belüftung der Siedlungsbereiche nicht beitragen. Das Planvorhaben hat daher keinen zusätzlichen Einfluss auf die mangelnde Kaltluftventilation.

Die soweit beschriebenen lokalen Kaltluftprozesse werden im Verlauf sommerlicher Strahlungs Nächte durch **regionale Kaltluftströme** überlagert (vgl. S. 6). Dieser Sachverhalt ist in der Schutzgutkarte Klima/Luft des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LFU 2024) ausführlich dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

Die in **Abb. 13** dargestellten Windrichtungen der regionalen Windfelder in 20 m ü. Gr. zeigen, dass oberhalb des **Kronendachs** des Waldbereichs zwischen Teublitz und dem Plangebiet eine westliche Kaltluftströmung auftritt, die einer vom Plangebiet ausgehenden Siedlungsbelüftung entgegen wirkt. Für das **Bodenniveau** im Stammraum des Plangebietswaldes zeigt die **Abb. 14** (S. 26) einen nur schwachen Kaltluftvolumenstrom von $12,3 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ und einer Fließgeschwindigkeit < 1 m/s, der mit einer nach Nordwesten gerichteten Fließrichtung ebenfalls nicht zur Siedlungsbelüftung beiträgt.

Die Klimaanalysekarte in **Abb. 15** (S. 27) stuft aufgrund der schwachen Kaltluftbildung das Plangebiet nicht mehr als Kaltluftproduktionsfläche ein. Die Planungshinweiskarte (**Abb. 16**, S. 28) stuft den Plangebietsbereich daher als klimatischen Ausgleichsraum von nur *geringer Bedeutung* ein. Eine Wirkung auf Siedlungen ist nicht gegeben. Die klimatische Wohlfahrtswirkung bleibt auf die örtliche Erholfunktion beschränkt.

[Fortsetzung Text auf S. 41.]

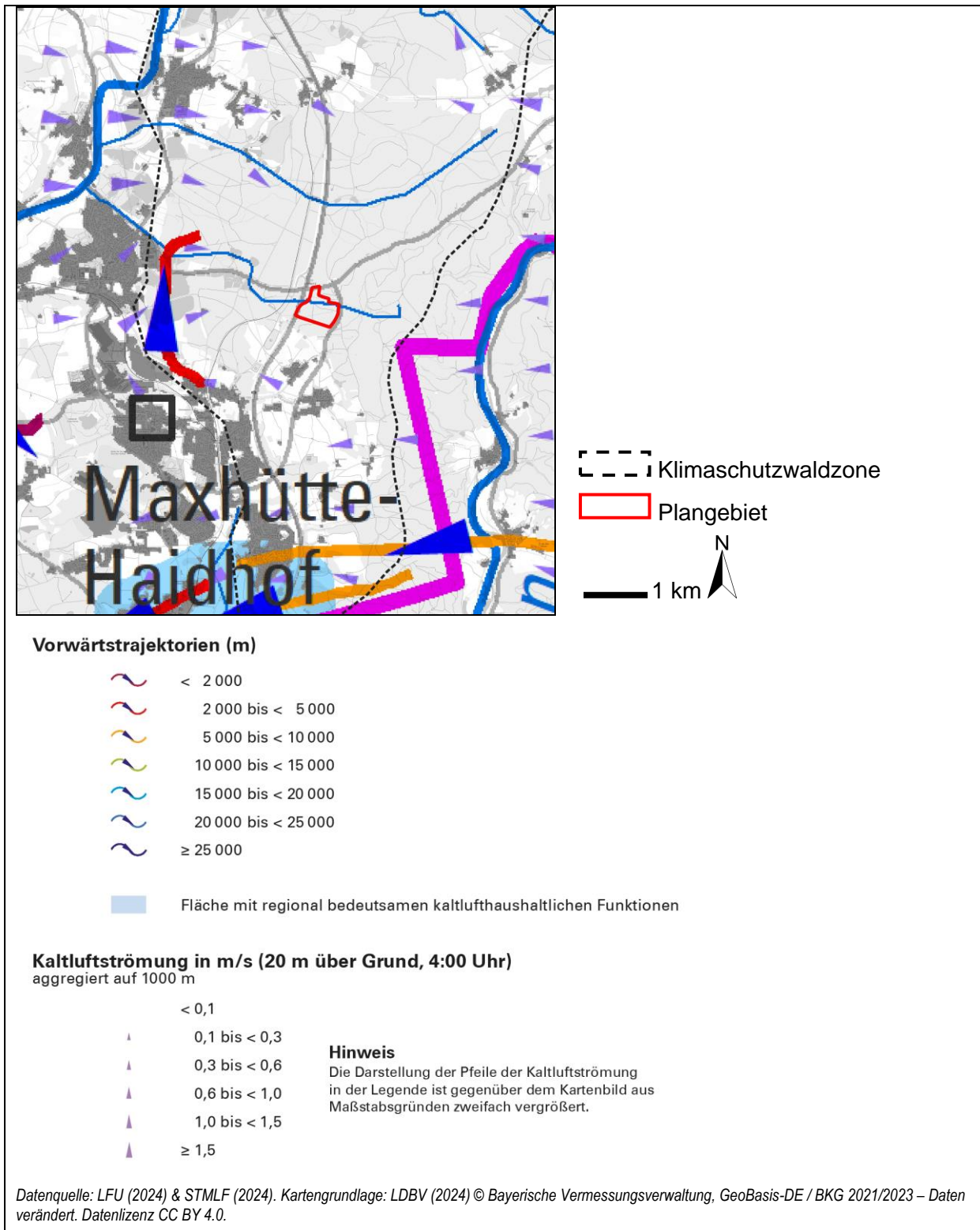


Abb. 13: Karte zu Grundzügen regionaler strahlungsächtlicher bodennaher Winde (Kaltluftströme in 20 m ü. Gr.).

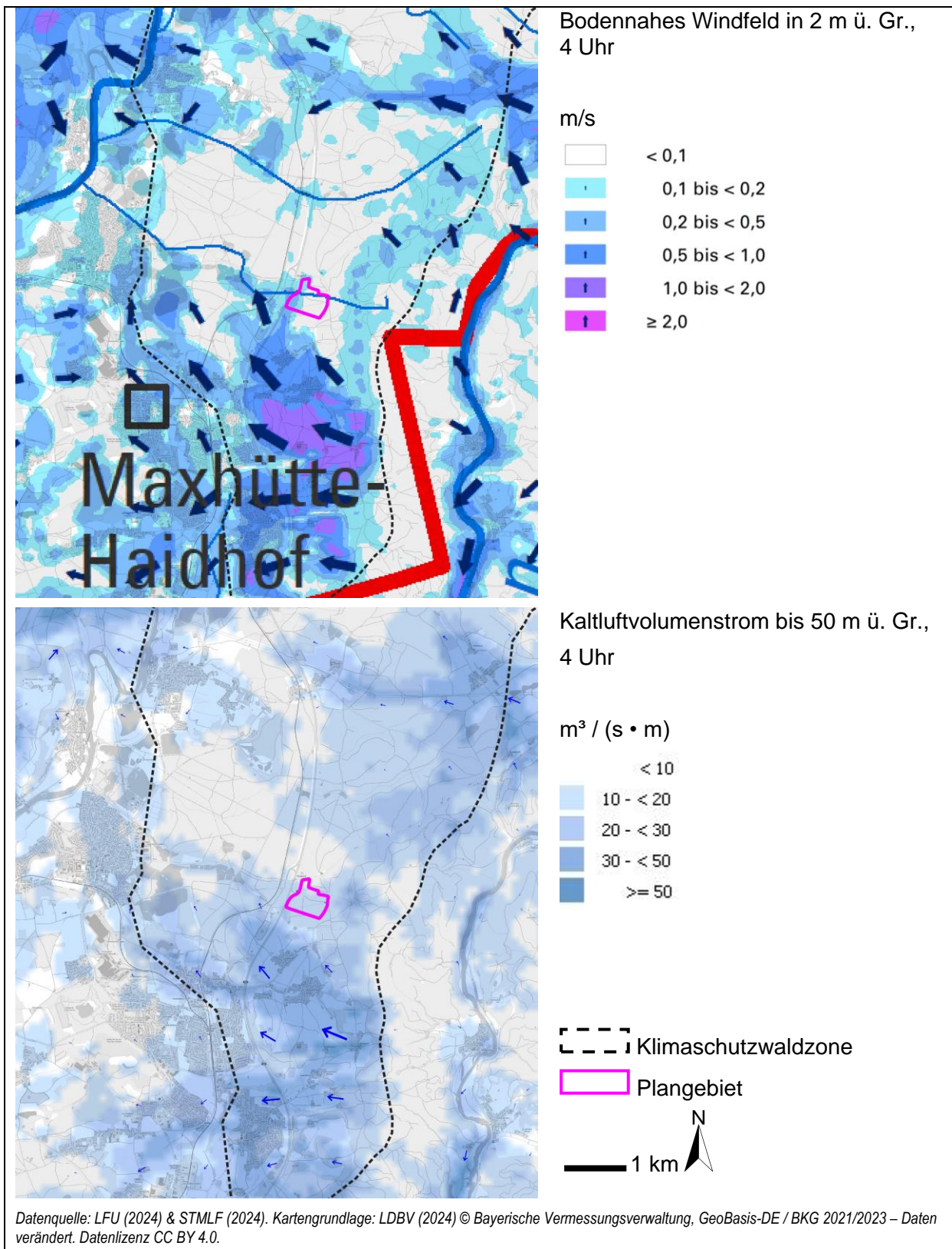


Abb. 14: Karten zu strahlungsnächtlichen bodennahen Kaltluftströmen.

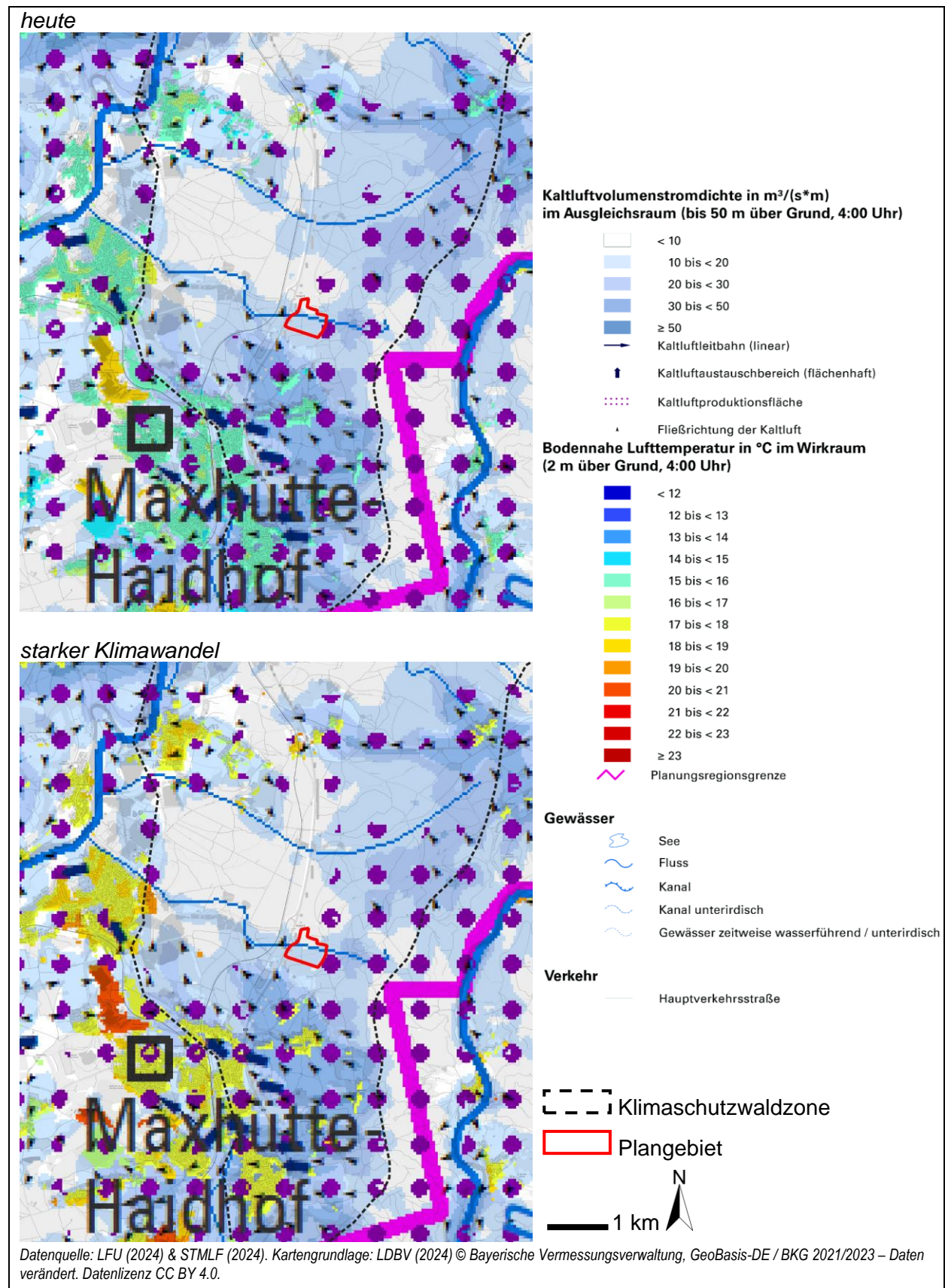


Abb. 15: Auszug aus der Klimaanalysekarte, heute und im starken Klimawandel.

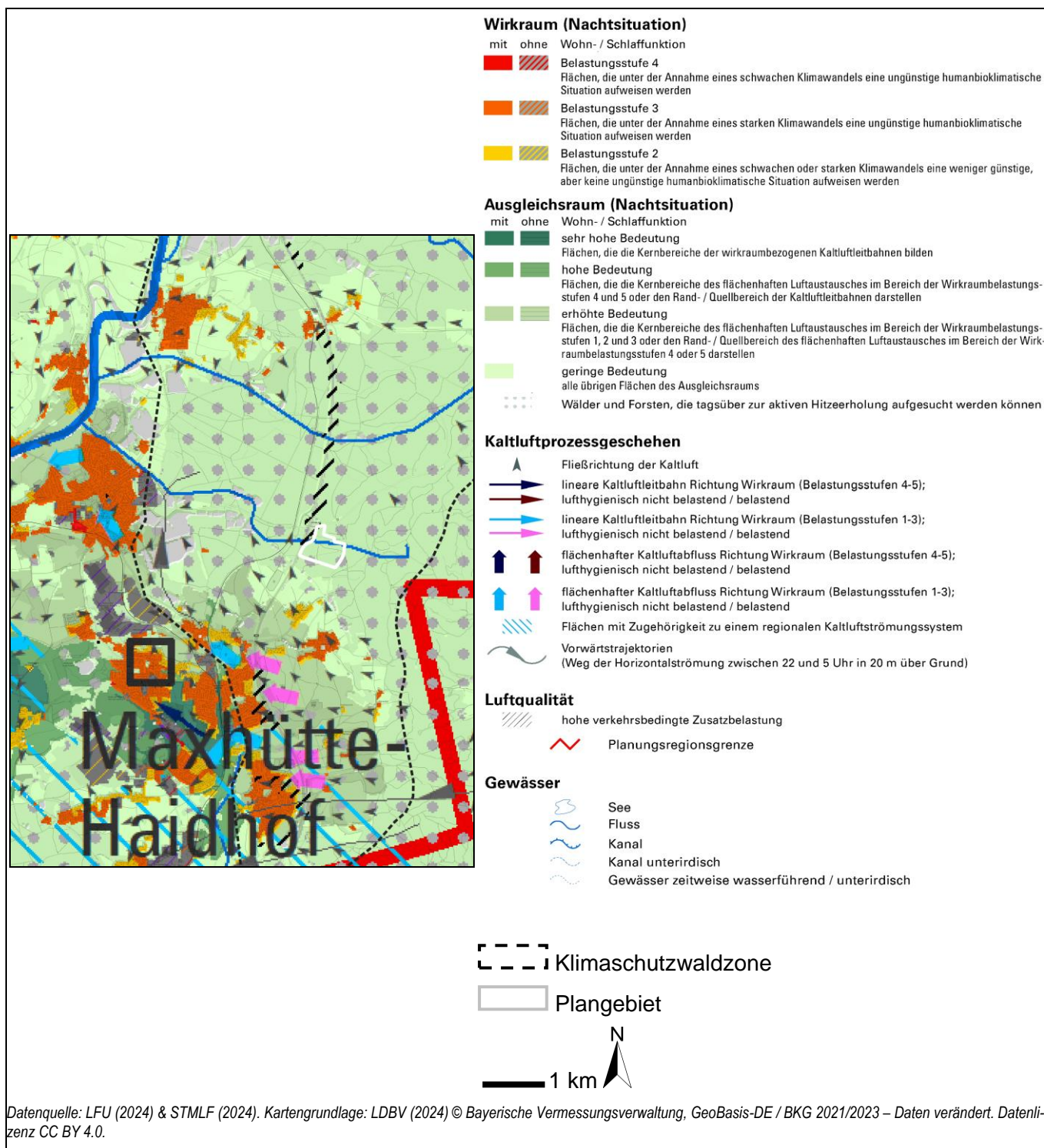


Abb. 16: Auszug aus der Planungshinweiskarte.

5.2 Windwurfgefahr

Da erfahrungsgemäß die Bäume am Rand eines Baumbestandes, die dem Wind ausgesetzt sind, die höchste Widerstandskraft aufweisen, besteht theoretisch die Möglichkeit, dass durch den Wegfall eines Teilstückes am Rand eines Waldgebietes die dann in vorderer Linie stehenden Bäume einer erhöhten Windbelastung ausgesetzt und damit gefährdet sind.

Wenn aus einem Waldbestand ein Teil herausgenommen wird (teilweiser Kahlschlag) besteht die Gefahr, dass der Wind bzw. Windböen plötzlich in den Bestand eindringen und somit eine potenzielle Windwurfgefahr darstellen können. Im vorliegenden Fall ist der zweite Fall gegeben: aus dem Klimaschutzwald wird ein Teilbereich entfernt.

Der strömungsmechanische Mechanismus ist wie folgt.

Bei einem zusammenhängenden Waldstück findet eine vollständige oder eine teilweise Verdrängung des Windfeldes statt. Durch den Widerstand, den die Bäume bieten, wird der Wind teilweise nach oben verdrängt. Je nach Porosität des Waldes unterhalb des Kronendaches findet eine reduzierte Durchströmung im Stammraumbereich statt. Oberhalb des Kronendaches etabliert sich das Geschwindigkeitsprofil neu. Bei einem Baumbestand mit Kronen in ähnlicher Höhe ist das Windprofil als isoliert zu betrachten; es erfährt lediglich die Rauigkeit infolge der Baumkronen und nicht den Formwiderstand eines gesamten Baumes. Dies ist in **Abb. 17** auf der linken Seite schematisiert dargestellt.

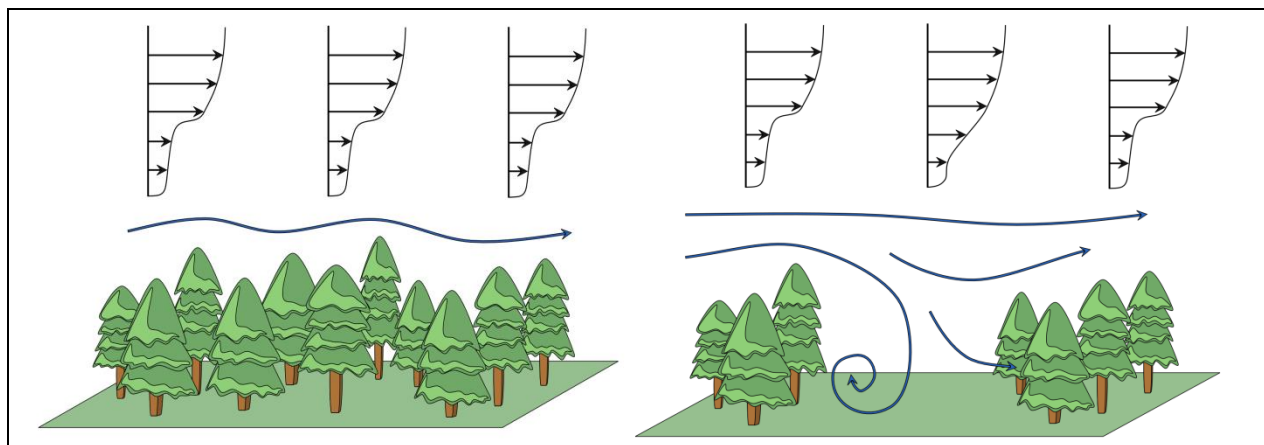


Abb. 17: Skizze zur Darstellung der Überströmung eines Waldstückes (links) sowie Eindringen des Windes in einen Waldbestand bei Kahlschlag (rechts)..

Bei „Erreichen“ eines Kahlschlaggebietes innerhalb eines Waldbestandes bildet sich eine turbulente Nachlaufzone aus und die Strömung wird nach unten gedrückt. Dieser Mechanismus ist in der **Abb. 17** rechts beispielhaft skizziert.

Die Widerstandskraft von Bäumen gegenüber einem Windangriff hängt u. a. von der Baumhöhe, dem Stammdurchmesser (der Schlankheit), der Baumart (Laub- oder Nadelgehölz) sowie der Wurzelart (Tiefwurzler, Flachwurzler), aber auch vom Untergrund (Bodenart, Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, Konsistenz des Bodens (z. B. Moorboden) ab, um nur einige Abhängigkeiten zu nennen. Bei einem Bestand spielt es eine große Rolle, ob es sich um eher ungleichaltrige Wälder (Plenterwälder) handelt, bei denen auf Grund einer höheren Einzelbaumstabilität eine niedrigere Anfälligkeit gegen Sturmschäden unterstellt wird. Im Bereich des Plangebietes sind schwerpunktmäßig Fichte und Kiefer zu finden. Beide Baumarten weisen eine höhere Sturmschadenswahrscheinlichkeit auf als bspw. Eichen/Buchen. Diese vielen Abhängigkeiten machen eine Aussage über eine möglicherweise erhöhte

Sturmgefährdung nur schwer möglich. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die geplante Bebauung im Plangebiet maximal die Höhe des angrenzenden Waldes haben wird. Die Gebäude werden somit keine Hindernisse mit erhöhter Turbulenz bzw. lokaler Geschwindigkeitserhöhung darstellen, sondern wie die umgebenden Waldflächen überwiegend überströmt werden, wie in **Abb. 18** skizziert.

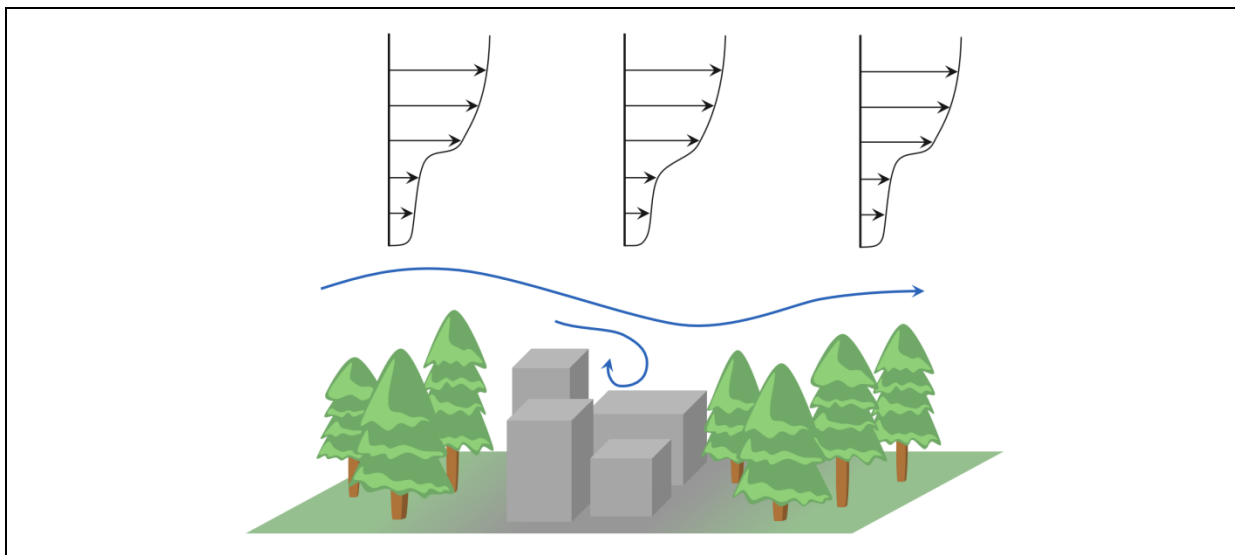


Abb. 18: Skizze zur Darstellung der Überströmung eines Waldstückes mit eingebetteter Bebauung.

Es wird somit empfohlen, die Waldrodung ggf. entsprechend dem Baufortschritt vorzunehmen, um die „Kahlschlagsituation“ mit einer entsprechend höheren Gefährdung bei eventuell auftretenden Sturmereignissen möglichst zu minimieren.

5.3 Luftqualität

5.3.1 Zielsetzung

Ziel des Untersuchungspunktes „Luftqualität“ ist die großräumige Einordnung der Emissions- und Immissionssituation auf Basis von vorliegenden Daten, die Beurteilung der Emissions- und Immissionssituation im Plangebiet selbst sowie in Bezug zu den nächstgelegenen Immissionsorten. Abschließend erfolgt eine Einschätzung, inwieweit der „Wegfall“ eines Teils des Waldes bei Realisierung des Gewerbegebietes hinsichtlich einer Wirkung als Immissionsschutzwald zu werten ist.

5.3.2 Bewertung der großräumigen Emissions- und Immissionssituation

Die **Abb. 19** zeigt einen Lageplanausschnitt für den Raum Teublitz mit dem Umriss des geplanten Gewerbegebietes (rot gestrichelt). Es ist, wie schon in Kapitel 4 (S. 9) dargestellt, von einem räumlich ausgedehnten Waldgebiet umschlossen; der Wald ist als Klimaschutzwald gekennzeichnet. Die Übersichtskarte zeigt zudem die im Umfeld des Plangebietes liegenden Großemittenten sowie die Emissionsdichte im Großraum Teublitz.

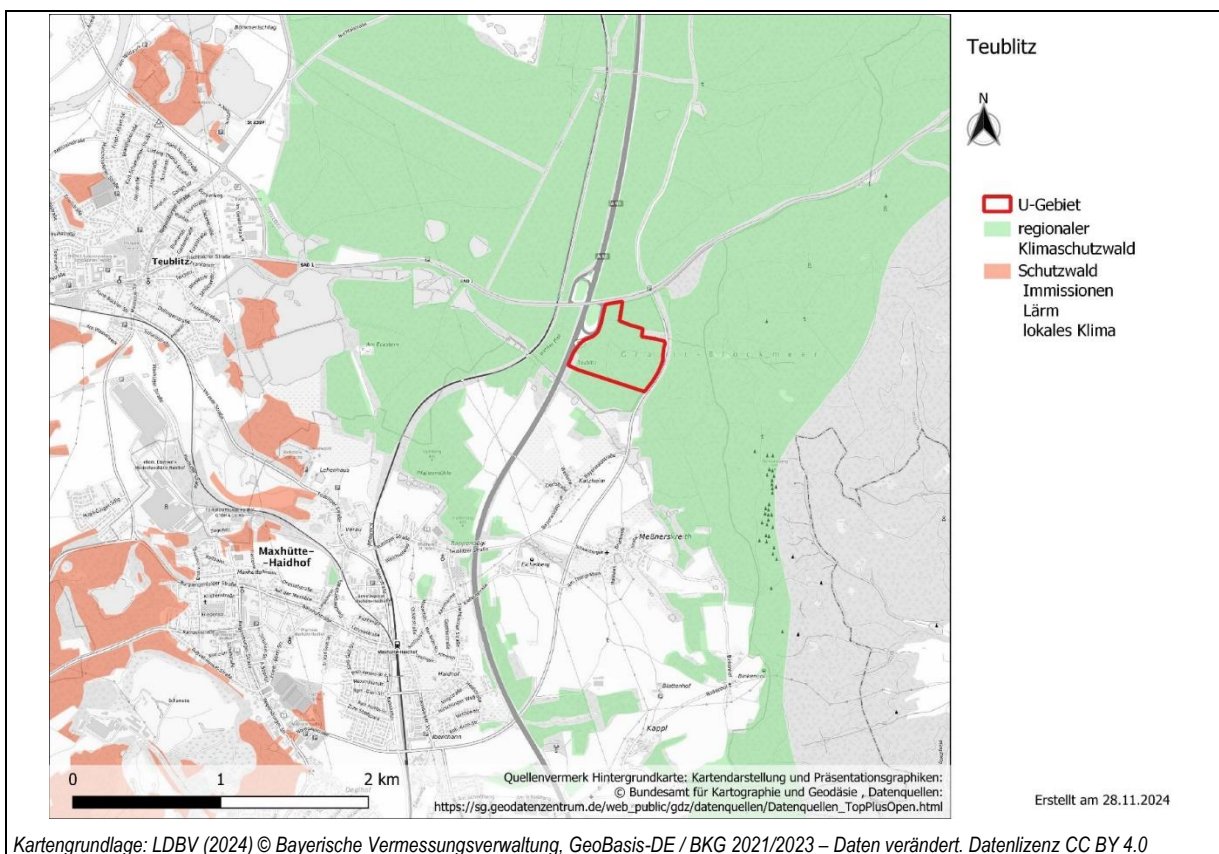


Abb. 19: Ausschnitt des Wald funktionsplans.

Im weiteren Umfeld sind mehrere Großemittenten, so z.B. im Norden bei Schwandorf in etwa 11 km Entfernung, im Osten bei Nittenau, ebenfalls ca. 11 km entfernt, im Süden bei Regenstauf in etwa in 12 km Entfernung und im Westen bei Burglengenfeld 6 km entfernt. Die Belastung im Bereich des Plangebietes wird auf Grund der Entfernung der Einzelemittenten eher als gering eingestuft. Dies bestätigen auch die in der Richtlinie zur Luftqualität an Straßen (RLUS 2023a) hinterlegten Werte für die Hintergrundbelastung im Bereich des Plangebietes für das Jahr 2024. Die Hintergrundbelastung umfasst die Immissionskonzentrationen, die im Wesentlichen durch andere Quellen als Straßen verursacht werden, da die Auswirkung von Straßen eher lokal einzustufen ist. In diesem Fall werden für die maßgebenden Luftschadstoffe Stickstoffdioxid, Feinstaub PM_{10} und Feinstaub $PM_{2.5}$ die in **Tab. 9** zusammengestellten Jahresmittelwerte angegeben.

Tab. 9: Hintergrundbelastung für den Kreis Teublitz nach RLuS (RLUS 2023a).

| Jahr | NO ₂ | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
|------|-----------------|------------------|-------------------|
| | [µg/m³] | | |
| 2024 | 5,1 | 10,8 | 9,5 |

Die Grenzwerte nach 39. BImSchV liegen derzeit bei jeweils 40 µg/m³ für das Jahresmittel von NO₂ und PM₁₀ und bei 25 µg/m³ für das Jahresmittel von PM_{2.5}. Das bedeutet, dass die immissionsseitige Wirkung der in **Abb. 20** dargestellten Großemittenten im Bereich des Plangebietes als gering eingestuft wird.

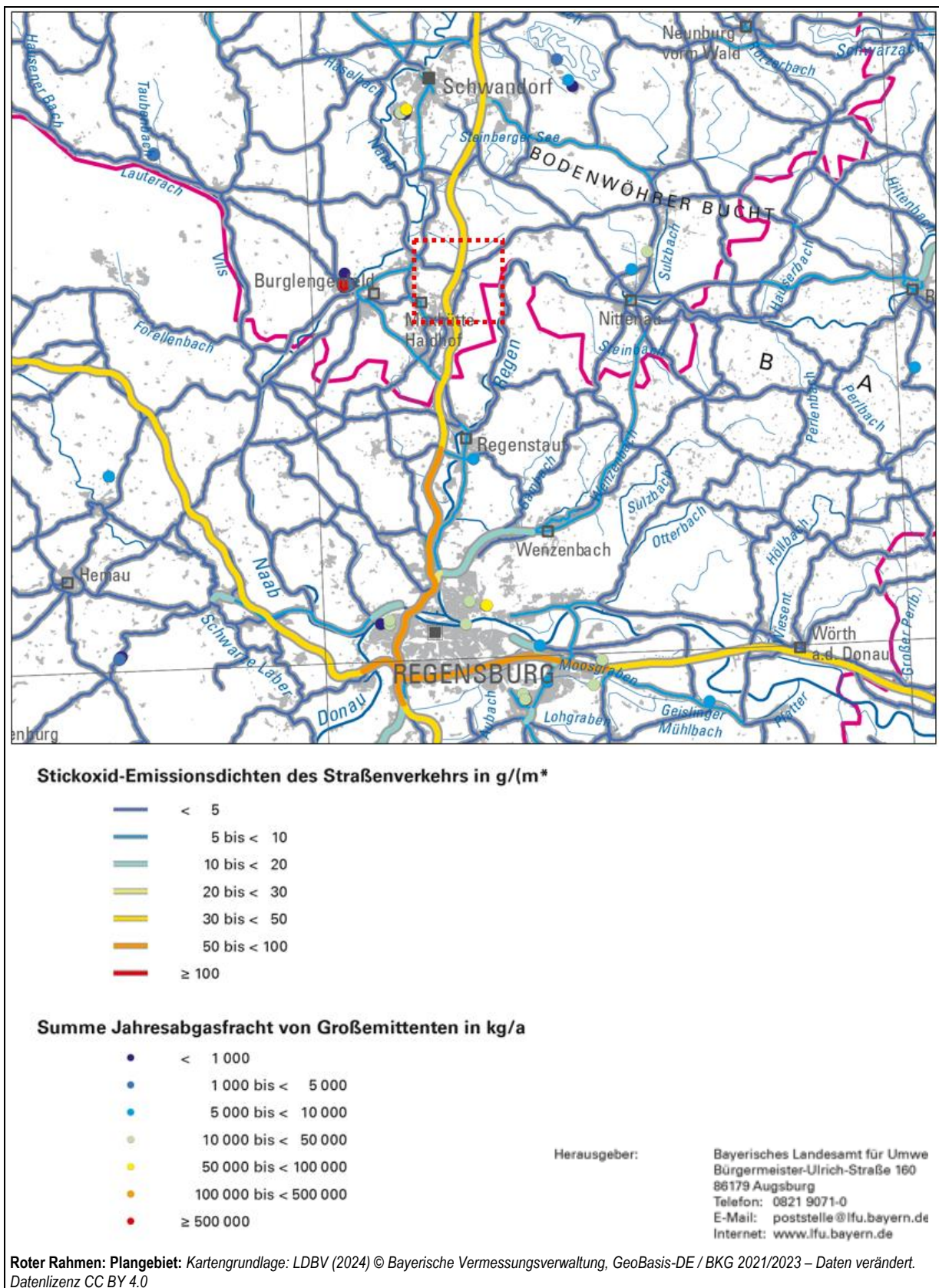


Abb. 20: Emittentenstruktur und Emissionsdichte im Bereich Teublitz.

Eine höhere Belastung wird allerdings lokal im Bereich der westlich des Plangebietes Nord-Süd-verlaufenden Autobahn A93 zu erwarten sein, wie in **Abb. 21** dargestellt. Diese erhöhte verkehrsbedingte Zusatzbelastung, die zu der im Bereich des Plangebietes vorhandenen Hintergrundbelastung durch andere Emittenten zu addieren ist, ist auch im Auszug des Landschaftsplans (**Abb. 22**) dargestellt.

Ob diese durch den Verkehr auf der A93 verursachten Emissionen im Bereich der nächstgelegenen beurteilungsrelevanten Immissionsorte zu nennenswerten Immissionsbelastungen führen und mit einer Erhöhung dieser Werte zu rechnen ist, wenn die immissionserschützende Wirkung des Klimaschutzwaldes bei Realisierung des Gewerbegebietes reduziert wird, wird in den folgenden Kapiteln behandelt.

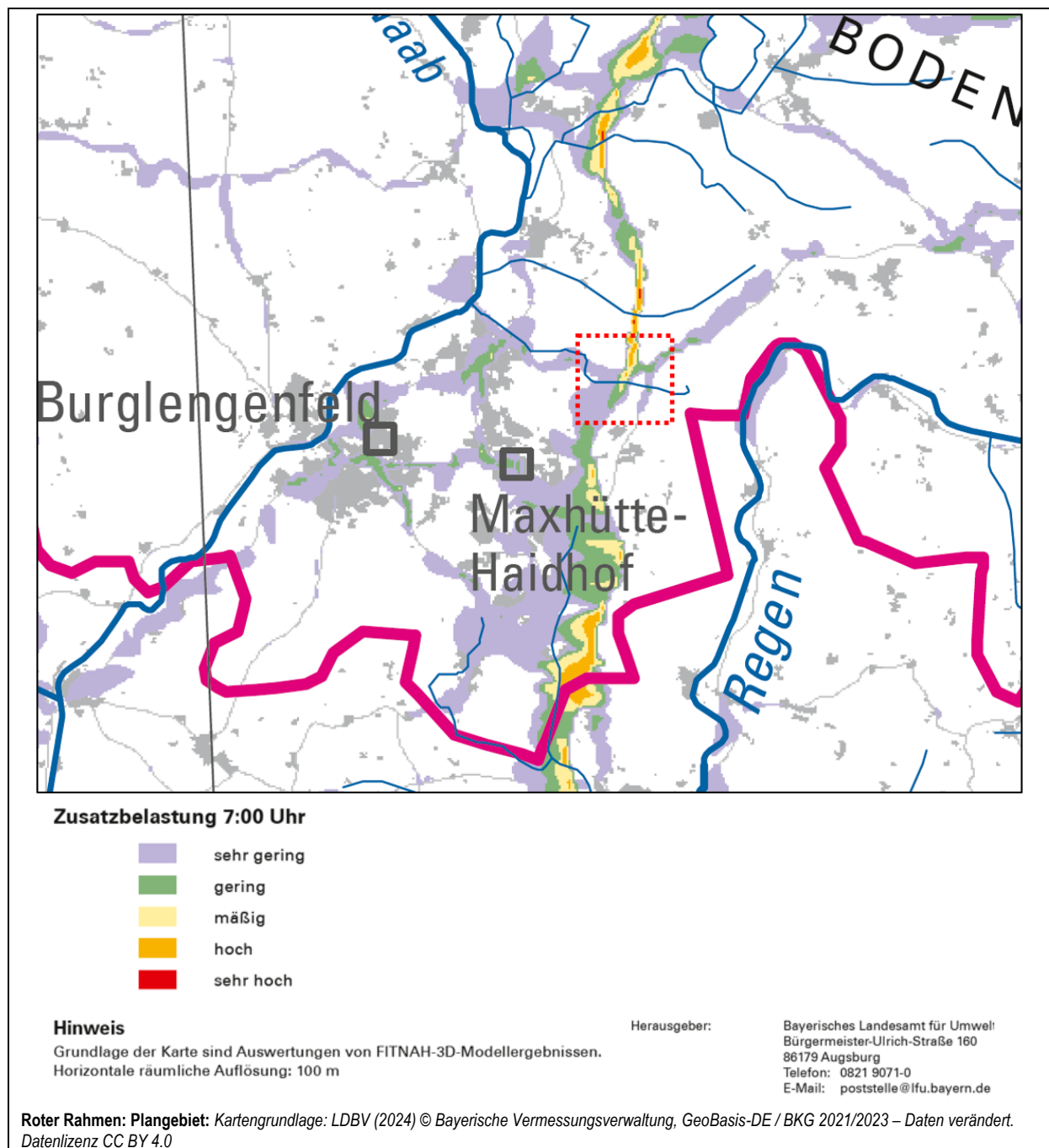


Abb. 21: Luftschadstoffzusatzbelastung aus dem Straßenverkehr im Bereich Teublitz.

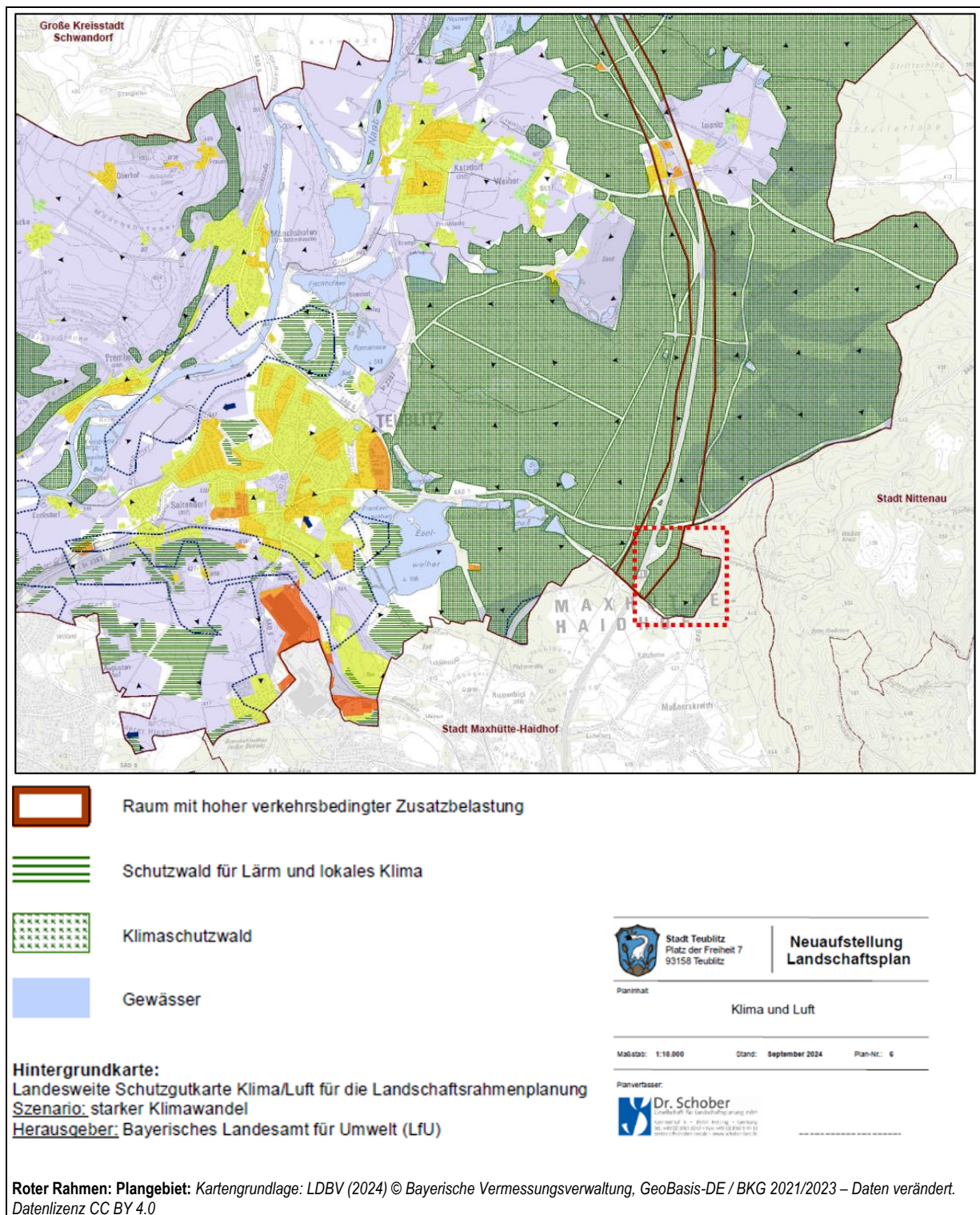


Abb. 22: Raum mit hoher verkehrsbedingter Zusatzbelastung im Bereich Teublitz.

5.3.3 Bewertung der lokalen Emissions- und Immissionssituation

Eine erhöhte lokale emissionsseitige Belastung ergibt sich vor allem aus dem Verkehr der westlich des Plangebietes gelegen Bundesautobahn A93. Sie ist mit einem Verkehrsaufkommen von über 60.000 Fahrzeugen pro Tag stark belastet.

Die Bestimmung der Belastung aus dem Straßenverkehr auf das Plangebiet und die nächstgelegenen Immissionsorte kann mithilfe der *Richtlinie zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung* (RLUS 2023a) erfolgen. Das Vorgehen und die Ergebnisse werden im Folgenden erläutert.

5.3.3.1 Emissionsbestimmung Verkehr A93

Basis für die Ermittlung der Immissionsbelastung ist eine möglichst genaue Bestimmung der maßgeblichen Emissionen aus dem Straßenverkehr.

Verkehrszahlen des Straßenverkehrs

Wesentliche Eingangsdaten für die Ermittlung der Emissionen aus dem Straßenverkehr stellen die Verkehrszahlen dar. Das Verkehrsaufkommen (durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV) und der Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (sNfz) auf der Autobahn A93 wurde aus Zähl-
daten der Bast aus dem Jahr 2022 für die Dauerzählstelle Schwandorf-Mitte nördlich von Teublitz und die Dauerzählstelle Regensburg-Pfaffenstein südlich von Teublitz übernommen.

Der Anteil leichter Nutzfahrzeuge (INfz 2,8 - 3,5t) stand nicht zur Verfügung. Dieser wurde nach den Empfehlungen der Richtlinie zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (RLUS 2023b) mit 7 % des Anteils des Verkehrs < 3,5 t angesetzt.

Die Verkehrszahlen für die betrachteten Abschnitte der A93 sind in **Tab. 10** zusammengestellt.

Tab. 10: Verkehrszahlen für die betrachteten Streckenabschnitte in [Kfz/24h].

| Abschnitt | DTV [Kfz/24h] | Anteil sNf >3,5t [%] am DTV | Anteil INf [%]<3,5t am DTV |
|---------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Schwandorf-Mitte | 43.603 | 15,8 | 7 |
| Regensburg - Pfaffenstein | 64.606 | 11,6 | 7 |

Emissionen des Straßenverkehrs

Grundlage der Emissionsberechnung ist das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs - HBEFA“, Version 4.2.2 (HBEFA 2022). Die dort bereitgestellten Emissionsfaktoren geben an, welche Schadstoffmengen pro Fahrzeug und zurückgelegter Wegstrecke freigesetzt werden. Im vorliegenden Fall werden die Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ für die Fahrzeugkategorien Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) herangezogen. Bei der Emissionsbestimmung wurden zusätzlich die Vorgaben der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 7 (Kfz-Emissionsbestimmung) berücksichtigt (VDI 2003b).

Die Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ sind ausschließlich „motorbedingt“; die Emissionsfaktoren für PM₁₀/PM_{2,5} setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen.

Zur Bestimmung der Emissionen aus dem Verkehr wurden folgende Einordnungen vorgenommen: Das Plangebiet befindet sich im Außerortsbereich (Gebiet: ao). Für die A93 wurde eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h festgelegt. Als Bezugsjahr wurde im Sinne einer konservativen Vorgehensweise das Jahr 2024 gewählt.

Basierend auf den Emissionsfaktoren erfolgte unter Berücksichtigung der Verkehrsmengen die Berechnung der streckenabhängigen Gesamtemissionsmengen für das Bezugsjahr 2024. Diese sind für NO_x und PM₁₀ und PM_{2,5} in **Tab. 11** zusammengestellt.

Tab. 11: Emissionsmengen für die betrachteten Streckenabschnitte der A93.

| Abschnitt | NO _x | PM ₁₀ | PM _{2,5} |
|---------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | [mg/(m*s)] | | |
| Schwandorf-Mitte | 0,209 | 0,024 | 0,010 |
| Regensburg - Pfaffenstein | 0,298 | 0,036 | 0,015 |

5.3.3.2 Bestimmung der Immissionskonzentration

Die Immissionsabschätzung erfolgt mit dem Programmsystem RLuS in der Version 3 von 2023 (RLUS 2023a+b). Dabei werden in einem ersten Schritt die zu erwartenden Immissionszusatzbelastungen in Folge des Verkehrs auf Basis der mit RLuS bestimmten Abstandskurven ermittelt. Die Ermittlung der schlussendlich gewünschten Gesamtbelastung erfolgt unter Berücksichtigung des gebietscharakteristischen Jahresmittelwertes der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund sowie charakteristischer Werte für die Hintergrundbelastung.

Meteorologie

In **Abb. 23** ist für den Bereich Teublitz die lokale, synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynAKTerm) mit der Windrichtungsverteilung in 10°-Schritten in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe dargestellt. Bei der SynAKTerm handelt es sich um synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihen, die in einem Raster von 500 x 500 m² deutschlandweit vorliegen und von der Arbeitsgemeinschaft IB Rau / METCON erstellt wurden (METSOFT 2024).

Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Verdrängungshöhe beträgt für das Plangebiet 2,2 m/s. Die Hauptwindrichtung ist Süd mit einem sekundären Maximum aus Nord.

Hintergrundbelastung

Die Werte für die Hintergrundbelastung wurden ebenfalls nach RLuS 3 (RLUS 2023a) für den Kreis Teublitz abgeleitet und bereits in Tab. 9 (S. 31) aufgezeigt.

Jahresmittelwerte

Mit den charakteristischen Werten für die Hintergrundbelastung werden durch Überlagerung mit den berechneten Zusatzbelastungswerten die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwert) der Gesamtbelastung zum Vergleich mit den Grenzwerten berechnet.

Die Überlagerung der Jahresmittelwerte der Hintergrundbelastung mit den Jahresmittelwerten der Zusatzbelastung erfolgt bei PM₁₀ und PM_{2,5} additiv.

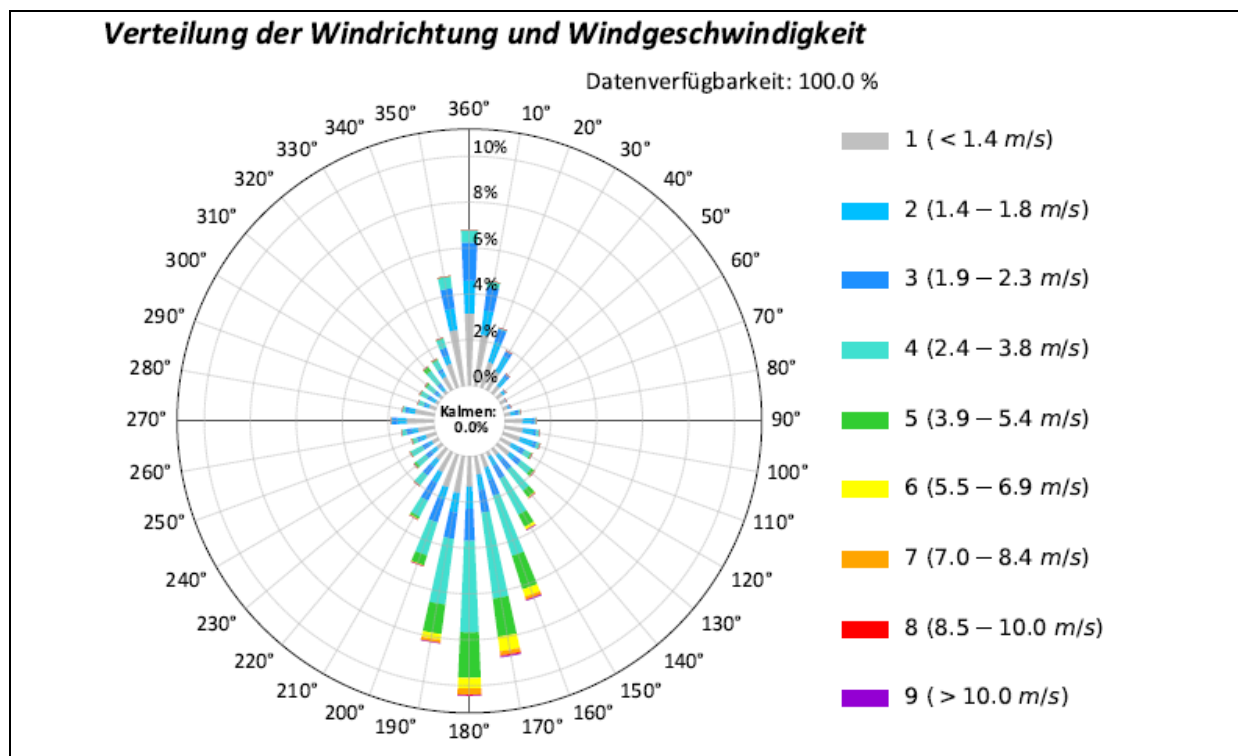


Abb. 23: Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (SynAKTerm 2009) im Bereich Teublitz (METSOFT 2024).

Bei der Überlagerung der Hintergrundbelastungswerte mit den Zusatzbelastungswerten muss bei Stickoxiden die NO-NO₂-Konversion berücksichtigt werden. Die chemische Umwandlung von NO_x nach NO₂ ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie z.B. UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur abhängig. Für die vorliegende Untersuchung wird der vereinfachte Rombergansatz mit Parametern nach Schlamberger (ROMBERG 1996, SCHLAMBERGER, 2020) herangezogen, der auf aktuellen Messdaten basiert und somit die Ozonchemie implizit integriert hat.

5.3.3.3 Immissionsseitige Auswirkungen

Beurteilungsgrundlagen

Für die Beurteilung der Immissionskonzentration von NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG herangezogen, die mit der 39. BImSchV, die seit 2010 in Kraft ist, in deutsches Recht umgesetzt wurde. Die Grenzwerte sind in **Tab. 12** zusammengestellt.

Tab. 12: Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit (39. BImSchV).

| Luftschadstoff | Immissionswert | statistische Definition |
|-------------------|----------------------|--------------------------|
| NO ₂ | 40 µg/m ³ | Grenzwert (Jahresmittel) |
| PM ₁₀ | 40 µg/m ³ | Grenzwert (Jahresmittel) |
| PM _{2.5} | 25 µg/m ³ | Grenzwert (Jahresmittel) |

Gesamtbelastung

Das Plangebiet liegt direkt östlich der A93 in einem minimalen Abstand von 40 m vom Fahrbahnrand.

Das folgende Diagramm in **Abb. 24** zeigt die Abklingkurven der Immissionsgesamtbelastung vom Entstehungsort (Straßenrand) bis zum Immissionsort für NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} für den Abschnitt Schwandorf - Mitte, dem Abschnitt mit niedrigerem Verkehrsaufkommen und damit niedrigerer emissionsseitiger Belastung. Der Nullpunkt der Kurven bezieht sich auf den Straßenrand der A93.

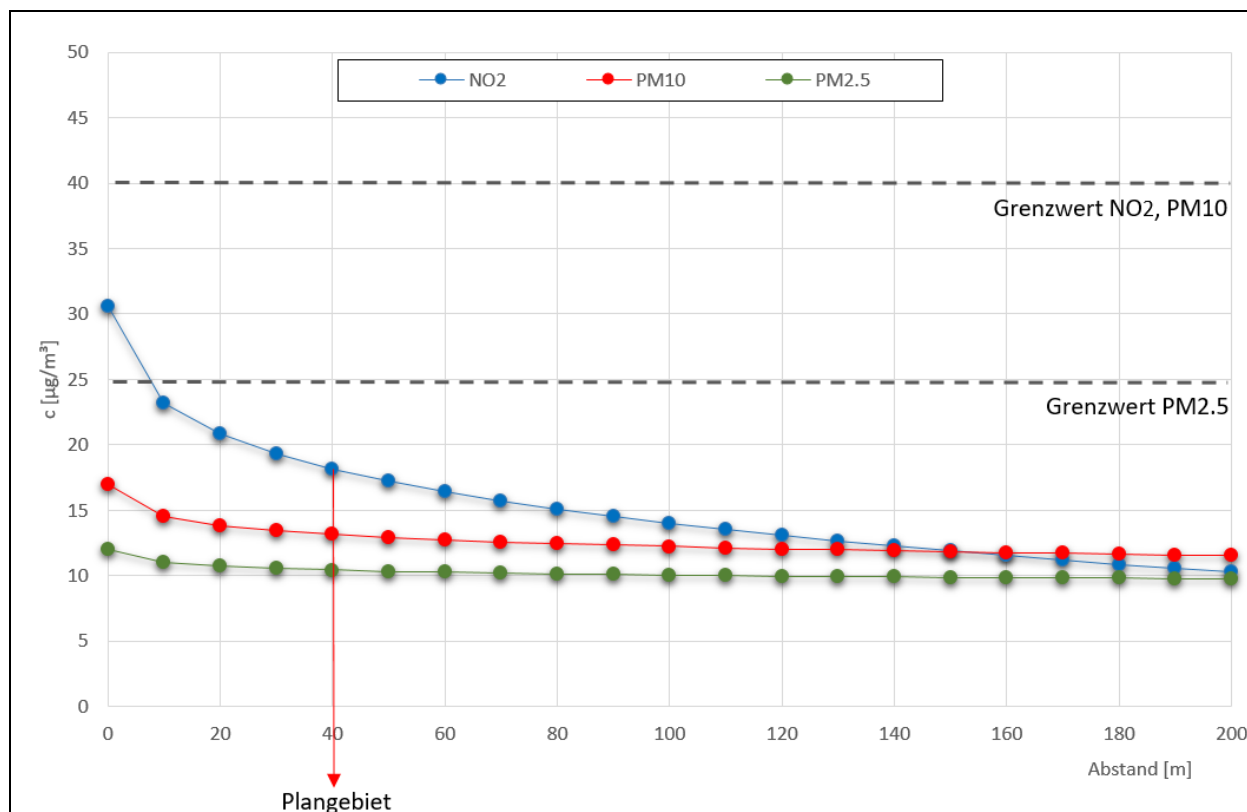


Abb. 24: Abklingkurve nach RLus 3 – Abschnitt Schwandorf-Mitte.

Im unmittelbaren Nahbereich der Autobahn zeigen die abgeschätzten NO₂-Jahresmittelwerte ein recht hohes Niveau. Aufgrund der geringen Hintergrundbelastung und der Entfernung zur Trasse liegen die Belastungen an der Grenze des Plangebietes durch die A93 mit 18 µg/m³ NO₂ aber deutlich unterhalb des Grenzwertes von 40 µg/m³.

Die Belastungen durch PM₁₀ und PM_{2.5} sind deutlich geringer. Für PM₁₀ liegen die Werte selbst in unmittelbarer Nähe zur A93 deutlich unterhalb des Grenzwertes für das Jahresmittel mit 17 µg/m³. Das gilt auch für PM_{2.5} mit 12 µg/m³. Die Immissionswerte für NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} können somit im Plangebiet sicher eingehalten werden. Die PM₁₀ und PM_{2.5} Belastung durch den Verkehr auf der A93 ist schon nach ca. 200 m fast auf Hintergrundniveau abgeklungen. Bei NO₂ ist nach ca. 400 m keine Zusatzbelastung mehr prognostiziert.

Das folgende Diagramm in **Abb. 25** zeigt die Abklingkurven der für den Abschnitt Regensburg – Pfaffenstein, dem Abschnitt mit hohem Verkehrsaufkommen und hoher emissionsseitiger Belastung. Im unmittelbaren Nahbereich der Autobahn zeigen die abgeschätzten NO₂-Jahresmittelwerte ein höheres Niveau als bei Abschnitt 1, Schwandorf-Mitte. Hier liegen die

Belastungen an der Grenze des Plangebietes durch die A93 mit $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 aber auch deutlich unterhalb des Grenzwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch für PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ werden die Immissionsgrenzwerte sicher eingehalten.

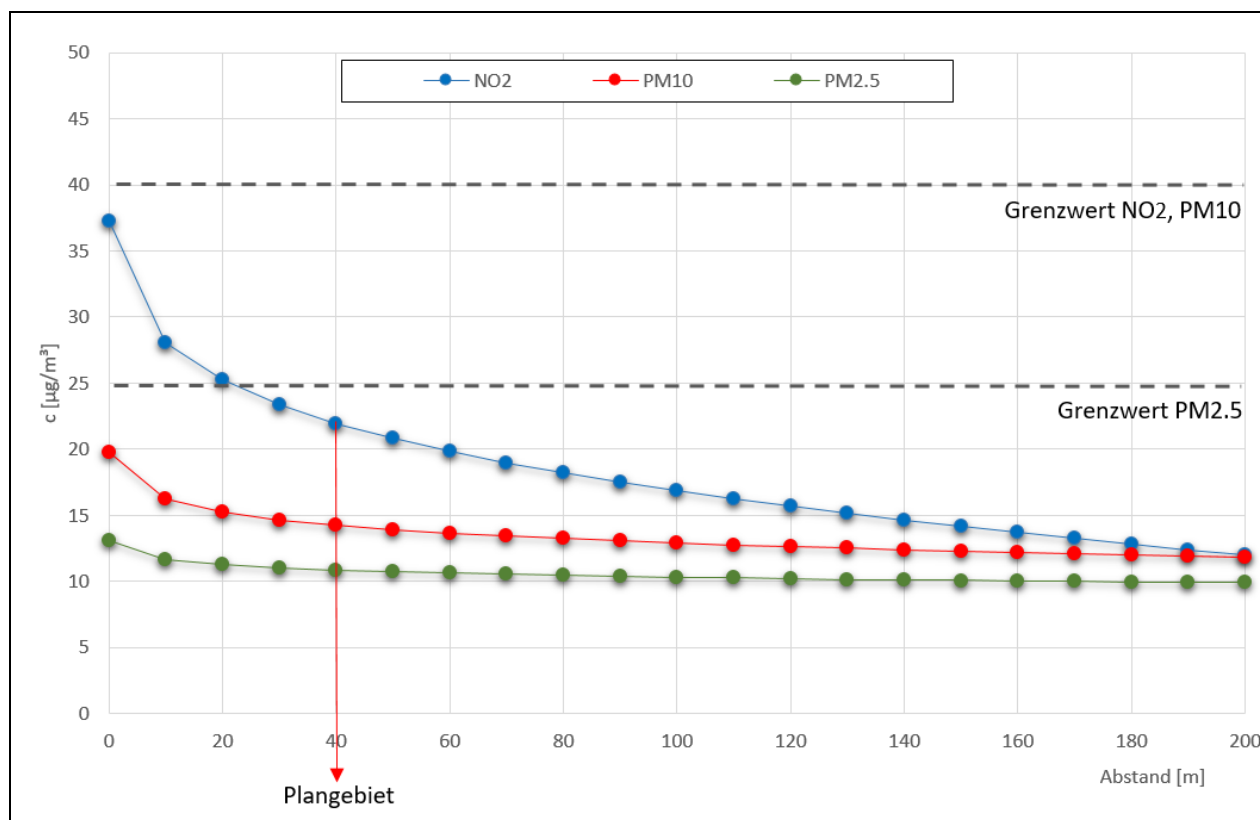


Abb. 25: Abklingkurve nach RLUS 3 – Abschnitt Regensburg - Pfaffenstein.

Insgesamt können die Grenzwerte für das Jahresmittel im Plangebiet unter Berücksichtigung des lokal hohen Immissionsanteils durch die A93 als auch unter Berücksichtigung der allgemeinen Hintergrundbelastung, in der die Immissionsanteile der Großemittenten enthalten sind, sicher eingehalten werden. Die lokal hohen Belastungen im Nahbereich der A93 sind in einer Entfernung von 200 m ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$) bzw. 400 m (NO_2) vom Straßenrand entfernt bereits auf Hintergrundniveau abgeklungen.

Das Waldstück, das dem Gewerbegebiet zum Opfer fallen wird, wirkt lediglich dann immissionsmindernd („Immissionsschutzwald“), wenn es zwischen A93 und Immissionsort liegt. Das würde somit auf die nächstgelegene Bebauung im Osten zutreffen, die allerdings sehr weit entfernt ist. Marienthal im Nordosten ist 3,2 km entfernt, Weißenhof im Osten ist 4,3 km entfernt, Hinterberg und Hirschlingen im Südosten sind 2,9 – 3,1 km entfernt. Zwischen den genannten Immissionsorten im Osten und dem Plangebiet liegen zudem großflächigen Waldgebiete, die ebenfalls eine Schutzwirkung haben. Der Wegfall des Teils des Immissionsschutzwaldes hat somit keinen Einfluss auf die Immissionsbelastung im Bereich dieser Immissionsorte. Zudem ist die Zusatzbelastung aus dem Verkehr in dieser Entfernung vollkommen auf Hintergrundniveau abgesunken.

Der nächstgelegene Immissionsort ist die Wohnbebauung von Katzheim, ca. 670 m südlich des Plangebietes. Hier kann aber nur der in **Abb. 26** grün gekennzeichnete Teil des Immissionsschutzwaldes zur Wirkung kommen. Aber auch hier befinden sich Waldflächen südlich des Plangebiets zwischen der Autobahn und dem Immissionsort. Zudem ist die Zusatzbelas-

tung vom Verkehr auf der Autobahn im Norden von Katzheim auch schon auf Hintergrundniveau abgeklungen und führt zu keiner zusätzlichen Belastung.

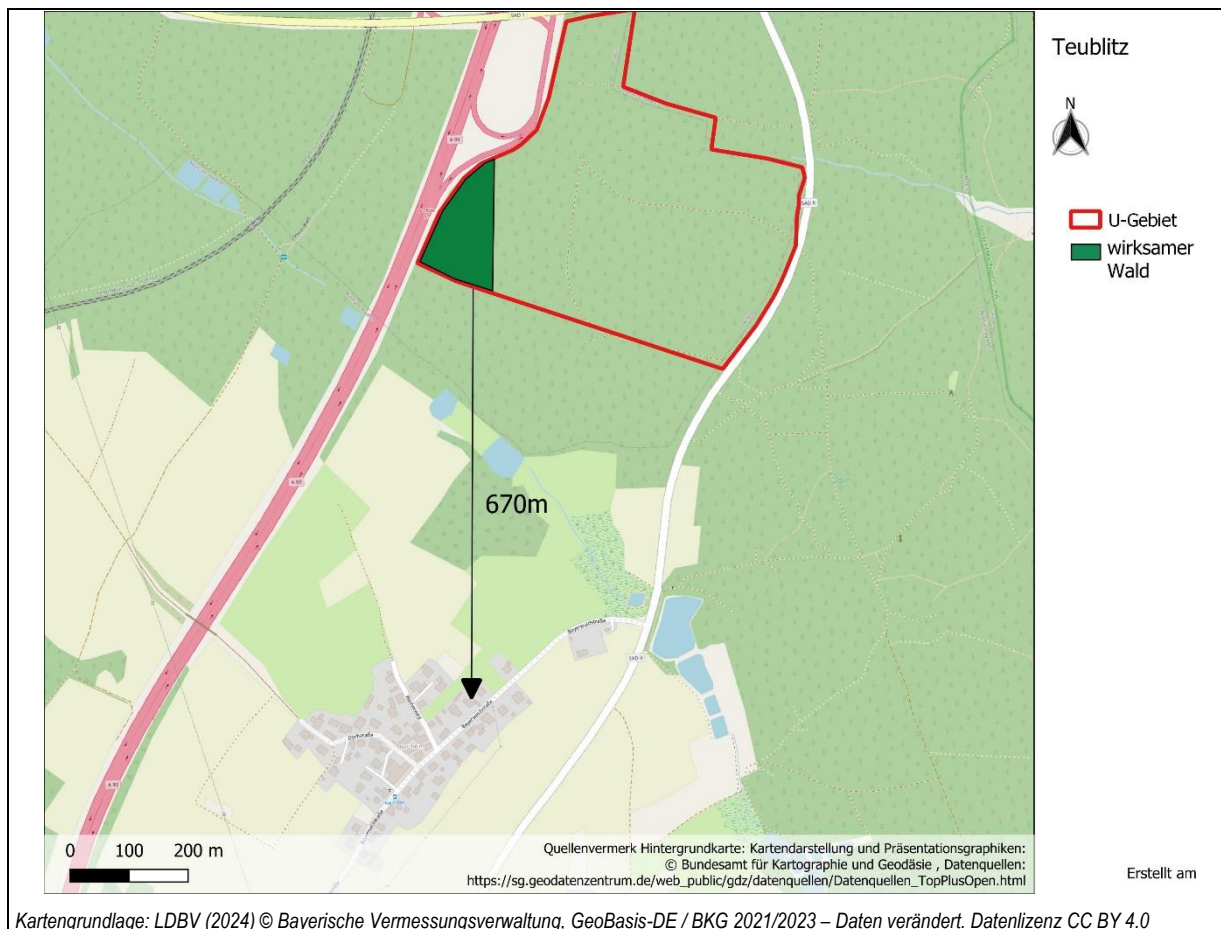


Abb. 26: Entfernung nächstgelegener Wohnbebauung vom Plangebiet.

5.3.4 Bewertung des Immissionsschutzwaldes im Bezug zur Lufthygiene

Insgesamt ist die Immissionssituation im Bereich des Plangebietes sowie der direkten Umgebung eher als gering einzustufen. Die Auswirkungen größerer Emittenten in näherer Umgebung (5 - 11 km) vom Plangebiet ist gering. Die Zusatzbelastung durch die A93 ist lokal. Im Plangebiet werden die Grenzwerte für die Jahresmittelwerte von NO_2 , PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ somit sicher eingehalten. Der Wegfall eines Teils des Klimaschutzwaldes bei Umsetzung der Planung hat keine Auswirkungen auf die Immissionsbelastung nahe gelegener Immissionsorte. Das Waldstück direkt östlich der Autobahn bietet einen gewissen Schutz für Immissionsorte, die östlich des geplanten Gewerbegebietes liegen. Allerdings ist die nächstgelegene Bebauung in östlicher Richtung mehr als 3,2 km von der A93 entfernt. Der Wegfall eines Teils des Waldgebietes ist im Bereich der Bebauung somit immissionsseitig nicht mehr spürbar.

5.4 CO₂-Bilanz

Hinweis zur Exaktheit von CO₂-Bilanzen:

Die Berechnung der CO₂-Bilanz eines Ökosystems basiert auf der Quantifizierung der CO₂-Speicherfähigkeit oder -abgabe der einzelnen Ökosystemkomponenten Boden, Vegetation, Gebäudematerial und Nutz- bzw. Prozessenergie (u. a. Wärme, Strom, Mobilität).

Die Ausdifferenzierung der einzelnen Ökosystemkomponenten und deren korrekte Bemaßung mit CO₂-Kennzahlen ist bisher *nicht eindeutig* und noch immer Gegenstand der Forschung, weil die CO₂-Bemaßungen stets auf Basis unterschiedlichster physikalischer, ökonomischer und/oder sozialer Daten durchgeführt werden, die ihrerseits auf verschiedenen Wegen erhoben werden können (häufig durch Ableitungen, Hochrechnungen, Überschlagrechnungen oder Schätzungen). Allein bei Gebäuden gibt es die Budgetierungsbezüge Nutzfläche, Raumvolumen, Wohneinheiten oder Personenanzahl.

Somit ist die in der Literatur zu findende Bandbreite der CO₂-Kennzahlen der einzelnen Ökosystemkomponenten sehr groß und vielfältig.

Daher gibt es für die CO₂-Bilanzierung keine eindeutige Vorgehensweise und es ist davon auszugehen, dass neben der hier benutzten, nachfolgend beschriebenen Methode andere Methoden zu anderen Ergebnissen führen würden.

Bei der hiesigen CO₂-Bilanzierung wird im Hinblick auf die noch fehlende Konkretisierung des Planentwurfs ein vereinfachter, abschätzender Ansatz gewählt, der auf (auch für die zukünftigen Verhältnisse des Plan-Zustandes) *eindeutigen* Grundlagendaten beruht und primär die relativen Unterschiede zwischen Ist- und Plan-Zustand aufzeigen soll. Hierbei werden für den Plangebietsbereich und die weitere Umgebung sowohl die Vegetation als auch die Baufelder und deren Außenbereiche anhand der jeweiligen Gesamtnutzflächengrößen budgetiert. Die Bilanz bezieht sich daher auf einen Zeitpunkt *nach* Errichtung des Planvorhabens. Die Auswirkungen der Prozesse der Gebietsumwandlung (Waldrodung und Bautätigkeiten) bleiben wegen noch unbekannter Ausführungsdetails unberücksichtigt. Auch der Kfz-Verkehr bleibt unberücksichtigt, da für den Plan-Zustand die zukünftige Flottengröße und deren Emissionsstruktur (gerade im Hinblick auf die derzeit politisch forcierte Elektromobilitäts-offensive) vorab nicht eindeutig bestimmt werden können.

Die nachfolgend in **Tab. 13** aufgelisteten Grundlagendaten für Wohngebäude stammen aus dem hoch differenzierenden CO₂-Rechner des UBA (2020) und wurden für die drei Anwendungsfälle Altbau, Normalbau und energieeffizienten GEG-Neubau verallgemeinert. Für Bürogebäude werden Durchschnittswerte der DGNB (2021) verwendet. Die Daten zur Vegetation stammen vom LUBW (2016) und unterteilen sich vereinfacht in Bäume/Gehölze und baumfrei Grünflächen.

Tab. 13: Flächennormierte CO₂-Budgets für ausgewählte Gebäude- und Vegetationstypen.

| Quelle / Senke | Komponente | CO ₂ -Ausstoß in kg / m ² / a | Literatur |
|---------------------------|---|--|-----------|
| CO ₂ -Emittent | Altbau (unsaniert, fossile Heizenergie, Haushaltsgeräte/-technik älter 10 Jahre) | 65 | UBA 2020 |
| | Normalbau oder Baujahr ≥ 2002 / Altbau saniert (Erdgasheizung, Haushaltsgeräte/-technik jünger 10 Jahre) | 54 | |
| | Niedrigenergiehaus nach GEG (EnEV) (energiearme Heizungen, Haushaltsgeräte/-technik) | 27 | |
| | Bürogebäude | 9,1 | DGNB 2021 |
| CO ₂ -Absorber | Baum, Gehölz, Wald | -0,85 | LUBW 2016 |
| | Freiland, Grünfläche, Garten (baumfrei) | -0,22 | |

Die Gebäudegesamtnutzflächen des Planentwurfs wurden über die dortigen Angaben zur GRZ und zu Gebäudehöhen vermessen. Für die Gebäudegrundrisse wurden exemplarisch 80% GRZ sowie für Etagen jeweils 3 m Höhe angenommen. Ferner werden für GE-Gebäude zwei sowie für GI-Gebäude eine Büroetage angenommen.

Die Vermessung der Vegetation erfolgte anhand aktueller Luftbilder (LDBV 2024 und GOOGLE 2024).

Beim nachfolgenden Vergleich zwischen Plan- und Ist-Zustand ist zu berücksichtigen, dass im Plan-Zustand der Wald zwar entfernt wurde, aber im Zuge der Planung neue Grünflächen in geringem Umfang von 4,8 ha angelegt werden (vgl. auch Tab. 2, S. 11).

Der Klimaschutzwald i. e. S. innerhalb des Waldverbundes S (vgl. Abb. 11, S. 19) hat im Ist-Zustand eine CO₂-Speicherkapazität von 16.658 t/a (**Tab. 14**). Durch den Planentwurf gehen durch die Flächennutzungsänderung 146 t/a bzw. 0,9% der Speicherkapazität verloren. Zu diesem Wert müssen die noch nicht bekannten CO₂-Emissionen der zukünftigen Aktivitäten hinzugerechnet werden. Im hiesigen Beispiel sind das exemplarisch 994 t/a, sodass eine effektive CO₂-Quelle von 1.140 t/a entstehen würde. Der Verlust der Speicherkapazität des Gesamtwaldes durch das Planvorhaben beträgt dann insgesamt 6,8%.

Für eine potenzielle Kompensation des CO₂-Speicherverlustes würden als Ersatzflächen entweder 134 ha Wald oder 518 ha Grünland benötigt.

Bei Hinzurechnung der übrigen Waldflächen des Waldverbundes S beträgt die CO₂-Speicherkapazität im Ist-Zustand 35.655 t/a. Durch den Plan-Zustand entsteht durch die Flächennutzungsänderung ein CO₂-Speicherverlust von anteilig 0,4 % sowie bei Hinzurechnung der Aktivitäten von anteilig 3,2 %.

Bei einer Hinzuziehung weiterer Waldflächen aus dem Waldverbund N nimmt der Anteil des Planentwurfs am CO₂-Budget weiter ab (**Tab. 15**, S. 44). Für den Gesamtbereich (Waldverbund S+N) beträgt der CO₂-Speicher 75.085 t/a. Der Verlust durch das Planvorhaben beträgt für die Flächennutzung 0,2 % sowie bei Hinzurechnung der Aktivitäten 1,5 %.

Bei Eingrenzung der Fläche auf den Klimaschutzwald im Waldverbund S+N beträgt der CO₂-Speicher 36.838 t/a. Der Verlust durch das Planvorhaben beträgt für die Flächennutzung 0,4 % sowie bei Hinzurechnung der Aktivitäten 3,1 %.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Veränderungen der zukünftigen Freiflächenbereiche (d. h. neue Grünflächen) des Planvorhabens sind je nach Bezug zur Waldflächengröße die CO₂-Speicherverluste von 0,9 % bis 0,2 % sehr gering. Bei einer weiteren Ausdehnung des Waldflächenbezuges, beispielsweise auf Landkreisebene, wird der Anteil des hiesigen Waldes am CO₂-Speicher Wald bereits vernachlässigbar. Bei der Planung der späteren Nutzung sollte jedoch auf minimale Treibhausgasemissionen geachtet werden.

[Fortsetzung Text auf S. e45]

Tab. 14: Überschlägige, vereinfachte CO₂-Bilanz für den Waldverbund i. e. S. (Waldverbund S).

| Gebietsbereich ► | Klimaschutzwald S | | | Gesamtwald S | | |
|--|-------------------|-----------------------|------------------|--------------|-----------------------|------------------|
| Vegetationstyp | Wald | Freiland | Gesamt | Wald | Freiland | Gesamt |
| CO ₂ -Normbudget [kg/m ² /a] | 0,85 | 0,22 | | 0,85 | 0,22 | |
| Vegetation | | | | | | |
| Ist-Zustand | | | | | | |
| Fläche [ha] | 1.794,44 | 638,96 | 2.433,40 | 3.873,43 | 1.241,50 | 5.114,93 |
| % | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| CO ₂ -Budget [t/a] | 15.252,77 | 1.405,70 | 16.658,47 | 32.924,18 | 2.731,30 | 35.655,47 |
| % | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| Plan-Zustand | | | | | | |
| Fläche [ha] | | | | | | |
| - Walddrohung | -21,28 | | | -21,28 | | |
| + Grünflächen | | +4,81 | | | +4,81 | |
| + Dachbegrünung | | +10,04 | | | +10,04 | |
| + Fassadenbegrünung | | +1,01 | | | +1,01 | |
| Fläche gesamt | 1.773,16 | 654,81 | 2.427,97 | 3.852,15 | 1.257,35 | 5.109,51 |
| % | 98,8% | 102,5% | 99,8% | 99,5% | 101,3% | 99,9% |
| CO ₂ -Budget [t/a] | 15.071,89 | 1.440,58 | 16.512,48 | 32.743,31 | 2.766,17 | 35.509,48 |
| % | 98,8% | 102,5% | 99,1% | 99,5% | 101,3% | 99,6% |
| Differenz | | | | | | |
| Fläche [ha] | -21,28 | 15,85 | -5,42 | -21,28 | 15,85 | -5,42 |
| % | -1,2% | 2,5% | -0,2% | -0,5% | 1,3% | -0,1% |
| CO ₂ -Budget [t/a] | -180,87 | 34,88 | -145,99 | -180,87 | 34,88 | -145,99 |
| % | -1,2% | 2,5% | -0,9% | -0,5% | 1,3% | -0,4% |
| Potenzielle Ausgleichsfläche [ha] | | Wald oder Grünland | 17,18 66,36 | | Wald oder Grünland | 17,18 66,36 |
| Gebäude GE/GI | | | | | | |
| Fläche NGF [ha]* | | | 10,04 | | | 10,04 |
| CO ₂ -Budget [t/a] | | | -993,87 | | | -993,87 |
| Gesamtbilanz | | | | | | |
| CO ₂ -Budget [t/a] | | | -1.139,86 | | | -1.139,86 |
| % | | | -6,8% | | | -3,2% |
| Potenzielle Ausgleichsfläche [ha] | | Wald oder Grünland | 134,10 518,12 | | Wald oder Grünland | 134,10 518,12 |

Unterschiede in gelben Feldern. * NGF = Nettogrundfläche, exemplarisch berechnet aus 80% GRZ und 1 Nutzetage für GI oder 2 Nutzetaen für GE).

Tab. 15: Überschlägige, vereinfachte CO₂-Bilanz für den Waldverbund i. w. S. (Waldverbund S + N).

| Gebietsbereich ► | Klimaschutzwald S+N | | | Gesamtwald S+N | | |
|--------------------------------------|-----------------------|----------|------------------|-----------------------|----------|------------------|
| Vegetationstyp | Wald | Freiland | Gesamt | Wald | Freiland | Gesamt |
| CO2-Normbudget [kg/m²/a] | 0,85 | 0,22 | | 0,85 | 0,22 | |
| | | | | | | |
| Vegetation | | | | | | |
| Ist-Zustand | | | | | | |
| Fläche [ha] | 3.942,54 | 1.512,22 | 5.454,76 | 8.092,04 | 2.864,83 | 10.956,88 |
| % | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| CO2-Budget [t/a] | 33.511,58 | 3.326,88 | 36.838,46 | 68.782,38 | 6.302,63 | 75.085,01 |
| % | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| Plan-Zustand | | | | | | |
| Fläche [ha] | | | | | | |
| - Walddrohung | -21,28 | | | -21,28 | | |
| + Grünflächen | | +4,81 | | | +4,81 | |
| + Dachbegrünung | | +10,04 | | | +10,04 | |
| + Fassadenbegrünung | | +1,01 | | | +1,01 | |
| Fläche gesamt | 3.921,26 | 1.528,07 | 5.449,33 | 8.070,77 | 2.880,69 | 10.951,45 |
| % | 99,5% | 101,0% | 99,9% | 99,7% | 100,6% | 100,0% |
| CO2-Budget [t/a] | 33.330,71 | 3.361,76 | 36.692,46 | 68.601,51 | 6.337,51 | 74.939,02 |
| % | 99,5% | 101,0% | 99,6% | 99,7% | 100,6% | 99,8% |
| Differenz | | | | | | |
| Fläche [ha] | -21,28 | 15,85 | -5,42 | -21,28 | 15,85 | -5,42 |
| % | -0,5% | 1,0% | -0,1% | -0,3% | 0,6% | -0,0% |
| CO2-Budget [t/a] | -180,87 | 34,88 | -145,99 | -180,87 | 34,88 | -145,99 |
| % | -0,5% | 1,0% | -0,4% | -0,3% | 0,6% | -0,2% |
| Potenzielle Ausgleichsfläche [ha] | Wald oder Grünland | | 17,18 66,36 | Wald oder Grünland | | 17,18 66,36 |
| | | | | | | |
| Gebäude GE/GI | | | | | | |
| Fläche NGF [ha]* | 10,04 | | | 10,04 | | |
| CO2-Budget [t/a] | -993,87 | | | -993,87 | | |
| | | | | | | |
| Gesamtbilanz | | | | | | |
| CO2-Budget [t/a] | -1.139,86 | | | -1.139,86 | | |
| % | -3,1% | | | -1,5% | | |
| Potenzielle Ausgleichsfläche [ha] | Wald oder Grünland | | 134,10 518,12 | Wald oder Grünland | | 134,10 518,12 |

Unterschiede in gelben Feldern. * NGF = Nettogrundfläche, exemplarisch berechnet aus 80% GRZ und 1 Nutzetage für GI oder 2 Nutzetaen für GE).

5.5 Wasserhaushalt

Durch die Rodung mit nachfolgender Verdichtung sind Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu erwarten. Im jetzigen Zustand wird das Plangebiet als wichtiger Wasserspeicher eingestuft.

In der vorliegenden Untersuchung soll auf Grundlage vorliegender Untersuchungen die mögliche Beeinflussung des geplanten Gewerbegebiets auf den Wasserhaushalt begutachtet und bewertet werden.

Für die Bearbeitung erfolgt eine Bilanzierung der wesentlichen Komponenten des lokalen Wasserhaushalts (Oberflächenabfluss, Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser) für die aktuelle und die geplante Nutzung. Anschließend erfolgt eine Ableitung quantitativer Zielgrößen für die Regenwasserbewirtschaftung und eine Bewertung der möglichen Zielerreichung.

5.5.1 Bestandssituation im Einzugsgebiet

Niederschlag

Die Niederschlagsmengen betragen entsprechend der Untersuchung von PIEWAK (2024) im Untersuchungsraum zwischen 750 und 950 mm/a.

Aus den im Gutachten verwendeten RADOLAN-Niederschlagsdaten wurden für den Zeitraum A (September 2021 bis August 2022) und B (September 2023 bis August 2023) folgende Niederschlagsmengen ermittelt:

A: 513,5 mm B: 726,8 mm

Bezogen auf die Größe des Baugebiets errechnet sich daraus ein Niederschlagsvolumen von 1.027 m³ für den Zeitraum A und 1.454 m³ für den Zeitraum B. Verglichen mit dem mittleren Jahresniederschlag handelt es sich bei den beobachteten bzw. ausgewerteten Zeiträumen um trockene bzw. sehr trockene Jahre.

Abfluss

Im Bereich des geplanten Gewerbegebietes liegen zwei temporär wasserführende Grabenstrukturen sowie eine Quelle.

In den vorliegenden Gutachten (PIEWAK 2020 & 2024) wurde die Abflusssituation im Untersuchungsgebiet über Abflussmessungen untersucht und bewertet.

Entsprechend der Gutachten zeigt die Quelle ausgeprägte Schüttungsschwankungen mit geringem Grundwasseranteil. Für die Bilanzierung wird ein maßgeblicher Grundwasserzufluss im Untersuchungsgebiet daher an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Die nachfolgende **Abb. 27** zeigt das Einzugsgebiet zu den verwendeten Messstellen. Der Abfluss aus der Quelle ist in dem gemessenen Abfluss des namenlosen Grabens enthalten.

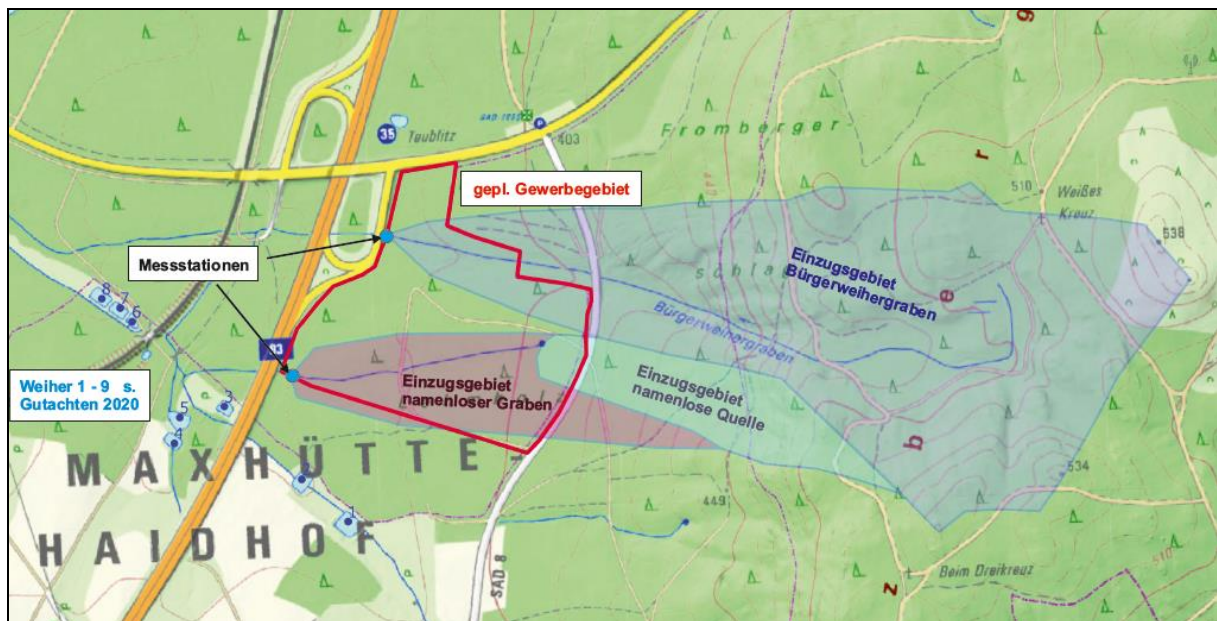


Abb. 27: Einzugsgebiete und Messstationen an den Oberflächengewässern im Untersuchungsgebiet (Quelle: PIEWAK 2024).

Für den gemessenen Zeitraum A (September 2021 bis August 2022) und B (September 2023 bis August 2023) wurden an den Messstellen folgende Abflussmengen registriert:

- A
 - Bürgerweihergraben 21.517 m³
 - Namenloser Graben 2.768 m³
 - Summe = 24.285 m³
- B
 - Bürgerweihergraben 43.519 m³
 - Namenloser Graben 7.036 m³
 - Summe = 50.555 m³

Die Einzugsgebietsgröße der Gräben bis zu den Messstellen beträgt insgesamt 130 ha.

Umgerechnet auf das Baugebiet (20 ha) werden daher für die Bilanzierung ein Oberflächenabfluss der heutigen Waldflächen von 3.740 m³ für den Zeitraum A bzw. 7.780 m³ für den Zeitraum B angenommen.

Interzeption und Verdunstung

Die Verdunstungsmengen betragen entsprechend der Untersuchung von PIEWAK (2024) im Untersuchungsraum über 600 mm/a. Verglichen mit den Niederschlagsmengen von im Mittel 750 mm bis 950 mm pro Jahr bedeutet dies einen Verdunstungsfaktor von ca. 70%.

Bilanzierung der hydrologischen Daten

Die in Kapitel 5.5.1 aufgeführten Gebietsdaten wurden für den beobachteten Zeitraum September 2021 bis August 2023 (2 Jahre) bilanziert:

- Der Niederschlag für das Baugebiet beträgt insgesamt $1.240 \text{ mm} = 248.000 \text{ m}^3$ für 20 ha.
- Der Abfluss für das Baugebiet beträgt insgesamt 11.520 m^3 für 20 ha = 58 mm.

Daraus folgt, dass in dem beobachteten Zeitraum von 2 Jahren 1.182 mm bzw. insgesamt 236.480 m^3 der Verdunstung oder dem Grundwasser zugeführt werden.

Entsprechend dem vorliegenden Gutachten (PIEWAK 2020) liegt die Grundwasserneubildung zwischen 50 und 150 mm/a . Daraus kann geschlossen werden, dass ein Großteil des Niederschlagswassers über die Bäume und die anmoorigen Böden verdunstet.

Mit der in PIEWAK (2024) angegebenen Verdunstungsrate von 70% ergibt sich folgende Bilanz (in mm) für den Zeitraum von 2 Jahren:

- Niederschlag = 1.240 mm (gemessen) = 620 mm/a
- Abfluss = 58 mm (gemessen) = 29 mm/a
- Verdunstung = 868 mm (berechnet mit $0,7 \times$ Niederschlag) = 434 mm/a
- Grundwasserneubildung = $1.240 \text{ mm} - 58 \text{ mm} - 868 \text{ mm} = 314 \text{ mm} = 157 \text{ mm/a}$

5.5.2 Planzustand

Niederschlag

Für den Niederschlag sind aufgrund der geplanten Nutzungen keine Änderungen zu erwarten. Bezogen auf das Baugebiet errechnet sich somit analog zum Ist-Zustand ein Gesamtvolumen für den Betrachtungszeitraum von $620 \text{ mm/a} = 124.000 \text{ m}^3/\text{a}$.

Abfluss

Für den Istzustand ist ein Gesamtabfluss von 11.520 m^3 in 2 Jahren ermittelt worden. Bezogen auf den Niederschlag (248.000 m^3) errechnet sich somit für das unbebaute Gebiet ein Abflussbeiwert von $11.520 / 248.000 = 0,05$.

Durch die Versiegelung der Flächen für Gebäude und Verkehrsflächen im Baugebiet wird der Abflussbeiwert deutlich beeinflusst. Versiegelte Flächen sind zu $90\% - 100\%$ abflusswirksam. Bei einem angenommenen – für Gewerbegebiete gewöhnlichen – Versiegelungsgrad von 80% erhöht sich der Abflussbeiwert somit entsprechend auf maximal $0,8$.

Daraus berechnet sich für den Betrachtungszeitraum ein Gesamtabfluss von:

$$248.000 \times 0,80 = 198.400 \text{ m}^3 \text{ bzw. } 992 \text{ mm in 2 Jahren.}$$

Verdunstung und Grundwasserneubildung

Da durch die höhere Versiegelung der Abflussanteil steigt, wird weniger Wasser für die Verdunstung und die Grundwasserneubildung zur Verfügung stehen:

$$1.240 \text{ mm Niederschlag} - 992 \text{ mm Abfluss} = 248 \text{ mm in 2 Jahren}$$

Unter der Annahme, dass sich das Verhältnis der Grundwasserneubildung zur Verdunstung im Planzustand gegenüber dem Istzustand nicht verändert, können von den 248 mm 36% (90 mm) der Grundwasserneubildung zugeordnet werden.

5.5.3 Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung

Werden die hydrologischen Daten aus dem Istzustand mit den ermittelten Daten aus dem Planzustand verglichen, wird der Einfluss der geplanten Bebauung auf die hydrologischen Kenndaten im Untersuchungsgebiet deutlich (**Abb. 28**).

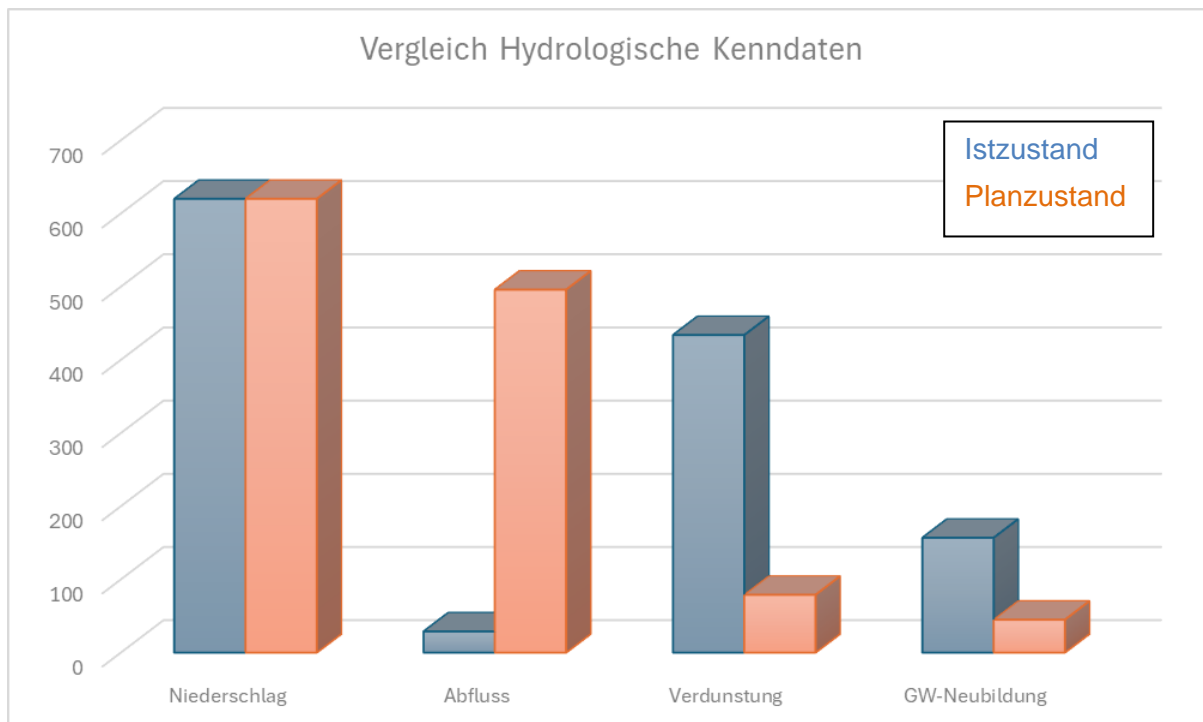


Abb. 28: Vergleich der hydrologischen Kenndaten zwischen Istzustand und Planzustand für das Untersuchungsgebiet.

Durch eine klimaresiliente und an den naturnahen Wasserhaushalt angelehnte Regenwasserbewirtschaftung können die Auswirkungen auf den hydrologischen Wasserkreislauf deutlich reduziert werden.

Durch den Einsatz von intensiver Dachbegrünung und Fassadenbegrünung wird der Abflussbeiwert der Dachflächen im Einzugsgebiet um bis zu 100% reduziert. Die eingesetzten Pflanzen auf dem Dach und an den Fassaden sorgen für eine Vergrößerung der Interzeptionspeicher, sodass mehr Regenwasser für die Verdunstung zur Verfügung steht.

Für die Verkehrsflächen können je nach Nutzungsart bzw. Verkehrsbelastung teilversiegelte Flächen (Pflasterung mit Fugen) ausgewählt werden, oder eine Versickerung des Niederschlagswassers über Mulden-Rigolen-Systeme vorgesehen werden, die eine Reinigung des Wassers über die belebte Bodenzone beinhalten.

Zur Einschätzung der Wirksamkeit von o. g. Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung werden zur Bilanzierung folgende Annahmen getroffen:

- Die geplante Bebauung nimmt 80% der Gesamtfläche des Baugebiets ein (16 ha)
- Die Hälfte der geplanten Bebauung besteht aus Dachflächen (8 ha)
- Davon werden 50% mit intensiver Dachbegrünung und
- 50% mit extensiver Dachbegrünung versehen.
- Die Hälfte der geplanten Bebauung besteht aus Verkehrsflächen (8 ha)

- Davon werden 30% mit teilversiegeltem Belag versehen und
- 70% über ein Mulden-Rigolen-System versickert.

Für die getroffenen Annahmen werden die mittleren Abflussbeiwerte nach DIN 1986-100 (Tabelle 9) ermittelt, um die abflusswirksame Fläche zur Bilanzierung zu bestimmen (**Tab. 16**).

Tab. 16: Ermittlung der abflusswirksamen Fläche unter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung.

| | Gesamtfläche [ha] | Abflussbeiwert [-] | Abflusswirksame Fläche [ha] |
|---|----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Dachflächen mit intensiver Dachbegrünung | 4 | 0,1 | 0,4 |
| Dachflächen mit intensiver Dachbegrünung | 4 | 0,4 | 1,6 |
| Verkehrsflächen mit Teilversiegelung (Pflaster mit Fugen) | 2,4 | 0,7 | 1,68 |
| Verkehrsflächen mit Vollversiegelung (Asphalt) | 5,6 | 0,9 | 5,04 |
| SUMME | 16 ha | 0,436 | 8,72 ha |

Für die Bilanzierung ergeben sich dann folgende Kennwerte:

- Niederschlag = 620 mm/a (unverändert)
- Abfluss = $620 \cdot 0,44 = 270$ mm/a (Niederschlag x Abflussbeiwert aus Tab. 16)
- Verdunstung und Grundwasserneubildung = $620 \text{ mm/a} - 270 \text{ mm/a} = 350 \text{ mm/a}$

Über die Versickerungsanlagen wird in der Planung Niederschlagswasser zur Grundwasserneubildung bereitgestellt. Daher gehen wir von einer unveränderten Aufteilung zwischen Verdunstung und Grundwasserneubildung aus:

- Verdunstung = $350 \text{ mm/a} \cdot 0,64 = 224 \text{ mm/a}$
- Grundwasserneubildung = $350 \text{ mm/a} \cdot 0,36 = 126 \text{ mm/a}$

Unter der Annahme, dass der Abfluss aus den Dach- und Verkehrsflächen nahezu vollständig über ein Mulden-Rigolen-System versickert werden kann und nur bei Starkregen ein Abfluss über die Oberflächengewässer erfolgt, kann für die Bilanzierung der Abflussanteil mit 0% angenommen werden, da das gesamte Niederschlagswasser der Verdunstung und Grundwasserneubildung zur Verfügung steht. Daraus folgt:

- Niederschlag = 620 mm/a
- Abfluss = 0 mm/a
- Verdunstung = 397 mm/a
- Grundwasserneubildung = 223 mm/a

Die nachfolgende **Abb. 29** zeigt die Auswirkungen der Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung auf die hydrologische Wasserbilanz.

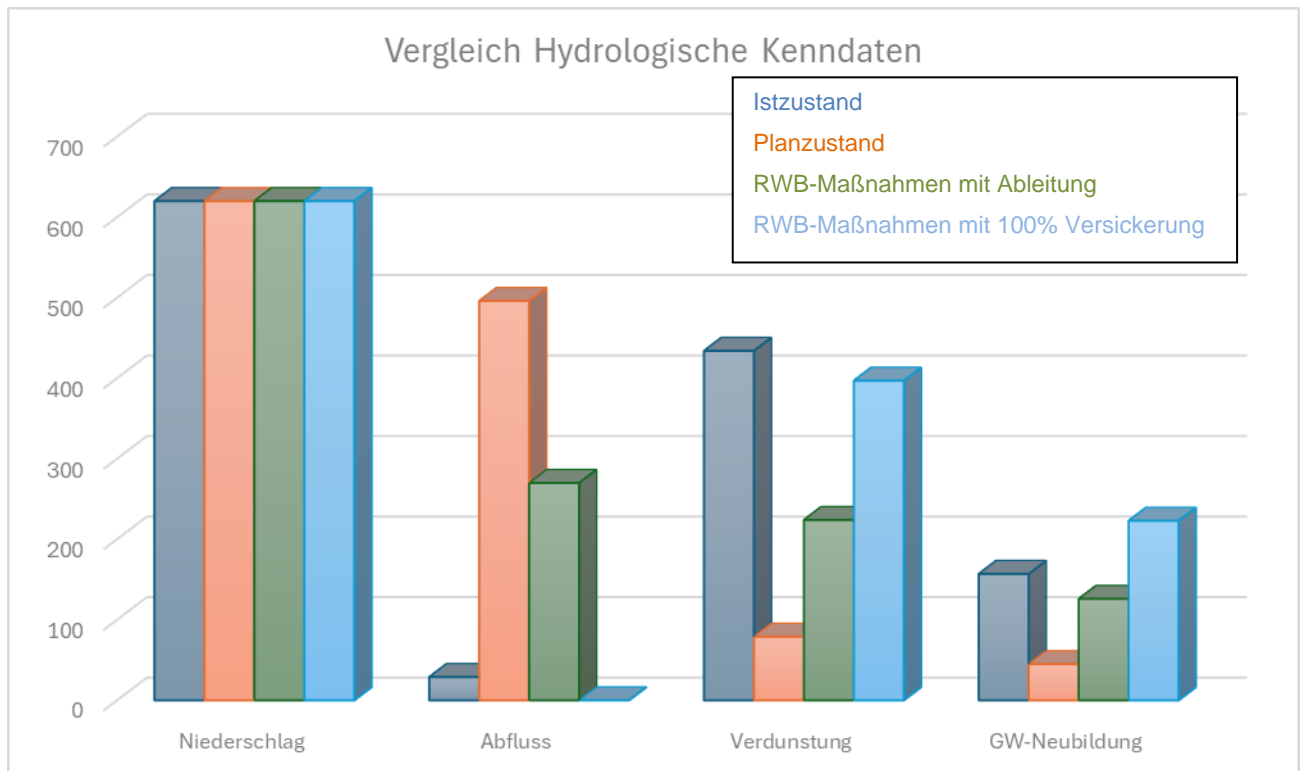


Abb. 29: Einfluss von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB-Maßnahmen) auf die hydrologischen Kennwerte im Untersuchungsgebiet.

In der Grafik ist den Einfluss der Maßnahmen auf die Komponenten Abfluss, Verdunstung und Grundwasserneubildung gut zu erkennen. Über die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung ist es möglich, die Auswirkungen der Bebauung zu minimieren. Ohne diese Maßnahmen wirkt sich eine Bebauung besonders hinsichtlich der Komponenten Verdunstung und Grundwasserneubildung sehr nachteilig aus.

5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Wald des Plangebietes stellt sich im Gegensatz zu den Siedlungen Teublitz und Katzhelm **thermisch** als mild und ohne sommerliche Wärmebelastung dar, während die Austauschverhältnisse sehr schwach sind und mangels Ventilationsbahnen keine Wirkungen auf die Siedlungen haben.

Die im Plangebietsbereich über den Baumkronen zu erwartenden **lokalen Kaltluftflüsse** sind bereits im Ist-Zustand zu niedrig und langsam sowie bezüglich des Erreichens des Siedlungsrandes zu segmentiert, sodass sie zu einer Belüftung der Siedlungsbereiche nicht beitragen. Das Planvorhaben hat daher keinen zusätzlichen Einfluss auf die mangelnde Kaltluftventilation.

Die **regionalen Windfelder** zeigen oberhalb des Kronendachs des Plangebietes sehr schwache, von den Siedlungen weggerichtete Kaltluftströmungen. Im Bodenniveau (Stammraum) des Plangebietswaldes sind die Kaltluftströme ebenfalls schwach und von den Siedlungen weggerichtet. Die Planungshinweiskarte stuft den Plangebietsbereich daher als klimatischen Ausgleichsraum von nur *geringer Bedeutung* ein. Eine Wirkung auf Siedlungen ist nicht gegeben. Die klimatische Wohlfahrtswirkung bleibt auf die örtliche Erholfunktion beschränkt.

Bei der **Windwurfgefahr** bzw. Sturmgefährdung ist davon auszugehen, dass die vermutlich großen Gebäude des Planentwurfs den Wind auf unkritische Windgeschwindigkeiten bremsen werden und damit die Windwurfgefahr eher gering ist

Die **Luftqualität** ist im Plangebietsbereich als eher unkritisch einzustufen. Im Plangebiet werden die Grenzwerte für Stickoxide und Feinstaub sicher eingehalten. Die Walrodung wird keine nennenswerten Auswirkungen auf die Umgebung haben und in den umliegenden Bebauungen nicht mehr nachweisbar sein,

Bei ausschließlicher Betrachtung der Veränderungen der Außenbereiche des Planvorhabens sind je nach Bezug zur Waldflächengröße die **CO₂-Speicherverluste** von 0,9 % bis 0,2 % sehr gering. Bei einer weiteren Ausdehnung des Waldflächenbezuges beispielsweise auf Landkreisebene wird der Anteil des hiesigen Waldes am CO₂-Speicher bereits vernachlässigbar. Bei der Planung der späteren Nutzung sollte jedoch auf minimale Treibhausgasemissionen geachtet werden.

Beim **Wasserhaushalt** wird aufgrund der durch die Baumaßnahme zu erwartenden Versiegelung der Oberflächenabfluss deutlich zunehmen, sodass für Verdunstung und Grundwasserneubildung weniger Wasser zur Verfügung steht und diese entsprechend abnehmen werden. Für die ausstehende Erschließungsplanung wird eine Versickerung empfohlen und sollte geprüft werden. Aufgrund des kleinen hydrologischen Einzugsgebiets sind nur lokale Veränderungen im direkten Umfeld der geplanten Bebauung zu erwarten.

Fazit: Da bereits im Ist-Zustand das Plangebiet keine ungünstigen klimatischen Wirkungen auf die umliegenden Siedlungsbereiche zeigt, sind vom Planvorhaben keine weiteren Auswirkungen zu erwarten.

6 Empfehlungen für die weitere Planung

Der weiterhin um das Plangebiet gelegene Wald hat im Sinne einer Immissionsschutzpflanzung eine puffernde Wirkung bezüglich Spurenstoffen und Lärm, zumal aufgrund der vorgeschlagenen Gebäudehöhen die Baukörper niedriger als der Wald sein werden, sodass das Windfeld der Umgebung kaum gestört werden dürfte. Daher sollten die maximalen Gebäudehöhen 18 m ü. Gr. nicht überschreiten.

Darüber hinaus beinhaltet eine klimaoptimierte Bebauung idealerweise folgende Maßnahmenbündel (vgl. z. B. MUNLV 2010 oder MW-BW 2012):

- Aufgelockerte Gebäudeanordnungen sowie Vermeidung von Gebäuderiegeln zur Verbesserung der Durchlüftung für den Abtransport von Hitze oder Spurenstoffen.

- Unversiegelte, optimalerweise begrünte Flächen, zur Niederschlagsversickerung und Bodenbefeuchtung im Hinblick auf die Nutzung der Verdunstungskälte zur Hitzeminderung.
- Helle Oberflächen von Gebäuden und Versiegelungsflächen sowie Dachbegrünungen zur Reduzierung einer Gebäudeaufheizung durch Sonneneinstrahlung.
- Verschattung sonnenexponierter Oberflächen und Fassaden zur Hitzeminderung durch Sonnenschutzelemente, Fassadenbegrünungen oder optimalerweise Bäumen.
- Energiesparende Bauweise und Nutzung regenerativer Energiequellen zur Reduzierung von Spurenstoffbelastungen (Luftqualität).

Bezüglich der Windwurfgefahr wird empfohlen, die Waldrodung ggf. entsprechend dem Baufortschritt vorzunehmen, um die „Kahlschlagsituation“ mit einer entsprechend höheren Gefährdung bei eventuell auftretenden Sturmereignissen möglichst zu minimieren.

Beim Wasserhaushalt kann durch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (s. Kap. 5.5.3, S. 48) der erwartete Anstieg des Oberflächenabflusses deutlich gemindert werden. In der Umsetzung ist daher darauf zu achten, dass ein Höchstmaß an Maßnahmen zur Verminderung des Oberflächenabflusses umgesetzt wird (z. B. Dach- und Fassadenbegrünung). Eine Bewirtschaftung, die den aktuellen (natürlichen) Wasserkreislauf unbeeinflusst lässt, ist aufgrund der Nutzung als Gewerbegebiet vermutlich nicht möglich.

7 Abschließende Bemerkung

Die vorliegenden Ergebnisse wurden ohne erneute Datenerhebung per Plausibilitätsprüfung und Analogieschluss auf Grundlage vorhandener Fachunterlagen und Gutachten, Expertenwissens und anerkannter empirischer Methoden erarbeitet. Daher können die Aussagen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein. Sie sind jedoch schlüssig und plausibel, sodass die Aussagen mit hoher Wahrscheinlichkeit zutreffen werden.

Sollte dennoch eine genaue quantitative Analyse erforderlich sein, wird die ergänzende Anwendung von anerkannten numerischen Klimasimulationsverfahren oder anderen dezidierten Verfahren erforderlich.

8 Arbeitsmaterialien und Literatur

8.1 Arbeitsmaterialien

BASEMAP.DE (2024): Digitale Kartendienste der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), c/o Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, München.

DWD (2024) DWD-Geodienste, Klimakarten von Deutschland. <https://maps.dwd.de/geoserver/dwd/wms?service>.
Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M:

- Durchschnittstemperatur 1961-1990 (Jahresreferenzkarte)
- Sommertage 1971-2000
- Mittl. jährl. Windgeschwindigkeit [0.1 m/s] in 10 m ü. Gr. für 1981-2000

GOOGLE (2024): Luft- und Vogelperspektivenbilder. Google Maps/Google Earth 2024, © Google 2024, Kartendaten © 2024 GeoBasis-DE/BGK, © 2024 Google.

LDBV – Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (2024): Geodatendienst "WMTS Geobasisdaten Bayern", München:

- Digitales Gebäudemodell
- Digitales Geländehöhenmodell.
- Digitale Orthophotos
- Topografische Karten

LFU Bayerisches Landesamt für Umwelt (2024): Landesweite Schutzgutkarte Klima/Luft für die Landschaftsrahmenplanung, Augsburg. 138 S

FLORA & FAUNA (2020): Übersichtskartierung der Biotope im geplanten Gewerbegebiet Teublitz, FLORA & FAUNA Partnerschaft, Regensburg im August 2020

PIEWAK (2020): Teublitz – Hydrogeologische Beurteilung einer Quelle für die Ausweisung eines Gewerbegebietes an der A93, Piewak & Partner GmbH, Bayreuth am 23.11.2020

PIEWAK (2024): Teublitz – Abflussmessungen zur hydrologischen Beweissicherung zur Errichtung eines Gewerbegebietes, Piewak & Partner GmbH, Bayreuth am 24.01.2024

STADT TEUBLITZ (2021): Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan "Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz" im Maßstab 1:1.000 vom 18.02.2021

STMLF - Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (2024): Waldentwicklungsplanung. München. Datenlizenz CC BY 4.0

TAUW (2020): Industrie- und Gewerbegebiet an der Autobahnanschlussstelle Teublitz, Baugrundgutachten, TAUW GmbH, Regensburg am 14.10.2020

8.2 Literatur

39. BImSchV: Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), die zuletzt durch Artikel 112 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

BauGB (2023): "Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394) geändert worden ist"

BAUMÜLLER, J. & L. KATZSCHNER (2023): Stadtklima und Klimaanpassung in der städtebaulichen Planung. promet, Heft 106, 115-123, Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M.

BImSchG (2023): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist.

BNatSchG (2024): „Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist"

BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modelling of drainage flows. Washington (= Draft document, atmospheric turbulence and diffusion laboratory, NOAA), 1979.

DEFANT, F. (1933): Der Abfluss schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden nebst einigen Bemerkungen zur Theorie stationärer Luftströme. In: Sitzungsberichte der preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse 18 (1933), S. 624/635.

DGNB (2021): Benchmarks für Die Treibhausgasemissionen Der Gebäudekonstruktion. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen –DGNB e.V., Stuttgart, 19 S.

DÜTEMEYER, D. (2000): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. = Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S. Hohenwarsleben, zgl. Diss. Univ. Essen 1999.

GEG (2023): Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280) geändert worden ist.

HBEFA (2022): 4.2.2 - Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs - Version 4.2.2, U. Dessau, Hrsg., INFRAS AG, Bern/Schweiz, 2022.

HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M.J. KERSCHGENS (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2.Aufl., Springer-Verlag, Berlin.

HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klim

KAnG (2023): Bundes-Klimaanpassungsgesetz vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 393)

KUTTLER, W. (2011a): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.

- KUTTLER, W. (2011b): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen; Climate change in urban areas, Part 2, Measures. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, Doi: 10.1186/2190-4715-23-21, S. 1-15.
- KUTTER, W. & G. GROSS (2023): Charakteristika des Stadtklimas. promet, Heft 106, 3-13, Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M.
- LUBW (2016) (Hrsg.): Kommunale Klimaanpassung durch die Landschaftsplanung. Ein Leitfaden von A. May, P. Arndt, L. Radtke, S. Heiland. (KLIMOPASS-Bericht). LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Dezember 2016. 247. S.
- MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 66, 4, 165-174.
- MAYER, H., BECKRÖGE, W. & A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. – UVP-Report, 5, 265 -268.
- METSOFT (2024): Bigalke, K.; Rau, M. et al., Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihen (SynAKTerm) und Ausbreitungsklassenstatistiken in der Version 3.0, Pinnberg, Heilbronn: www.metssoft.de, 2024.
- MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel online. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- RLUS (2023a) „Richtlinie zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung - RLUS 2023,“ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, 2023. FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
- RLUS (2023b) Lohmeyer GmbH, IVU, „PC-Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung RLUS Version 3,“ Radebeul, 2023.
- ROMBERG, E.; et al (1996), NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Nr. 56 Jahrgang 1996, pp.215-218, 1996.
- SCHERER, D. (2023): Temperatur und Hitze in der Stadt. promet, Heft 106, 15-25, Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M.
- SCHLAMBERGER, C. (2020), „Methodenverbesserung zur modelltechnischen NO₂-Bestimmung,“ Professur für Umweltmeteorologie, Freiburg, 2020.
- TA-Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021.
- UBA (2016): Praxishilfe Klimaanpassung in der räumlichen Planung – Raum- und fachplanerische Handlungsoptionen zur Anpassung der Siedlungs- und Infrastrukturen an den Klimawandel. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 166 S.
- UBA (2020): CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes. https://uba.co2-rechner.de/de_DE/living-hs#panel-calc
- UVP-G (2024): „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes vom 8. Mai 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 151) geändert worden ist“
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003a): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 - Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003b): VDI-Richtlinie 3782, Blatt 7 - Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, 2003. VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie,
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthy
- WIESNER, K. P. (1986): Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung. = Heidelberger Geogr. Arb., 79. Heidelberg, 83 S.

Anhang

A1 Empirische Berechnungen zu Kaltluftprozessen

Auswirkungen von Kaltluftprozessen werden über die etablierten empirisch-statistischen Verfahren der Karten- und Reliefanalyse gemäß der VDI-„Kaltlufttrichtlinie“ VDI 3787 Blatt 5 (2003) zur Ersteinschätzung von Merkmalen von Kaltluftprozessen vorgenommen.

- Abschätzung der Kaltluftproduktion nach dem statistischen Modell nach WIESNER
- Abschätzung von Kaltluftschichtdicken und -fließgeschwindigkeiten nach DEFANT und BRIGGS

Die Verfahren erlauben die plausible Abschätzung der Kaltluftproduktion sowie der Kaltluftschichtdicken und -fließgeschwindigkeiten von Kaltluftflüssen.

Berechnung der Kaltluftproduktion nach WIESNER

Ein bewährter Berechnungsansatz für die Kaltluftproduktionsrate ist der auf der ÅNGSTRØM-Gleichung basierende Ansatz von WIESNER (1986), der über eine vereinfachte Energiebilanzgleichung die Auskühlung verschiedener Oberflächen zum Zeitpunkt der maximalen Inversionshöhe in Abhängigkeit der Jahreszeiten berechnet.

$$V_{KL} = \frac{\alpha_{ST} \varepsilon (a - b 10^{-ce}) (T_{KL} - T_B) \Delta t A_F}{\rho_L c_p \Delta T_R} \quad \text{m}^3$$

| | | |
|---------------|--|-----------------------------------|
| mit V_{KL} | : Kaltluftvolumen | m^3 |
| α_{ST} | : Strahlungsübergangskoeffizient | $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ |
| ε | : thermischer Emissionskoeffizient | 1 |
| a, b, c | : empirische ÅNGSTRØM-Konstanten der langwelligen Ausstrahlung | 1 |
| e | : aktueller Dampfdruck | hPa |
| T_{KL} | : absolute Kaltlufttemperatur | K |
| T_B | : absolute Lufttemperatur in Bodennähe | K |
| Δt | : Andauer der Ausstrahlung | s |
| A_F | : Ausstrahlungsfläche | m^2 |
| ρ_{KL} | : Kaltluftdichte | kg/m^3 |
| c_p | : spezifische Wärmekapazität trockener Luft bei konstantem Druck | $\text{J}/(\text{kg K})$ |
| ΔT_R | : Betrag der Strahlungsabkühlung der Luft | K |

In Anbetracht der Variablenvielfalt der meteorologischen und pedologischen Einflussfaktoren können für konkrete Flächen in natura Kaltluftvolumenangaben oftmals nur mittels Parametrisierungen getroffen werden, da aufgrund der normalerweise heterogenen Oberflächenstruktur die Variablenwerte flächenmäßig nicht exakt bestimmt werden können oder für di-

verse Oberflächentypen unbekannt sind. Wiesner (a.a.O.) hat für die Freilandnutzungen Wiese, Brache, Acker, Laubwald, Nadelwald und Gewässer typische Werte für die Kaltluftproduktion in Abhängigkeit der Jahreszeiten berechnet.

Verwendete Konstanten in der ÅNGSTRØM-Gleichung:

| | | |
|--------------------|---------------|---------|
| Spez. Wärme C_p | in $J(m^3 K)$ | 1004,67 |
| Ångstrømkonstanten | a | 0,820 |
| | b | 0,250 |
| | c | 0,126 |

| Jahreszeit | | Frühjahr | Sommer | Herbst | Winter |
|--|---------------|----------|--------|--------|--------|
| Thermischer Emissionskoeffizient ε | Wiese | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 |
| | Brache | 0,950 | 0,950 | 0,950 | 0,950 |
| | Acker | 0,940 | 0,960 | 0,960 | 0,940 |
| | Laubwald | 0,940 | 0,900 | 0,900 | 0,940 |
| | Nadelwald | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |
| | Wasser | 0,930 | 0,930 | 0,930 | 0,930 |
| Strahlungsübergangskoeffizient α_{ST} | in $W(m^2 K)$ | 5,090 | 5,930 | 5,370 | 4,560 |
| $T_{KL}-T_B$ | in K | 3,00 | 1,70 | 2,40 | 3,90 |
| Strahlungsabkühlung ΔT_R | in K | 2,00 | 1,50 | 2,10 | 1,80 |
| Dampfdruck e | in hPa | 8,00 | 12,60 | 8,00 | 6,30 |
| Nachtlänge Δt | in h | 14,00 | 9,00 | 14,00 | 17,00 |

Setzt man das Kaltluftvolumen in Beziehung zur Flächengröße und Andauer des Abkühlungsprozesses, erhält man die Kaltluftproduktionsrate in der Einheit $m^3/(m^2 h)$.

Zur Anwendung des Ansatzes werden die Flächengrößen der Kaltluftproduktionsgebiete bestimmt, für welche die Kaltluftproduktion anschließend berechnet wird.

Berechnung der Kaltlufthöhe und -fließgeschwindigkeit nach DEFANT und BRIGGS

Eine Abschätzung der vertikalen Mächtigkeit von Kaltluftströmen sowie deren Fließgeschwindigkeit ist anhand der empirischen Verfahren von DEFANT und BRIGGS möglich.

Die Kaltluftabflussgeschwindigkeit wird nach folgender Gleichung von DEFANT (1933) anhand der Hangneigung, der Oberflächenrauigkeit, der Kaltluftmächtigkeit, sowie der Kaltluftuntertemperatur abgeschätzt:

$$v_A = \sqrt{\frac{g h_{KL}}{\mu} \frac{\theta - \theta_{KL}}{\theta} \sin \alpha_H} \quad \text{m/s}$$

| | | |
|-----------|--|-----|
| mit v_A | : Abflussgeschwindigkeit | m/s |
| g | : Normschwerebeschleunigung; $g = 9,80665$ | m/s |
| h_{KL} | : vertikale Kaltluftmächtigkeit | m |
| μ | : DEFANTSche Reibungskonstante; $0,050 \leq \mu \leq 0,100$ für Wald, sonst $\mu = 0,002$ | 1 |

Anhang

| | | |
|---------------|--|--------|
| θ | : potenzielle Lufttemperatur (über der Kaltluft) | K |
| θ_{KL} | : potenzielle Kaltlufttemperatur | K |
| α_H | : Hangneigung | Grad ° |

Die hierbei zu bestimmende Vertikalmächtigkeit der hangabfließenden, bodennahen Kaltluftteilschicht lässt sich mit hinreichender Genauigkeit für rauigkeitsarme Flächen nach dem Ansatz von BRIGGS (1979) berechnen:

$$h_{KL} = 0,0375 \sin \alpha_H^{2/3} x_{KL} \quad \text{m}$$

| | | |
|--------------|---|--------|
| mit h_{KL} | : strömungswirksame Kaltluftmächtigkeit | m |
| α_H | : Hangneigung | Grad ° |
| x_{KL} | : zurückgelegte Fließstrecke | m |