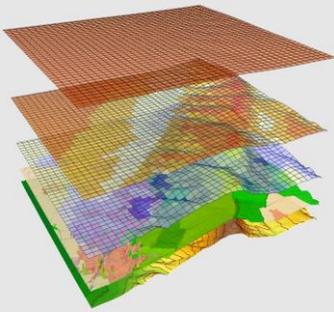


# Klimaökologisches Gutachten zum Planungsprozesses Interkommunales Gewerbegebiet Warthausen | Biberach



Auftraggeber:  
Stadtplanungsamt Stadt Biberach  
Museumsstr. 2  
88400 Biberach an der Riß



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. Günter Groß  
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)  
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und  
Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim

Hannover, Oktober 2020

## 1. Einleitung

Der Zweckverband IGI Rißtal sieht die Realisierung eines neuen interkommunalen Gewerbegebiets im Gemeindegebiet Warthausen nördlich der Stadt Biberach vor. Bei dem Gebiet handelt es sich derzeit im Wesentlichen um eine landwirtschaftlich genutzte Fläche. Eine klimaökologische Ersteinschätzung auf Basis des Stadtklimaanalyse Biberach (GEO-NET 2018) zeigt, dass im Bereich des Plangebiets eine nächtliche Kaltluftströmung aus Südost anzunehmen ist. Dies ist hinsichtlich einer Vermeidung nachteiliger bioklimatischer Auswirkungen auf die südlich angrenzenden Ortschaften Herrlishöfen, Galmuthshöfen, Barabain sowie des weiter südlich gelegenen Biberacher Stadtgebiets von Vorteil. Die Größe des überplanten Gebietes von rund 45 ha sowie die relative Nähe der genannten Ortschaften sprechen dabei für eine modellbasierte Untersuchung der klimaökologischen Auswirkung, welche im Folgenden vorgenommen wird.



Abbildung 1: Darstellung des Modellgebiets (schwarzer Kasten) mit dem Plangebiet (violett markiert).

Im vorliegenden Fachgutachten werden die aktuelle klimaökologische Situation im Plangebiet detailliert betrachtet und die Auswirkungen des geplanten Vorhabens auf die klimaökologischen Funktionen mithilfe von Modellrechnungen hinsichtlich der gegenwärtigen sowie zukünftigen Situation untersucht und beurteilt. Bei der Analyse der Modellergebnisse wird zudem auf die möglichen Auswirkungen einer Inversionswetterlage in Bezug auf die betrachtete autochthone Wetterlage eingegangen. Weiterhin werden konkrete Planungshinweise gegeben, die eine klimaangepasste Gestaltung unterstützen.



In der vorliegenden Analyse werden insgesamt zwei Modellläufe durchgeführt:

- ◆ Status quo = derzeitiger Zustand
- ◆ Plan-Zustand = Umsetzung der Bebauungsplans

## 2. Methodik der Modellrechnung

### 2.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

**Allgemeines:** Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen, wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- (und) mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hierfür relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düseneffekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

**Grundlagen mesoskaliger Modelle:** Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den großen Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

**Grundgleichungen:** Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 2).

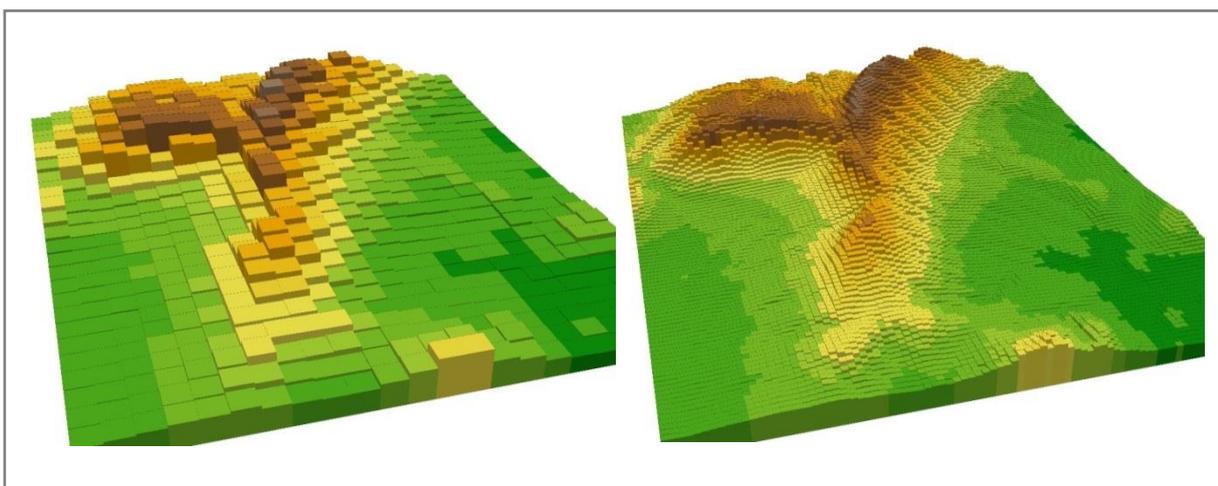


Abbildung 2: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite nur  $\Delta x$  10 m, ist damit also relativ feingliedrig. Bei allen Modellrechnungen ist die **vertikale** Gitterweite nicht äquidistant. In der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand  $\Delta z$  immer größer und die Modelobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind, also keine Auswirkungen mehr haben. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen).

**Eingangsdaten:** Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abb. 3). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren, für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll, und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

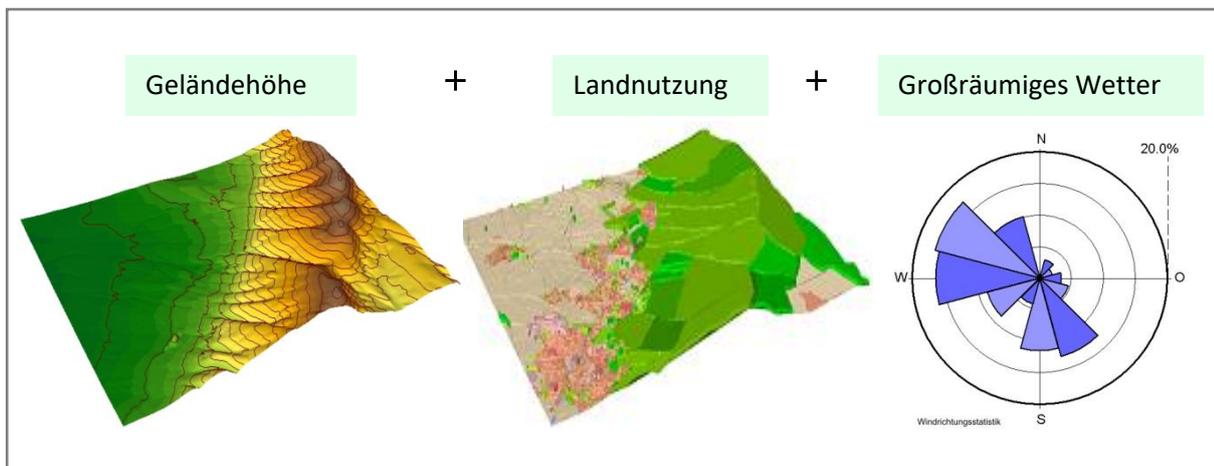


Abbildung 3: Eingangsdaten für die Modellrechnung

Alle Eingangsdaten sind jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle aufzubereiten

- Geländedaten (orografische Eingangsparameter): Geländehöhe und daraus ableitbar Neigung und Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
  - Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo, etc.
  - Bei Bewuchs: z.B. Bestandshöhe, bestandsdichte, Blattflächenverteilung, etc.
- Wetter-/Klimadaten (z.B. großräumige Anströmungsrichtung und -geschwindigkeit, Luftmassencharakteristiken wie Temperatur und Feuchte).



## 2.2 Eingangsdaten: Geländehöhe und Nutzungsstruktur

Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Klimamodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Die dafür erforderlichen planspezifischen Geodaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt bzw. liegen aufgrund der bereits durchgeführten Stadtklimaanalyse Biberach (GEO-NET 2018) bereits vor. Diese Unterlagen beinhalten ein digitales Geländehöhenmodell, Landnutzungsdaten sowie die Planungsunterlagen zum geplanten Vorhaben. Das gesamte Modellgebiet hat bei einer Abmessung von ca. 5,1 x 4,5 km eine Fläche von knapp 23 km<sup>2</sup> (schwarzer Kasten in Abb. 4). Die Festlegung des Untersuchungsgebiets erfolgt entsprechend der maximal

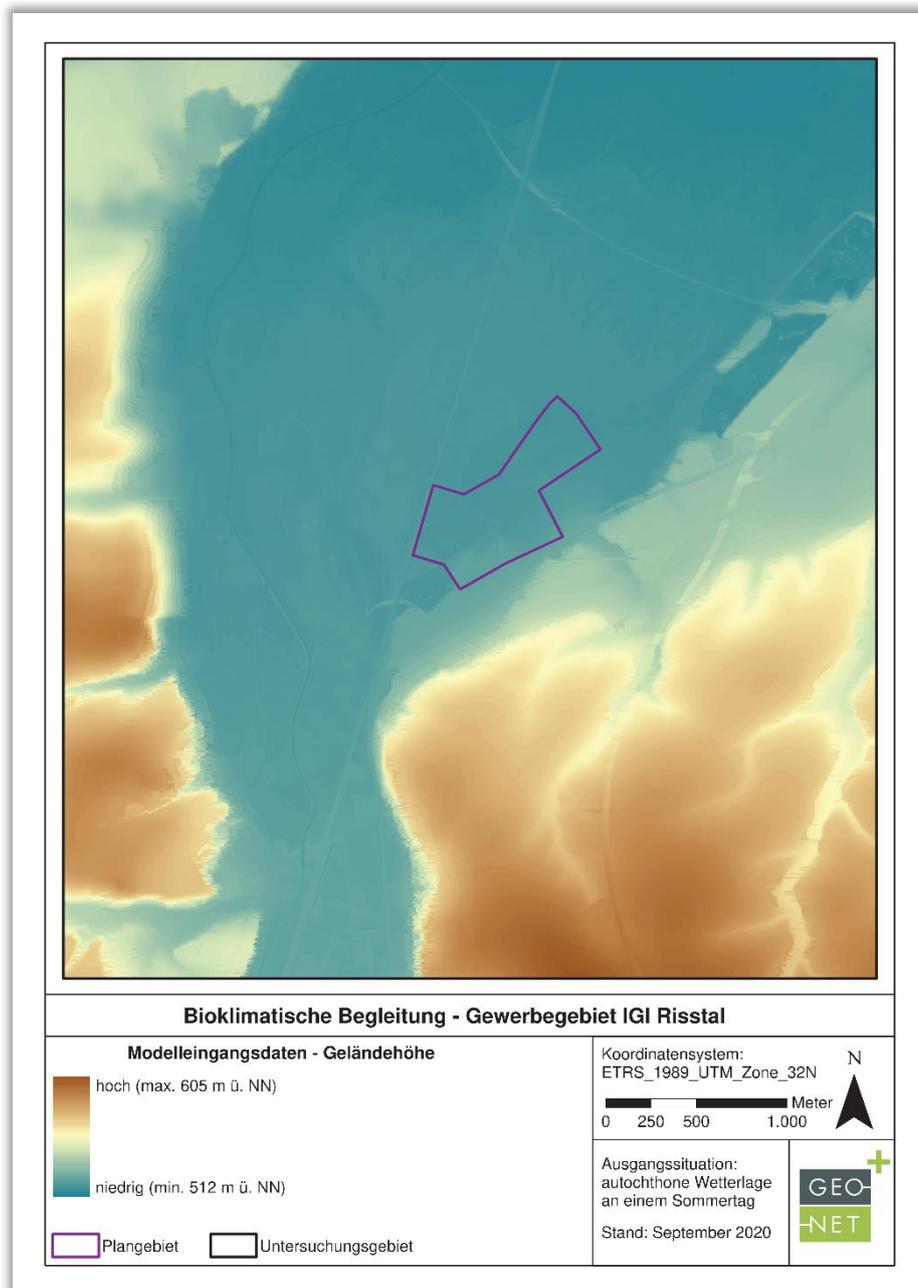


Abbildung 4: Darstellung der Geländehöhe anhand eines Digitalen Geländemodells



erwarteten klimatischen Auswirkungen der Planvarianten. Die Einschätzung beruht dabei auf Erfahrungswerten bisheriger Klimasimulationen. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte mit einer Zellengröße von 10 m. Zur Aufbereitung der orographischen Eingangsparameter für die Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell mit einer Auflösung von 5 m zurückgegriffen werden.



Abb. 5: Darstellung des Ist-Zustandes (oben), des aktuellen Planungsstandes von Bauabschnitt 1 (links), des planerischen Vorentwurfs inklusive der Abgrenzung von Bauabschnitt 2 (rechts) sowie deren Umsetzung in die Modelleingangsdaten des Plan-Szenarios (unten).

Neben der Geländehöhe ist die Nutzung eine wichtige Einflussgröße einer Klimamodellierung. Als Grundlage für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurden ALKIS-Daten sowie Planzeichnungen des Auftraggebers verwendet (STADT BIBERACH 2017, 2020). Die Angaben zur Nutzungsklassifikation sind für jede ins Modell eingehende Rasterzelle auf der Basis von Luftbildern aus dem Jahr 2019 individuell angepasst



worden. Die Planung sieht zum derzeitigen Stand zunächst die Bebauung des ersten Bauabschnittes vor. Dabei handelt es sich um den rund 32,6 ha umfassenden südwestlichen Teil des Plangebiets (siehe Abb. 5, links). Für den Bauabschnitt 2 im Nordosten liegt lediglich ein planerischer Vorentwurf vor (siehe Abb. 5, rechts). Da durch das Plan-Szenario aber der „Worst Case“ betrachtet werden soll, wurde auch dieser Bauabschnitt in Anlehnung an den Bauabschnitt 1 in die Modelleingangsdaten integriert (siehe Abb. 5, unten).

Da der derzeitige Planungsstand (Angebotsbebauungsplan) noch keine detaillierten Gebäudestellungen beinhaltet, wurden Gebäude auch im Umfeld nicht modelltechnisch berücksichtigt. Den einzelnen Flächen wurden aus diesem Grund mittlere, nutzungsklassifizierte Strukturhöhen und Oberflächenversiegelungsgrade zugewiesen. Diese basieren auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen in verschiedenen deutschen Städten (u.a. MOSIMANN et al. 1999). Um den speziellen Anforderungen der angeforderten Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 16-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet. Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen möglich zu machen. Die typischen Versiegelungs- und Strukturhöhen je Nutzungskategorie sind in **Tab. 1** aufgelistet:

Tab. 1: Nutzungskategorien im Untersuchungsgebiet

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, gekennzeichnet durch einen sehr hohen Bauungs- und Versiegelungsgrad.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute Siedlungsfläche. Geprägt durch vier- bis sechsgeschossige Mehrfamilienhäuser mit mehr oder weniger stark versiegelten Innenhofbereichen.	78	15,0
3	Industriefläche	Gewerbliche Bauflächen. Ähnlich hoher Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung, meist geringeres Bauvolumen.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zeilenbebauung, halboffene Blockrandbebauung, Hochhäuser. Typisch ist der durch unbebaute Abstandsflächen bedingte relativ hohe Freiflächenanteil.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Siedlungsflächen mit relativ geringem Überbauungsgrad im Übergang zwischen relativ dichter Reihenhausbebauung und baulich geprägter Grünfläche.	41	5,0
6	Straße	Ebenerdig versiegelte Fläche des innerörtlichen Straßenraums.	95	0,0
7	Gleis	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	1
8	Baulich beeinflusste Grünfläche	Vegetationsgeprägte Flächen mit einem erhöhten Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung. Hierzu zählen z. B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze.	25	5,0
9	Freiland, Grünfläche	Vornehmlich landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Wiesen, Weiden und Äcker. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Gehölzgeprägte Flächen wie städtische Parkareale, Obstbauflächen, Brachen, Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11	Laubwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich sommergrün.	5	12,5



12	Nadelwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich immergrün.	5	12,5
13	Mischwald	Waldgeprägte Flächen, Mischbestand.	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	0	0
33	Gewerbefläche	Gewerbliche Bauflächen. Ähnlich hoher Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung, meist geringeres Bauvolumen. Geringerer anthropogener Wärmestrom als Industrieflächen.	87	10
66	Verkehrsfläche	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums (außerhalb von Siedlungen)	95	0

### 2.3 Betrachtete Wetterlage

#### Sommerliche Hochdruckwetterlage

Die durchgeführte numerische Simulation mit FITNAH 3D legt eine **sommerliche Hochdruckwetterlage** zugrunde. Eine solche autochthone ("eigenbürtige", von lokalen und regionalen Einflüssen dominierte und damit austauscharme) Wetterlage ist durch einen wolkenarmen Himmel und maximal schwach überlagernde Winde mit herabgesetztem Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht gekennzeichnet. So können die lokalklimatischen Besonderheiten eines Betrachtungsraums besonders gut in Erscheinung treten: Die unterschiedlichen nächtlichen Abkühlungsraten des städtischen bzw. ländlichen Nutzungsmosaiks führen zur Ausbildung humanbioklimatischer Belastungs- und Entlastungsräume, zwischen denen es aufgrund der unterschiedlichen Lufttemperaturen zu Ausgleichsströmungen kommen kann.

Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen als „Worst-Case-Szenario“ folgendermaßen festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagernder geostrophischer Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50 %.

In Abb. 5 sind schematisch die für die angenommene Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine mittlere Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

Die Wärmebelastung, wie sie bei Hochdruckwetterlagen **tagsüber** auftritt, hängt ganz wesentlich von der

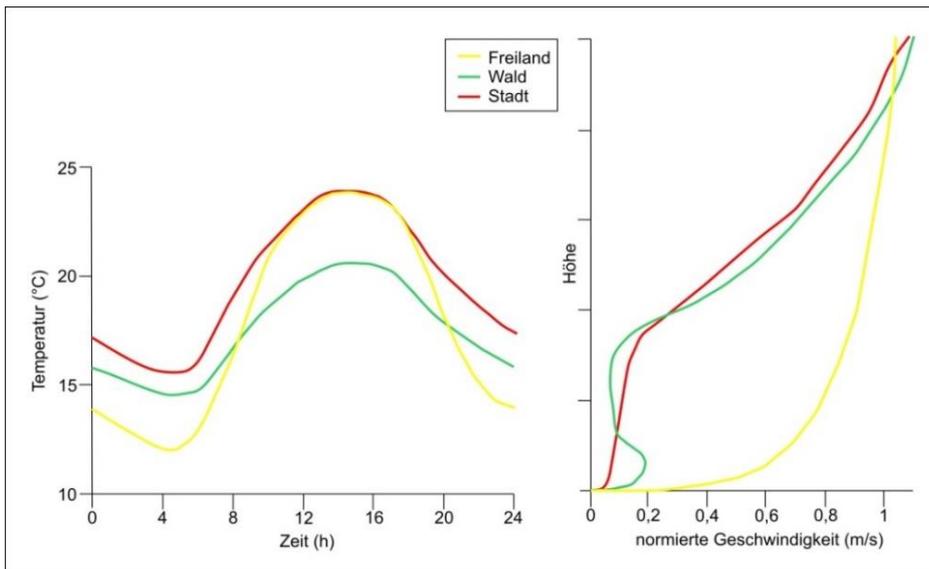


Abb.5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

jeweiligen Beschaffenheit des direkten lokalen Umfeldes ab. Veränderungen der Nutzungsintensität oder Grünausstattung weisen daher bei Tage eine räumlich nur sehr begrenzte Wirkung auf. **Nächtliche** Luftaustauschströmungen hingegen induzieren zwischen den sich unterschiedlich stark abkühlenden Flächen eine klimafunktionale Fernwirkung: Kalt- und Frischluft aus Grün- und Freiflächen trägt in der Nacht zum Abbau von thermischen und lufthygienischen Belastungen in den überwärmten Siedlungsflächen bei. Durch **Nutzungsintensivierungen** können solche Prozess- und Funktionszusammenhänge nachhaltig gestört werden. Aus diesem Grund werden die humanbioklimatischen Auswirkungen einer Planung auf ihr Umfeld beurteilt, indem die **Nachtsituation einer austauscharmen, sommerlichen Hochdruckwetterlage** untersucht wird. Da das Kaltluftprozessgeschehen in der zweiten Nachthälfte sein Maximum erreicht, beziehen sich die Auswertungen auf den Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

Neben dem räumlichen Aspekt trägt ein weiterer Umstand zur besonderen Bedeutung der nächtlichen Wärmebelastung bei: Ausgewogene thermische Verhältnisse sind eine wesentliche Bedingung für einen erholsamen Schlaf. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Humanbioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.



### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Klimasimulation repräsentieren die Nachtsituation um 4 Uhr morgens sowie die Tagsituation um 14 Uhr. Bei den modellierten Parametern handelt es sich um die bodennahe Lufttemperatur in 2 m Höhe, das bodennahe Kaltluftströmungsfeld in 2 m Höhe und den Kaltluftvolumenstrom (jeweils Nachtsituation) sowie die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) als Maß für die Wärmebelastung am Tage. Die Modellergebnisse werden je Parameter für den Status quo und das Plan-Szenario betrachtet.

#### 3.1 Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumlufte, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlafertemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur  $\geq 20$  °C als besonders belastend gelten.

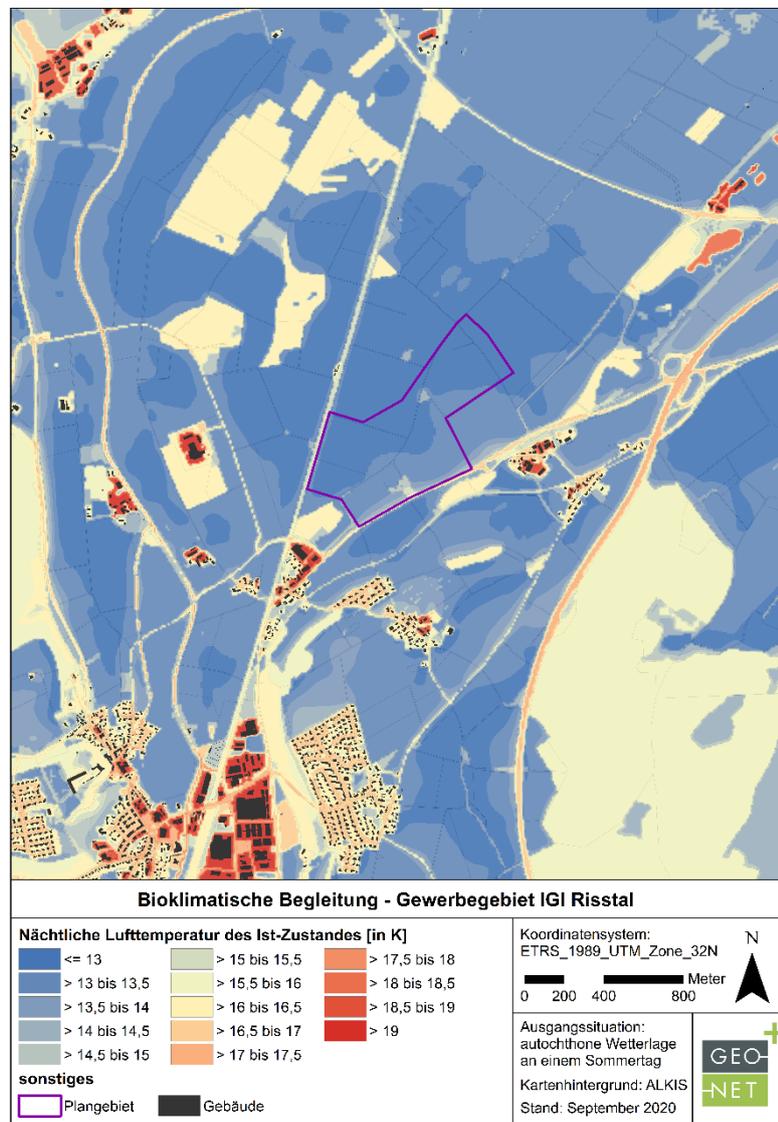


Abb. 6: Darstellung der modellierten nächtl. Lufttemperatur des Ist-Zustandes.



Abbildung 6 zeigt das Temperaturfeld um 04 Uhr nachts in einer Höhe von 2 m über Grund. Im gegenwärtigen Zustand zeigt sich im Plangebiet weitestgehend eine homogene Temperaturverteilung von bis zu 14 °C. Entlang der südöstlich verlaufenden Ulmer Straße (L267) sowie im Bereich der beiden kleinräumigen Gehölzstrukturen innerhalb des Plangebietes werden Werte von bis zu 15,5 °C erreicht. Außerhalb des Plangebiets zeigt sich ein je nach Flächennutzung heterogenes Temperaturfeld. Dabei stellen die meist landwirtschaftlich geprägten Freiflächen mit Temperaturen von ca. 15 bis unter 13 °C die kühlpsten Flächen dar. Aufgrund der abschirmenden Wirkung des Kronendachs gegenüber nächtlichen Ausstrahlung weisen die Wälder und Gehölzflächen mit 15 bis 16 °C leicht höhere Temperaturen als die gehölzarmen bzw. freien Grünflächen auf. Die sich überwiegend in der südlichen Hälfte des Modellgebiets befindlichen Siedlungsstrukturen weisen je nach Art der Bebauung bzw. dem vorherrschenden Versiegelungsgrad Temperaturen von rund 16,5 (Einzel- und Reihenhausbebauung) bis über 19 °C (Gewerbe- bzw. Industrieflächen) auf.

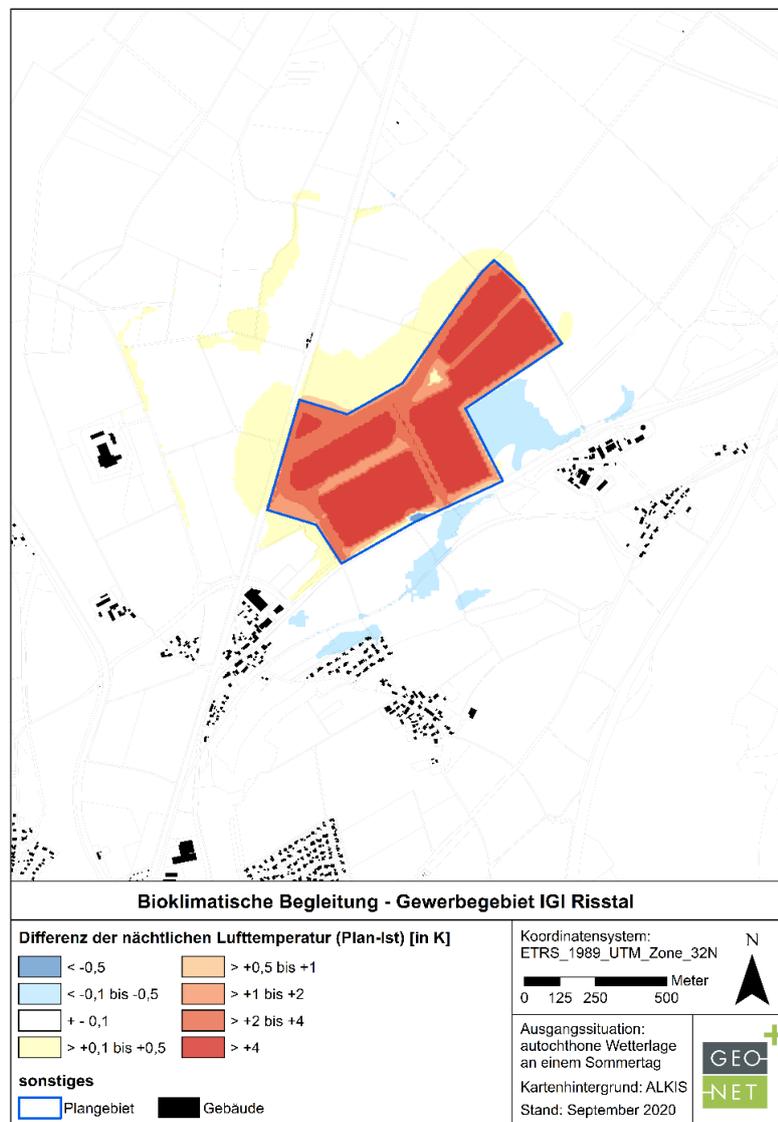


Abbildung 7: Darstellung der nächtlichen Temperaturdifferenz zwischen Ist- und Planfall.



Die Abbildung 7 zeigt die Zu- bzw. Abnahme der nächtlichen Lufttemperatur im Plan-Szenario im Vergleich zur aktuellen Situation. Es wird deutlich, dass durch die geplante Bebauung innerhalb des Plangebiets eine deutliche Zunahme der Temperaturwerte zu erwarten ist, wobei die ausgewiesenen Baufelder mit +4 K die stärkste Zunahme zeigen. Die Ausgleichsflächen sowie die zwischen den einzelnen Baufeldern geplanten Grünstreifen bewirken eine in diesen Bereichen deutliche Abmilderung der Temperaturzunahme (+1 bis +3 K). Außerhalb des Plangebiets sind dagegen nur geringfügige Veränderungen der Lufttemperatur zu erwarten, wobei nordwestlich eine tendenziell leichte Zunahme (+0,1 bis +0,5 K) und im Südosten stellenweise eine leichte Abnahme (-0,1 bis -0,5 K) zu erwarten ist. Ein spürbarer Effekt auf die benachbarten Siedlungen ist in diesem Zusammenhang nicht zu erwarten.

### 3.2 Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Ausgleichsströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde. Mit ihrer (dichten) Bebauung stellen Siedlungskörper ein Strömungshindernis dar, so dass deren Luftaustausch mit dem Umland eingeschränkt ist. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus, wenn der Siedlungsraum schwach bis gar nicht mehr durchlüftet wird. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer (und frischer) Luft eine bedeutende klimaökologische (und immissionsökologische) Ausgleichsleistung für Belastungsräume erbringen. Da die potentielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet.

#### Nächtliches Windfeld

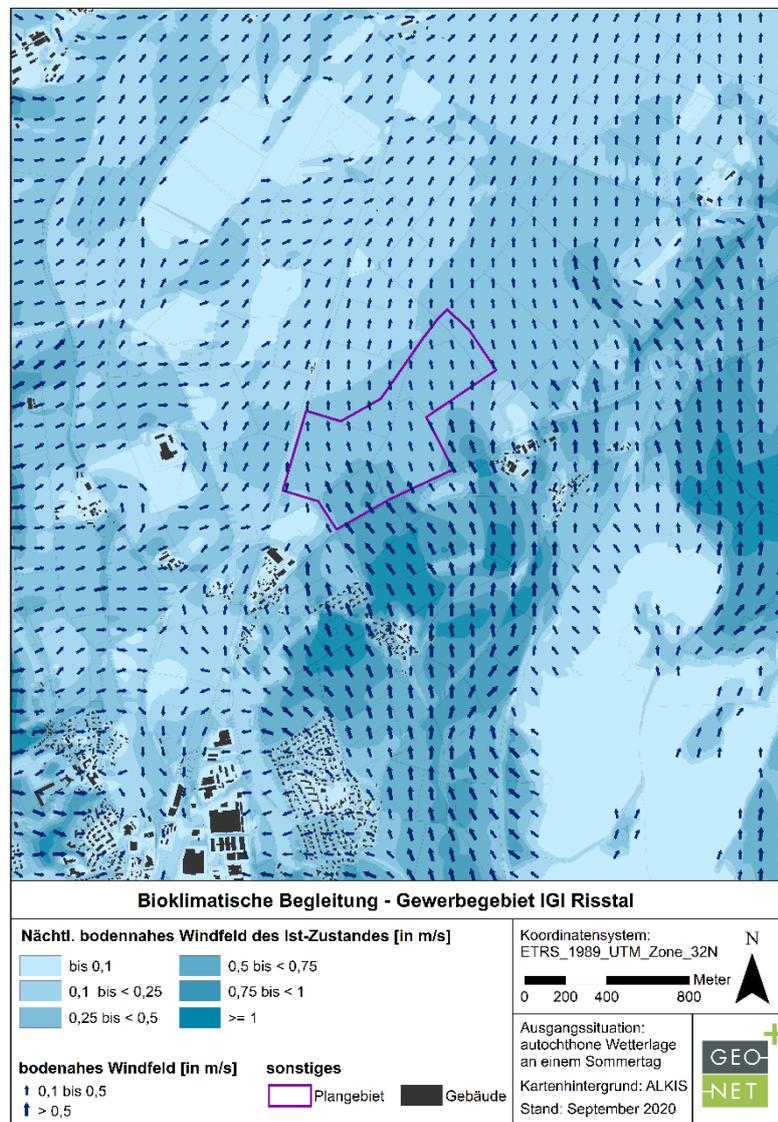


Abbildung 8: Darstellung der modellierten nächtl. bodennahen Windfeldes im Ist-Zustand.



Abbildung 8 zeigt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufungen dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen  $< 0,1$  m/s bis über  $1,0$  m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert.

Die Kaltluft strömt reliefbedingt aus südöstlicher Richtung mit durchschnittlich etwa  $0,5$  bis  $0,75$  m/s an das Plangebiet heran. Im Ist-Zustand zeigt sich Innerhalb des Gebietes ein weitestgehend einheitliches Strömungsbild, wobei die Strömung mit abnehmendem Gefälle nach Nordwesten hin leicht abnimmt. Mit Geschwindigkeiten von  $0,25$  bis  $0,75$  m/s fließt die Kaltluft entsprechend des Hanggefälles von Südost nach Nordwest.

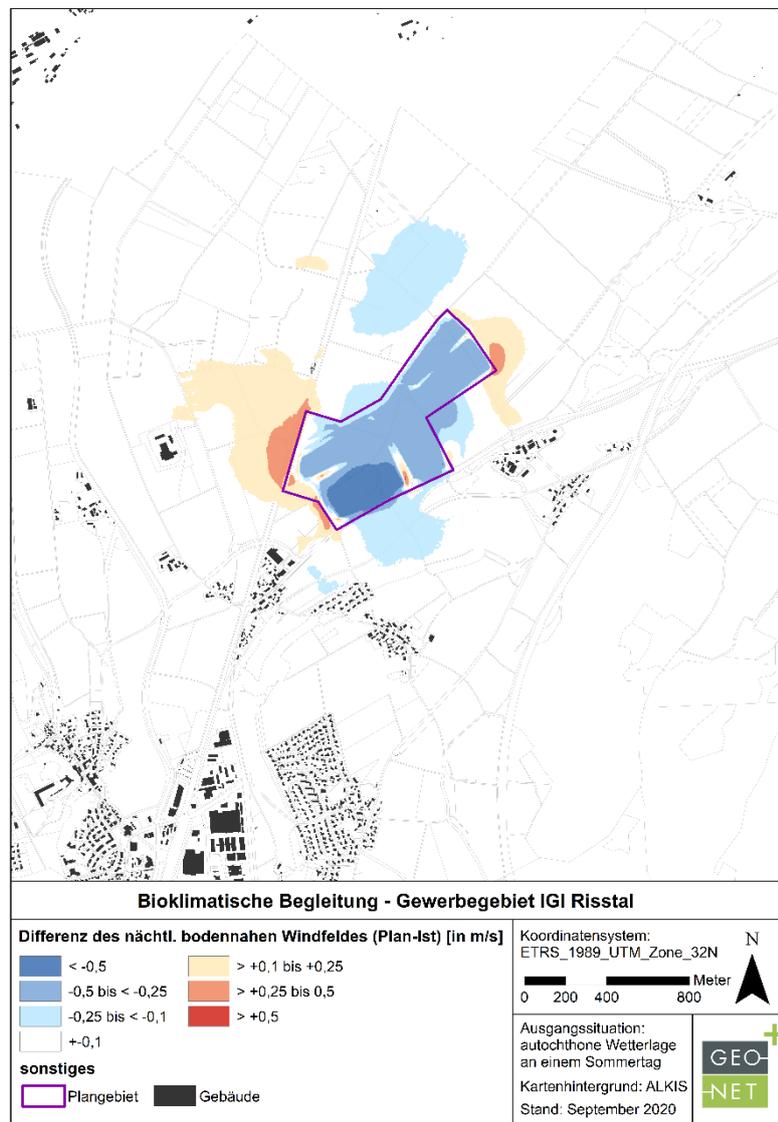


Abbildung 9: Darstellung der Differenz der nächtlichen bodennahen Windgeschwindigkeit zwischen Ist- und Planfall.

Die Betrachtung der Differenz der Strömungsgeschwindigkeit zwischen Status quo und Plan-Szenario (Abb. 9) macht deutlich, dass die geplante Bebauung abbremsend auf die einströmende Kaltluft wirkt.



Dabei ist eine Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit von stellenweise über 0,5 m/s im Plangebiet zu verzeichnen. Lediglich im Bereich der Straßenzüge kommt es vereinzelt aufgrund von Kanalisationseffekten zu einer deutlichen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Außerhalb des Plangebiets verdeutlicht sich die Hinderniswirkung der geplanten Bebauung ebenfalls. So kommt es südlich zu einer leichten Stauung der bodennahen Strömung. Die Stauung und die damit einhergehende Umleitung der Strömung führt neben thermisch bedingter Flurwinde an der Ost und Westseite des Plangebiets zu einer leichten bis mäßigen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Die räumliche Ausprägung ist mit rund 700 m in Nordwestrichtung bzw. 300 bis 400 m in Südrichtung als gering einzustufen. Eine nennenswerte Auswirkung auf angrenzende Siedlungsstrukturen ist zudem nicht zu erwarten.

### Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom

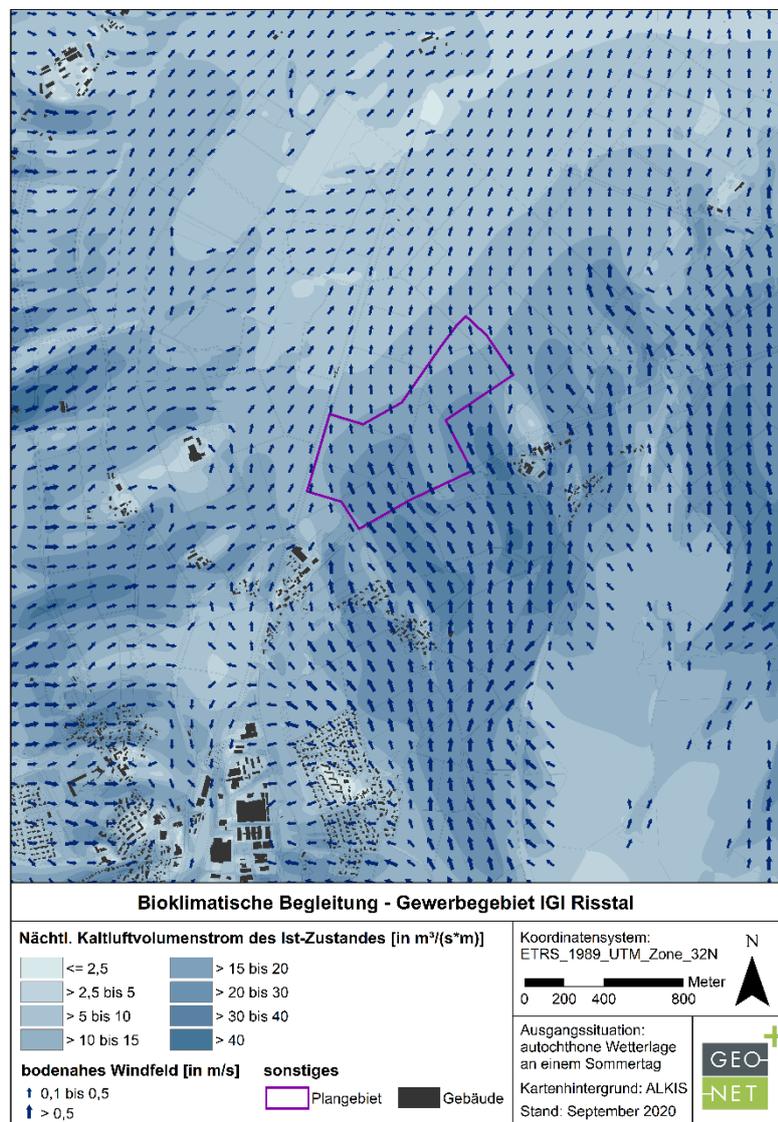


Abb. 10: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Status quo um 04 Uhr inklusive Strömungsrichtung.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher (siehe Abbildung 10). So bewirken die südöstlich vom Plangebiet gelegenen Hänge einen relativ starken Kaltvolumenstrom von bis 40 m<sup>3</sup>/s, welcher auch innerhalb

des Plangebiets großflächig noch mit  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  relativ dynamisch ist. Die Strömung nimmt mit abnehmendem Gefälle allerdings immer weiter ab und beträgt am nördlichen Rand des Plangebiets nur noch  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

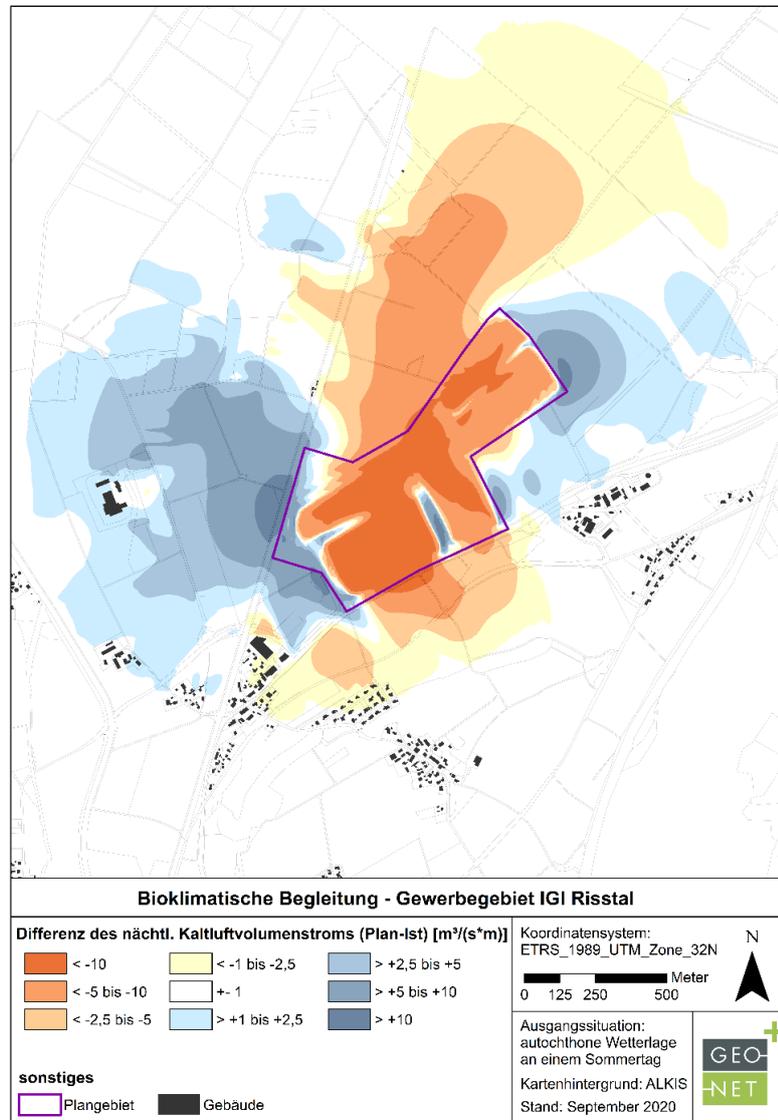


Abb. 11: Veränderung des Kaltluftvolumenstroms im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo.

Durch das geplante Vorhaben ist in der Änderung des Kaltluftvolumenstroms (Abb. 11) eine Reduzierung von teilweise deutlich über  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  innerhalb des Plangebietes zu rechnen. Die deutliche Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms setzt sich ausgehend von den geplanten Baufeldern in Richtung der nördlich angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen fort und bewirkt dort bei einer Reichweite von bis zu 900 m noch eine Reduzierung von 1 bis  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ebenso kommt es aufgrund von Stauungseffekten auf der Südseite des Plangebiets zu einer Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms von bis zu  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Auswirkungen tangieren dabei im geringen Ausmaß ( $-1$  bis  $-2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) auch die Ortschaft Herrlishöfen im Bereich Karl-Arnold-Straße sowie des kleinen Gewerbegebiets an der Ulmer Straße. Erhöhungen des Kaltluftvolumenstroms sind durch thermisch bedingte Ausgleichsströmungen sowie Kanalisationswirkung im Bereich der Straßenzüge insbesondere westlich und östlich des Plangebiets zu erwarten.



### 3.3 Wärmebelastung am Tage

Zur Bewertung der Wärmebelastung werden Indizes verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. In Modellen wird der Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung berechnet und die Wärmebelastung eines Menschen abgeschätzt. Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbio-klimatische Index PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) um 14 Uhr herangezogen (Matzarakis und Mayer 1996).

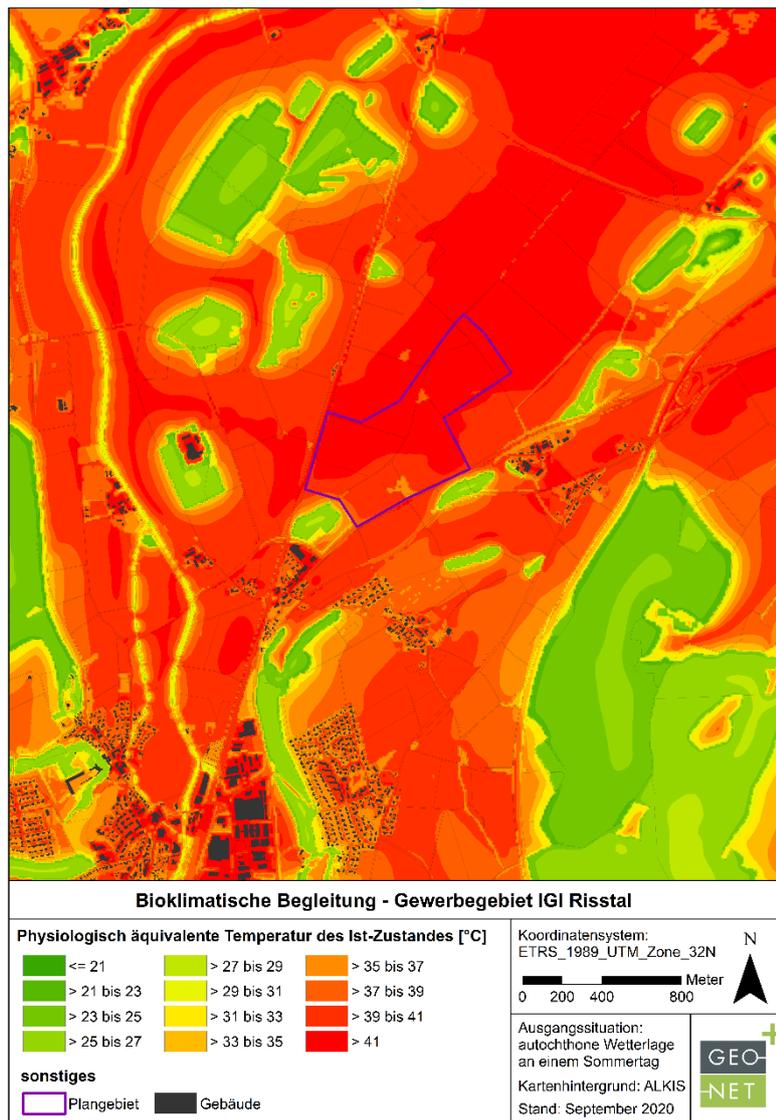


Abb. 12: Ausprägung der PET im Status quo in 2 m über Grund um 14 Uhr.

Die Abbildung 12 zeigt die Verteilung der PET um 14 Uhr in 2 m über Grund für die derzeitige Situation. Innerhalb des Plangebietes gestaltet sich das Temperaturfeld insgesamt sehr homogen. So tritt großflächig eine sehr starke bis extreme Wärmebelastung mit Temperaturen von meist über 39 °C im Bereich der nicht verschatteten Ackerflächen auf (vgl. ergänzend Anhang 1). Lediglich die beiden kleinräumigen Gehölzflächen weisen aufgrund ihrer Schattenwirkung mit Temperaturen von 35 bis 37 °C eine etwas ge-



mäßigere Wärmebelastung auf. Außerhalb des Plangebiets zeigt sich je nach Flächennutzung eine heterogene Verteilung der Wärmebelastung. Dabei weisen die unverschatteten Frei- und Siedlungsflächen eine meist starke bis extreme Wärmebelastung auf, wohingegen Wald- und Gewässerflächen kühlend auf ihr näheres Umfeld wirken. Dies führt zu einer in diesen Bereichen meist schwachen bis mäßigen Wärmebelastung.

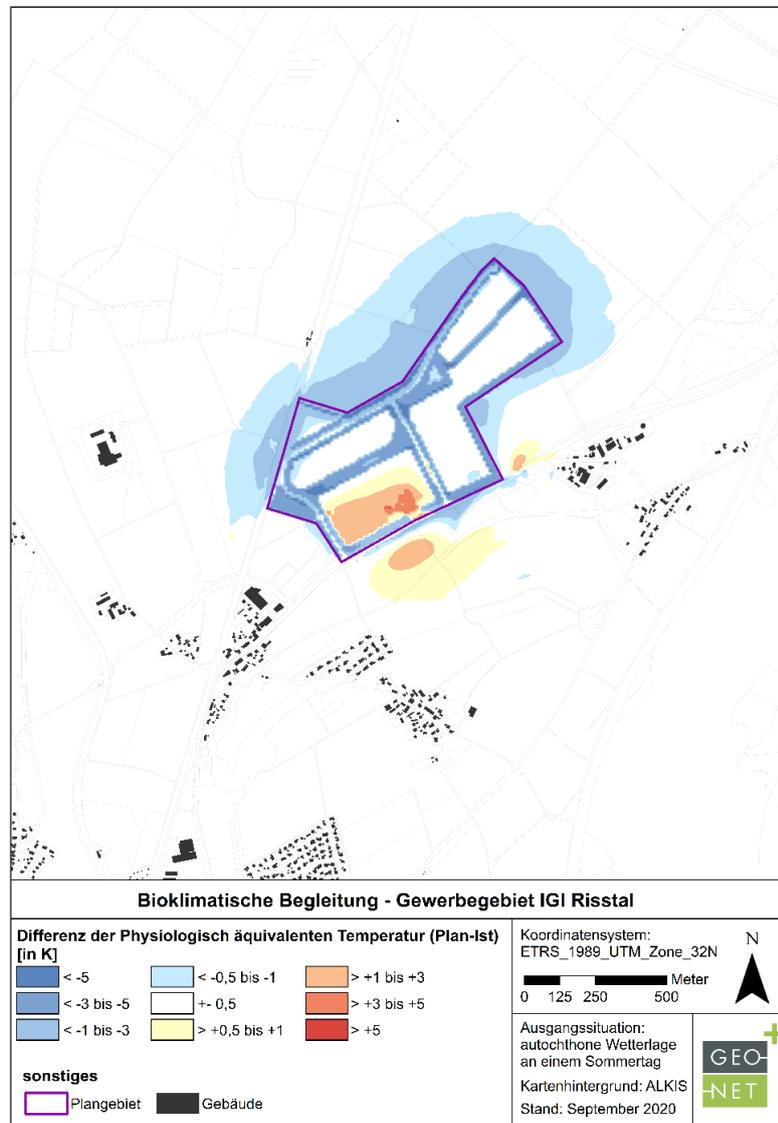


Abb. 13: Veränderung der Wärmebelastung am Tag im Plan-Szenario im Vergleich zum Status quo.

Durch das Planvorhaben ergibt sich im Plangebiet Großteils eine deutliche Reduzierung der PET gegenüber dem Status quo (siehe Abbildung 13). Diese wird vor allem durch die im Planvorhaben vorgesehenen Ausgleichsflächen und Grünstreifen, für welche ein entsprechender Baumbestand angenommen wurde, ausgelöst. Dabei bewirkt die Schattenwirkung der Bäume eine Reduzierung der PET von bis zu 5 K bei einer maximalen Reichweite von ca. 300 m. Lediglich im südlichsten Baufeld ist innerhalb des Plangebiets von einer teils deutlichen Erhöhung der PET von bis zu 3 K auszugehen. Diese wird im Wesentlichen durch das Entfernen der Gehölzstruktur in diesem Bereich des Plangebiets hervorgerufen. Auch südlich des Plangebiets ist aufgrund der veränderten Strömungssituation kleinräumig von einer Erhöhung der PET um bis zu 2 K auszugehen. Siedlungsbezogene Auswirkungen sind dabei nicht zu erwarten.



#### 4. Schlussfolgerung und planerische Hinweise

Der Vergleich in der vorliegenden Analyse zwischen dem Status quo und dem Plan-Szenario zeigt, dass durch das Planvorhaben eine Beeinträchtigung der klimaökologischen Funktionen innerhalb des Plangebietes und zum Teil auch darüber hinaus zu erwarten ist. Die untersuchten Klimaparameter werden dabei aufgrund der grundlegenden Landnutzungsänderung teils signifikant beeinflusst.

Da die Fläche des Plangebietes im Status quo eine unversiegelte und nur sehr kleinräumig mit Büschen und Bäumen bestandene Freifläche ist, kommt es durch die geplante Bebauung zu einer Erhöhung der Nachttemperaturen. Dies ist vor allem auf die zusätzliche Baumasse und die größere Versiegelung zurück zu führen. Zudem steht die Planfläche nun nicht mehr bzw. nicht im Ausmaß wie zuvor für die Kaltluftproduktion zu Verfügung, wodurch es kleinräumig auch im näheren Umfeld des Plangebietes zu einer leichten Erhöhung der nächtlichen Temperaturen kommt. Spürbare Auswirkungen auf benachbarte Wohngebiete sind dabei nicht zu erwarten. Mildernd gegenüber der Erhöhung der Nachttemperatur wirken dabei die geplanten Ausgleichs- und Grünflächen.

Durch die Hinderniswirkung der geplanten Gebäude kommt es ebenfalls zu einer Änderung der Windgeschwindigkeiten. Das Plangebiet wird von Kaltluftströmungen aus den angrenzenden Hängen von Südost über- bzw. umströmt. Der Strömungswiderstand bewirkt dabei eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten innerhalb des Plangebietes sowie im geringeren Ausmaß auch im Luv und Lee der geplanten Bebauung. Die Strömung wird dabei um das Plangebiet herumgelenkt und bewirkt dabei östlich und westlich des Plangebietes eine teils deutliche Erhöhung der bodennahen Strömung. Nennenswerte Auswirkungen sind auch in diesem Fall nicht zu erwarten.

Bei der Betrachtung des Kaltluftvolumenstroms zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier kommt es im Luv und Lee der geplanten Bebauung zu einer Abschwächung. Die Auswirkungen gehen allerdings deutlicher über das Plangebiet hinaus und betreffen auch die südlich angrenzende Bestandsbebauung. In Abbildung 9 ist zu erkennen, dass die Abschwächung des Kaltluftvolumenstroms räumlich begrenzt 1 bis 2,5 m<sup>3</sup>/s. In Anbetracht des generell relativ hohen Wertenniveaus ist die Abschwächung allerdings als gering einzustufen. Durch eine der Strömungsrichtung angepasste Umsetzung der Bebauung können die Auswirkungen zudem noch weiter reduziert werden (siehe planerische Hinweise).

Die Betrachtung der Tagsituation erfolgte über die PET zum Zeitpunkt 14 Uhr. Hier kann von einer überwiegenden Reduzierung der Wärmebelastung ausgehend von den geplanten Ausgleichs- und Grünflächen ausgegangen werden. Diese ist auf die Annahme einer Erhöhung des Baumbestands innerhalb der geplanten Grünflächen zurück zu führen. Insbesondere die Verschattung (durch Vegetation) ist ein wichtiger Faktor für ein positives Bioklima am Tage. Innerhalb der festgelegten Baufelder ist aufgrund der geringen Verschattung von keiner spürbaren Veränderung der Wärmebelastung auszugehen.

Die Bewertung der klimatischen Auswirkungen der geplanten Bebauung auf das Plangebiet selbst und auf die angrenzende Bestandsbebauung erfolgt nach VDI-Richtlinie 3787 über den Einbezug aller planungsrelevanten Parameter und ihrer Einordnung in das klimatische Umfeld des spezifischen Untersuchungsraums. Die zu überplanende Fläche liegt im Bereich eines großen Kaltluftentstehungsgebiets. Sie weist im Status Quo eine sehr gute bioklimatische Situation auf, ebenso wie ein Großteil der umliegenden Bestandsbebauung. Die geplante großflächige Gewerbebebauung führt zu einer deutlichen Verschlechterung der bioklimatischen Situation innerhalb des Plangebietes. Außerhalb des Plangebietes beschränken sich



die nachteiligen Auswirkungen dagegen weitestgehend auf die nördlich angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen und besitzen somit keinen spürbaren Siedlungsbezug. Obwohl die Verringerung des Kaltluftvolumenstroms auch die südlich gelegene Ortslage Herrlishöfen tangiert, zeigt die Betrachtung der weiteren Parameter, dass im Zusammenspiel aller betrachteten Faktoren die gute bioklimatische Situation erhalten bleibt.

Die getroffenen Aussagen beziehen sich auf das bioklimatische „Worst Case“-Szenario einer sommerlichen austauscharmen Wetterlage. Mit dieser gehen in der Nachtsituation häufig auch Inversionswetterlagen einher, welche den Luftaustausch der kühleren bodennahen Schichten mit denen in dieser Situation wärmeren höheren Luftschichten einschränkt. Bioklimatisch stellt dieses Phänomen dabei kein zusätzliches Belastungspotential dar, zumal sich diese Art der Wetterlage am Tag aufgrund der sommerlichen Sonneneinstrahlung schnell auflöst.

Bei einer vom modelltechnisch untersuchten bioklimatischen „Worst.Case“ – Szenario abweichenden Wetterlage, wie etwa einer übergeordneten Nordanströmung oder einer austauscharmen und anhaltenden winterlichen Inversionswetterlage, sind nachteilige Auswirkungen durch die geplante Bebauung auf die südlich angrenzenden Siedlungsgebiete nicht vollständig auszuschließen. Dies betrifft neben bioklimatischen Auswirkungen auch eine mögliche Verlagerung von Luftschadstoffen, welche in Abhängigkeit der jeweiligen gewerblichen Nutzung auftreten können. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass im Rahmen der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren für entsprechende Gewerbe-/Industriebetriebe in dem Gebiet die Risiken einer lufthygienischen Belastung für benachbarte Nutzungen abgeprüft und ggf. durch Genehmigungsaufgaben vermieden werden.

### **Planungshinweise**

Um insbesondere die Strömungssituation in der Nacht, aber auch die klimatische Situation am Tage zu optimieren, werden im Folgenden planerische Gestaltungshinweise gegeben. Diese können als weitere Ergänzung zu den bereits planerisch vorgesehenen bioklimatisch günstigen Grün- und Ausgleichsflächen angesehen werden.

- ↳ **Gewährleistung der Durchströmbarkeit des Gebiets durch strömungsparallele Bebauung**
  - Einhaltung eines mindestens 25 m breiten Straßenquerschnitts bzw. einer entsprechenden Abstandsfläche zwischen den geplanten Gebäudekörpern. Hierzu wäre eine parallele und nicht versetzte Anordnung (bezogen auf die nächtliche Strömungsrichtung) der Gebäude von Vorteil.
  
- ↳ **Geringer Versiegelungsgrad und gute Grünausstattung des öffentlichen Raums**
  - Parkplatzflächen teilversiegeln und beschatten
  - Straßengrün einplanen, wobei darauf zu achten ist die Durchströmbarkeit des Gebiets nicht nachteilig zu beeinflussen (
  
- ↳ **Öffentlich zugängliche Grünfläche** mit einer hohen Mikroklimavielfalt
  - Verschattete Aufenthaltsbereiche mit Sitzgelegenheiten schaffen
  - Verschattung möglichst durch Bäume



## ↳ Gebäude

- Dachbegrünung auf allen für diesen Zweck geeigneten Flachdächern (positive Effekte auf das Außenraumklima in Dachniveau, mögliche Synergieeffekte: Regenwasserrückhalt, Gebäudeenergie, Biodiversität)
- Die Anwendung von geeigneten Baumaterialien und hellen Anstrichen kann dazu beitragen, der Aufheizung von versiegelten Oberflächen und Gebäuden am Tage entgegen zu wirken, so dass sie nachts weniger Wärme an ihre Umgebung abgeben.

## 5. Quellen

GEO-NET 2019: Klimaanpassungskonzept Freiburg. Ein Entwicklungskonzept für das Handlungsfeld Hitze, 2019, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover.

UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, [www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur](http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur) (07.11.2019).

VDI 2008: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2003: Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

MATZARAKIS, A. UND H. MAYER 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.

VDI 2004: Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**  
**Hannover, den 13.10.2020**



## 6. Anhang

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung