



Klimaökologisches Gutachten für die Entwicklung des Zukunftsstandortes „Tiefenreute Bühl“ in Singen

Gutachterliche Stellungnahme zum Themenkomplex
Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt



Auftraggeberin:
Stadtverwaltung Singen
Fachbereich Bauen
Abt. Stadtplanung
Hohgarten 2
78224 Singen (Hohentwiel)



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Methodik und Datengrundlage.....	8
	2.1 Datengrundlage und Modellrechnung	8
	2.2 Synoptische Rahmenbedingungen	9
3	Ergebnisse.....	10
	3.1 Lufttemperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	10
	3.2 Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	12
	3.3 Physiologisch Äquivalente Temperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags	18
4	Planungshinweise.....	22
5	Schlussfolgerung	25
6	Literaturverzeichnis.....	26
7	Kartenanhang.....	27



Abbildungen

Abb. 1: Plangebiet "Tiefenreute Bühl" südlich der Georg-Fischer-Straße, Singen (Hohentwiel). Quelle Satellitenbild: LGL-BW (LGL-BW, 2024).Quelle Übersichtskarte: (BKG, 2026).....	6
Abb. 2: Städtebaulicher Entwurf - Tiefenreute Bühl, Stand 20.01.2026. Quelle: Stadt Singen, Fachbereich Planung, Abt. Stadtplanung	6
Abb. 3: Prozessorientierte Analyse bei einer austauschbaren Hochdruckwetterlage (eigene Abb. GEO-NET GmbH) ..	7
Abb. 4: Modellraster Landnutzung mit der Flächenkulisse Planzustand (eigene Abb. GEO-NET GmbH)	8
Abb. 5: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4:00 Uhr morgens im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Planszenario und Basisszenario (unten, eigene Abb. GEO-NET GmbH).....	12
Abb. 6: Prinzipskizze Flurwind (eigene Abb. GEO-NET GmbH)	13
Abb. 7: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom (eigene Abb. GEO-NET GmbH)	14
Abb. 8: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Planszenario und Basisszenario (unten, eigene Abbildung GEO-NET GmbH)	16
Abb. 9: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumens in den Siedlungsflächen gegenüber dem Istzustand (eigene Abb. GEO-NET GmbH)	18
Abb. 10: Physiologisch Äquivalente Temperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Plan- und Basisszenario (unten, eigene Abb. GEO-NET GmbH).....	21
Abb. 11: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen (eigene Abb. GEO-NET GmbH)	23

1 Einleitung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und feste Bestandteile der räumlichen Planung. Das Schutzgut „Klima“ ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, die der Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse dienen bzw. auf eine Verbesserung des Stadtklimas in ungünstig bewerteten Teilräumen abzielen. Um diesen Leitgedanken langfristig verfolgen zu können, ist es zudem erforderlich, die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Mit dem Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB, 2026)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1 (5) BauGB erklärt worden: „Die Bauleitpläne sollen [...] dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...].“ Zusätzlich heißt es in § 1a (5) BauGB: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden.“

Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Wie wird sich das Bebauungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse auf lokaler und regionaler Ebene, auswirken?
- Wie sind die Ergebnisse vor dem Hintergrund des Klimawandels einzuschätzen?

Im Jahr 2018 hat GEO-NET im Rahmen des Projektes KLIMOPASS („Zielkonflikt Klimakomfort – Nachverdichtung: Entwicklung von Lösungsstrategien zur klimawandelangepassten Siedlungsentwicklung der Stadt Singen“) eine Stadtklimaanalyse für Singen durchgeführt (LUBW, 2019). Darin

wurde auf Grundlage einer mikroskaligen Modellierung (Ist- und Zukunftsszenario 2050) eine Bewertung der klimatischen Situation durchgeführt und daraufhin wurden Planungshinweise für zukünftige Entwicklungen gegeben.

Der Geltungsbereich des vorliegenden Bebauungsplans liegt auf einer Freifläche, die für die Tagsituation vor allem die Kategorie „geringe bioklimatische Bedeutung“ und zu einem kleinen Teil die Kategorie „mittlere“ bis „hohe“ bioklimatische Bedeutung“ umfasst. Für die Nachtsituation wurde die bioklimatische Bedeutung des Areals als vorwiegend „mittel“ und zu einem kleinen Teil als „hoch“ eingestuft. Eine Nutzungsintensivierung ist der Analyse zufolge unter Beachtung des lokalen Luftaustauschs sowie der Gebäudestellung etc. grundsätzlich möglich. In der unmittelbaren Umgebung des Planareals befinden sich weitere Ausgleichsräume, deren bioklimatische Bedeutung als „mittel“ bis „hoch“, mitunter auch als „sehr hoch“ eingeschätzt wurde. Im erweiterten Umfeld befinden sich nördlich Gewerbeflächen, deren bioklimatische Situation „ungünstig“ bis „sehr ungünstig“ ist (siehe auch Abb. 1). Diese sind somit sehr empfindlich gegenüber Nutzungsänderungen in der Umgebung.

Aufgrund des Alters der gesamtstädtischen Untersuchung und der insgesamt geringeren Auflösung der Daten wurde eine Detailuntersuchung für das betrachtete Gebiet durchgeführt. Die grundsätzlichen Aussagen der Gesamtstadtrechnung behalten aber auch heute ihre Gültigkeit (in den Bereichen, in denen in der Zwischenzeit keine bauliche Entwicklung stattgefunden hat) und können somit einen ersten Anhaltspunkt für die Bewertung neuer Baugebiete geben und die Notwendigkeit von Detailuntersuchungen aufzeigen, die mit dem neuesten Stand der Technik ein genaueres Bild der klimatischen Situation liefern können.

Die folgende Untersuchung prüft im Detail, ob und wie stark die Bebauung des Geltungsbereichs die Umgebung beeinflusst. Sie gibt Hinweise für eine möglichst klimaangepasste Bebauung, die auch bei fortschreitendem Klimawandel möglichst optimale Wohn- und Arbeitsbedingungen am Zukunftsstandort „Tiefenreute Bühl“ schafft. Die Stadt Singen am Hohentwiel (im Folgenden: Singen) plant, südlich der Georg-Fischer-Straße den Zukunftsstandort „Tiefenreute Bühl“ als Wohnquartier mit teilweise gewerblicher Nutzung zu entwickeln. Das Areal umfasst 49 ha und überplant eine bisher vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Fläche. Im Norden und Osten grenzen Gewerbeflächen an, im Südwesten des Areals befindet sich Wohnbebauung und im Süden sowie Westen sind Waldflächen. Innerhalb des Quartiers sind drei Grünachsen geplant, die in Südwest-Nordost-Richtung verlaufen sollen. Den Standort des Plangebietes sowie die vorgesehene Planung zeigen Abb. 1 und Abb. 2.



Abb. 1: Plangebiet "Tiefenreute Bühl" südlich der Georg-Fischer-Straße, Singen (Hohentwiel). Quelle Satellitenbild: LGL-BW (LGL-BW, 2024). Quelle Übersichtskarte: (BKG, 2026).



Abb. 2: Städtebaulicher Entwurf - Tiefenreute Bühl, Stand 20.01.2026. Quelle: Stadt Singen, Fachbereich Planung, Abt. Stadtplanung

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes durch die geplante Bebauung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar (Abb. 1.2). Diese Wetterlage wird wegen der belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 (VDI, 2008) herangezogen.

Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann unter den windschwachen Bedingungen eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischlufte für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können.

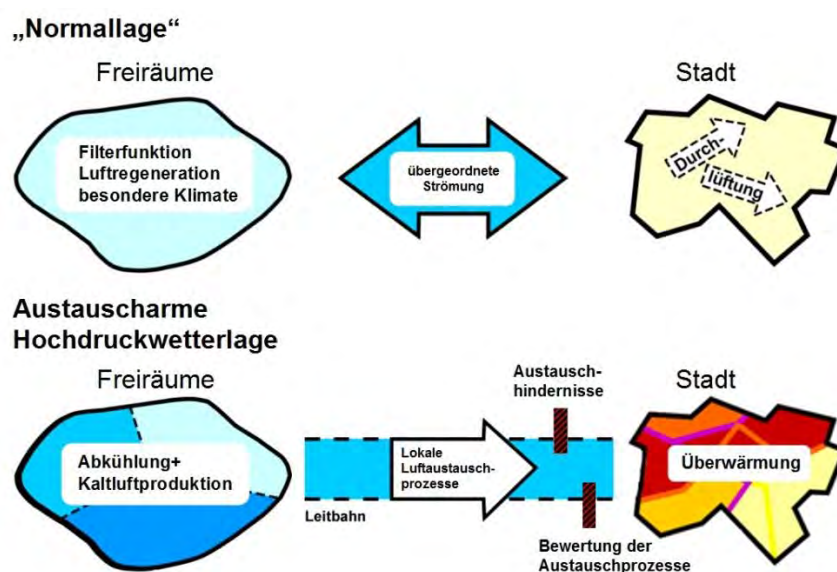


Abb. 3: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage (eigene Abb. GEO-NET GmbH)

Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August, wie sie auch der gesamtstädtischen Klimaanalyse für die Stadt Singen zugrunde liegt (LUBW, 2019). Mit Blick auf Lage und Größe des Planareals und einer potenziellen thermischen Ausgleichswirkung in den Nachtstunden für die angrenzenden bebauten Bereiche ergibt sich die Relevanz für eine vertiefende klimatische Betrachtung der Nutzungsänderung.

2 Methodik und Datengrundlage

2.1 Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei numerischen Modellen wie FITNAH müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur (Abb. 4) und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Entsprechende Basisdaten wurden vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) Baden-Württemberg bezogen und um die Planunterlagen ergänzt. Auf Grundlage dieser Informationen wurde den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m war es möglich, die Gebäudestrukturen und höhere Vegetation realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden.

Das Modellgebiet erstreckt sich bei einer maximalen Ausdehnung von ca. 1,2 km in Ost-West-Richtung und ca. 0,75 km in Nord-Süd-Richtung über eine Fläche von 0,49 km² (Abb. 1).

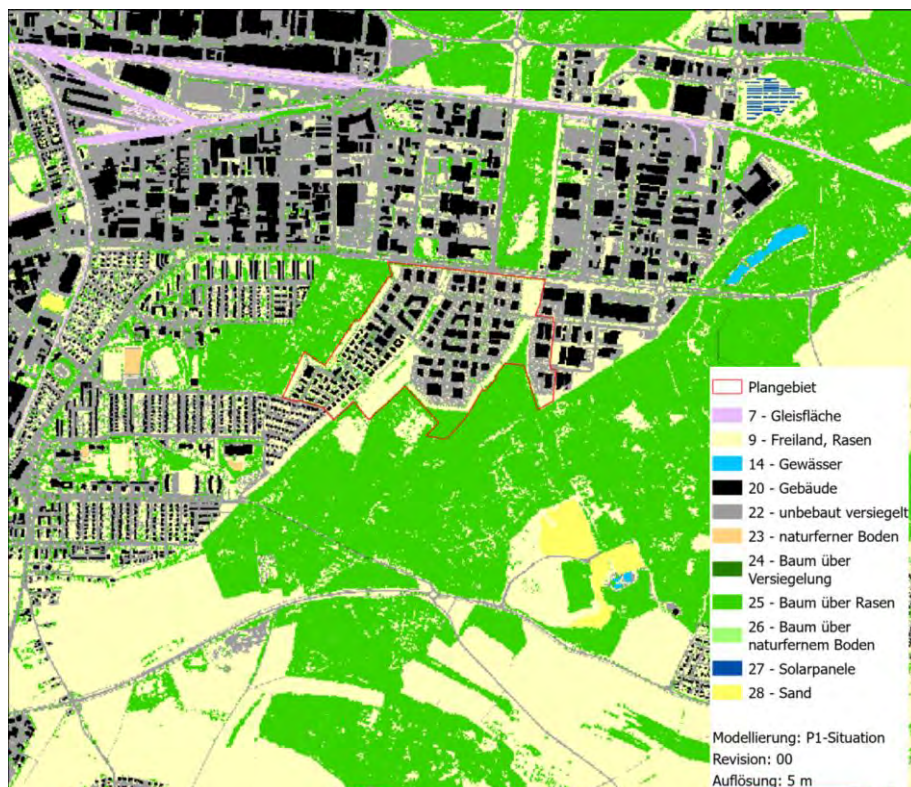


Abb. 4: Modellraster Landnutzung mit der Flächenkulisse Planzustand (eigene Abb. GEO-NET GmbH)



2.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%

Die geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Die Ergebnisse werden für den Istzustand als Basisszenario für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Dabei wird die gegenwärtige klimatische Situation betrachtet. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde die in Kap. 2.2 beschriebene austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Der 4 Uhr Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Für die Ermittlung der Aufenthaltsqualität am Tage wurde die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) für den Zeitpunkt 14 Uhr berechnet. Alle folgenden Ergebnisse sind als Übersichtskarten für den gesamten Untersuchungsraum dem Kartenanhang beigelegt.

3.1 Lufttemperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien als vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Das Umweltbundesamt empfiehlt für einen entsprechend erholsamen Schlaf eine Schlafzimmertemperatur in der Spannweite von 17-20 °C (UBA, 2023). Tropennächte mit einer Minimaltemperatur ≥ 20 °C gelten als besonders belastend.

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 thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Basisszenario

Das sich um 4:00 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsgebiet umfasst zwischen Minimalwerten von ca. 10,5 °C und Maximalwerten bis 19 °C eine Spannweite von etwa 8,5 Kelvin (K). Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei etwa 15 °C. Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohn- oder Gewerbebebauung, Verkehrsanlagen sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. **Abb. 5** zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4:00 Uhr für den gegenwärtigen Zustand als Basisszenario sowie dem Planszenario mit realisierter Bebauung im Rahmen des Bebauungsplans „Entwicklung des Zukunftsstandortes Tiefenreute Bühl“.

Die höchsten Temperaturen von mehr als 18 °C treten über den Gewerbeflächen nördlich und östlich des Planareals auf. Dies geht mit dem überdurchschnittlichen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung einher, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Asphalt deutlich reduziert wird. Die höchsten Werte treten kleinräumig in direkter Umgebung von Gebäuden auf. Die unversiegelten Freiflächen im Untersuchungsgebiet, zu denen auch das unbebaute Plangebiet zählt, weisen die niedrigsten Temperaturen auf, mit Werten, die sich vorwiegend unterhalb von 14 °C bewegen. Hier kann eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen.

Der Straßenraum tritt je nach Breite mit höheren Werten von 16,0 °C bis 19,0 °C hervor. Im Untersuchungsgebiet weisen die mit Rasen bzw. Sand bestandenen Teilflächen mit weniger als 12,0 °C die niedrigsten Lufttemperaturen auf. Die Waldflächen kühlen hingegen weniger stark aus, da das Kronendach die Auskühlung des Bodens und damit der bodennahen Luftschicht vermindert („Bestandsklima“).

Planszenario

Das nächtliche Temperaturfeld in 2 m Höhe für das Planszenario ist ebenfalls in **Abb. 5** dargestellt. Mit der Realisierung des Bebauungsplans steigen die nächtlichen Temperaturen innerhalb des Baufeldes an. Die Spanne der dann auftretenden Werte entspricht dabei im Wesentlichen der östlich angrenzenden Gewerbebebauung.

Die Abweichungen zwischen dem Planszenario und dem Basisszenario sind in **Abb. 5** (unten) als Absolutwerte dargestellt. Die Beschreibung von Temperaturdifferenzen in der Wissenschaft erfolgt üblicherweise in der Einheit Kelvin (K). Im Sinne eines guten Verständnisses der Karten werden die Differenzen in °C angesprochen, welche mit Kelvin gleichgesetzt werden können.

Im Planszenario ist eine Zunahme um bis zu 5 °C vor allem innerhalb des Planareals im Zusammenhang mit der baulichen Entwicklung festzustellen (orange/rot). Im Osten des Planareals sind über die Planfläche hinaus Zunahmen zwischen 0,5 und 5 °C festzustellen, die bis maximal 120 m über das Planareal hinausreichen. Dies betrifft Gewerbeflächen, die östlich ans Planareal angrenzen.

Im westlichen Teil des Planareals treten durch die geplante Bebauung kleinräumig Reduktionen der nächtlichen Lufttemperatur um bis zu 2 °C auf. Dies ist auf denjenigen Flächen der Fall, auf denen kleine Waldflächen zu Freiflächen umgewandelt werden. Die nächtliche Abkühlung des Bodens kann über den Freiflächen im Vergleich zu den Waldflächen verstärkt stattfinden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass weitere thermische Wechselwirkungen zu den benachbarten (Wohn-) Nutzungen nicht zu beobachten sind. Die planbedingten Auswirkungen im Bestand können sowohl innerhalb des Plangebietes als auch in der näheren Umgebung mit Blick auf die nächtliche Lufttemperatur als unerheblich angesehen werden. Es sind keine Auswirkungen auf andere empfindliche Nutzungen im übrigen Stadtgebiet zu erwarten.

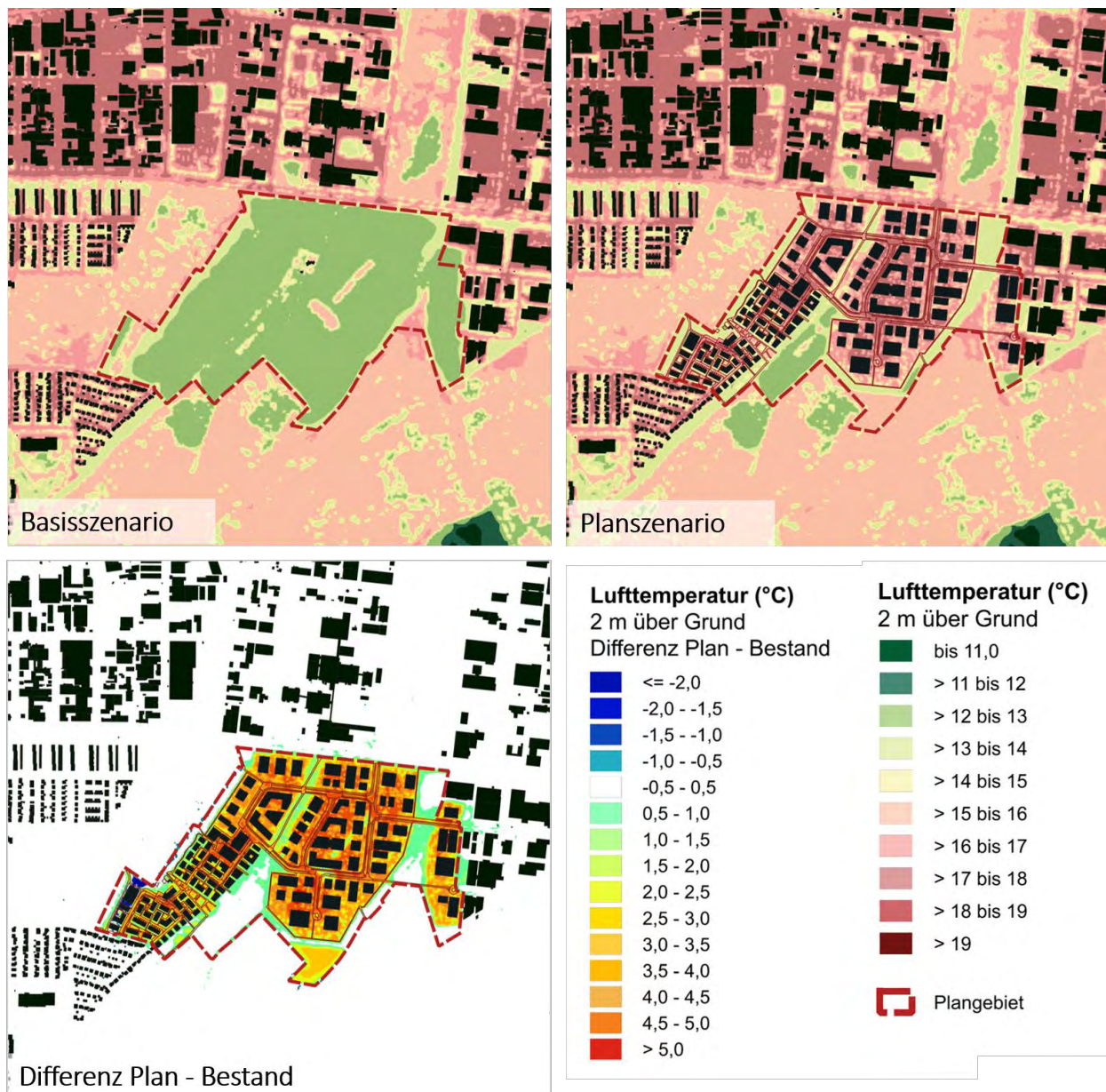


Abb. 5: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4:00 Uhr morgens im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Planszenario und Basisszenario (unten, eigene Abb. GEO-NET GmbH)

3.2 Kaltluftvolumenstrom und bodennahe Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen einstellen. An den geeigneten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So entstehen an den Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (Mosimann et al., 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die

Neigung des Geländes bestimmt. Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (vgl. Abb. 6).

Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Kiese, 1988).

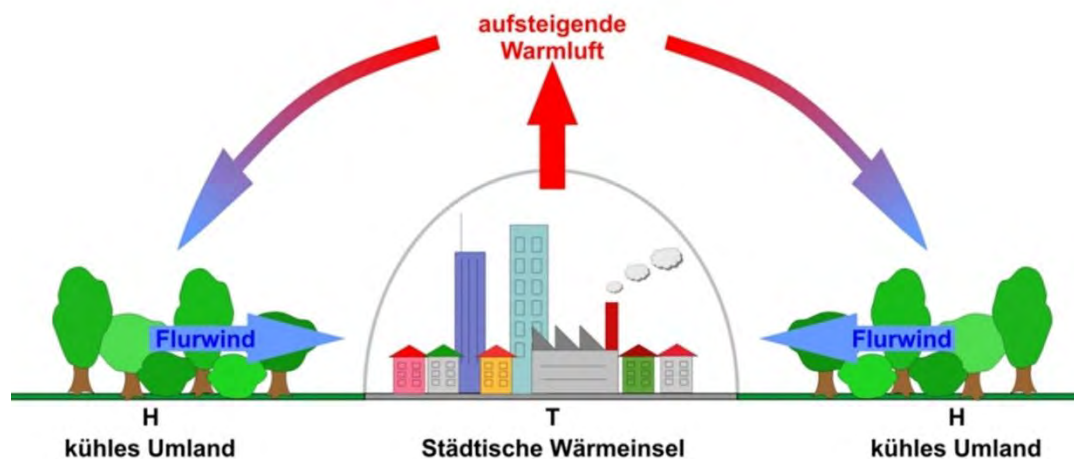


Abb. 6: Prinzipskizze Flurwind (eigene Abb. GEO-NET GmbH)

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bebauung abgebremst wird. Die Flur-/ Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von 2 m/s (Mosimann et al., 1999). Im Bereich stärkerer Hangneigungen treten im Untersuchungsraum Kaltluftabflüsse mit Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/s auf. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden.

Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (je nach Umgebungsbedingungen mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen. Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu:

Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen und für Städte in Muldenlage wirken sich diese Faktoren bioklimatisch ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grünfläche als Kaltluftentstehungsgebiet nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (Abb. 7). Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das von der Erdoberfläche bis zu einer Höhe von 50 m reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom. Der Volumenstrom ist ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. In Ergänzung dazu wird das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt 4 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in Abb. 8 in Form von Vektoren abgebildet. Die Strömungsrichtung und -geschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeilgröße repräsentiert, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 15 m x 15 m Kantenlänge aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen den Kaltluftvolumenstrom flächenhaft in Farbstufung dar.

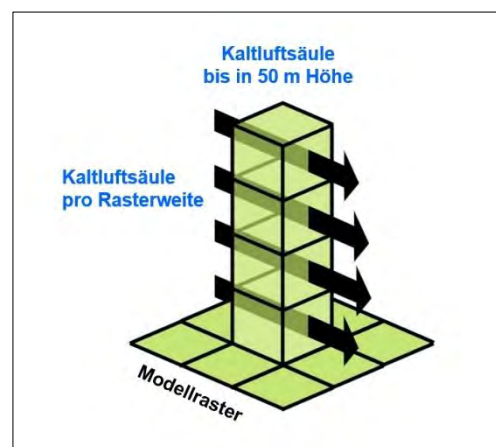


Abb. 7: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom (eigene Abb. GEO-NET GmbH)

Basisszenario

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abb. 8 zeigt den Kaltluftstrom für das Basisszenario zusammen mit dem bodennahen Strömungsfeld in einer qualitativen Abstufung entsprechend der aktualisierten VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 3787, Blatt 5, 2026). Dabei sind die höchsten Kaltluftvolumina – angetrieben durch den Temperaturgradienten im Untersuchungsgebiet über großflächigen Freiflächen – zu beobachten. Insbesondere über den unbebauten Flächenanteilen steigt der Kaltluftvolumenstrom auf ein höheres Niveau an. Zudem wird auch die Hinderniswirkung einzelner größerer Baukörper auf das bodennahe Windfeld sichtbar, welches über die Pfeilsignatur wiedergegeben wird. Nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 ist das Durchlüftungspotential des Planareals vorwiegend als mäßig zu bewerten, im westlichen Teil ist das Durchlüftungspotential gut und in Einzelflächen sehr gut. Die Kaltluft hat ihren Ursprung im angrenzenden Waldbestand.

Die benachbarten Wohn- und Gewerbeflächen werden zum größten Teil über die Waldbestände außerhalb des Planareals mit Kaltluft versorgt. Einzig das Wohngebiet im Südwesten und die Gewerbefläche im Nordosten des Planareals werden mit Kaltluft versorgt, die durch die Freifläche des Planareals strömt.

Planszenario

Wie Abb. 8 für das Planszenario zeigt, führt die zukünftige Bebauung zu einer lokalen Beeinflussung des Kaltluftvolumenstroms. Hier bewirkt die Überbauung einen Rückgang des Kaltluftvolumenstroms vor allem im Osten des Planareals sowie im Südwesten, was aus der Hinderniswirkung resultiert. Gleichzeitig entsteht durch die Bebauung eine Kanalisierung der einströmenden Kaltluft im Norden und vereinzelt im Südwesten und Osten des Planareals, so dass sich hier der Kaltluftvolumenstrom erhöht.

Die Differenz des Kaltluftvolumens zwischen Plan- und Basisszenario wird in Abb. 8 als absolute Zu- und Abnahme dargestellt. So treten die Abnahmen vor allem nach Osten hin in Richtung der bestehenden Gewerbebebauung auf (Orange/Rot). Auch im Südwesten kommt es zu einer Abschwächung, wenngleich diese weniger stark ausgeprägt ist. Die lokale Kanalisierung des Kaltluftstroms durch die geplante Bebauung bewirkt gegenüber dem Basisszenario eine Intensivierung des Luftaustausches in den unbebauten Zwischenräumen und im Norden des Planareals (Blau).

Es kann festgestellt werden, dass die Umsetzung des Bebauungsplans „Tiefenreute Bühl“ den lokalen Luftaustausch im Bestand nur kleinräumig und mäßig beeinflussen wird.

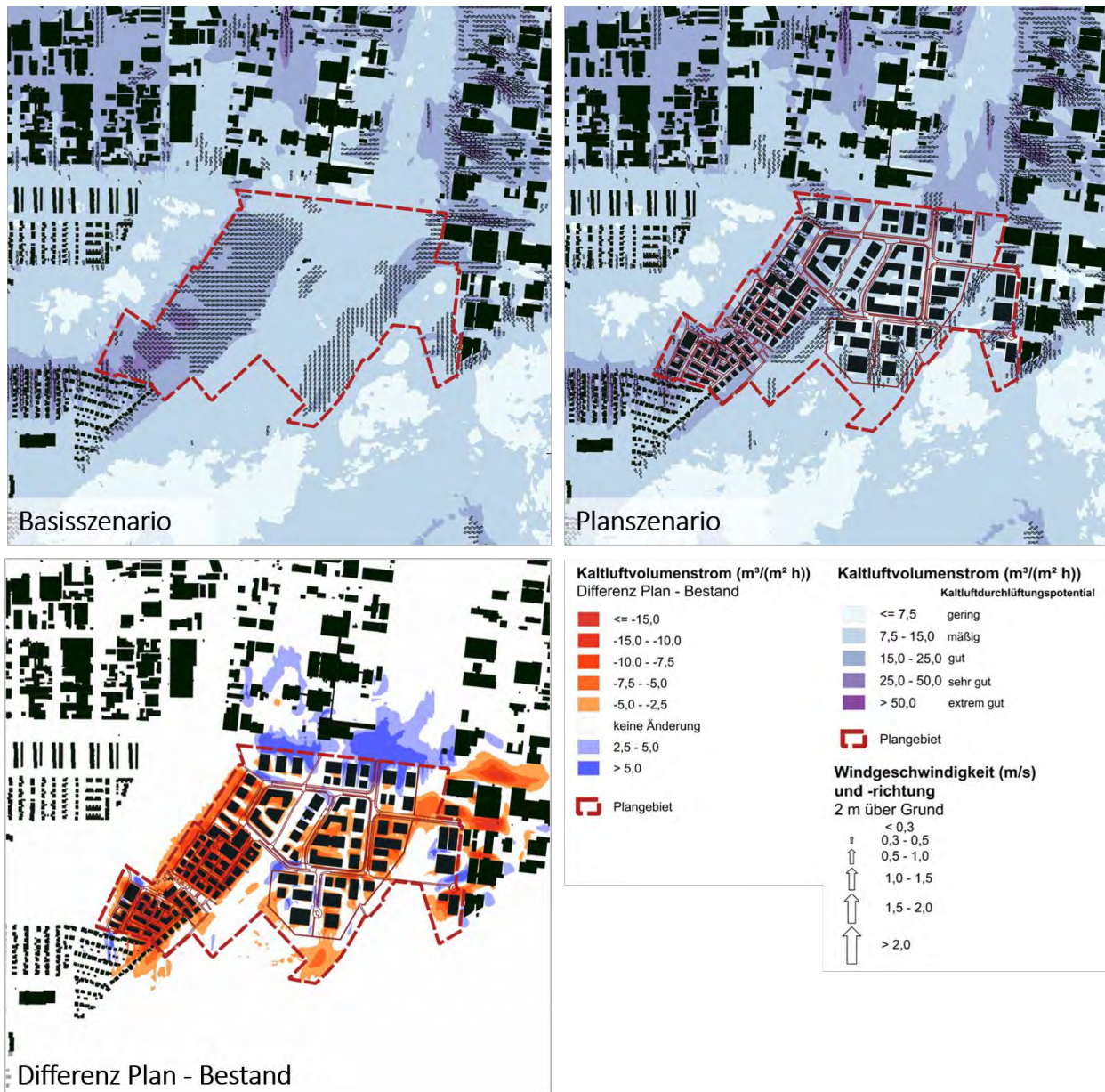


Abb. 8: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Planszenario und Basisszenario (unten, eigene Abbildung GEO-NET GmbH)

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der aktualisierten VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2026) wird ein quantitatives und qualitatives Maß der Beeinflussung vorgeschlagen, das eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 30 Prozent im Bereich von Siedlungsgebieten als „gravierende“ vorhabenbedingte Auswirkung ausweist. Eine Verringerung um 5 – 30 Prozent wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „gering“ angesehen. Zudem soll der Frage nachgegangen

werden, inwieweit es zu einer planbedingten Abnahme der Klassenstufen der Kaltluftvolumenstromdichte kommt. Nach der VDI-Richtlinie liegen dann gravierende Änderungen vor, wenn es zu einer Veränderung der Klassenstufe und einer gleichzeitigen Verminderung des Kaltluftvolumens um mehr als 30 Prozentpunkte gegenüber dem Istzustand kommt.

Um die planbedingten Auswirkungen zu ermitteln, wurde für jede Blockfläche im Bestand ein Blockflächenmittelwert des Kaltluftvolumenstroms berechnet (Grundlage: ALKIS Baden-Württemberg). In einem weiteren Schritt wurde die Abweichung gegenüber dem Istzustand in Prozentpunkten berechnet. Die Veränderung des Parameters in den Planfällen gegenüber dem Istzustand zeigt Abb. 9. Bilanziert man die mittlere Veränderung des Kaltluftvolumens innerhalb der angrenzenden Gewerbeflächen, so beträgt diese zwischen plus 45,6 und minus 39,3 Prozentpunkten gegenüber dem Istzustand.

Eine Überschreitung des 30 %-Kriteriums liegt außerhalb des Planareals in einer direkt im Osten angrenzenden Blockfläche vor (Dunkelrot). Die rote Schraffur kennzeichnet die Bereiche, innerhalb derer eine Verminderung der Klassenstufen von hoch zu mäßig oder von mäßig zu gering vorliegt. Es zeigt sich, dass dies lediglich inselhaft bzw. kleinräumig vorwiegend innerhalb des Gewerbegebietes östlich des Planareals zu beobachten ist (Abb. 9).

Im nördlich angrenzenden Gewerbegebiet ergibt sich eine erhöhte Durchlüftung infolge der geplanten Bebauung. Hier treten mittlere blockweise Steigerungen des Kaltluftvolumenstroms um 5 – 46 % auf. Eine Verschiebung der Klassengrenzen beim Kaltluftvolumenstrom kann nur für einzelne 5 m Rasterzellen festgestellt werden.

Rein technisch betrachtet kommt es hier zu einer kleinräumigen Verminderung des Kaltluftvolumens vor allem östlich des Plangebietes. Eine flächenhaft qualitative Verschlechterung des Kaltluftvolumenstroms findet allerdings nicht statt.

In der Gesamtbilanz ist das qualitative und räumliche Ausmaß der Wirkungen insbesondere auf vorhandene Wohnnutzungen als gering bis mäßig anzusehen. Die betroffene Bebauung ist nicht als bioklimatisch belastet im Sinne der VDI-Richtlinie 3787 anzusehen.

Aufgrund der Tatsache, dass auch nach Umsetzung der Planungen ein ausreichender Luftaustausch zu erwarten ist, ist das Bauvorhaben aus klimatischer Sicht als unbedenklich einzuordnen. Die beschriebenen Luftaustauschprozesse werden auch unter dem Einfluss des Klimawandels weiter bestehen. Zwar wird das Temperaturniveau insgesamt ansteigen, der relative Temperaturunterschied zwischen den Siedlungs- und Grünflächen wird als „Antrieb“ für den Luftaustausch aber erhalten bleiben. Entscheidend ist vielmehr, dass die baustrukturellen Voraussetzungen für eine ausreichende Durchlüftung des Siedlungskörpers vorhanden sind.

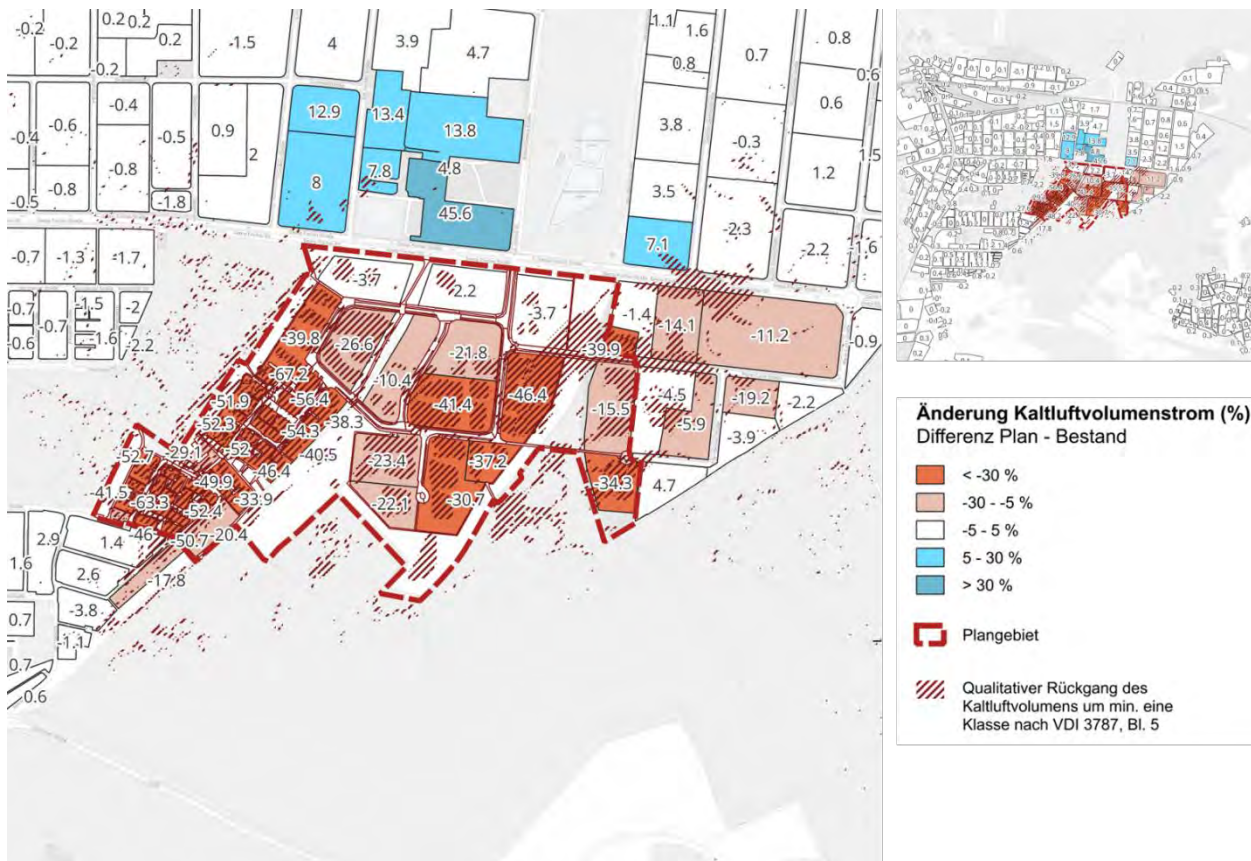


Abb. 9: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumens in den Siedlungsflächen gegenüber dem Istzustand (eigene Abb. GEO-NET GmbH)

3.3 Physiologisch Äquivalente Temperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen¹. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiological Equivalent Temperature), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index). In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen. Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der Einheit (Grad Celsius) auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der

¹ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).



Physiologisch Äquivalenten Temperatur um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Müller & Kuttler, 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 1; (VDI 3787, Blatt 2, 2022)).

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (VDI 3787, Blatt 2, 2022))

PET in °C	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
< 4	sehr kalt	Extremer Kältestress
> 4 - 8	kalt	Starker Kältestress
> 8 - 13	kühl	Moderater Kältestress
> 13 - 18	leicht kühl	Leichter Kältestress
> 18 - 23	komfortabel (neutral)	Kein thermischer Stress
> 23 - 29	leicht warm	Leichte Wärmebelastung
> 29 - 35	warm	Moderate Wärmebelastung
> 35 - 41	heiß	Starke Wärmebelastung/ Hitzestress
> 41	sehr heiß	Extrem starke Wärmebelastung/ Hitzestress

Neben der Sonneneinstrahlung kommt auch der Windgeschwindigkeit eine wichtige Rolle zu, da hierüber das Schwitzen der Haut und damit dessen Kühlwirkung beeinflusst wird. So ist über Flächen mit ansonsten vergleichbarer solarer Strahlung bei herabgesetzter Windströmung (z.B. in einem Innenhof) eine höhere Wärmebelastung zu erwarten als in gut durchlüfteten Bereichen.

Basisszenario

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird. Eine leichte bis moderate Wärmebelastung mit einer PET von 23°C bis 35°C ist vor allem unter den größeren Baumbeständen wie in den südlich gelegenen Waldflächen und nördlich um das Regenrückhaltebecken Rößler zu beobachten (Abb. 10). Hier liegen

am Tage besonders günstige Aufenthaltsbedingungen vor. Demgegenüber stehen die stark besonnten Areale, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich über 35°C häufig als stark und das Wärmeempfinden als heiß einzustufen ist (Gelb/Orange/Rot). Betroffen sind im Basisszenario vor allem die versiegelten und unverschatteten Flächen. Tendenziell treten die höchsten Werte von mehr als 41 °C vor allem in den Kernbereichen der umliegenden Gewerbegebiete, aber auch der angrenzenden Wohngebiete auf. Betroffen sind aber auch Freiflächen, die nicht mit Wald bewachsen sind.

Innerhalb der Siedlungsflächen kann gleichzeitig eine herabgesetzte bodennahe Windgeschwindigkeit vorliegen, die in Verbindung mit intensiver Besonnung zu einer ausgeprägten Wärmebelastung führt. Die zusammenhängend höchste Belastung liegt innerhalb der nördlich gelegenen Gewerbeflächen vor. Innerhalb der Planfläche liegt gegenwärtig vorwiegend eine leichte Wärmebelastung vor. Kleine Teilflächen innerhalb des Planareals weisen eine starke oder keine thermische Belastung auf.

Planszenario

Im Planszenario wird die Ausprägung der Wärmebelastung durch die vorgesehene Bebauung sowie den Veränderungen in der Bodenbedeckung modifiziert (Abb. 10). Mit der Bebauung steigt die Wärmebelastung im unmittelbaren Umfeld der geplanten Gebäude weitestgehend um 1 – 5 °C an, vereinzelt auf mehr als 41 °C („extrem starke Wärmebelastung“ nach VDI 3787, Blatt 2). In den Bereichen des Planareals, in denen Baumpflanzungen vorgesehen sind, sind Abnahmen der Wärmebelastung zu erwarten.

Eine Zunahme der Wärmebelastung ist östlich und nördlich (Gewerbegebiet) sowie vereinzelt im Südwesten (Wohnbebauung) des Planareals zu beobachten. Dies ist neben unzureichender Verschattung auch auf eine Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit zurückzuführen, welche von der geplanten Bebauung ausgeht. Da der betrachteten Physiologisch Äquivalenten Temperatur ein Wärmehaushaltsmodell des Menschen zugrunde liegt, bewirkt dies eine Verringerung der Verdunstung auf der Haut, was mit einer Erhöhung des Wärmeempfindens einhergeht. Die angrenzende Wohnbebauung ist kleinräumig betroffen, sodass die Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität als unerheblich einzuordnen ist.

Aus der Differenzendarstellung treten die planbedingten Veränderungen als Absolutwerte hervor (Abb. 10). Nördlich und östlich der vorgesehenen Bebauung aber auch kleinräumig im südwestlichen Wohngebiet nimmt die PET im Bereich von 1 – 5 °C zu. Aufgrund eines Anstiegs der bodennahen Windgeschwindigkeit (= weniger Wärmebelastung) nördlich des Planareals und der geplanten Baumpflanzungen liegen Abnahmen der PET vor allem im Randbereich innerhalb der Planfläche vor.

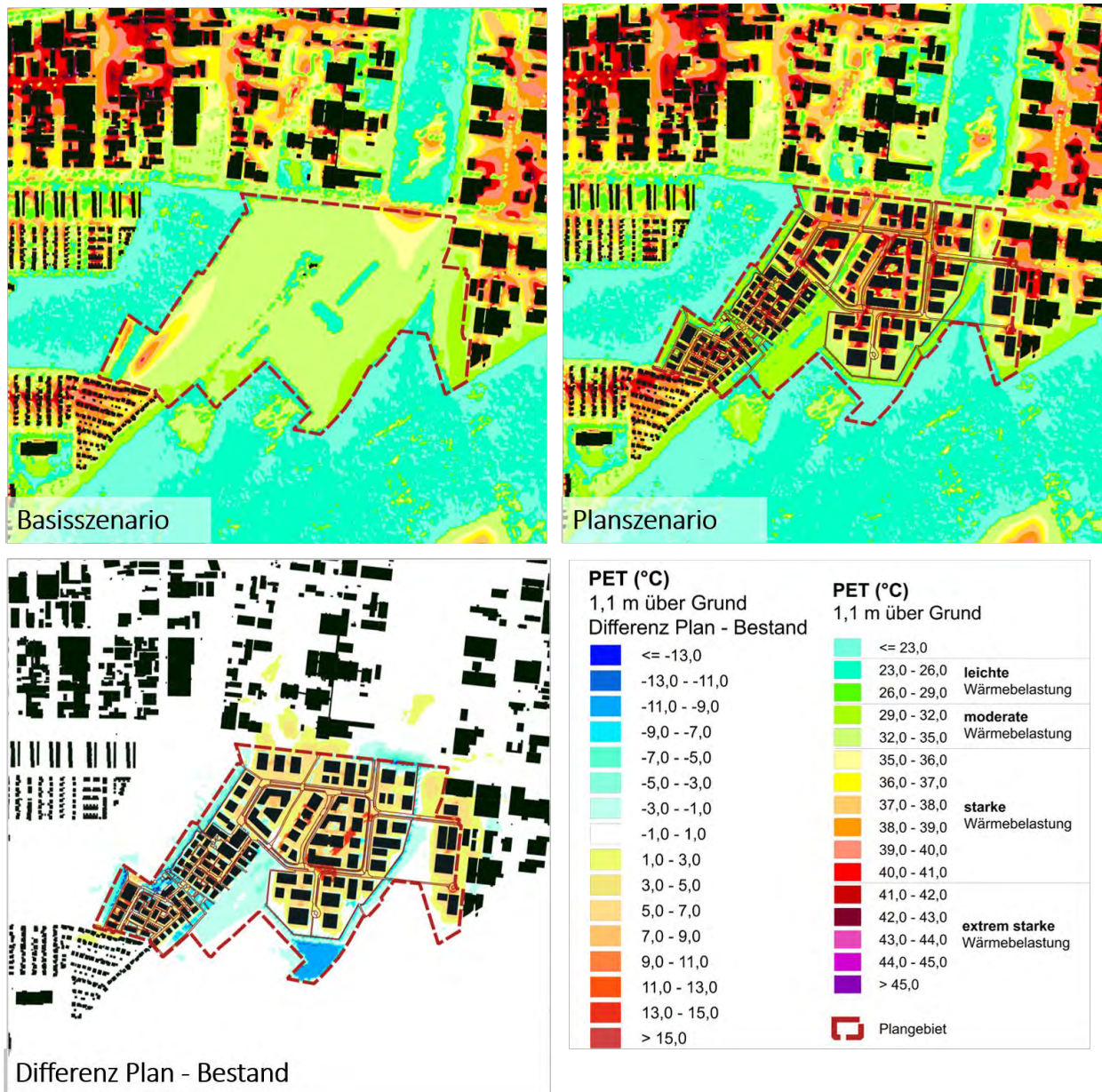


Abb. 10: Physiologisch Äquivalente Temperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr im Basis- und Planszenario (oben) sowie die absolute Differenz zwischen Plan- und Basisszenario (unten, eigene Abb. GEO-NET GmbH)

4 Planungshinweise

Im Folgenden werden weitere Hinweise zur Verringerung der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sowie zur Aufenthaltsqualität im Freien gegeben.

Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Während am Tage die direkte, kurzwellige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, sodass Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf. Diese Maßnahme ist vor allem für die Fassaden mit Süd- bzw. Südwestexposition relevant. Im ebenerdigen Bereich hingegen sollten sehr helle Oberflächen nicht zum Einsatz kommen, da dies zu Blendeffekten bzw. einer Verschlechterung der Aufenthaltsqualität führen kann.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählt die Dachbegrünung. Hier wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegender Räume. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es bei einer hohen Traufhöhe von Gebäuden zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

Die Begrünung der Fassaden kann eine sinnvolle Option darstellen. Diese wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe bin-

den. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt. Eine positive Wirkung kann zudem auch durch die Verschattung der Südfassaden durch Bäume erbracht werden.

Grünflächen und Aufenthaltsbereiche im Freien

Eine intensive Begrünung des Straßenraums und die Aufwertung der Bebauung mit Bäumen steigern die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass innerhalb der Erschließung weitere Straßenbäume sinnvoll wären. Ziel ist es, das Gehen/Radfahren im Schatten zu ermöglichen. Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen bzw. Freiflächen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Für die strukturelle Ausgestaltung von Grünanlagen lassen sich die folgenden Hinweise geben.



Abb. 11: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen (eigene Abb. GEO-NET GmbH)

Städtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikrokimate bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (Kuttler, 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügellandschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (Abb. 11: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen (eigene Abb. GEO-NET GmbH) Abb. 11). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedliche Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.



Luftaustausch

Im Kaltluftströmungsfeld zeichnen sich die unbebauten Bereiche zwischen den Baufeldern bzw. zwischen den Baukörpern als Durchlüftungsbereiche ab. Da sie im Wesentlichen eine mit der Kaltluftströmung einhergehende Ausrichtung aufweisen, tragen sie zur Durchlüftung des Planareals bei und ergänzen die gebietsinterne Kaltluftentstehung. Im Zuge der weiteren städtebaulichen Entwicklung sollte angestrebt werden, diese Durchlässigkeit beizubehalten.

5 Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die Auswirkungen einer Umsetzung des Bebauungsplans „Tiefenreute Bühl“ auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt sowie zur Wärmebelastung am Tage zu bewerten. Für die klimaökologischen Auswirkungen lassen sich auf Grundlage der im Modell simulierten Klimaparameter folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Die planbedingten Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld in der Umgebung des Planareals können als unerheblich angesehen werden. Es sind keine Auswirkungen auf andere empfindliche Nutzungen im übrigen Stadtgebiet zu erwarten. Einzig in einem gewerblichen Bebauungsblock im östlich angrenzenden Gewerbegebiet sind nächtliche Erwärmungen zu erwarten. Hier können Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Die Beeinflussung des bodennahen nächtlichen Kaltluftströmungsfeldes während sommerlicher Hochdruckwetterlagen führt zu einer lokalen Beeinflussung des Kaltluftvolumens. Die Bilanzierung des Kaltluftvolumenstroms ergibt eine kleinräumige, mäßig ausgeprägte Abnahme östlich des Planareals. Auch im Südwesten kommt es zu einer gering ausgeprägten Abschwächung, die das angrenzende Wohngebiet nur am Rand betrifft. In den unbebauten Zwischenräumen (Grünachsen) und zum Norden des Planareals hin führt die geplante Bebauung zu einer Intensivierung des Luftaustausches.

Während strahlungsreicher Sommertage nimmt die Aufenthaltsqualität in den nördlich und östlich angrenzenden Gewerbeflächen kleinräumig ab. Auch das benachbarte Wohngebiet im Südwesten erfährt durch die geplante Bebauung eine kleinräumige Herabsetzung der Aufenthaltsqualität.

Wenngleich eine Beeinflussung des lokalen Luftaustausches sichtbar wird, führt die vorgesehene bauliche Entwicklung lediglich zu einer gering bis mäßig ausgeprägten Beeinflussung der klimaökologischen Situation in der angrenzenden Wohnbebauung während windschwacher Sommer Nächte.

In Anbetracht der Lage des Planareals und der Feststellung, dass auch nach Umsetzung der Planungen ein klimatisch wirksamer Kaltluftvolumenstrom in einem Großteil der umgebenden Flächen vorliegt, ist die Nutzungsänderung aus klimatischer Sicht als vertretbar einzuordnen. Da auch die Wärmebelastung am Tage im Wohnbestand nicht nennenswert beeinflusst wird, bestehen gegen eine Umsetzung der Planungen keine Bedenken.

6 Literaturverzeichnis

- BauGB (Hrsg.). (2026). Baugesetzbuch: Mit Immobilienwertermittlungsverordnung, Baunutzungsverordnung, Planzeichenverordnung, Raumordnungsgesetz, Raumordnungsverordnung Textausgabe mit ausführlichem Sachverzeichnis und einer Einführung von (57. Auflage, Stand: 4. November 2025, Sonderausgabe). dtv.
- BKG. (2026). Geodatenzentrum des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie. TopPlus Open. <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/topplusopen-produkte.html>
- Kiese, O. (1988). Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt.
- Kuttler, W. (2013). Klimatologie (2., aktualisierte und erg. Aufl., Bd. 3099). Schöningh. <https://doi.org/10.36198/9783838540597>
- LGL-BW. (2024). Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. WMS LGL-BW HIST Digitale Orthophotos in Farbe 2020-2029. WMS-Version: 1.3.0. <https://www.lgl-bw.de/Produkte/Open-Data/>
- LUBW. (2019). Zielkonflikt Klimakomfort—Nachverdichtung: Entwicklung von Lösungsstrategien zur klimawandelangepassten Siedlungsentwicklung der Stadt Singen (S. 116). Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW. <https://doi.org/https://pd.lubw.de/81227>
- Mosimann, T., Frey, T., & Trute, P. (1999). Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung: Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan (Bd. 4/99). Niedersachsen. https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/203638/Informationsdienst_Naturschutz_Niedersachsen_4_1999_Schutzgut_Klima_Luft_in_der_Landschaftsplanung.pdf
- Müller, U., & Kuttler, W. (Hrsg.). (1999). Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In Workshop Stadtklima: 17./18. Februar 1999 in Leipzig. Inst. für Troposphärenforschung. Workshop Stadtklima.
- UBA. (2023, Oktober 24). Richtiges Heizen schützt das Klima und den Geldbeutel. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/richtiges-heizen-schuetzt-das-klima-den-geldbeutel>
- VDI. (2008, Dezember). VDI 3785 Blatt 1—Umweltmeteorologie—Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. <https://www.vdi.de/mitgliedschaft/vdi-richtlinien/details/vdi-3785-blatt-1-umweltmeteorologie-methodik-und-ergebnisdarstellung-von-untersuchungen-zum-planungsrelevanten-stadtklima>
- VDI 3787, Blatt 2. (2022). Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3787-blatt-2-umweltmeteorologie-methoden-zur-human-biometeorologischen-bewertung-der-thermischen-komponente-des-klimas>
- VDI 3787, Blatt 5. (2026). Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft. <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/vdi-3787-blatt-5/396109632>



7 Kartenanhang

