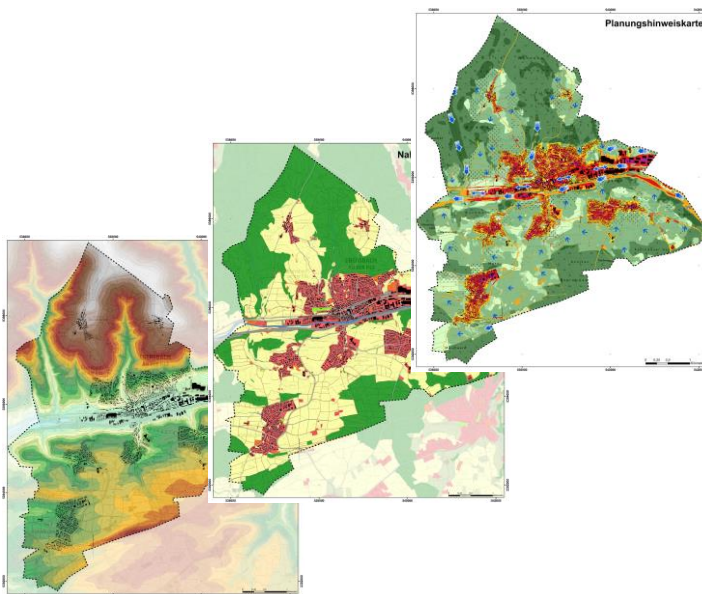




- ◆ Umweltgutachten
- ◆ Genehmigungen
- ◆ Betrieblicher
Umweltschutz



Stadtklimaanalyse Ebersbach an der Fils



Erläuterungsbericht

Auftraggeber: Stadtverwaltung Ebersbach an der Fils
Abteilung Baurecht und Stadtentwicklung
Marktplatz 1
73061 Ebersbach an der Fils

Projektnummer: 3398

Bearbeiter: Dr. rer. nat. Christian Geißler
Dr.-Ing. Frank Dröschner

Dieser Bericht umfasst 68 Seiten sowie 12 Karten im Anhang

Ingenieurbüro für
Technischen Umweltschutz
Dr.-Ing. Frank Dröschner

Lustnauer Straße 11
72074 Tübingen

Ruf 07071 / 889 - 28 -0
Fax 07071 / 889 - 28 -7
Buero@Dr-Droeschner.de

25. November 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Glossar	3
1 Aufgabenstellung	7
2 Stadtklimatische Grundlagen	9
2.1 Rechtliche Regelungen zum Klima auf lokaler Ebene	9
2.2 Städtischer Wärmeinseleffekt	11
2.3 Kaltluftprozesse	12
2.4 Thermisches Bioklima und menschliche Gesundheit	13
2.5 Datengrundlagen	16
3 Klimatische Situation und Klimawandel im Bereich Ebersbach an der Fils	17
3.1 Das derzeitige Klima im Bereich Ebersbach	17
3.2 Häufigkeit autochthoner Wetterlagen	19
3.3 Beobachteter und erwarteter Klimawandel	21
4 Methodik der Berechnung	25
4.1 Das Stadtklimamodell PALM-4U	25
4.2 Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21	25
4.3 Modellgebiet und Teilgebiete	26
4.4 Betrachtete Szenarien der Stadtentwicklung	27
4.5 Zeitliche und meteorologische Randbedingungen der Szenarien	28
4.6 Ausgabegrößen	28
5 Ergebnisse und Klimanalysekarten	29
5.1 Nächtliches Temperaturfeld im Wirkraum und Kaltluftströmungen im Ausgleichsraum	30
5.2 Wärmebelastung am Tag	36
6 Bewertungskarten	39
6.1 Klimatopkarte	39
6.2 Planungshinweiskarte	45
7 Klimaökologische Leitlinien	57
7.1 Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen	57
7.2 Sicherung des lokalen Luftaustauschs	58
7.3 Kleinräumige Maßnahmen auf Quartiersebene	59
8 Zusammenfassung	63
9 Literaturverzeichnis und weitere Quellen	65
Anhänge	68

Glossar

Adiabatischer Temperaturgradient	Der adiabatische Temperaturgradient entspricht der Temperaturänderung, die ein sich vertikal bewegendes Luftpaket erfährt, ohne Wärmeenergie mit der Umgebung auszutauschen. Man unterscheidet den trockenadiabatischen Temperaturgradienten (1 Kelvin pro 100 m Höhendifferenz) und den feuchtadiabatischen Temperaturgradienten (rund 0,5 Kelvin pro 100 m Höhendifferenz).
Albedo	Rückstrahlvermögen diffus reflektierender (aber nicht spiegelnder) Oberflächen, angegeben als Verhältnis von reflektierter zu einfallender kurzwelliger Strahlung. Eine Oberfläche mit einer Albedo von 0,3 z.B. reflektiert 30 % der einfallenden Strahlung und absorbiert 70 %. Je heller die Oberfläche, desto größer ist ihre Albedo.
Allochthone Wetterlage	"Fremdbürtige", durch großräumige Luftströmungen bestimmte Witterung, die durch mehr oder weniger unperiodische Änderungen der Wetterelemente (kein ausgeprägter Tagesgang) gekennzeichnet ist. Sie entsteht zumeist bei zyklonalen Wetterlagen und verhindert (wegen der kräftigen Luftströmung) die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen. Die vor Ort vorhandene Luftmasse wird durch neue Luftmassen ersetzt, die aus weit entfernten Klimagebieten stammen. Das Wettergeschehen wird oftmals durch deutliche Luftmassengegensätze mit wolken- und niederschlagsreichem Wetter bestimmt.
Ausbreitungsklassen	Beschreiben die dynamische Stabilität der Atmosphäre. Ausbreitungsklassen werden z.B. nach den Vorgaben der TA-Luft (TA Luft 2021) aus meteorologischen Parametern wie Windgeschwindigkeit, Bedeckungsgrad und Sonnenstand berechnet.
Ausgleichsraum	Grüngeprägte, größtenteils unbebaute Freifläche, die an einen Wirkraum (bebaute Fläche) angrenzt oder mit ihm in Wechselbeziehung steht. Weil sich im Ausgleichsraum kühle und frischere Luft bildet und in den Wirkraum strömen kann, werden bioklimatische Belastungen verringert.
Autochthone Wetterlage	"Eigenbürtige", durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Witterung, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Sie entsteht zumeist bei antizyklonalen Wetterlagen und begünstigt durch lokale Temperaturunterschiede hervorgerufene Ausgleichsströmungen (kleinräumige Windsysteme wie z.B. Land- und Seewind, Berg- und Talwind, Hangwinde, flächenhafte Kaltluftabflüsse). Nachts bilden sich zumeist ausstrahlungsbedingte Bodeninversionen und orografische Kaltluftseen (z.B. in Mulden und Tälern).
Bioklima	Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen der Erde.
DWD	Deutscher Wetterdienst
Eistag	Ein Eistag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter 0 °C) liegt, d.h. es herrscht durchgehend Frost.
flächenhafte Kaltluftabflüsse	Bei → autochthonen Wetterlagen entstehen nachts über geeigneten kaltluftproduzierenden Flächen hangabwärts gerichtete Strömungen, welche Kaltluft in tiefer gelegene Bereiche transportieren. In größeren Tälern entstehen dadurch → Kaltluftvolumenströme. Die Täler übernehmen dann die die Funktion einer → Kaltluftleitbahn.

Flurwind	Relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der überwärmten Bereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentren).
Frosttag	Ein Frosttag ist ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0 °C) liegt.
Hangwinde	→ flächenhafte Kaltluftabflüsse
Heißer Tag	Ein Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C beträgt.
Hitzestress	Durch Hitze bedingte Belastung des menschlichen, tierischen oder pflanzlichen Organismus mit negativem Einfluss auf den Stoffwechsel, insbesondere auf den Wasserhaushalt (Gefahr der Austrocknung).
Humanbioklima	Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf den Menschen in den verschiedenen Landschaftsteilen der Erde
Jahresmittelwert	Arithmetisches Mittel aller $\frac{1}{2}$ Stunden-, Stunden-, Tagesmittel- oder Monatsmittelwerte eines Klimaelementes oder einer beobachteten Schadstoffkomponente über ein Jahr.
Kaltluft	Bodennahe Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung eine geringere Temperatur aufweist und Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses ist. Die Abkühlung ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen und Ackerflächen am höchsten.
Kaltluftentstehungsgebiete	Grüngeprägte → Ausgleichsräume bzw. Grünflächen, die sich durch eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate auszeichnen. Die höchsten Kaltluftproduktionsraten finden sich in der Regel im Bereich offener Grünflächen wie Äcker und Wiesen mit einem geringen Baumanteil. Bäume wirken durch ihr Kronendach der nächtlichen Ausstrahlung entgegen und bremsen somit die Neubildung von Kaltluft.
Kaltluftleitbahnen	Verbindende Landschaftselemente, durch die frische Kaltluft in die dicht bebauten und versiegelten Gebiete gelangen kann. Es handelt sich hierbei um unbebaute Flächen im Ausgleichsraum
Kaltluftvolumenstrom(dichte)	Die Kaltluft-Volumenstromdichte gibt ein Maß für die Menge der abfließenden Kaltluft. Sie wird angegeben in Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit. Kaltluftvolumenströme bilden im Gegensatz zu → flächenhaften Kaltluftabflüssen ein lineares Element und können Kaltluft über weite Strecken transportieren.
Kelvin	Bei der Kelvin-Skala handelt sich um eine absolute Temperaturskala, deren Skaleneinteilung derjenigen der Celsius-Skala entspricht. Der absolute Nullpunkt beträgt dabei - 273,15 °C. Die Einheit der Kelvin-Temperaturangaben ist "K". Sie wird oftmals bei der Angabe von Temperaturdifferenzen der Celsius-Skala verwendet.
Klima	Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren.
Klimaanalysekarte	Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und -effekte in der Nacht sowie am Tage im Stadtgebiet und im näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).
Klimareferenzperiode	Gemäß den Empfehlungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ist es üblich, zur Erfassung des Klimas und seiner Änderungen Mittelwerte über einen

	Zeitraum von 30 Jahren zu bilden, um den Einfluss der natürlichen Variabilität aus der statistischen Betrachtung des Klimas auszuklammern. Hierfür kam in der Vergangenheit häufig der Zeitraum 1961 bis 1990 zum Einsatz. Viele Anwendungen benötigen aber eine statistische Beschreibung des aktuellen Klimas, wofür daher in den letzten Jahren die Klimanormalperiode 1981-2010 verwendet wurde. Die klimatischen Bedingungen eines vergleichsweise aktuellen Zeitraums entsprechen auch dem „erlebten“ Klima der Bevölkerung. Mit Ende des Jahres 2020 wurde die Referenzperiode Vergleichsperiode für aktuelle klimatologische Bewertungen durch die Periode 1991 bis 2020 ersetzt.
PET (Physiologisch äquivalente Temperatur)	physiologisch äquivalente Temperatur, physiological equivalent temperature (engl.), PET, thermischer Index zur Kennzeichnung von Wärmebelastung, beruht auf der Transferierung der aktuellen Klimawerte der Umgebung in ein vergleichbares Raumklima, das durch die gleiche thermophysiologische Belastung charakterisiert ist.
Planungshinweiskarte	Bewertung der thermischen Belastung in Siedlungs- und Gewerbeflächen im Stadtgebiet (→ Wirkraum) sowie der bioklimatischen Bedeutung des → Ausgleichsraumes. Aus dieser lassen sich allgemeine Planungshinweise ableiten.
Rauigkeit	Durch die topographische Ausstattung und das Relief hervorgerufene Unebenheit der Erdoberfläche. Die Rauigkeit führt in der atmosphärischen Grenzschicht zu dynamischer Turbulenz und bestimmt das Höhenprofil der Windgeschwindigkeit und die vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit, welche zur Erdoberfläche hin auf „0“ zurückgeht.
RCP-Szenarien	Für den 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), der im Jahr 2013 erschienen ist, wurden sogenannte „Repräsentative Konzentrationspfade“ (Representative Concentration Pathways – RCPs) entwickelt. Diese neuen Szenarien wurden nicht vom IPCC, sondern von frei arbeitenden Wissenschaftlern erarbeitet und stützen sich auf Ergebnisse der wissenschaftlichen Literatur. Genannt werden u.a. • RCP2.6 (Konsequenter Klimaschutz): "Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemissions- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 W/m² im Jahr 2100 • RCP4.5 (Begrenzter Klimaschutz): Moderate Entwicklung. Anstieg CO₂-Äquivalent bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau • RCP8.5 (Kein Klimaschutz): Über 1370 ppm CO₂-Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau
Sommertag	Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$ beträgt.
städtische Wärmeinsel	Die städtische Wärmeinsel (englisch Urban Heat Island, UHI) ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas. Sie wird durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der meist wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland charakterisiert. Die städtische Wärmeinsel erreicht ihr Maximum bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen (→ autochthone Wetterlage) während der Nacht.
Stadtklima	Während das Klima in der freien Landschaft weitgehend von natürlichen Gegebenheiten abhängig ist, bildet sich in Stadtlandschaften ein durch Bauwerke beeinflusstes Klima aus, das Stadtklima. Man versteht darunter aber auch die Veränderung der natürlichen Zusammensetzung der Luft durch anthropogene Einflüsse. Stadtklima = Klima und Lufthygiene in der Stadt
Strahlungswetterlage	→ autochthone Wetterlage
Strömungsfeld	Flächenhafte Darstellung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Tropische Nacht	Eine Tropennacht ist eine Nacht in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20\text{ °C}$ beträgt (täglicher Messzeitraum: 18 UTC bis 06 UTC).
Wirkraum	Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Siedlungs-, Verkehrs- und Gewerbe- und Industrieflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.
z-Transformation	z-Transformation, in der Statistik häufig eingesetzte Transformation, um verschiedene Variablen auf einen gleichen Maßstab zu setzen (z-Skala). Bei einer z-Transformation werden die Abweichungen der ursprünglichen Werte von ihrem Mittelwert durch ihre Standardabweichung geteilt.

Glossar v.a. nach /3/ bis /11/

1 Aufgabenstellung

Der derzeit beobachtete und prognostizierte Klimawandel hat bereits heute z.T. erhebliche Auswirkungen, wie z.B. häufigere Extremereignisse und langanhaltende Hitze mit Trockenheit. Aber auch Überschwemmungen aufgrund von Starkregen treten mit zunehmender Intensität auf (z.B. in /28/). Von 1881 bis 2020 stiegen die mittleren Temperaturen in Deutschland deutlich, sowohl im Jahresdurchschnitt (+1,64 °C) als auch im Sommer (+1,58 °C) und Winter (+1,72 °C), wohingegen beim Niederschlag zwar in der Jahressumme Zunahmen, insbesondere im Sommer jedoch Abnahmen zu verzeichnen sind /2/, /26/, /29/.

Für Ebersbach an der Fils zeigen regionale Klimaänderungsinformationen eine zukünftig zu erwartende Zunahme bei der Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperatur über 25°C), der heißen Tage (Tageshöchsttemperatur über 30°C) und der Tropennächte (Tagesmindesttemperatur über 20°C), bei tendenziellem Rückgang der Sommerniederschläge /35/.

Unter anderem daher sind die Schutzgüter „Klima“ und „Luft“ sowie damit verbunden „Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit“ (§ 2 UVPG, vergleichbar auch § 1 BImSchG) zentrale Aspekte der räumlichen Planung sowie Bestandteil der Abwägung in den verschiedenen Ebenen der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Darauf aufbauend sind wesentliche Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege u.a. *„Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen“* und hierbei insbesondere *„Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete, Luftaustauschbahnen oder Freiräume im besiedelten Bereich“* dauerhaft zu sichern und deren Leistungs- und Funktionsfähigkeit zu erhalten (§ 1 BNatSchG).

Flächenbezogenen Fachinformationen zu den Schutzgütern Klima und Luft kommt eine entscheidende Bedeutung bei der Beurteilung und der sachgerechten Bewertung und Abwägung von Eingriffen in den Komplex Wirkraum-/Ausgleichsraum zu, sei z.B. es bei der Erschließung neuer Siedlungsflächen, durch Verdichtung im Bestand (z.B. § 13 BauGB) oder durch bei der (klimatischen) Sanierung im Bestand.

Im Bereich der Stadtklimaanalysen ist v.a. die Richtlinienreihe 3787 des VDI als Erkenntnisquelle heranzuziehen. Die dort enthaltenen Richtlinien enthalten aktuelle Informationen und Handlungsanweisungen zur Bearbeitung stadtklimatischer Fragestellungen. Hervorzuheben sind vorliegend insbesondere die Richtlinie VDI 3787 Blatt 1 „Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“ /18/ sowie die Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 „Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft“ /16/, /17/ und die Richtlinie VDI 3787 Blatt 8 „Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel“ /22/. Unter anderem auf diese Richtlinien stützt sich die Bearbeitung im vorliegenden Fall.

Durch die inzwischen flächendeckend verfügbaren digitalen Datengrundlagen (z.B. digitales Geländemodell, digitale Daten zu Gebäudebestand und Landnutzung) sowie dem aktuellen Stand der Technik im Bereich der Modellierung von Stadtklima ist eine Ermittlung, Beschreibung und Bewertung verschiedenster Aspekte des Stadtklimas in hohem Detaillierungsgrad möglich. So kann z.B. auf Daten zur Lage und Höhe der Gebäude im Stadtgebiet, aber auch zur Landnutzung im Stadtgebiet sowie der weiteren Umgebung zurückgegriffen werden.

Das Erfordernis der Anpassung an den prognostizierten und beobachteten Klimawandel als zentrale Herausforderung des 21. Jahrhunderts ist der Hauptgrund für die Auflage des Förderprogramms KLIMOPASS des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Die vorliegende Stadtklimaanalyse wird durch dieses Programm gefördert (vorliegend der Teilaspekt „Erarbeitung von Klimaanalysen“; Nr. 2.2.2.1 der KLIMOPASS VwV) /1/.

Im Auftrag der Stadt Ebersbach an der Fils wurde durch das Ingenieurbüro Dr. Dröscher, Tübingen, die vorliegende Stadtklimaanalyse erstellt. Die wesentlichen Ergebnisse konzentrieren sich auf das Stadtgebiet von Ebersbach, während die zugrunde liegenden Modellierungen auch weite Teile des Umlandes umfassen. Die Ergebnisse sind v.a. in den Karten im Anhang dargestellt, der vorliegende Bericht dient der Erläuterung und Einordnung.

Im Fokus einer Stadtklimaanalyse stehen üblicherweise austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlagen (autochthone Wetterlagen), in denen im Sommer generell hohe thermische Belastungen zu erwarten sind. Während dieser z.T. lang andauernden Wetterlagen tragen im wesentlichen Kalt- und Frischluftströme aus dem Umland zum Abbau thermischer und lufthygienischer Belastungen bei. Dieses Prozesssystem kann durch angepasste Stadtplanung positiv beeinflusst werden.

2 Stadtklimatische Grundlagen

2.1 Rechtliche Regelungen zum Klima auf lokaler Ebene

Für die Beurteilung von Eingriffen bzw. Nutzungsänderungen von Flächen auf stadtklimatische Parameter existieren derzeit keine Gesetze oder Verordnungen, die rechtsverbindliche Grenz- oder Schwellenwerte festlegen würden.

Im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) wird jedoch explizit der Schutz klimawirksamer Bereiche gefordert.

§ 1 (3) Nr. 4 BNatSchG

„Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sind insbesondere Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen [...]“

Die vorbereitende Bauleitplanung bietet dazu die Möglichkeit, Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete sowie Kalt- bzw. Frischluftleitbahnen als Flächen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, auszuweisen.

§ 5 Abs. 2 Nr. 2c BauGB

Im Flächennutzungsplan kann die Ausstattung des Gemeindegebiets mit Anlagen, Einrichtungen und sonstigen Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, dargestellt werden.

In der verbindlichen Bauleitplanung kann z.B. durch folgenden Grundsatz der Bauleitplanung

§ 1 (5) S. 2 BauGB

„[...] 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, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln. [...]“

Insbesondere über die Festsetzung von Art und Maß der baulichen Nutzung, der Baugrenzen und über örtliche Bauvorschriften kann Einfluss auf das Stadtklima genommen werden, z.B.:

- Ausrichtung der Gebäude und dem Maß der baulichen Nutzung (u.a. Grundflächenzahl, Geschoßflächenzahl, Zahl der Vollgeschosse bzw. Höhe der baulichen Anlage) in Hinblick auf die Sicherung und Förderung von Ausgleichsströmungen
- Festsetzung öffentlicher und private Grünflächen (Parkanlagen, Kleingärten, Sport-, Spielplätze, Friedhöfe, etc.), auch im kleinen Maßstab
- Begrünung von Straßenzügen, Parkplätzen und Gleistrassen
- Anpflanzen bzw. Erhalt von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen, z.B. durch trockenresistente großkronige Arten

- Festsetzung einer Dach- und Fassadenbegrünung zum Regenrückhalt und zur Minderung der Aufheizung am Tage
- Regenrückhalt zur Speicherung von Wasser für Trockenphasen (Schwammstadt)

Weiterhin besteht die Möglichkeit zur Erstellung von **Grünordnungsplänen** (GOP). Dies ist in der Bauleitplanung nicht verpflichtend, jedoch können diese in einen (dann rechtsverbindlichen) Bebauungsplan integriert werden.

Verschiedene Leitfäden und Richtlinien geben darüber hinaus Handlungsempfehlungen, die sich mit dem Prozesssystem **Wirkraum** (bebaute bzw. thermisch oder lufthygienisch belastete Bereiche) / **Ausgleichsraum** (Freiräume mit Kalt- bzw. Frischluftproduktion) beschäftigen.

2.2 Städtischer Wärmeinseleffekt

Nach der Definition der Weltorganisation für Meteorologie (engl. *World Meteorological Organization*, kurz WMO) ist das Stadtklima als "durch Bebauung und Emissionen gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima" definiert /2/.

Dies betrifft sowohl sämtliche Klimaelemente, wie z.B. **Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind**, als auch Immissionsgrößen, wie zum Beispiel die Luftqualität. Die Klimaelemente weisen in der Stadt ein gegenüber dem Umland veränderten Tagesgang sowie auch eine veränderte Amplitude auf. Mit zunehmender Stadtgröße und Einwohnerzahl bzw. mit größer werdenden Entfernungen zwischen einzelnen Orten im Wirkraum zum nächstgelegenen Ausgleichraum nimmt der Effekt tendenziell zu. Auch bestehen größere Städte oft aus Strukturen, welche den Wärmeinseleffekt verstärken (Hochhäuser, hoher Versiegelungsgrad, z.B. durch flächenintensive Infrastruktur, anthropogener Wärmeeintrag durch Fabriken, Kraftwerke, Rechenzentren u.ä.) /2/ /10/.

Die folgende Abbildung 1 verdeutlicht die genannten Zusammenhänge sowie die Stadt-/Umland bzw. die Wirkraum-/Ausgleichsraum-Beziehung /2/. Die darauffolgende Abbildung 2 zeigt schematisch die Temperaturverteilung in einer Stadt als Schnitt /10/.

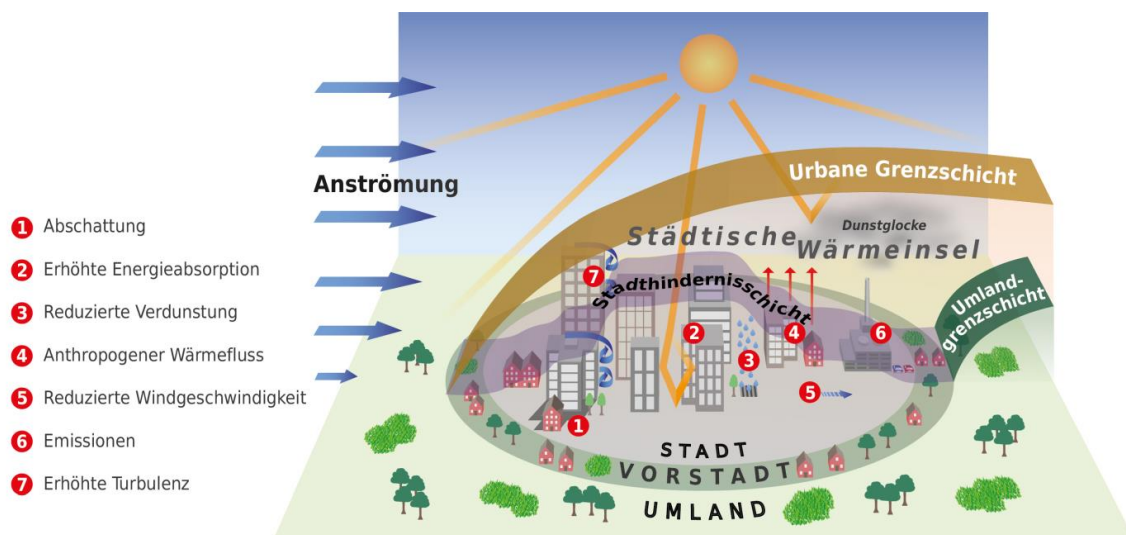


Abbildung 1: Das Stadtklima und seine Einflussfaktoren /2/

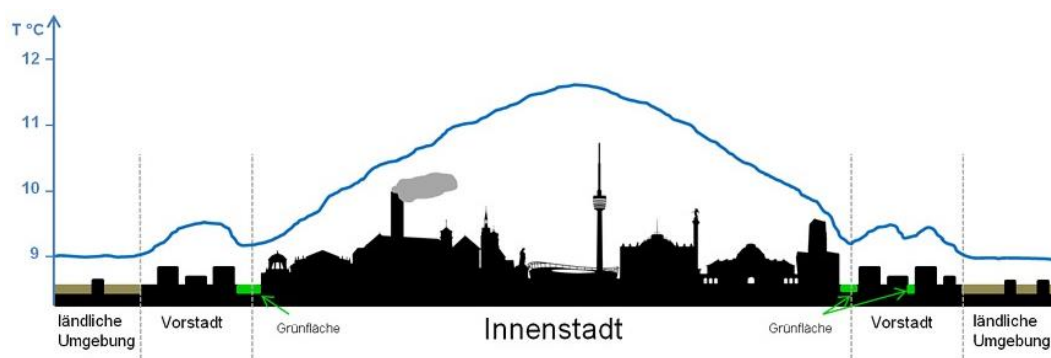


Abbildung 2: Schema des Wärmeinseleffektes anhand eines Schnittes /10/

Unabdingbar für die Milderung des Wärmeinseleffektes sind Ausgleichsprozesse zwischen dem Wirkraum und dem Ausgleichsraum. Wesentliche Prozesse, welches den Ausgleich unterstützen sind thermische Windsysteme wie Kaltluftabflüsse und Flurwinde.

2.3 Kaltluftprozesse

Die Entstehung von bodennaher Kaltluft ist insbesondere bei autochthonen Wetterlagen für das Stadtklima relevant.

Eine Ausgleichsfunktion können in diesem Fall vor allem in reliefiertem Gelände nächtliche Kaltluftströme aus dem Umland übernehmen. Sie entstehen am Übergang zur Nacht, wenn die bodennahe Luftschicht im Freiland durch die langwellige Ausstrahlung stärker abkühlt als über den überhitzten Siedlungsflächen. Eine fehlende bzw. geringe Bewölkung verstärkt diesen Effekt, da die Gegenstrahlung entfällt.

Kaltluftansammlungen in ebenem Gelände sind weniger geeignet, dynamische Luftaustauschprozesse in Gang zu setzen (= Flurwindssystem, welches lediglich durch den Temperaturunterschied induziert wird und insbesondere in reliefiertem Gelände gegenüber den Kaltluftabflüssen stark untergeordnet ist). In reliefiertem Gelände kann dagegen der Kaltluftabfluss (siehe Abbildung 3) entsprechend dem natürlichen Gefälle zu einer lokalen Erhöhung der Windgeschwindigkeit in Bodennähe führen.

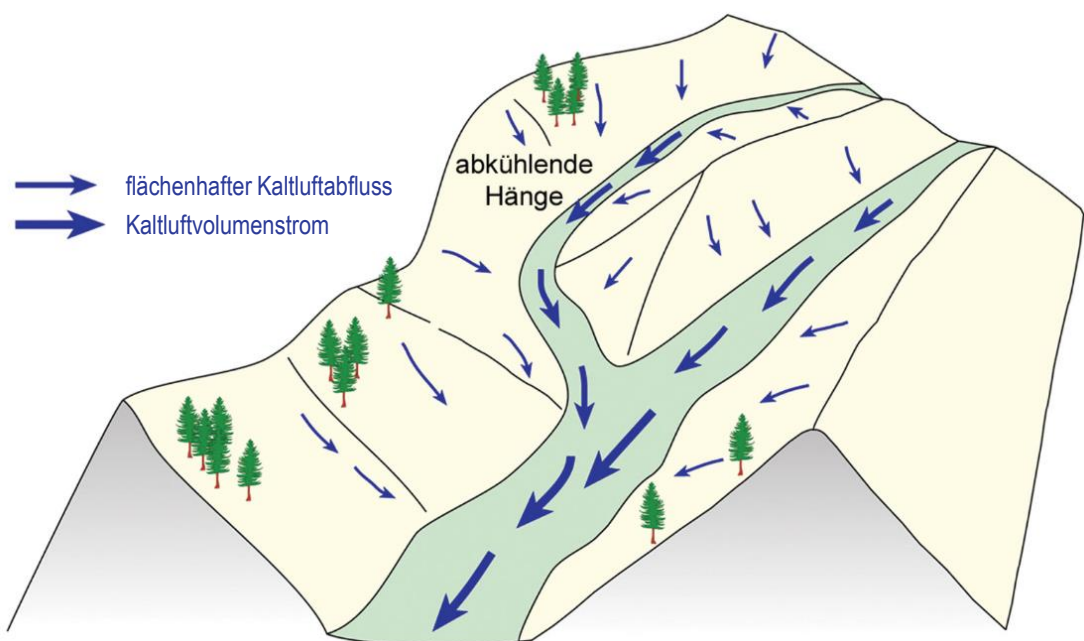


Abbildung 3: flächenhafter Kaltluftabfluss und Kaltluftvolumenstrom (Pfeile) /13/

Das Windgeschwindigkeitsmaximum in der Abflussschicht wird i.d.R. auf der Hälfte der für die obere Kaltluftgrenze anzunehmenden Höhe erreicht (siehe Abbildung 4). Wie aus der Abbildung ersichtlich, nimmt die Geschwindigkeit des Abflusses insbesondere zum oberen Rand der Schicht (darüberliegendes Luftpaket) und zum unteren Rand der Schicht (Rauigkeit der Geländeoberfläche) ab. Je geringer die Rauigkeit der Geländeoberfläche desto näher liegt der Schwerpunkt der Strömung am Boden.

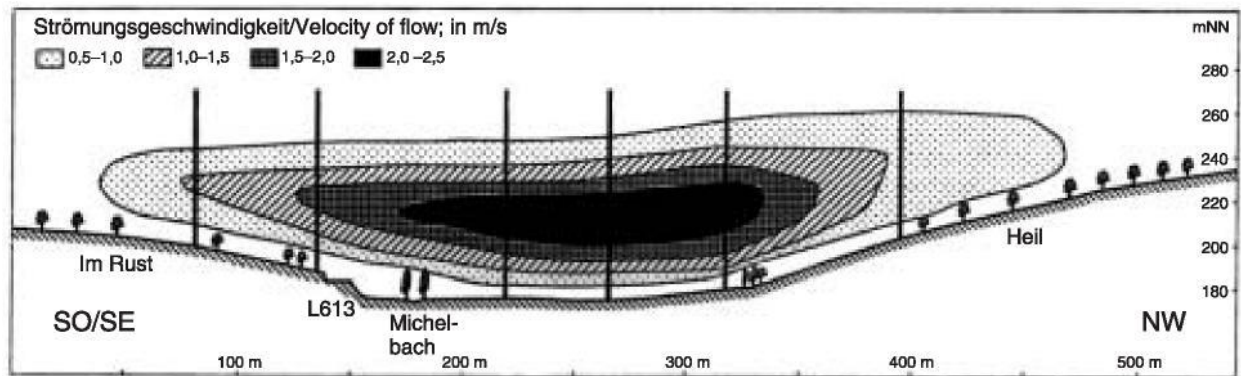


Abbildung 4: Querschnitt durch die talwärtige Geschwindigkeitskomponente eines Kaltluftstromes, dargestellt anhand von Isotachen /16/

2.4 Thermisches Bioklima und menschliche Gesundheit

Der Mensch hat die Fähigkeit, seine Kerntemperatur (Temperatur des Körperinneren) unabhängig von wechselnden thermischen Umgebungsbedingungen und bei unterschiedlicher eigener Wärmeproduktion (Aktivität) innerhalb einer geringen Schwankungsbreite konstant zu halten /18/. Dies wird durch eine Reihe von autonomen, das heißt unwillkürlich ablaufenden, physikalischen und chemischen Regulationsmechanismen erreicht, mit denen Wärmeabgabe und Wärmebildung an die Umweltbedingungen, die sich aus der kombinierten Wirkung von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langweiliger Strahlung ergeben, angeglichen werden. Durch angepasstes Verhalten hat der Mensch zusätzlich die Möglichkeit, bei empfundener Unbehaglichkeit seine Thermoregulation zu unterstützen, z.B. bei

- Wärmebelastung durch Aufsuchen von schattigen, gut belüfteten Bereichen
- Kältestress durch Aufsuchen von windgeschützten und besonnten Bereichen

Das Behaglichkeitsempfinden schwankt von Tag zu Tag; die interindividuelle Streuung ist dabei etwa doppelt so groß wie die intraindividuelle. Dies erschwert zwar die Schaffung optimaler Bedingungen für alle Individuen, lässt jedoch für einen großen Teil der Bevölkerung das Erreichen von thermisch behaglichen Bedingungen zu /19/.

Unter extremen thermischen Umgebungsbedingungen kann die Thermoregulation überfordert werden. Bei ungenügender Entwärmung/Abkühlung des Körpers, z.B. durch

- Behinderung der Verdunstung durch fehlende Ventilation bei hohem Wasserdampfgehalt der Luft,
- ungeeignete (zu warme) Bekleidung,
- unangepasste (zu hohe) Aktivität oder
- intensive Sonnenbestrahlung

steigt trotz maximal körperlicher Thermoregulation die Körpertemperatur an. Es kann dann insbesondere bei älteren und kreislaufabilen Menschen zum Hitzekollaps durch Blutdruckabfall kommen.

Dagegen sinkt bei zu starkem Wärmeentzug des Körpers die Kerntemperatur und das Atemminutenvolumen nimmt zu. Es kommt zunehmend zu Bewusstseinsstörungen und Irregularitäten im Herz-Kreislauf-System /18/.

Die folgende Abbildung 5 verdeutlicht die Abhängigkeiten zum thermischen Wohlbefinden des Menschen in Bezug zu den wesentlichen Klimaelementen Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit.

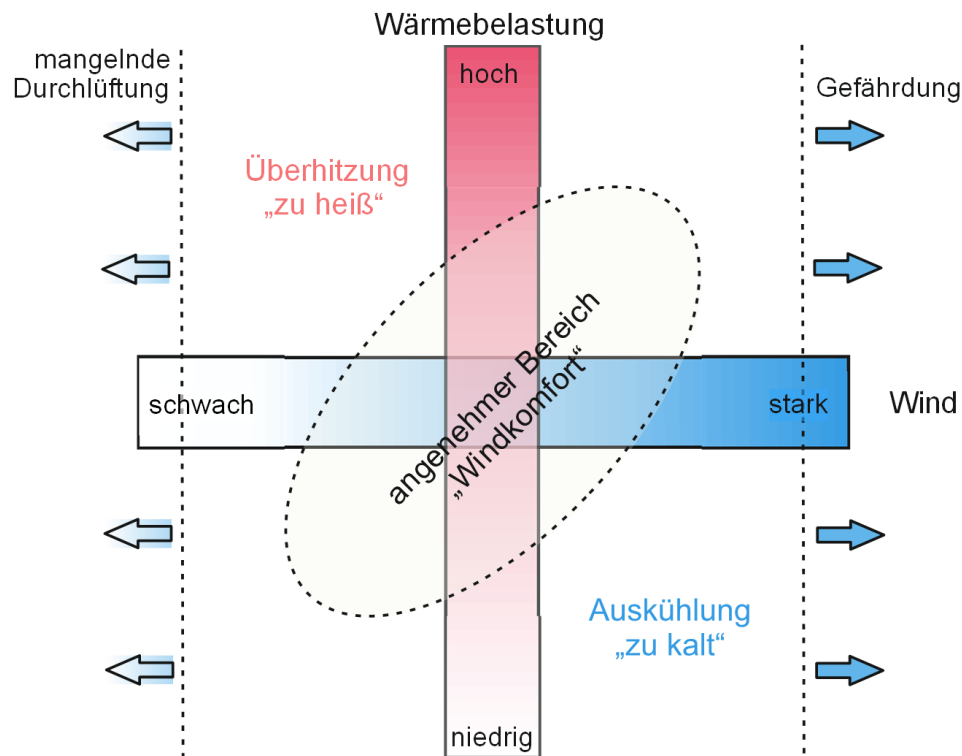


Abbildung 5: Wärmebelastung und Windgeschwindigkeit in Bezug zum Komfortbereich des Menschen /20/

Zur Beschreibung und Objektivierung der thermischen Behaglichkeit und des Hitze- oder Kälteempfindens wird im Allgemeinen die PET (**P**hysiologically **E**quivalent **T**emperature) verwendet.

Die PET stellt generell die menschliche Reaktion auf die thermische Umwelt dar und bezieht sich auf Bedingungen, die typischen Büroverhältnissen entsprechen /18/. Die PET ist ein klimatischer Index, der individuelle Verhaltensanpassungen (z.B. Änderung der Bekleidung oder der Tätigkeit) im Gegensatz zum ebenfalls gebräuchlichen „Universal Thermal Climate Index“ (UTCI) nicht berücksichtigt. Der PET wurde auf der Grundlage des Münchner Energiebilanz-Modell für Individuen (MEMI) entwickelt /18/.

Die Bewertung der berechneten PET-Werte erfolgt nach einer Bewertungsskala (siehe Tabelle 1). Thermische Behaglichkeit eines Menschen mit Bürotätigkeit in leichtem Sommeranzug stellt sich gemäß der Bewertungsskala der PET bei etwa 20 °C ein /18/.

**Tabelle 1: Kategorisierung von PET in Bereiche unterschiedlichen thermischen Empfindens
/18/**

PET in °C	Thermisches Empfinden	Belastungskategorie
PET > 41	sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung/Hitzestress
35 < PET ≤ 41	heiß	starke Wärmebelastung/Hitzestress
29 < PET ≤ 35	warm	moderate Wärmebelastung
23 < PET ≤ 29	leicht warm	leichte Wärmebelastung
18 < PET ≤ 23	komfortabel (neutral)	kein thermischer Stress
13 < PET ≤ 18	leicht kühl	leichter Kältestress
8 < PET ≤ 13	kühl	moderater Kältestress
4 < PET ≤ 8	kalt	starker Kältestress
PET ≤ 4	sehr kalt	extremer Kältestress

2.5 Datengrundlagen

2.5.1 Digitale räumliche Daten

Wesentliche digitale räumliche Daten, die in den angewendeten Modellen zum Einsatz (Kap. 4) kamen, wurden der Stadt Ebersbach durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) bereitgestellt:

- Landnutzung:
 - Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2018
 - Urban Atlas Land Cover/ Land Use 2018
 - ALKIS Daten: Tatsächliche Nutzung
 - Daten zu Einzelbäumen und Baumgruppen im Stadtgebiet
 - Daten zu versiegelten Flächen
- Digitales Geländemodell in 5 m Auflösung (DGM5) für das Stadtgebiet und in 20 m Auflösung für das Rechengebiet (DGM20)
- Digitale Orthophotos (DOP) in 20 cm Auflösung
- Digitales Gebäudemodell (LOD 2) für das Stadtgebiet von Ebersbach
- Flächennutzungsplan der Vereinbarten Verwaltungsgemeinschaft Ebersbach – Schlierbach 2010

Die Daten wurden für die Anwendung in den Modellen teilweise angepasst.

2.5.2 Klimatologische Messwerte bzw. Daten

Als Datengrundlage wurde zurückgegriffen auf meteorologische und klimatologische Datengrundlagen

- des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die Station Stuttgart/Echterdingen /29/,
- der LUBW zu den Windverhältnissen im Stadtgebiet (synthetische Windstatistiken) /31/.

2.5.3 Unterlagen zum prognostizierten Klimawandel

- Daten des Climate Service Center Germany (GERICS) /35/
- Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) /29/
- Kompetenzzentrum Klimawandel der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg /14/

3 Klimatische Situation und Klimawandel im Bereich Ebersbach an der Fils

3.1 Das derzeitige Klima im Bereich Ebersbach

Für die Beschreibung der derzeitigen klimatischen Situation kann auf verschiedene veröffentlichte Auswertungen zurückgegriffen werden. Diese basieren generell auf punktuell gemessenen und flächenhaft interpolierten Daten des Deutschen Wetterdienstes. Genauere Daten, z. B. zu stündlichen Wetterbeobachtungen reichen bis weit in das letzte Jahrhundert zurück. Derzeit bestehen 181 hauptamtlich betriebene Messstationen des DWD (Stand: 01.01.2024) /28/. Die gemessenen sowie die interpolierten Daten werden auf den Seiten des DWD zur Auswertung bereitgestellt /29/.

Gemäß den Daten zur aktuellen Klimareferenzperiode (1991-2020) beträgt die langjährige Mitteltemperatur in der Kernstadt von Ebersbach 10,2 °C, in den Stadtteilen Büchenbronn und Krapfenreut dagegen um 0,6 K bis 1,0 K weniger /29/. Die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg betrug im gleichen Zeitraum 9,2 °C, in Deutschland insgesamt 9,3 °C /30/.

Für die Kernstadt von Ebersbach wird ein mittlerer Jahresniederschlag von 845 mm ausgewiesen, in den südlichen Stadtteilen liegt dieser geringfügig darüber. In Büchenbronn und Krapfenreut beträgt der mittlere Jahresniederschlag bis zu ca. 950 mm. Der mittlere Jahresniederschlag in Baden-Württemberg beträgt 953 mm, in Deutschland insgesamt 792 mm /30/.

Als erster Hinweis auf die thermische Belastungssituation im Stadtgebiet von Ebersbach können die Anzahl an Sommertagen ($T_{\max} \geq 25\text{ °C}$) sowie die Anzahl an Heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) herangezogen werden. Für die Kernstadt von Ebersbach sind in der aktuellen Klimareferenzperiode 61 Sommertage pro Jahr verzeichnet (Büchenbronn und Krapfenreut 52 bzw. 50 Sommertage). An Heißen Tage wurden in der Kernstadt 16 Tage pro Jahr, in den Stadtteilen nur 1 bis 2 Tage weniger ermittelt.

Zur Beschreibung der Windverhältnisse in Ebersbach und Umgebung kann v.a. auf Daten des DWD sowie der LUBW zurückgegriffen werden, auch wenn im Stadtgebiet von Ebersbach selbst sowie der unmittelbaren Umgebung wird keine Wetterstation betrieben wird, welche eine längere Datenreihe darstellen kann.

Aufgrund der topographischen Verhältnisse ergibt sich nach den interpolierten Daten des DWD im Stadtgebiet ein heterogenes Bild bezogen auf die mittlere Windgeschwindigkeit. Geringe mittlere Windgeschwindigkeiten sind v.a. im Filstal sowie seinen Seitentälern zu verzeichnen (ca. 2 m/s), in den Hochlagen (Büchenbronn, Krapfenreut) ergeben sich dagegen typischerweise deutlich höhere mittlere Windgeschwindigkeiten von bis zu > 3 m/s (siehe Abbildung 6).

Die angegebene mittlere Windgeschwindigkeit für die Kernstadt in Tallage korrespondiert gut mit der angegebenen mittleren Windgeschwindigkeit der synthetischen Winddaten der LUBW /31/. Diese zeigen über die mittlere Windgeschwindigkeit hinaus auch Daten zur Häufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeitsklassen, zur Windrichtungsverteilung (Abbildung 7) sowie die den Ausbreitungsklassen der TA Luft. Letztere sind ein Maß für die Schichtungsstabilität bzw. Dynamik in der unteren Atmosphäre /32/.

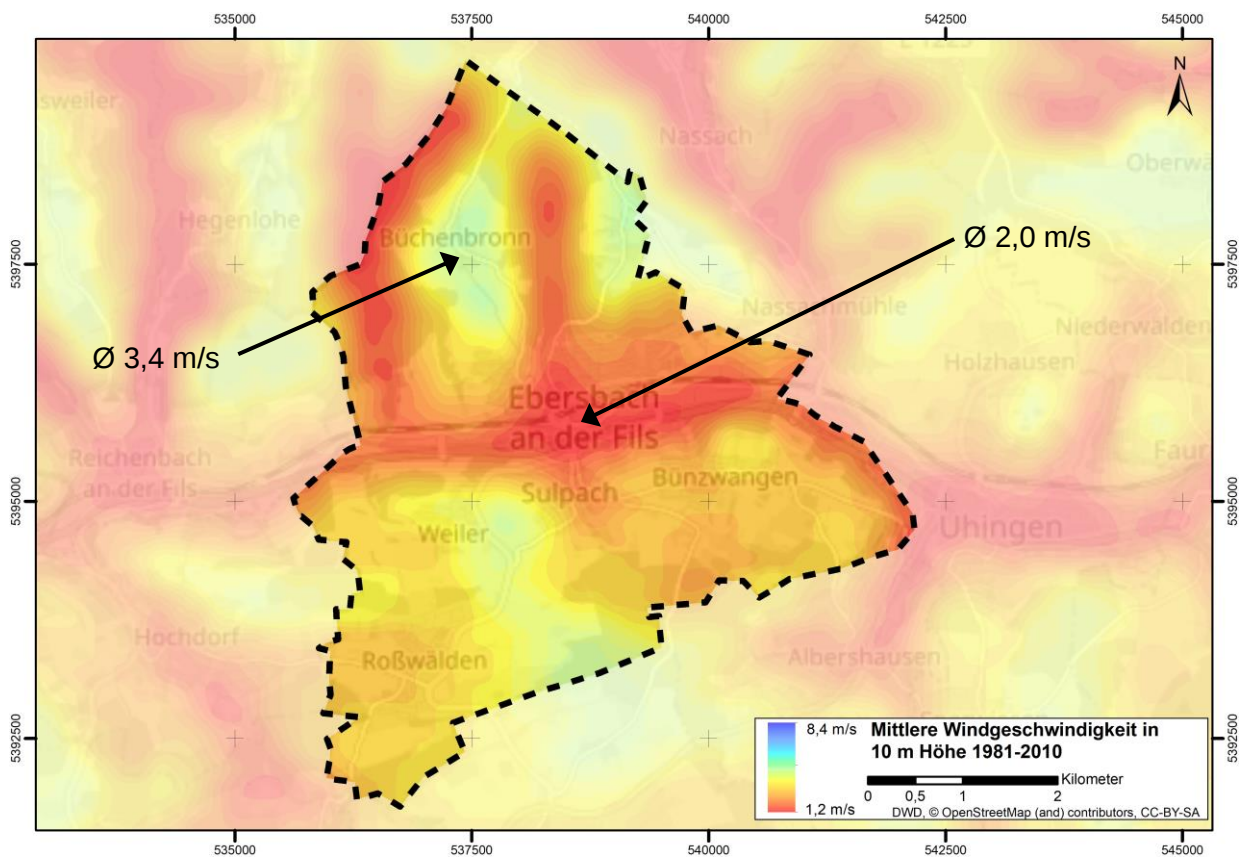


Abbildung 6: Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (Jahre 1981 bis 2010) /29/

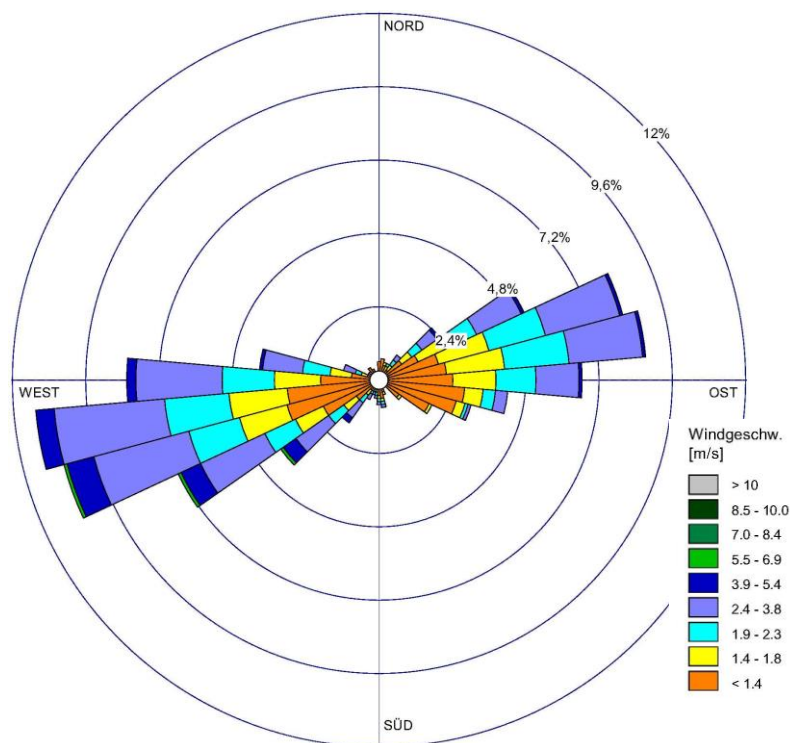


Abbildung 7: Mittlere Windrichtungs- und -geschwindigkeitsverteilung gemäß dem synthetischen Daten der LUBW in der Kernstadt von Ebersbach

Wie in Abbildung 7 deutlich zu sehen, ergeben sich für die Windrichtungsverteilung in der Kernstadt von Ebersbach zwei ausgeprägte Maxima (West Südwest und Ostnordost). Die starke Bündelung in zwei Hauptwindrichtungen ist typisch für Tallagen erklärt sich durch den Verlauf des Filstals im Bereich von Ebersbach sowie durch die typische großräumige Anströmung aus Südwest in Süddeutschland. Diese typische großräumige Anströmung ist auch in der Windrichtungsverteilung im Bereich von Krapfenreut erkennbar, jedoch ist diese durch die freie Anströmbbarkeit und den geringeren Einfluss des Filstales deutlich heterogener. Hier spielen auch Nebenwindrichtungen eine Rolle (siehe Abbildung 8).

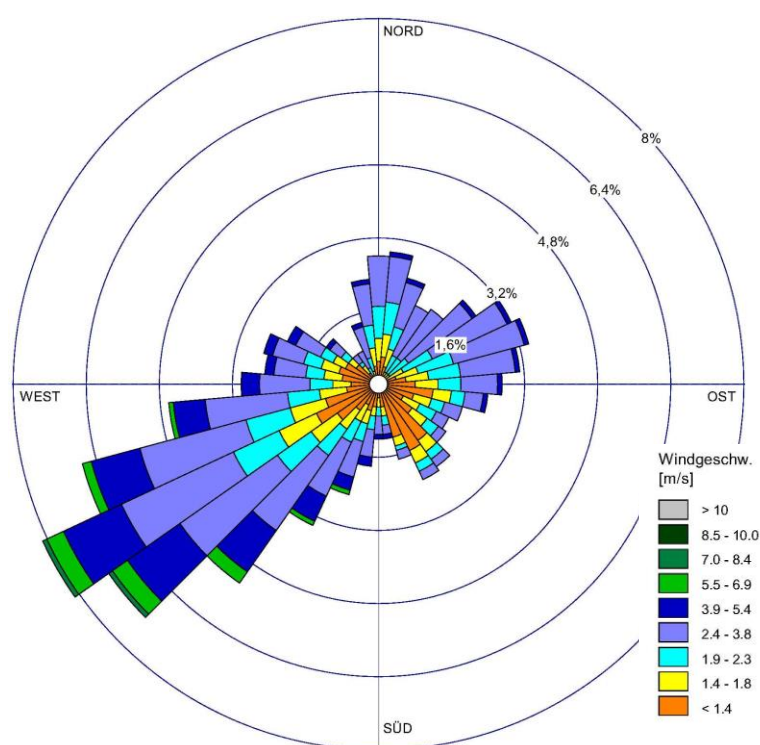


Abbildung 8: Mittlere Windrichtungs- und -geschwindigkeitsverteilung gemäß dem synthetischen Daten der LUBW im Stadtteil Krapfenreut

3.2 Häufigkeit autochthoner Wetterlagen

Die meteorologische Situation, welche die Grundlage für die hier durchgeführten Modellierungen bildet, ist ein Sommertag bei einer übergeordneten autochthonen Wetterlage (geringe Bewölkung bis wolkenlos, geringe bis sehr geringe übergeordnete Windgeschwindigkeit).

Typisch für diese Wetterlagen ist, dass es am Tag zu einer weitgehend uneingeschränkten kurzweiligen Einstrahlung durch die Sonne kommt, so dass hohe Tagestemperaturen und eine starke Aufheizung der Stadt erreicht werden.

In der Nacht hingegen ist die langwellige Ausstrahlung durch den wolkenlosen Himmel ungehindert, so dass die Unterschiede zwischen Wirkraum und Ausgleichraum besonders prägnant hervortreten. Für die Einschätzung der Häufigkeit nächtlicher autochthoner Wetterlagen in Ebersbach werden langjährige Messdaten zum Bedeckungsgrad des Himmels (angegeben in Achtel von 0/8 = wolkenlos bis 8/8 = bedeckt) sowie Daten zur

Windgeschwindigkeit in stündlicher Auflösung benötigt. Die wichtigste Station des DWD in der Umgebung, welche über langjährige Messreihen verfügt und vorliegend zur Auswertung geeignet ist, ist die Station Stuttgart-Echterdingen (Stations-Nr. 4931).

Zur Beschreibung der Häufigkeit autochthoner Wetterlagen werden die Häufigkeit und die Andauer von (nächtlichen) meteorologischen Situationen, mit der Ausbreitungsklasse I der TA Luft /32/, berechnet gemäß VDI 3782 Blatt 6 /33/, ausgewertet. Diese Ausbreitungsklasse umfasst (übergeordnet) windschwache und wolkenarme meteorologische Situationen in der Nacht. Vorliegend wird als eine windschwache Strahlungsnacht gewertet, wenn zwischen 17 Uhr und 5 Uhr an mindestens 7 aufeinanderfolgenden Stunden die meteorologische Situation als Ausbreitungsklasse I klassifiziert wurde.

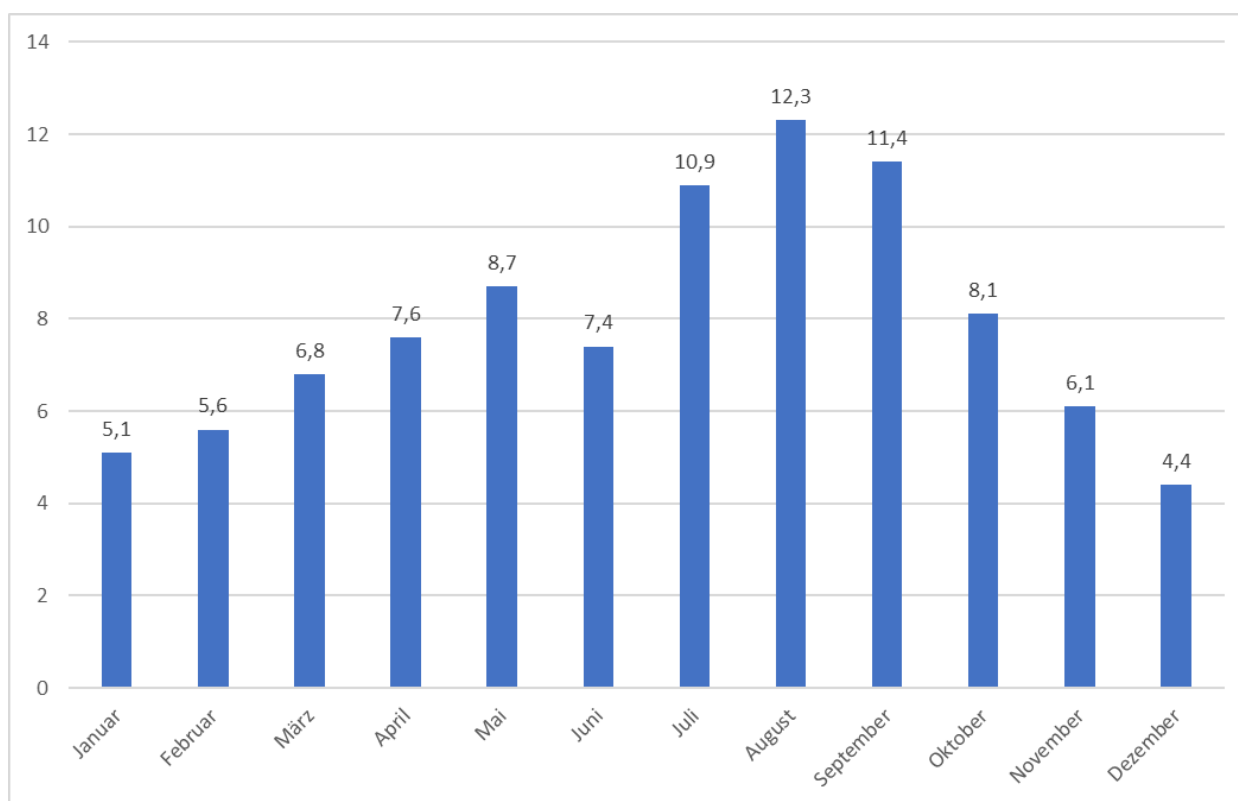


Abbildung 9: Langjährige mittlere monatliche Anzahl an windschwachen Strahlungs Nächten an der Station Stuttgart-Echterdingen des DWD (1981 bis 2020)

Insgesamt waren demnach an der Station Stuttgart-Echterdingen im Mittel der Jahre 1981 bis 2020 pro Jahr 94 windschwache Strahlungs Nächte zu verzeichnen. Der Schwerpunkt des Auftretens liegt in den Sommermonaten (Juni, Juli, August) mit rund 31 Tagen (entspricht demnach einem Anteil von 33 %, d.h. jede dritte Nacht im Sommer ist eine windschwache Strahlungsnacht). Aufgrund der Lage der Station ist davon auszugehen, dass diese großräumig repräsentativ ist, so dass sich die dortigen Verhältnisse auf die Verhältnisse in Ebersbach übertragen lassen.

3.3 Beobachteter und erwarteter Klimawandel

3.3.1 Beobachteter Klimawandel

In den Daten zu den Klimareferenzperioden (Jahre 1961 bis 1990, 1971 bis 2000, 1981 bis 2010 sowie aktuell 1991 bis 2020) des DWD sind für das Stadtgebiet von Ebersbach bereits deutliche Zunahmen der mittleren Temperaturen sowie der Temperaturextrema aufgezeichnet worden /29/. Diese deutliche Erwärmung entspricht den inzwischen ausführlich dokumentierten nationalen und internationalen Trends /28/.

Die folgende Abbildung 10 zeigt die Temperaturanomalie in Baden-Württemberg für die Jahre 1881 bis 2023 bezogen auf die Klimareferenzperiode der Jahre 1961 bis 1990 /15/.

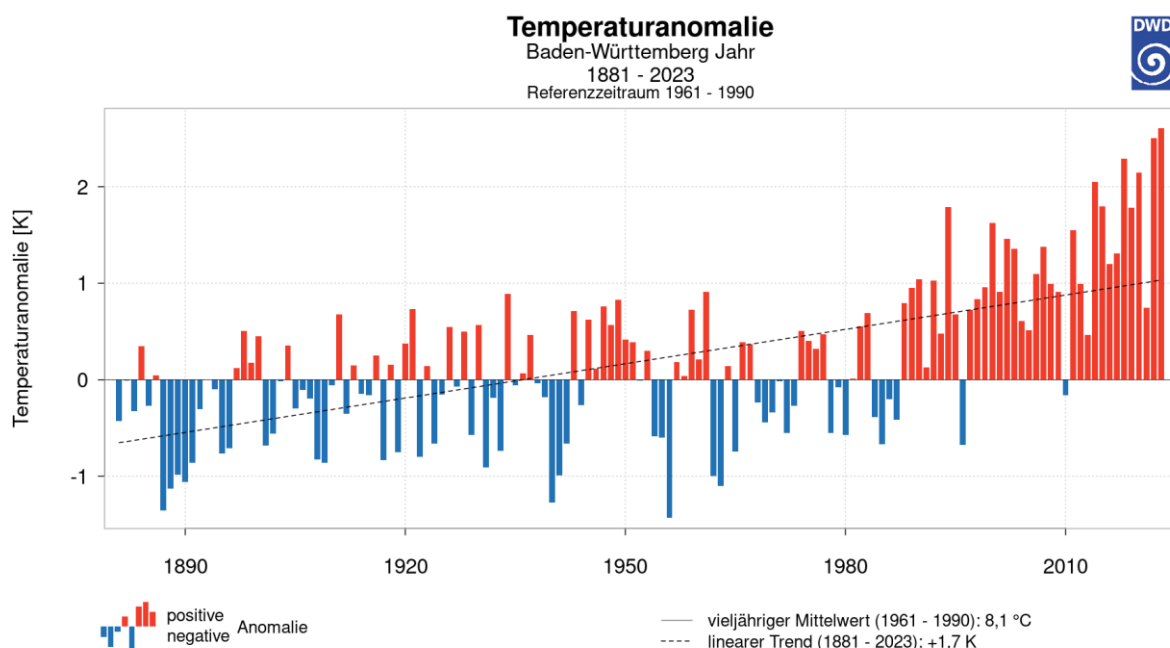


Abbildung 10: Positive oder negative Abweichung der Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg der Jahre 1881 bis 2023 vom langjährigen Mittelwert der Jahre 1961 bis 2023 /15/

Die Abbildung 10 zeigt, dass es in Baden-Württemberg zu erheblichen Zunahmen positiver Temperaturanomalien kommt und das negative Temperaturanomalien inzwischen äußerst selten sind. Die wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen fallen allesamt in die letzten 20 Jahre.

Dies wirkt sich entsprechend auf die meteorologischen Kenntage (z.B. Sommertage mit $T_{\max} \geq 25\text{ °C}$; Heiße Tage mit $T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) aus. Die folgende Abbildung 11 zeigt für das Stadtgebiet von Ebersbach flächenhaft die Anzahl der Sommertage der Klimareferenzperioden (Jahre 1961 bis 1990, 1971 bis 2000, 1981 bis 2010, 1991 bis 2020). Es zeigt sich im Vergleich eine deutliche Zunahme an Sommertage über die Klimareferenzperioden hinweg, so dass z.B. für die Kernstadt in der aktuellen Klimareferenzperiode 20 Sommertage und den Stadtteil Büchenbronn 18 Sommertage mehr als in der ersten Klimareferenzperiode verzeichnet sind.

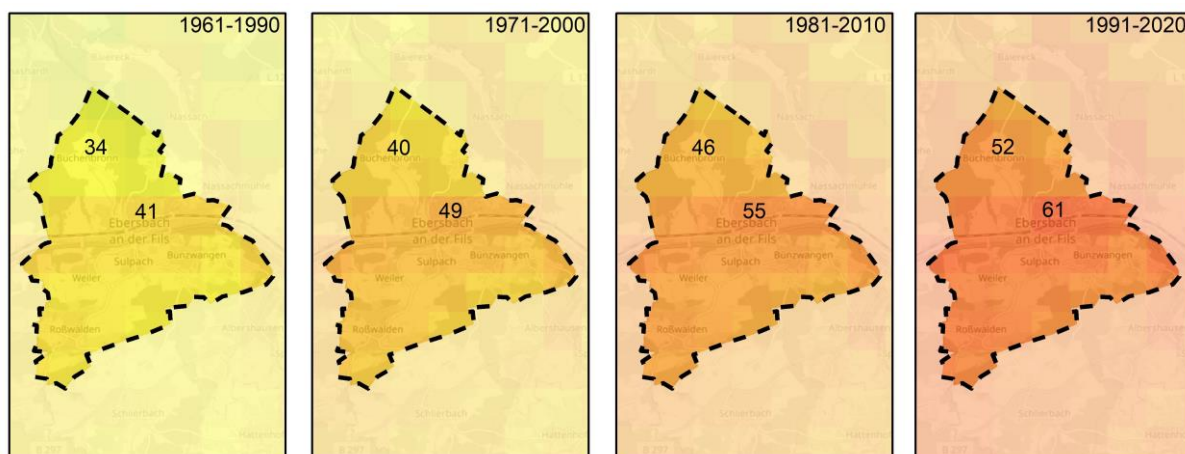


Abbildung 11: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage im Stadtgebiet von Ebersbach in den Klimareferenzperioden, Dargestellt sind jeweils der niedrigste oder der höchste Wert; eigene Darstellung nach /29/

Die folgende Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Sommertage und der Heißen Tage für Ebersbach sowie für weitere Orte.

Tabelle 2: Anzahl der Sommertage und der Heißen Tage für Ebersbach im Vergleich mit anderen Städten

	1961-1990		1971-2000		1981-2010		1991-2020	
Ort	Sommertage	Heiße Tage	Sommertage	Heiße Tage	Sommertage	Heiße Tage	Sommertage	Heiße Tage
Hamburg	23	4	26	4	29	5	32	6
Freiburg	49	10	53	11	60	14	64	17
Stuttgart	38	6	44	9	52	12	57	15
Ebersbach/Fils	41	8	49	11	55	13	61	16
Feldberg/Schwarzwald	0	0	2	0	5	0	8	1

Nach Tabelle 2 wird deutlich, dass v.a. die Kernstadt von Ebersbach im Filstal aufgrund ihrer topographischen Lage zu den am meisten wärmebelasteten Regionen in Deutschland gehört. Abgemildert wird dies, wie die weiteren Ausführungen zeigen werden, durch eine – insbesondere gegenüber Großstädten – verhältnismäßig effektive Abkühlung auch der Kernstadt in der Nacht.

In Bezug auf den Niederschlag sind in der Vergangenheit kaum Auswirkungen durch den Klimawandel dokumentiert worden. Dies trifft insbesondere auf die Jahressummen zu. Tendenziell zeigt sich in den Daten eine Zunahme der winterlichen Niederschläge bei gleichzeitiger Abnahme der sommerlichen Niederschläge /34/.

Betrachtet man die mittleren Windgeschwindigkeiten und die Böengeschwindigkeiten sind die aus den bisher erfassten Daten Tendenzen in Bezug zu möglichen bereits erfolgten klimawandelbedingten Änderungen uneinheitlich. Da die Windgeschwindigkeitsverteilung und v.a. die Böengeschwindigkeiten in Deutschland stark von den Verhältnissen im Nordatlantik bestimmt werden, ist davon auszugehen, dass eine aufgrund von Temperaturänderungen dort veränderte Dynamik sich auch in Deutschland auswirkt /28/.

3.3.2 Projektionen zum erwarteten Klimawandel

Für die Zukunft werden für die drei RCP-Szenarien im Bereich Ebersbach z.T. **deutliche Zunahmen der Temperaturen** (Mitteltemperatur, mittlere Sommer- und Wintertemperatur, Anzahl der Sommertage bzw. der Heißen Tage, etc.) prognostiziert. Auch für die maximale Dauer von Hitzeperioden werden Zunahmen angegeben /35/.

Die folgende Abbildung 12 zeigt die Zunahme der Temperatur für den Bereich Ebersbach und Umgebung als Abweichung (ΔT) in °C gegenüber der Klimareferenzperiode 1971-2000 /35/.

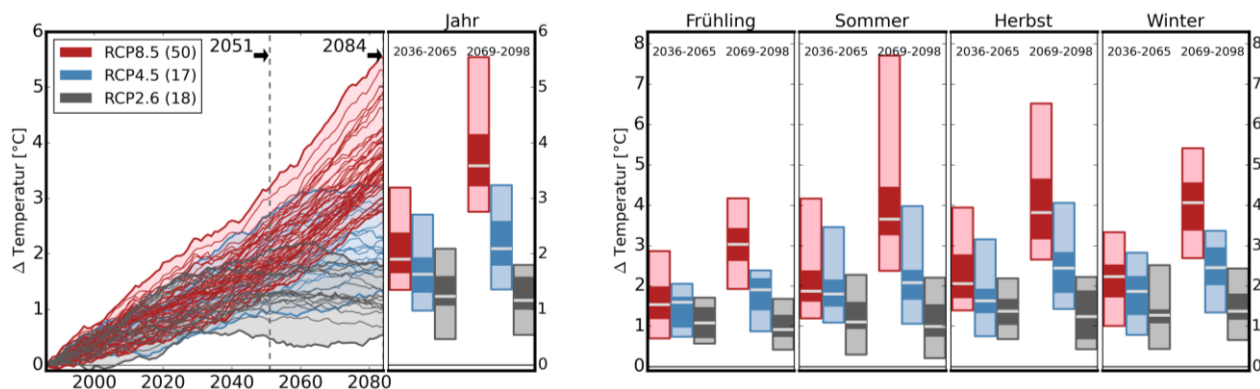


Abbildung 12: Bandbreite der möglichen Änderungen der Lufttemperatur in 2 m über Grund nach RCP-Szenarien /35/

Die Spannbreite der Änderungen der Jahresmitteltemperatur liegt bis zur Mitte des Jahrhunderts für RCP8.5 zwischen +1,4 und +3,2 °C (Median = +1,9 °C), für RCP4.5 zwischen +1,0 und +2,7 °C (Median = +1,6 °C), und für RCP2.6 zwischen +0,5 und +2,1 °C (Median = +1,2 °C). Während die jahreszeitliche Veränderung der Jahresmitteltemperatur für das Szenario RCP2.6 relativ gleichmäßig ausfällt, zeigen die Daten für das pessimale Szenario RCP8.5 eine stärkere Erhöhung der Sommer- und Herbsttemperaturen. Dies sehr deutlich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts (Median Jahresmittel RCP8.5 = +3,7 °C). Sämtlichen Modellen gemein ist jedoch über alle Szenarien hinweg eine Fortführung des bisherigen Trends zu höheren Jahresmitteltemperaturen.

Die folgende Abbildung 13 zeigt die Zunahme an **Sommertagen** für den Bereich Ebersbach und Umgebung als Δ gegenüber der Klimareferenzperiode 1971-2000 /35/.

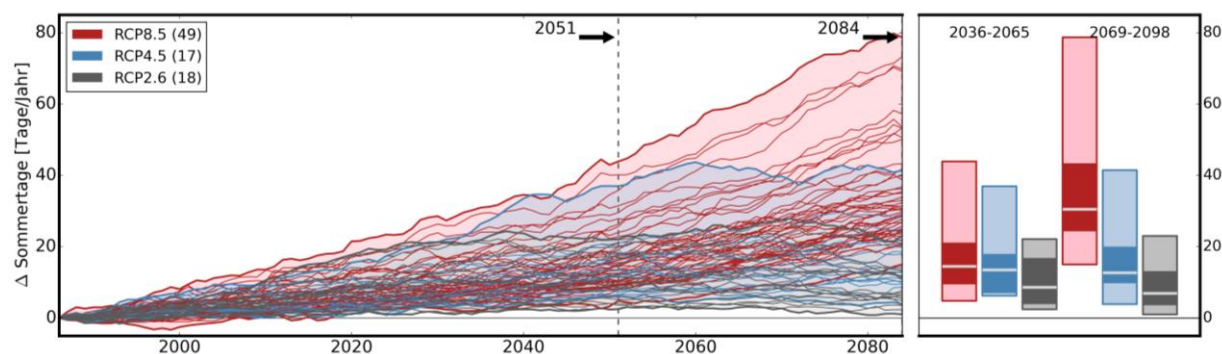


Abbildung 13: Bandbreite der möglichen Änderungen der Lufttemperatur in 2 m über Grund nach RCP-Szenarien /35/

Die Spannweite der jährlichen Änderungen der Anzahl der Sommertage liegt bis zur Mitte des Jahrhunderts für RCP8.5 zwischen 4,8 und 43,9 Tagen pro Jahr (Median = 14,5 Tage), für RCP4.5 zwischen 6,3 und 37,0 Tagen pro Jahr (Median = 13,5 Tage) und für RCP2.6 zwischen 2,4 und 22,1 Tagen pro Jahr (Median = 8,6 Tage).

Während die Szenarien RCP8.5 und RCP 4.5 in diesem Aspekt nahe beieinander liegen und das Szenario RCP2.6 darunter abfällt, ergibt sich in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts ein abgestuftes Bild. Hier liegen die jährlichen Zunahmen der Anzahl der Sommertage für RCP8.5 zwischen 15,0 und 78,7 Tagen pro Jahr (Median = 30,5 Tage), für RCP4.5 zwischen 3,9 und 41,4 Tagen pro Jahr (Median = 12,7 Tage) und für RCP2.6 zwischen 1,0 und 23,0 Tagen pro Jahr (Median = 6,9 Tage) /35/.

Bei der Anzahl der Sommertage ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$) ist demnach – wie bei den weiteren temperaturbasierten Kennwerten – von einer Fortführung des Trends zur Zunahme (Heiße Tage, Tropische Nächte) bzw. Abnahme (Frosttage, Eistage) auszugehen. Je nach Szenario fällt diese Zunahme sehr deutlich aus /35/.

Wie schon in der Rückschau der letzten Klimareferenzperioden gehen die Prognosen bzgl. des Niederschlages bzw. niederschlagsbasierter Kennwerte weder von wesentlichen Zunahmen noch von wesentlichen Abnahmen z.B. des Jahresniederschlages aus. Tendenziell ist von einer Abnahme der Sommerniederschläge und einer Zunahme der Winterniederschläge auszugehen /35/.

Da bei einem generell höheren Temperaturniveau insbesondere im Sommer das Auftreten von Starkniederschlägen wahrscheinlicher ist, ist davon auszugehen, dass es zukünftig auch in Ebersbach im Sommer häufiger zu Starkniederschlägen und längeren Phasen der Trockenheit kommen kann /28/.

Betrachtet man die möglichen Änderungen der mittleren **Windgeschwindigkeit** (ΔWG) im weiteren Verlauf des Jahrhunderts ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Kennwerten zum Niederschlag. Dabei ist tendenziell von einer Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeiten – insbesondere in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts – zu rechnen /35/.

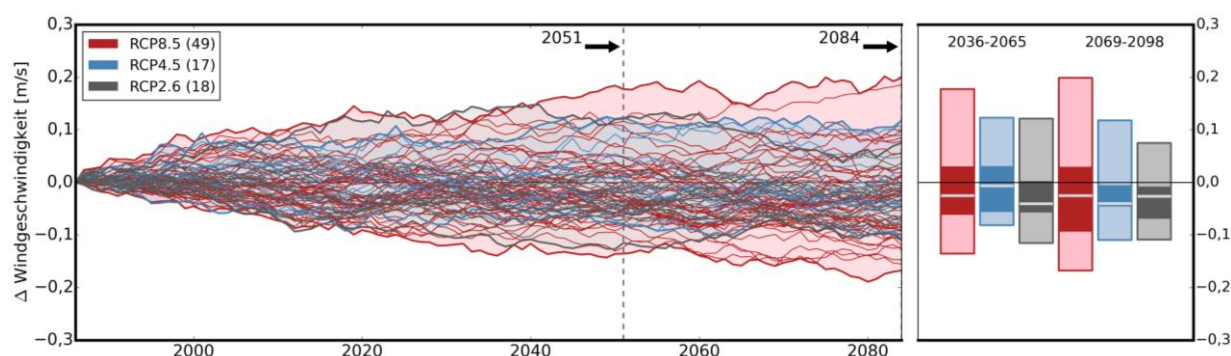


Abbildung 14: Bandbreite der möglichen Änderungen der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund nach RCP-Szenarien /13/

Generell ist von einer Zunahme der Intensität von Extremereignissen, wie Starkniederschlag, Gewitter und Hagel, auszugehen. Da derartige Ereignisse aufgrund ihrer Natur nur ungenau vorherzusagen sind, ist auch eine Darstellung von statistisch belastbaren Trends schwierig /28/.

4 Methodik der Berechnung

4.1 Stadtklimamodell PALM-4U

Zur detaillierten Simulation des thermischen Komforts und der Hitzebelastung in der Stadt Ebersbach an der Fils wurde das an der Leibniz Universität Hannover entwickelte, hochauflösende Stadtklimamodell PALM-4U (**Parallelized Large-eddy Simulation Model for Urban Applications**) angewendet. PALM-4U ist die Weiterentwicklung des Basis-Modells PALM /23/, /25/.

Das Modell PALM-4U kann sowohl das Stadtgebiet und sein Umland (Wirkraum sowie v.a. prozessual zugehöriger Ausgleichsraum) als auch einzelne Stadtteile oder -quartiere bis hin zu einer Auflösung von 1 m bis 2 m abbilden. Als meteorologischer Antrieb für die Modellierung können exemplarische Wettersituationen vorgegeben werden. Weitere Eingangsgrößen sind v.a. digitale Informationen über das Gelände und die Landnutzung (v.a. Topographie, Gebäude, Vegetation, versiegelte Flächen und Wasserflächen). Als Ergebnis können räumlich-zeitlich integrierte Informationen zu Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind (Geschwindigkeit und Richtung) sowie zu biometeorologischen Parametern, wie z.B. der Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET), ausgegeben werden.

Simuliert wird typischerweise mindestens ein Tag-/Nacht-Zyklus zum Sonnenhöchststand bei einer übergeordneten autochthonen Wetterlage.

Das Modellgebiet umfasst das Stadtgebiet von Ebersbach an der Fils sowie die Umgebung, insbesondere weite Teile des oberen Filstals (siehe Kap. 4.3).

4.2 Kaltluftabflussmodell KLAM_21

Zur Berechnung und Bewertung der Abläufe im Prozesssystem der Kaltluftabflüsse im Bereich Ebersbach an der Fils wird das Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet /27/. KLAM_21 ist ein zweidimensionales mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftabflüssen in orographisch gegliedertem Gelände.

Das Modell geht davon aus, dass die Atmosphäre in ihrem unteren Bereich in zwei Schichten untergliedert werden kann. In einer Oberschicht wird ein adiabatisches und hydrostatisches Gleichgewicht angenommen. In der als Kaltluftschicht bezeichneten Unterschicht/Abfluss-Schicht hingegen können vertikale Temperaturverteilungen auftreten, die vom adiabatischen Gleichgewicht abweichen. In ihr ist die Schwerkraft deshalb nicht völlig ausbalanciert, sodass sich durch Dichteunterschiede Horizontalbewegungen ergeben. Folglich hat die Unterschicht eine veränderliche Mächtigkeit.

Simuliert wird typischerweise eine 8 Stunden andauernde klare (Strahlungs-)Nacht während einer sommerlichen autochthonen Wetterlage (wie im Modell PALM-4U, s.o.). Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Mit diesen idealen Randbedingungen ist es möglich, die Prozesse der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransports besonders deutlich herauszuarbeiten.

Das **Modellgebiet** entspricht dem der Berechnungen mittels PALM-4U nahezu und umfasst das Stadtgebiet von Ebersbach sowie weite Teile des oberen Filstals (siehe Kap. 4.3).

4.3 Modellgebiet und Teilgebiete

Um die gesamte Prozessdynamik, welche sich bei einer autochthonen Wetterlage im Stadtgebiet von Ebersbach herausbildet, detailliert abbilden zu können, muss das Rechengebiet für die in den vorangegangenen beiden Kapiteln beschriebenen und für die Berechnungen genutzten Modelle ausreichend groß gewählt werden. Aus diesem Grund wird ein Großteil des Einzugsgebietes des Filstals mit in die Modellierungen mit eingestellt.

Bei beiden eingesetzten Modellen wurden Detailgebiete definiert, in denen die Rasterweite z.T. deutlich unterhalb der des (Gesamt-)Rechengebietes liegt. Diese decken v.a. die bebauten Bereiche (Kernstadt, Stadtteile innerhalb des Stadtgebietes von Ebersbach ab. Einen Überblick über die Rechengebiete sowie die Detailgebiete gibt die folgende Abbildung 15.

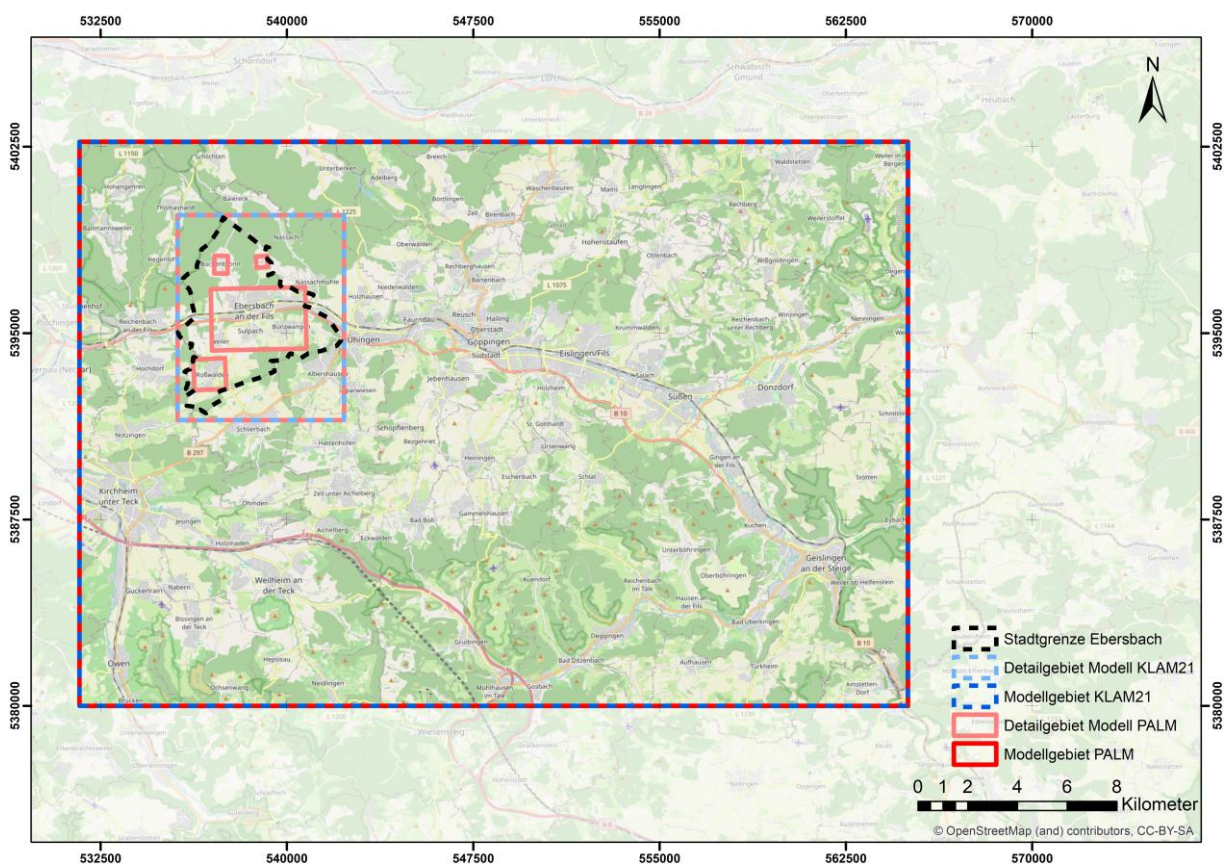


Abbildung 15: Rechen- und Detailgebiete der Modelle KLAM21 und PALM

Die Rechengebiete von KLAM21 und PALM-4U umfassen je ca. 700 km². Die das Stadtgebiet umfassenden Detailgebiete der Modelle umfassen ca. 55 km². Beide Modelle wurden geschachtelt konfiguriert, so dass die für die detaillierte Auswertung vorgesehenen Bereiche in hoher Auflösung vorliegen (siehe Abbildung 15 und Tabelle 3).

Tabelle 3: Verwendete Rasterweiten in den Modell(teil)gebieten

Modell/ Teilgebiet	KLAM21	PALM-4U
	Rasterweite [m]	
Modellgebiet (Gesamt)	40	45
Detailgebiet Stadt	10	15
Detailgebiet Kernstadt, Stadtteile	-	5

4.4 Betrachtete Szenarien der Stadtentwicklung

Die in der vorliegenden Stadtklimaanalyse dargestellten und bewerteten (Zukunfts-)Szenarien stellen mittels räumlicher Daten die beabsichtigte zukünftige Entwicklung der Stadt Ebersbach in Bezug zur Flächennutzung dar. So wurden im Szenario „aktuelle Verhältnisse“ Planungen in das Modell übernommen, die aus Sicht der Stadt bereits eine hinreichende Planungsreife erreicht haben. Diese umfassen z.B.:

- Büchenbronn – Abrundungssatzung
- Weiler – Abrundung nordwestlicher Ortsrand
- Roßwälden – Wohngebiet „Untere Morgen“
- Bünzswangen – Entwicklung Sporthalle/ Sportplatz Bünzswangen

Im Szenario „nahe Zukunft“ wurden perspektivische Planungen berücksichtigt:

- Kernstadt – Umwandlung Wohnen anstelle Friedhofserweiterung
- Sulpach – Wohngebiet „Kauzenhecklen“
- Roßwälden – Innenentwicklung
- Weiler – Wohngebiet „Wiesachwiesen“
- Kernstadt – Interkommunales Gewerbegebiet „Strut“
- Bünzswangen – Wohngebiet „Unterer Wasen“

Im Szenario „ferne Zukunft“ wurden zusätzlich hinzugefügt:

- Kernstadt – Entwicklung TVE-Gelände
- Roßwälden – Wohngebiet westlicher Ortsrand
- Kernstadt – Gewerbe Gemeindeäcker
- Bünzswangen – Wohngebiet Hardt

Für sämtliche Planungen bestehen derzeit noch keine belastbaren städtebaulichen Konzepte. Die Planungen wurden den Modellrechnungen daher in Anlehnung an die jeweilige Umgebungsbebauung eingestellt. Die Planungshinweiskarte basiert auf dem Szenario „nahe Zukunft“. Die Geländehöhen wurden in jedem Szenario unverändert übernommen.

→ Geländehöhen in Ebersbach	→ Karte 1
→ Landnutzung aktuelle Verhältnisse	→ Karte 2
→ Landnutzung nahe Zukunft	→ Karte 3
→ Landnutzung ferne Zukunft	→ Karte 4

4.5 Zeitliche und meteorologische Randbedingungen der Szenarien

Mit dem Stadtklimamodell PALM-4U wurde ein Zeitraum von 30 Stunden gewählt. Dieser beginnt am 21.06. um 08:00 Uhr MEZ (UTC+1) und endet am 22.06. um 14:00 Uhr MEZ (UTC+1) gewählt. Der Sonnenhöchststand tritt in Ebersbach immer um 12:24 Uhr MEZ (UTC+1) ein (= wahrer Mittag). Mitternacht ist dementsprechend immer um 0:24 MEZ (UTC+1) (= wahre Mitternacht).

Zur Beantwortung von Fragstellungen den thermischen Komfort betreffend wird üblicherweise ein Sommertag bei einer autochthonen Wetterlage modelliert /24/. Diese Randbedingungen umfassen z.B. eine neutral geschichtete Atmosphäre, geringe Wolkenbedeckung und übergeordnete Windgeschwindigkeit sowie in den Zukunftsszenarien zusätzlich eine Erhöhung der Starttemperatur (nahe Zukunft +2,0 °K, ferne Zukunft +3,5 °K) sowie der Bodenfeuchte (nahe Zukunft -20 %, ferne Zukunft -40 %).

Eine Sommersituation mit autochthonen Wetterbedingungen erreicht im Jahresverlauf generell die höchsten thermischen Belastungen am Tag im Siedlungsraum (siehe Kap. 2.2) sowie eine hohe nächtliche Ausstrahlung und damit eine ausgeprägte Kaltluftdynamik (siehe Kap. 2.3). Derartige meteorologische Situationen treten im Sommer so oder in abgeschwächter Form in Ebersbach an der Fils relativ häufig auf (siehe Kap. 3.2).

Da aufgrund modelltechnischer Begrenzungen die Auswirkungen von länger anhaltenden Hitzewellen nicht ohne weiteres simuliert werden können, stellen die Startbedingungen eine mittlere sommerliche Hochdruckwetterlage dar.

4.6 Ausgabegrößen

Im Modell PALM-4U wurden in 30 min-Schritten u.a. folgende Ausgabegrößen erzeugt, wobei auch sämtliche Größen berechnet wurden, welche die Grundlage für die dargestellten Größen bilden oder Teil davon sind (wie z.B. Feuchte und Luftdruck):

- u-Komponente des Windes in m/s
- v-Komponente des Windes in m/s
- w-Komponente des Windes in m/s
- Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund in °C
- Physiologically Equivalent Temperature (PET) in °C

Im Modell KLAM21 wurden in 15 min-Schritten u.a. folgende Ausgabegrößen berechnet:

- u-Komponente des Windes in m/s (in 2 m Höhe sowie im Mittel über die Kaltluftschicht)
- v-Komponente des Windes in m/s (in 2 m Höhe sowie im Mittel über die Kaltluftschicht)
- Kälteinhalt in J/m²
- Höhe der Kaltluftschicht in m über Grund

Als eine daraus abgeleitete Größe ist z.B. die Kaltluft-Volumenstromdichte (Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit) berechnet werden.

5 Ergebnisse und Klimaanalysekarten

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellierung des zeitlichen Verlaufs der Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET), Lufttemperatur in °C in 2 m über Grund, Windgeschwindigkeit und -richtung (flächenhafte Kaltluftabflüsse) in 2 m über Grund, Kaltluftvolumenstromdichte (größere Kaltluftströmungen; Talwinde) für die drei Auswertezeitpunkte

- „aktuelle Verhältnisse“ (Bezugszeitraum Jahre 1971-2000), Landnutzung bis Jahr 2030
- „nahe Zukunft“ (Jahre 2021 bis 2050), Stand Landnutzung ab Jahr 2050 und
- „ferne Zukunft“ (Jahre 2071 bis 2100), Stand Landnutzung ab Jahr 2070

dargestellt. Beschrieben werden jeweils zwei Auswertezeitpunkte (Tagsituation, Nachtsituation). Die beiden Zeitpunkte umfassen:

- 04:00 Uhr (Lufttemperatur in °C, nächtliches Windfeld) (tiefste Nachttemperaturen)
- 14:00 Uhr (Physiologisch Äquivalente Temperatur) (höchste Wärmebelastung)

Die dargestellten Werte verstehen sich exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage mit hoher Einstrahlung am Tag, hoher Ausstrahlung in der Nacht und sehr schwachen übergeordneten Luftströmungen. Die dargestellten Verhältnisse können auch als Werte gesehen werden, welche sich am Beginn einer längeren Hochdrucklage (Hitzewelle) ergeben.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst das nächtliche Temperaturfeld im Wirkraum und die Kaltluftprozesse im Ausgleichsraum für die 3 Szenarien beschrieben (siehe Kap. 5.1), danach folgt die Beschreibung der Wärmebelastung am Tag für die 3 Szenarien (siehe Kap. 5.2). Die Klimaanalysekarten fassen die Nacht- und die Tagsituation getrennt zusammen.

→ Klimaanalysekarte Nachtsituation aktuelle Verhältnisse	→ Karte 5
→ Klimaanalysekarte Nachtsituation nahe Zukunft bis 2050	→ Karte 6
→ Klimaanalysekarte Nachtsituation ferne Zukunft bis 2100	→ Karte 7

→ Klimaanalysekarte Tagsituation aktuelle Verhältnisse	→ Karte 8
→ Klimaanalysekarte Tagsituation nahe Zukunft bis 2050	→ Karte 9
→ Klimaanalysekarte Tagsituation ferne Zukunft bis 2100	→ Karte 10

5.1 Nächtliches Temperaturfeld im Wirkraum und Kaltluftströmungen im Ausgleichsraum

Mittels der berechneten nächtlichen Lufttemperaturen (in 2 m über Grund) ist es möglich Bereiche im Wirkraum zu identifizieren, in denen bei der betrachteten Wetterlage (siehe u.a. Kap. 4.5) tendenziell eine Überwärmung gegenüber dem Ausgleichsraum bzw. gegenüber anderen Teilen der Stadt ermittelt wurde.

Es bilden sich dadurch einerseits Unterschiede der Boden- und Oberflächeneigenschaften bzgl. z.B. der Wärmespeicherung heraus, andererseits zeigt sich auch die Wirksamkeit von Ausgleichsströmungen aus dem Ausgleichsraum, wie z.B. flächenhafte Kaltluftabflüsse.

Üblicherweise wird für die Darstellung der Temperaturverhältnisse der Zeitpunkt der größten nächtlichen Abkühlung im Sommer (04:00 Uhr) herangezogen. Für die Darstellung der Hangwinde und des Kaltluftvolumenstromes können sinnvollerweise frühere Zeitpunkte herangezogen werden, da sich die jeweils volle Ausprägung dieser Aspekte zeitlich vor dem Zeitpunkt der größten Abkühlung einstellt. Die Informationen finden insgesamt Eingang in die Klimaanalysekarten (Nachtsituation) (siehe Karten 5 bis 7 im Anhang).

5.1.1 Temperaturverteilung im Wirkraum

Zum Zeitpunkt der sommerlich tiefsten Nachttemperaturen für das **Szenario „aktuelle Verhältnisse“** zeigt sich in Ebersbach ein differenziertes Bild (siehe Abbildung 16; Karte 5 im Anhang). Die niedrigsten Temperaturen werden im Filstal im Bereich der Kläranlage Ebersbach mit $< 11^{\circ}\text{C}$ berechnet. Die höchsten Temperaturen ergeben sich in den Höhenlagen der Stadtteile Büchenbronn und Krapfenreut mit ca. 20°C . Die berechnete mittlere Temperatur im Wirkraum unter den in Kap. 4.5 beschriebenen meteorologischen Randbedingungen beträgt zu diesem Zeitpunkt $13,7^{\circ}\text{C}$.

Das auffällig hohe Temperaturniveau in den topographisch deutlich höhergelegenen Stadtteilen Büchenbronn und Krapfenreut erklärt sich aus der betrachteten meteorologischen Situation, welche in einer Bodeninversion resultiert. Dabei nimmt die Temperatur mit der Höhe schnell zu, während sich in den Tallagen Kaltluft sammelt. Zusätzlich befinden sich die beiden Stadtteile auch gegenüber ihrer unmittelbaren Umgebung in einer Kuppenlage, so dass sich die im direkten Umfeld auf den Freiflächen entstehende Kaltluft dem Gefälle entsprechend von den beiden Stadtteilen in alle Richtungen wegbewegt und in Büchenbronn und Krapfenreut nicht wirksam werden kann. Der Effekt der Bodeninversion ist in der Kernstadt im Ansatz ebenfalls zu beobachten. Hier sind auch in den oberen Hanglagen höhere Temperaturen als im Talgrund des Filstales berechnet worden. Zusätzlich liegt die Kernstadt im Haupteinflussbereich der Filstalströmung.

Da das konkrete Ausmaß der nächtlichen Überwärmung der Stadt gegenüber dem Umland auch von der Größe und der Bebauungsdichte abhängt, ist diese in Ebersbach – u.a. aufgrund der Bebauungsstruktur – für den derzeitigen Zustand insgesamt als moderat bis gering zu bezeichnen. Auch sind die Temperaturgegensätze in der Kernstadt als gering zu bezeichnen.

Auf dem Parkplatz des Einkaufsbereichs Ludwigstraße/Bahnhofstraße/Bahnhofsallee wurden für den Zeitpunkt 04:00 Uhr knapp 13°C berechnet. Innerhalb der Grünfläche zwischen oberer und unterer Alleenstraße wurden zum gleichen Zeitpunkt ca. $11,3^{\circ}\text{C}$ ermittelt. Auch zeigt sich in den Daten, dass diese Grünfläche eine kühlende Wirkung auf ihr direktes Umfeld hat.

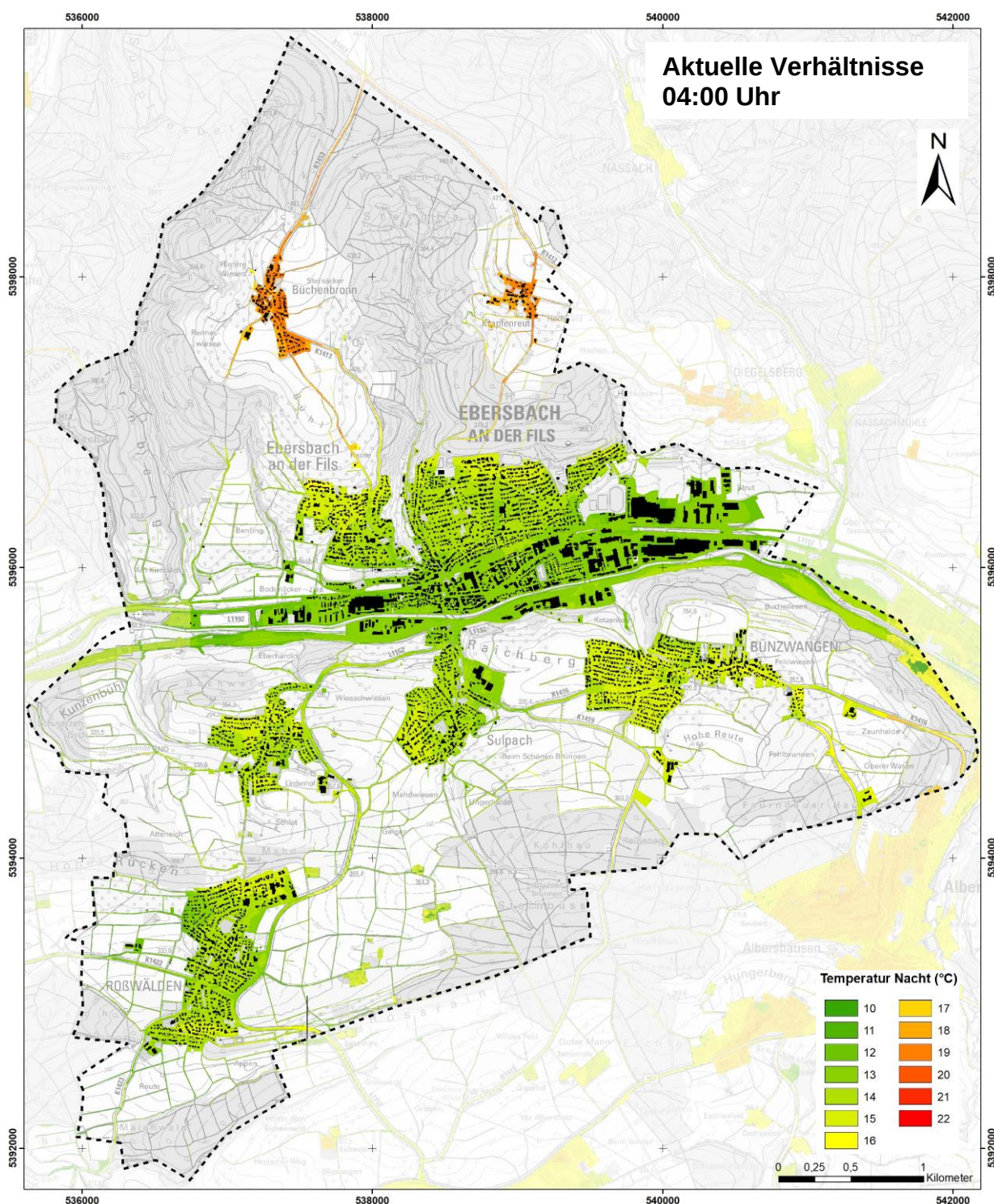


Abbildung 16: Bodennahe Temperaturverteilung im Wirkraum für die derzeitige Situation um 04:00 Uhr

Im Gewerbegebiet „Strut“ wurden 12,3 °C bis ca. 12,9 °C berechnet. In den südlichen Stadtteilen bildet sich bezogen auf die Temperatur ein Muster heraus, welches v.a. von der Anbindung an Kaltluftabflüsse bzw. Hangwinde aus der unmittelbaren Umgebung abhängt (vgl. dazu nächstes Kapitel). Das Temperaturniveau in den südlichen Teilorten ist generell etwa 1 bis 3 °C höher als

in den Tallagen der Kernstadt.

In den Zukunftsszenarien verstärken sich die beschriebenen Muster (siehe Abbildung 17 bzw. Karten 6 und 7 im Anhang). Hier wurden bspw. auf dem Parkplatz des Einkaufsbereichs Ludwigstraße/Bahnhostraße/Bahnhofsalle wurden für den Zeitpunkt 04:00 Uhr im Szenario „nahe Zukunft“ knapp 14,5°C berechnet, im Szenario „ferne Zukunft“ ca. 15,3 °C. Innerhalb der Grünfläche zwischen oberer und unterer Alleenstraße wurden zum gleichen Zeitpunkt 13,3 °C bzw. 13,7 °C rechnerisch ermittelt. Im Gewerbegebiet „Strut“ steigen die Temperaturen in der „nahen Zukunft“ auf 13,8 °C bis 14,6 °C, in der „fernen Zukunft“ auf 14,5 °C bis 15,6 °C.

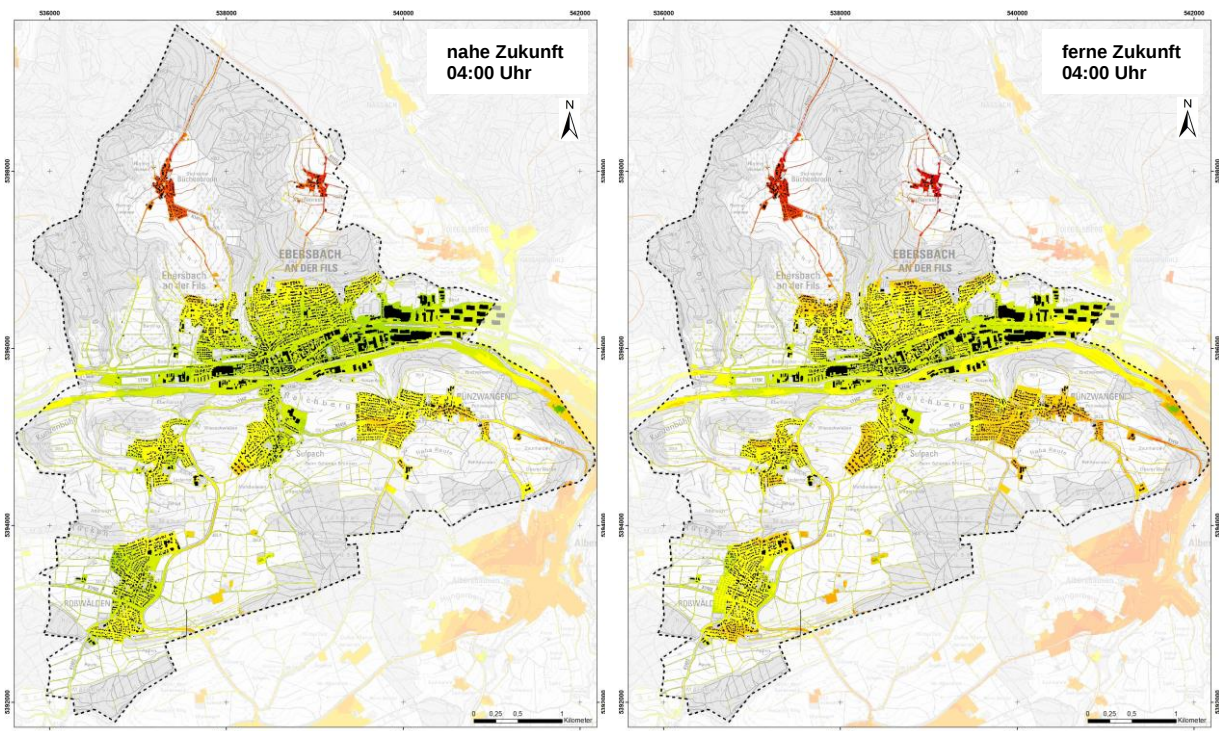


Abbildung 17: Bodennahe Temperaturverteilung im Wirkraum für die nahe Zukunft und die ferne Zukunft um 04:00 Uhr; Legende siehe Abbildung 16 bzw. Karten 5 bis 7 im Anhang

Aus Abbildung 17 wird deutlich, dass insbesondere im Stadtteil Bünzwangen großflächig mit höheren Temperaturen zu rechnen ist, wohingegen in den Stadtteilen Roßwälden, Weiler und Sulpach eher das bestehende Muster verstärkt wird und sich Schwerpunkte herausbilden. Die Stadtteile Büchenbronn und Krapfenreut, welche sich in größerer Höhenlage (und damit aufgrund der Bodeninversion höheren Temperaturbereichen, s.o.) befinden und darüber hinaus nicht an flächenhafte Kaltluftabflüsse oder Kaltluftvolumenströme angeschlossen sind, befinden sich in der betrachteten meteorologischen Situation insgesamt auf einem höheren Temperaturniveau als die übrigen Bereiche der Stadt (d.h. z.T. > 20°C um 04:00 Uhr).

5.1.2 Kaltluftprozesse im Ausgleichraum

Im Bereich der Kaltluftprozesse im Ausgleichraum sind vor allem flächenhafte Kaltluftabflüsse und Kaltluftvolumenströme zu unterscheiden. Das Auftreten ersterer zeugt v.a. vom Vorhandensein einer kaltluftproduzierenden Fläche mit einer gewissen Neigung ($> 2^\circ$), letztere entstehen durch das Zusammenfließen der Kaltluft mehrerer Hänge zu einer starken im Talraum konzentrierten Strömung (siehe Kap. 2.3). Im Gegensatz zu eher lokal wirkenden flächenhaften Kaltluftabflüssen können Kaltluftvolumenströme Kaltluft über weite Strecken transportieren und tief in den Siedlungsraum eindringen und/oder diesen überströmen. Aufgrund der Abhängigkeit von der Landnutzung und v.a. der Topographie ergibt sich dabei ein heterogenes Bild (siehe Abbildung 18).

In der folgenden Abbildung 18 sind neben produktiven Kaltluftentstehungsgebieten (gepunktete Signatur), v.a. die Richtung und Stärke der flächenhaften Kaltluftabflüsse (blaue Pfeilsignatur) sowie Stärke des Kaltluftvolumenstromes (in farblichen Abstufungen von blau zu violett) eingetragen. Hat ein Kaltluftvolumenstrom Leitbahncharakter (ab ca. 50 % der maximalen Stärke im inneren Modellgebiet), erfolgte die Vergabe einer weiteren Pfeilsignatur.

Als wesentliche Kaltluftproduktionsgebiete stellen sich vor allem die schwach bis mäßig geneigten Freiflächen um die Stadtteile Büchenbronn und Krapfenreut, aber auch weite Teile der Freiflächen um die südlichen Ortsteile heraus. Hier bilden sich auch z.T. Strömungen größeren Umfangs, wie z.B. südlich Roßwälden oder zwischen Weiler und Roßwälden. Die flächenhaften Kaltluftabflüsse sind typischerweise in Richtung Filstal gerichtet. Teilweise strömen diese flächenhaften Kaltluftabflüsse jedoch auch direkt in Siedlungsränder ein und werden dort unmittelbar lokal wirksam.

Die Kernstadt liegt in der großen Filstalströmung, welche sich bei entsprechenden Wetterlagen talabwärts bewegt. Die Filstalströmung speist sich aus den Freiflächen talaufwärts, bewegt sich insgesamt nur langsam in Richtung Neckartal und ist v.a. in der zweiten Nachthälfte relevant. In Ebersbach ergeben sich dabei folgende wesentliche Zuflüsse, die für das Stadtgebiet unmittelbar relevant werden:

- Nassachtalströmung,
- Ebersbachtalströmung sowie die
- Kirnbachtalströmung

Aufgrund der generellen Tendenz einer filstalabwärtigen Strömung sind v.a. die ersten beiden Teilströmungen für die Kernstadt von Ebersbach von großer Bedeutung. Die Nassachtalströmung tritt von Osten her im Bereich des Gewerbegebietes „Strut“ in das Stadtgebiet von Ebersbach ein. Die dagegen deutlich geringere Ebersbachtalströmung verläuft weit in das Stadtgebiet bis fast in das Stadtzentrum hinein.

Die Kirnbachtalströmung erreicht den Siedlungsbereich von Ebersbach nicht mehr und wird dann v.a. filstalabwärts wirksam. Sämtliche der genannten Strömungen können lufthygienisch als nahezu unbelastet gelten und sind damit neben der Abkühlung auch als Frischluftlieferant von Bedeutung. Aufgrund der Topographie erreicht die in den Freiflächen südlich der Fils entstehende Kaltluft das Filstal eher flächenhaft.

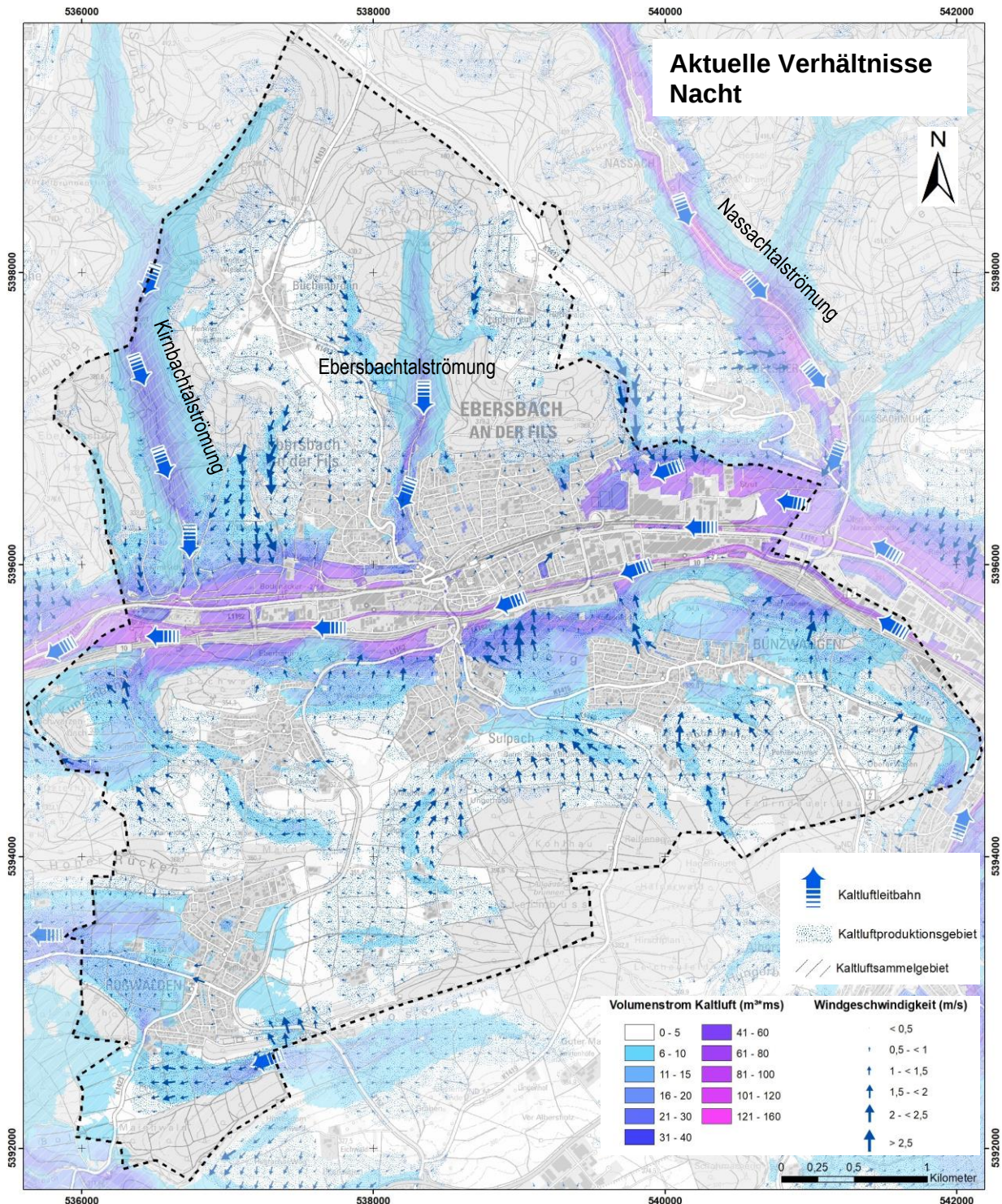


Abbildung 18: Kaltluftprozesse im Ausgleichsraum in der Hochphase ihrer Ausprägung für die derzeitige Situation

In der nahen und fernen Zukunft ändert sich das Muster nicht wesentlich (siehe Abbildung 19). Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch die zukünftig stärkere Überwärmung – auch der Städte filstalaufwärts – generell mehr Kaltluft aufgezehrt wird und somit talabwärts in geringerem Umfang zur Verfügung steht.

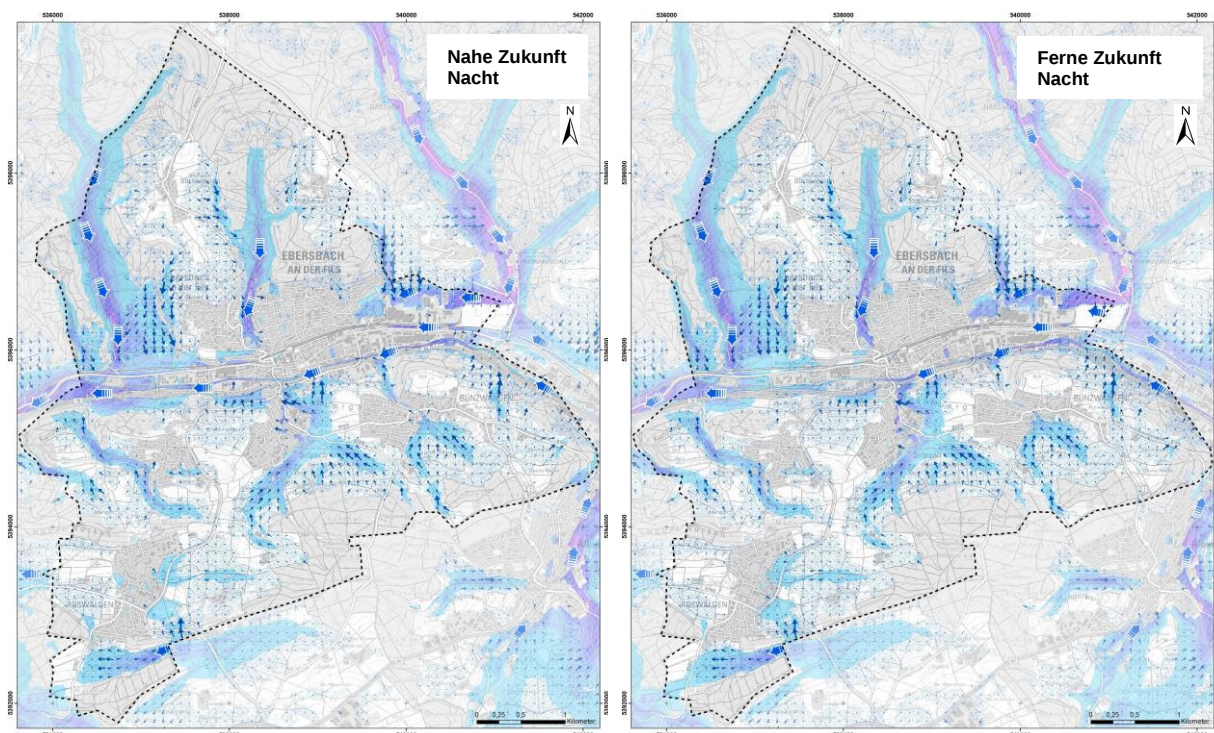


Abbildung 19: Kaltluftprozesse im Ausgleichsraum in der Hochphase ihrer Ausprägung für die nahe Zukunft und die ferne Zukunft; Legende siehe Abbildung 18

Demgegenüber kann bei längeren sommerlichen Trockenphasen auch die Kaltluftproduktion erhöht sein, da durch die Trockenheit die Wärmeleitfähigkeit verringert ist und sich somit mehr Kaltluft bilden kann.

Zukünftig wird es für Ebersbach wesentlich sein, sowohl die Nassachtalströmung als auch die Ebersbachtalströmung bestmöglich zu erhalten und das Einströmen in die bebauten Teile des Stadtgebietes nicht wesentlich zu behindern.

5.2 Wärmebelastung am Tag

Gegenüber der Nachttemperatur um 04:00 Uhr ist die physiologisch äquivalente Temperatur für den Zeitpunkt 14:00 Uhr kleinräumig stärker differenziert. In der Karte für den derzeitigen Zustand heben sich zunächst die Waldgebiete deutlich von der Umgebung ab (blau in Abbildung 20; Karte 8 im Anhang). Hier schützt der Bewuchs den Menschen vor direkter Sonneneinstrahlung und bietet demnach zu diesem Zeitpunkt eine verhältnismäßig gute Aufenthaltsqualität. Positiv wirken dabei demnach v.a. siedlungsnaher Wälder bzw. größere zusammenhängende Baumbestände (z.B. Waldgebiet zwischen Kernstadt und Krapfenreut; Waldstück nördlich Lerchenweg in Roßwälden). Zusätzlich zu Waldgebieten erfahren auch Gewässer sowie deren unmittelbare Umgebung am Tag eine geringere Aufheizung bzw. wirkt die Wasserfläche sowie begleitendes Grün kühlen auf die Umgebung. Dies ist vorliegend idealtypisch am Verlauf der Fils zu erkennen.

In den bebauten Teilen des Stadtgebietes ergibt sich ein ungleichmäßiges Bild. Hier wechseln die Umgebungsbedingungen kleinräumig abhängig von der Bebauungsdichte, dem Versiegelungsgrad, dem Vorhandensein von Baumgruppen, aber auch in reliefierten Bereichen abhängig von der Ausrichtung des jeweiligen Hanges zur Sonne. Es zeigt sich weiterhin deutlich, dass die Wärmebelastung am Tag in den höher gelegenen Stadtteilen wie Büchenbronn oder Krapfenreut deutlich geringer ist.

In der Kernstadt treten die höchsten Wärmebelastungen am Tag z.B. in einem Bereich zwischen der Bahnhofstraße und der Hauptstraße sowie an der Hardtschule auf. Bei letzterer wirkt jedoch größerer Baumbestand im unmittelbaren Umfeld (auch am Spielplatz Jahnstraße) positiv auf die nähere Umgebung. Sowohl im Bereich des Friedhofes als auch im Bereich der Grünfläche zwischen oberer und unterer Alleenstraße zeigt sich die positive Wirkung von verschattendem Baumbestand deutlich. Weiterhin zeigt sich, dass der Teil des flächig bebauten Hanges nördlich der Bahnlinie zweigeteilt ist. Aufgrund der Bebauungsdichte und des höheren Versiegelungsgrades ist der Bereich östlich der Jahnstraße einer stärkeren Wärmebelastung am Tag ausgesetzt als der Teil westlich der Jahnstraße. Dieser ist durch lockerere Bebauung mit z.T. größeren Baulücken charakterisiert.

Auch in den südlichen Stadtteilen wechseln Bereiche mit geringerer und stärkerer Wärmebelastung ab. So ergibt sich die stärkste Wärmebelastung in Rosswälden v.a. im Bereich des Gewerbegebietes, in Weiler entlang der Weiler Straße, in Sulpach im Ortskern und in Bünzwangen entlang der Ortsstraße. Wie oben beschrieben, kann sich der Effekt je nach topographischer Exposition des Bereiches gegenüber der Mittagssonne verstärken.

In den Zukunftsszenarien (siehe Abbildung 21; Karten 9 und 10 im Anhang) verstärkt sich die Wärmebelastung flächig, aber auch punktuell. Hier ist insbesondere die geplante Erweiterung des Gewerbegebietes „Strut“, welche im Szenario „nahe Zukunft“ mit einer außergewöhnlichen zusätzlichen Wärmebelastung hervortritt, zu nennen. Ansonsten verstärken sich bestehende Schwerpunkte, z.T. können aber auch durch geplante Siedlungserweiterungen neue Schwerpunkte der Wärmebelastung entstehen (z.B. Wohngebiet Kauzenhecklen in Sulpach oder Wohngebiet westlich des Friedhofes in der Kernstadt).

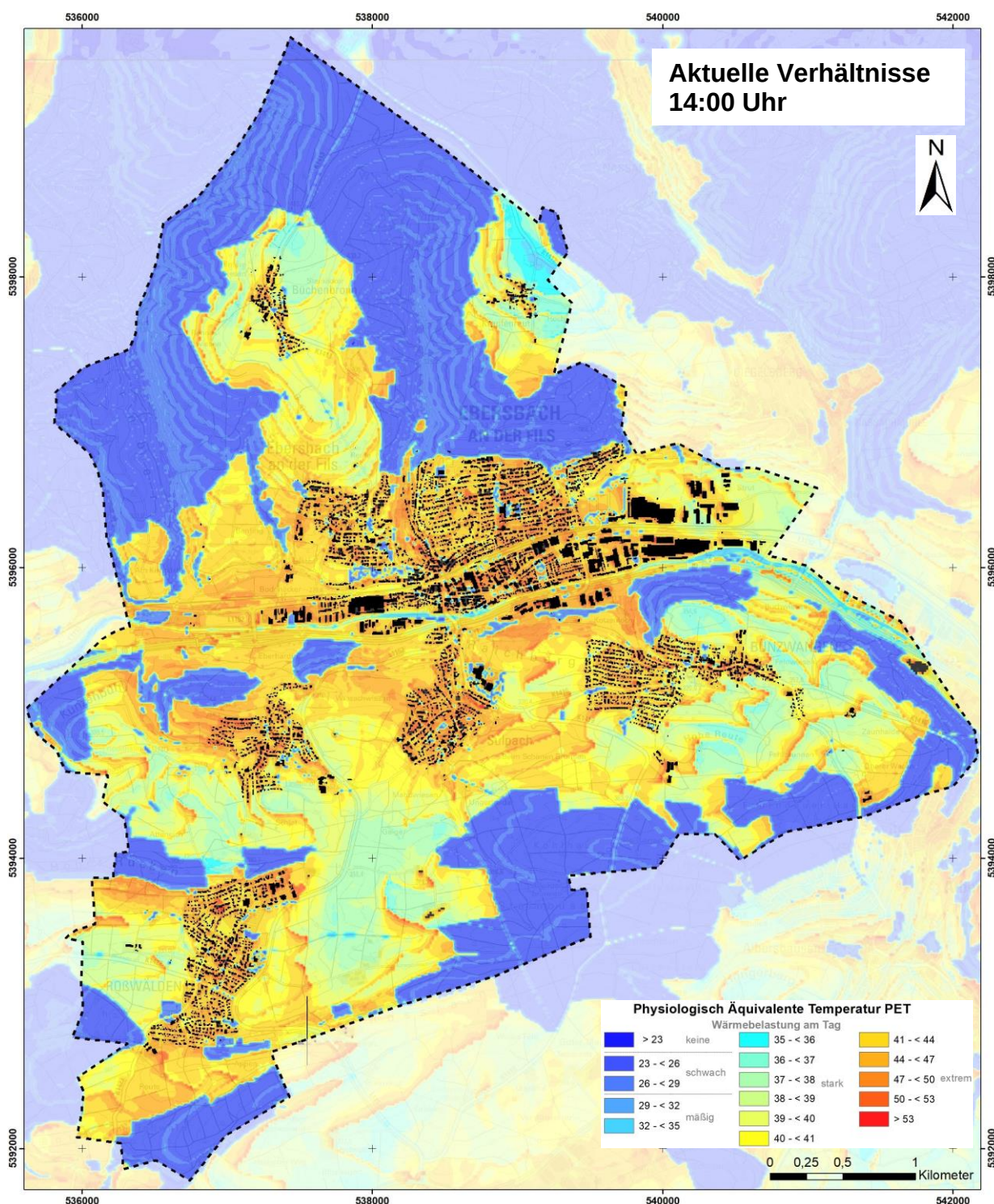


Abbildung 20: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Stadtgebiet für die aktuellen Verhältnisse um 14:00 Uhr

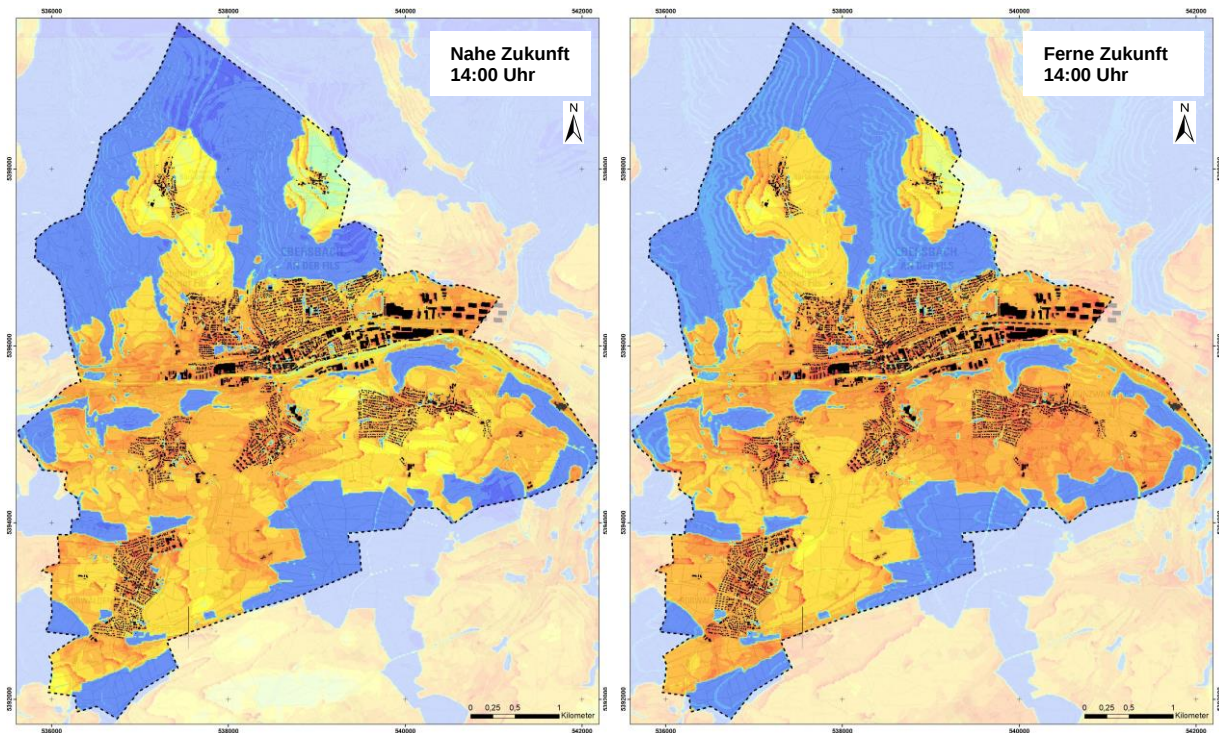


Abbildung 21: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Stadtgebiet für die derzeitige Situation um 14:00 Uhr für die nahe Zukunft und die ferne Zukunft; Legende siehe Abbildung 20

6 Bewertungskarten

6.1 Klimatopkarte

Klimatopkarte wurde in Anlehnung an die VDI 3787 Blatt 1 /18/ erstellt und zeigt die aktuellen Verhältnisse im Stadtgebiet als Flächen mit grundsätzlich ähnlichen stadtklimatischen Verhältnissen sowie rechnerisch ermittelte Teile des Kaltluftprozesssystems (siehe Abbildung 22; Karte 11 im Anhang).

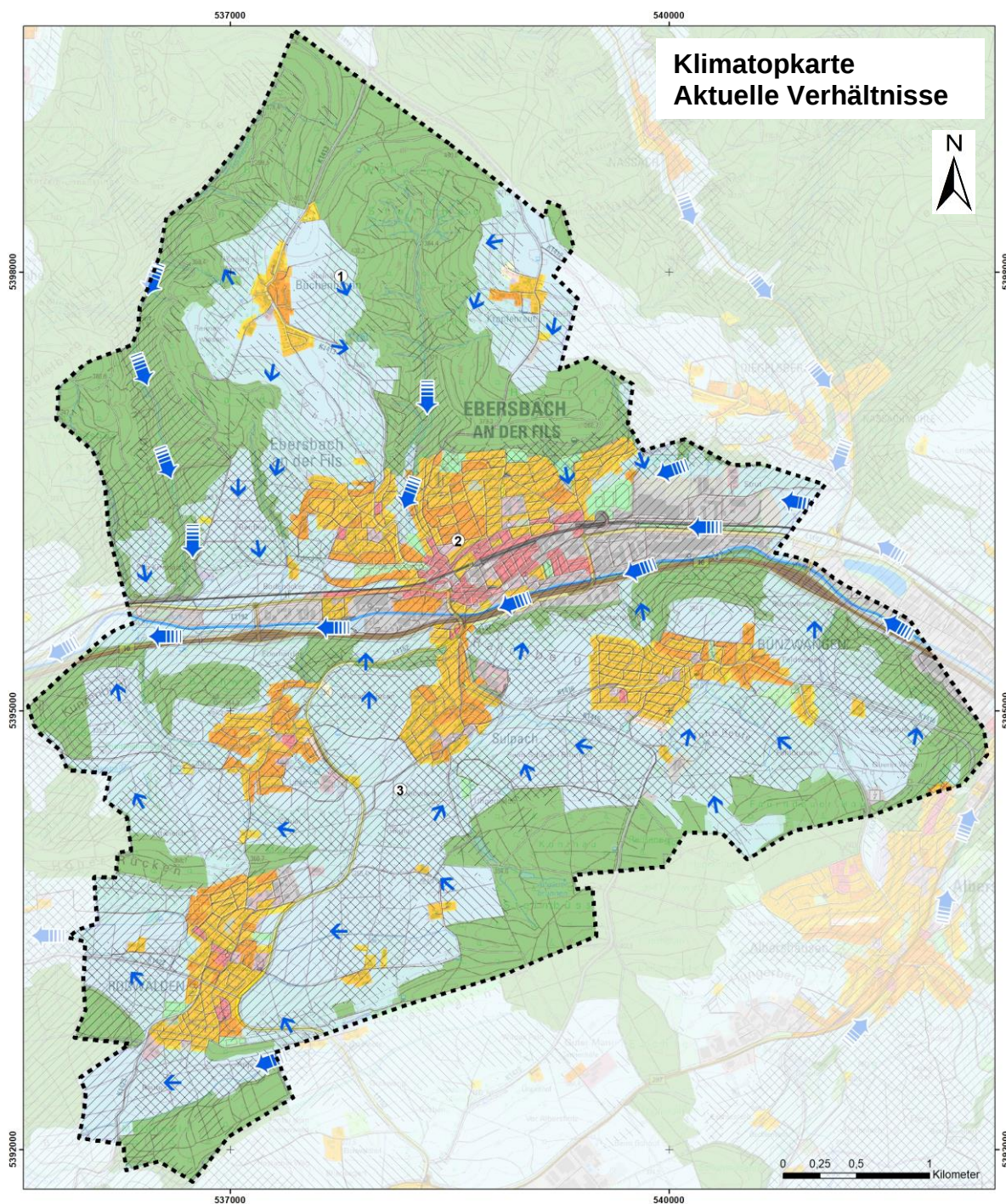


Abbildung 22: Klimatopkarte Ebersbach an der Fils aktuelle Verhältnisse (Legende: siehe Karte 11 im Anhang)

Die Klimatope beschreiben Gebiete mit vergleichbaren mikroklimatischen Ausprägungen. Diese differenzieren sich vornehmlich nach dem thermischen Tagesgang, der vertikalen Rauigkeit (Windfeldstörung), der topographischen Lage (Höhe und Exposition) und vor allem nach der Flächennutzung (z.B. Anteil versiegelter Fläche, Bebauungsdichte).

→ Klimatopkarte aktuelle Verhältnisse

→ Karte 11

Gewässer-, Seen-Klimatop (0,3 % des Stadtgebietes)

Aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität von Wasser kommt es an den Oberflächen von Gewässern zu verringerten tagesperiodischen Temperaturschwankungen – Wasserflächen werden am Tag als relativ kühl und nachts als vergleichsweise warm empfunden. Sie können daher das lokale Klima stark beeinflussen. Jedoch bleibt ihr klimatischer Einfluss lediglich auf das Gewässer selbst und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt. Eine Ausnahme hiervon bildet das Auftreten von Land-/Seewindsystemen bei großen Wasserflächen. Abgeschwächt zeigt sich dieses Verhalten auch im jahreszeitlichen Rhythmus, wodurch z.B. Städte im Einflussbereich großer Gewässer eine geringere Anzahl von Frosttagen aufweisen können.

Ein zusätzlich positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von ausgedehnten Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden. Dadurch ist unter Umständen eine Wirkung als Luftleitbahn möglich.

Im Stadtgebiet von Ebersbach ist lediglich der Verlauf der Fils mit dieser Legendeneinheit belegt. Der relativ kleine Epplesee befindet sich knapp außerhalb auf Uhinger Gemarkung.

Freiland-Klimatop (43,6 % des Stadtgebietes)

Freiland-Klimatope stellen sich überwiegend über unbewaldeten, vegetationsbestandenen Außenbereichen ein. Sie zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte und weitgehend unbeeinträchtigte Windströmungsbedingungen aus. Sie wirken als Kaltluftentstehungsgebiete. Da in den Freilandbereichen selten Emittenten vorkommen und bei geeigneten Wetterlagen in den Nachtstunden Kaltluftmassen gebildet werden, können diese Bereiche eine hohe Ausgleichsfunktion für die humanbiometeorologisch und lufthygienisch belasteten bebauten Bereiche besitzen sowie generell als unbelastet gelten. Tags sind hier im Sommer aufgrund einer ungehinderten Sonneneinstrahlung sehr hohe PET-Werte zu erwarten, während nachts thermisch angenehmere Bedingungen herrschen.

Im Stadtgebiet von Ebersbach sind sämtliche Stadtteile von ausgedehnten Freiflächen umgeben, die diese Legendeneinheit erhalten. Diese umfassen v.a. Streuobst und landwirtschaftliche Nutzflächen.

Wald-Klimatop (34 % des Stadtgebietes)

Das Klima im Stammraum eines Waldes wird durch den Energieumsatz der Erdoberfläche im Waldbestand (verminderte Ein- und Ausstrahlung) bestimmt. Dichte und höher wachsende Baumvegetation führt zu gedämpften Tagesgängen von Lufttemperatur und -feuchte sowie zu niedrigen Windgeschwindigkeiten im Bestand. Nachts bildet sich Kaltluft sich oberhalb des Kronenraums. Deshalb können (ausgedehnte) Waldgebiete auf geneigten Flächen relevant für die Entstehung von Kaltluft/Frischlufte und deren Dynamik sein. Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und human-biometeorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emissionen die Funktion von Frischluftentstehungsgebieten, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit keine bzw. eine nur eingeschränkte Luftleitfunktion übernehmen. Am Tag dämpft das Kronendach der Bäume die sommerliche thermische Belastung, während demgegenüber nachts die Ausstrahlung vermindert ist.

Ausgedehnte Waldflächen finden sich im Stadtgebiet von Ebersbach insbesondere nördlich der Fils in der Umgebung der Stadtteile Büchenbronn und Krapfenreut, südlich der Fils befindet sich das größte zusammenhängende Waldgebiet südlich der Stadtteile Sulpach und Bünzwangen. Darüber hinaus sind nur vereinzelte kleinere Waldstücke vorhanden.

Grünanlagen-Klimatop (1,1 % des Stadtgebietes)

Die klimatischen Verhältnisse größerer (innerstädtischer) Park- und Grünanlagen sind zwischen denen von Freiland- und Waldklima einzustufen. Dabei variiert die klimatische Reichweite von Parkflächen in Abhängigkeit von der Größe und Form der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung oder Durchlüftungsbahnen.

Die Klimawirksamkeit von Grünflächen beschränkt sich je nach Größe, Relief und Rauigkeit auf die Fläche selbst (Mikroklimaeffekt), kann jedoch auch stadtklimatisch positive Fernwirkungen aufweisen bis zu mehreren hundert Metern je nach Größe der Fläche /36/ /37/.

Verschiedene Untersuchungen und Modellierungen haben gezeigt, dass mikroklimatische Kühlungseffekte in Abhängigkeit von der Verdunstungsleistung und Beschattung auch bei geringer Flächengröße nachweisbar sind /38/. Bei einer engen Vernetzung können auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen, z.B. indem sie den Luftaustausch fördern. Die PET an Sommertagen kann z.T. deutlich unter denen der Umgebungsbebauung liegen.

Im Stadtgebiet von Ebersbach sind hier insbesondere die Grünanlage zwischen oberer und unterer Alleenstraße, der Friedhof sowie die Sportanlagen der Kernstadt zu nennen.

Vorstadt-Klimatop (0,1 % des Stadtgebietes; 0,7 % der Bebauung)

Das Klimatop ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grün geprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländeanteils. Dieser Klimatoptyp ist charakteristisch für Vorstadtsiedlungen, Gartenstädte oder Ortsränder, die

darüber hinaus oft im unmittelbaren Einflussbereich des Freilands stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Das Klima in den Vorstadtsiedlungen zeichnet sich durch eine leichte Dämpfung der Tagesgänge der Klimaelemente Lufttemperatur, -feuchte, Wind und Strahlung aus. Die Windgeschwindigkeit ist niedriger als im Freiland, aber höher als in der Innenstadt. Die thermische Behaglichkeit ist von einer früher einsetzenden, nachhaltigeren Abkühlung als bspw. die Innenstadt gekennzeichnet.

Im Stadtgebiet von Ebersbach wurden aufgrund der Bebauungsstruktur nur einzelne kleinere Flächen diesem Klimatop zugewiesen.

Stadtrand-Klimatop (7,4 % des Stadtgebietes; 35,4 % der Bebauung)

Das Stadtrandklima unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch eine dichtere Bebauung und einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Bebauung, einer relativ günstigen Durchgrünung sowie einer auch reliefbedingt verhältnismäßig günstigen Lage innerhalb des Stadtraumes. Hieraus resultiert eine nur schwächere Ausprägung der Überwärmung als im Stadtkern- bzw. Innenstadt-Klimatop, zumeist kann von einem ausreichenden Luftaustausch insbesondere bzgl. Kaltluft sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

Da entsprechend der Stadtstruktur von Ebersbach ein großer Teil des bebauten Teils der Stadt in diesen Klimatotyp fällt, nimmt diese Legendeneinheit den weitaus größten Flächenanteil ein. Hierunter fallen demnach weite Teile der Kernstadt nördlich der Bahnlinie sowie der Stadtteile.

Stadt-Klimatop (3,0 % des Stadtgebietes, 14,5 % der Bebauung)

Charakteristisch für das Stadtklima sind eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit überwiegend hohen Baukörpern und Straßenschluchten und/oder die räumliche Lage mit gewisser Entfernung zum besser durchlüfteten Stadtrand. Bedingt durch den höheren Versiegelungsgrad, die ausgeprägten Oberflächenrauigkeiten und geringeren Grünflächenanteile ist der Stadtkörper, insbesondere während austauscharmer Strahlungsnächte, deutlich überwärmt. Tagsüber treten hohe strahlungsbeeinflusste Lufttemperaturen auf, die zu Hitzestress führen können. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die mit zeitweise ungünstigen human-biometeorologischen Verhältnissen und erhöhter Luftbelastung verbunden sind und das Stadtklima prägen.

Im Stadtgebiet von Ebersbach sind in der Kernstadt sowie allen Stadtteilen zahlreiche kleine Flächen eine Vielzahl von Flächen (z.T. knapp) diesem Klimatotyp zuzuordnen.

Innenstadt-Klimatop (1 % des Stadtgebietes; 4,8% der Bebauung)

Kennzeichnend für das Innenstadtklima sind ein sehr hoher Versiegelungsgrad, hohe Oberflächenrauigkeit sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Grünflächen, zum Teil mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. In dicht bebauten Bereichen kann starke Verschattung mildernd auf die Strahlungswärme wirken. Aufgrund dieser Eigenschaften weist das Innenstadtklima die stärksten mikroklimatischen Veränderungen gegenüber dem Ausgleichsraum im Stadtgebiet auf. Hierzu zählt vor allem der starke Wärmeinseleffekt, bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen, die sich in den straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln. Zusätzlich kann die Lage im Relief wie z.B. in Tiefenlagen mit umgebenden Randhöhen eine Durchlüftung bzw. nächtliche Abkühlung behindern. Das Innenstadtklima ist human-biometeorologisch ungünstig.

Im Stadtgebiet von Ebersbach betrifft dieser Klimatop-Typ lediglich den Innenstadtkern in der Tallage der Fils. Dort wechselt sich der Klimatoptyp mit dem Gewerbe-/ Industrie-Klimatop ab.

Gewerbe-/ Industrie-Klimatop (5,1 % des Stadtgebietes; 24,3 % der Bebauung)

Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima. Bedingt durch den sehr hohen Versiegelungsgrad und großflächige teilweise hohe Gebäude in Kombination mit ggf. erhöhten Emissionen an Produktionsstätten kann es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen kommen.

Dieser Klimatoptyp tritt fast ausschließlich in den Tallagen der Fils auf und zeigt generell eine großflächige Ausprägung. Deutlich tritt die gewerblich-industrielle Bebauung v.a. am östlichen Stadtrand hervor.

Flächenhafter Kaltluftabfluss

Über geneigtem Gelände ($> 2^\circ$) fließt die Kaltluft dem Gefälle entsprechend Tiefenlinien zu. Geneigte Flächen gelten wegen des permanenten und u.U. die ganze Nacht andauernden Kaltluftabflusses als besonders produktiv.

Im Stadtgebiet von Ebersbach trifft dies v.a. auf die ausgedehnten Freiflächen zwischen den südlichen und nördlichen Stadtteilen zu.

Kaltluftleitbahn

Durch Zusammenfließen flächenhafter Kaltluftabflüsse entstehen in ausreichend breiten und geneigten Tälern bei autochthonen Wetterlagen mächtige Kaltluftvolumenströme, die Kaltluft mit verhältnismäßig hohen Geschwindigkeiten über weite Strecken transportieren können.

Im Stadtgebiet sind dies die Filstalströmung, die Nassachtalströmung, die Ebersbachtalströmung sowie die Kirnbachtalströmung.

Kaltluftsammlgebiet

Kaltluftsammlgebiete sind Senken oder Tälern, in denen sich von Kaltluft, die durch lokale nächtliche Ausstrahlung entstanden ist oder die von benachbarten Hängen heran geführt wird, akkumuliert. Die Landschaftsteile in diesen auch Kaltluftseen genannten Ansammlungen sind tendenziell frostgefährdet und weisen eine erhöhte Häufigkeit der Nebelbildung auf.

Im Stadtgebiet von Ebersbach sind der Talbereich der Fils sowie die Talflanken als Kaltluftsammlgebiet klassifiziert.

Kaltluftentstehungsgebiet

Kaltluftentstehungsgebiete sind grüingeprägte Ausgleichsräume bzw. Grünflächen, die sich durch eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate auszeichnen. Die höchsten Kaltluftproduktionsraten finden sich in der Regel im Bereich offener Grünflächen wie Äcker und Wiesen mit einem geringen Baumanteil. Bäume wirken durch ihr Kronendach der nächtlichen Ausstrahlung entgegen und bremsen somit die Neubildung von Kaltluft.

6.2 Planungshinweiskarte

Die Planungshinweiskarte fasst sämtliche Ergebnisse der Stadtklimaanalyse in einer Karte als Erkenntnisquelle für die weitere Stadtplanung zusammen. Gemäß VDI 3787 Blatt 1 /18/ ist eine Planungshinweiskarte definiert als

„Informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält.“

Angesprochen sind dabei sämtliche Ebenen der räumlichen Planung (Regionalplan, Flächennutzungsplan, Bebauungsplan).

„Die bewertenden Stufen beinhalten Hinweise bezüglich der klimatischen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen oder Bebauungsänderungen. Für Flächenausweisungen mit hohen Schutzfunktionen werden bei Überplanungen gutachterliche, fachliche Begleitungen vorgegeben.“

→ Planungshinweiskarte nahe Zukunft

→ Karte 12

6.2.1 Methodik der Bewertung des Wirkraumes

In die Bewertung des Wirkraumes gingen die Ergebnisse zur Lufttemperatur um 04:00 Uhr und zur Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) um 14:00 Uhr ein. Beide Parameter sind in den Klimaanalysekarten (Nachsituation und Tagsituation) dargestellt (siehe Karten 5 bis 10 im Anhang). Da diese Parameter von der explizit gewählten meteorologischen Situation direkt abhängig sind, können diese jedoch nicht unmittelbar zu einer objektiven Bewertung herangezogen werden.

Die Vergleichbarkeit der Beurteilungskriterien untereinander und mit anderen Untersuchungen setzt eine Standardisierung der Variablen voraus, die mittels z-Transformation (siehe Abbildung 23) erreicht wird /21/. Danach ist eine Einteilung in Bewertungskategorien möglich (siehe Abbildung 24).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

z standardisierter Wert der Variablen x
 x Ausgangswert der Variablen x
 μ arithmetisches Mittel
 σ Standardabweichung

Abbildung 23: Formel und Parameter der z-Transformation /21/

sehr günstig (1)	günstig (2)	mittel (3)	ungünstig (4)	sehr ungünstig (5)
< -1,5	> -1,5 bis -0,5	> -0,5 bis 0,5	> 0,5 bis 1,5	> 1,5

Abbildung 24: Bewertungskategorien in der vorliegenden Untersuchung nach z-Transformation (nach /21/)

6.2.2 Methodik der Bewertung des Ausgleichsraumes

Der Ausgleichsraum kann als grüingeprägte, größtenteils unbebaute Freifläche, die an einen Wirkraum (bebaute Fläche) angrenzt oder mit ihm in Wechselbeziehung steht, beschrieben werden. Weil sich im Ausgleichsraum v.a. nachts kühle und frischere Luft bildet und in den Wirkraum strömen kann, werden im Wirkraum die bioklimatischen Belastungen verringert. Weiterhin kann der Ausgleichsraum, z.B. durch Verschattung durch Bäume, auch zur Verringerung der Wärmebelastung am Tag dienen.

In die Bewertung des Ausgleichsraumes gingen daher die Ergebnisse zum Kaltlufthaushalt und zur Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) um 14:00 Uhr ein. Letztere wurde einer z-Transformation wie in Kap. 6.2.1 dargestellt unterzogen. Hierbei wurde jedoch die Nummerierung der Klassen umgekehrt (sehr günstig = 5, sehr ungünstig = 1).

Die Bewertung des Kaltlufthaushaltes wurde für jede Fläche nach dem in Abbildung 25 dargestellten Ablaufschema durchgeführt.

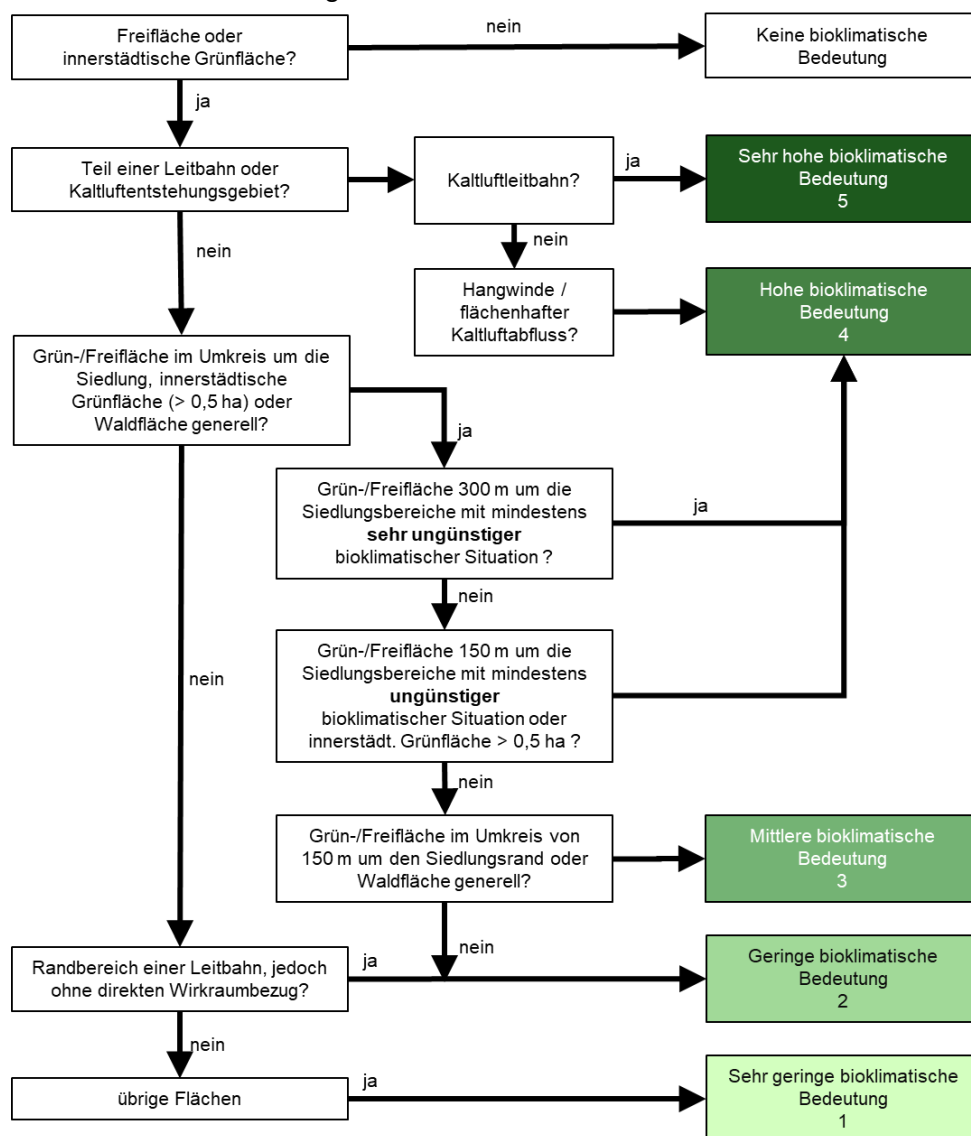


Abbildung 25: Ablaufschema der Bewertung des Wirkraumes (Nachtsituation)

6.2.3 Zusammenführung der Bewertung der Tag- und Nachtsituation

In einem letzten Schritt werden die in den Kap. 6.2.1 und 6.2.2 angewandten Bewertungsschemata in einer Karte zusammengeführt. Um die einzeln z-transformierten und bewerteten Situationen zusammenzuführen, wurden Bewertungsmatrizen erstellt, so dass eine Reklassifizierung und damit gesamthafte Bewertung möglich sind.

Die folgende Abbildung 26 zeigt die Bewertungsmatrix aus Tag- und Nachtsituation für den **Ausgleichsraum**. Die Bezeichnung der Klassen enthält Abbildung 27.

		Bewertung Nacht				
Bewertung Tag		1	2	3	4	5
	1	1	1	2	3	4
	2	1	2	3	3	4
	3	2	3	4	4	5
	4	3	3	4	5	5
	5	4	4	5	5	5

Abbildung 26: Bewertungsmatrix Ausgleichsraum

Bioklimatische Bedeutung	
1	sehr gering
2	gering
3	mittel
4	hoch
5	sehr hoch

Abbildung 27: Zugeordnete Klassen im Ausgleichsraum

Gemäß Abbildung 26 erhält z.B. eine wichtige Kaltluftleitbahn (Bewertung Nacht = 5 „Sehr hohe bioklimatische Bedeutung“ gemäß Abbildung 25), welche am Tag jedoch durch z.B. direkte Sonneneinstrahlung und damit hohe Wärmebelastung eine geringe Bewertung erhält (Bewertung Tag = 1 „sehr ungünstige thermische Situation“), insgesamt die Bewertung 4 („hohe bioklimatische Bedeutung“).

Für die Bewertung des **Wirkraumes** wurden zwei Bewertungsmatrizen erstellt. Für Gebiete, in denen eine Wohnnutzung überwiegt, wurde entsprechend dem zeitlichen Aufenthaltsschwerpunkt die Nachtsituation stärker gewichtet (siehe Abbildung 28 links), für Gebiete, in denen die gewerbliche Nutzung überwiegt, wurde die Tagsituation stärker gewichtet (siehe Abbildung 28 rechts). Die Bezeichnung der Klassen enthält Abbildung 29.

Wohnnutzung überwiegt						gewerbliche Nutzung überwiegt					
Bewertung Tag	Bewertung Nacht					Bewertung Tag	Bewertung Nacht				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	1	1	2	3	3	4	1	1	1	2	2
	2	1	2	3	4	4	2	2	2	2	3
	3	2	2	3	4	5	3	3	3	3	4
	4	2	3	3	4	5	4	3	4	4	5
	5	3	3	4	5	5	5	4	4	5	5

Abbildung 28: Bewertungsmatrix Wirkraum

Thermische Situation	
1	sehr günstig
2	günstig
3	mittel
4	ungünstig
5	sehr ungünstig

Abbildung 29: Zugeordnete Klassen im Wirkraum

Gemäß Abbildung 28 erhält ein Wohngebiet am Übergang zum Ausgleichsraum (z. B. Bewertung Nacht = 2 „günstig“), welches am Tag an einem südexponierten Hang liegt, kaum höheren Bewuchs enthält und einen hohen Versiegelungsgrad aufweist (z.B. Bewertung Tag = 5 „sehr ungünstig“), insgesamt die Bewertung 3 („mittel“). Ein Gewerbegebiet mit gleichen Voraussetzungen wird demnach mit Klasse 4 („ungünstig“) bewertet, da hier die Tagsituation stärker gewichtet wird.

6.2.4 Planungshinweise für die jeweiligen Klassen

Entsprechend dem Ablaufschema und der Bewertungsmatrizen wurde die Planungshinweiskarte für das Stadtgebiet erstellt (siehe Abbildung 30).

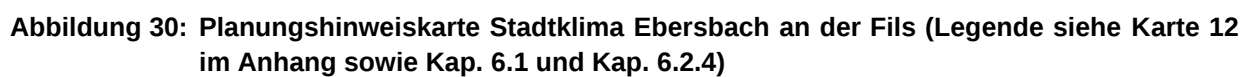
Die Karte teilt das Stadtgebiet insgesamt in einen Wirkraum und einen Ausgleichraum und bewertet diese jeweils anhand der thermischen Belastungssituation (Wirkraum) und der bioklimatischen Bedeutung (Ausgleichraum) in je 5 Klassen. Mit jeder dieser Klassen sind konkrete Handlungsanweisungen verbunden, um ungünstige Situationen zu verbessern (Wirkraum) oder die Wertigkeit bestmöglich zu erhalten (Ausgleichraum). Die folgenden Darstellungen geben einen tabellarischen Überblick über die verwendeten Klassen und damit verbundenen Handlungsanweisungen (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 4: Planungshinweise für den Ausgleichsraum

Bioklimatische Bedeutung	Flächenanteil %	Planungshinweis
sehr gering	7,8	Flächen im Ausgleichraum mit einer sehr geringen bioklimatischen Bedeutung: Hier sind aus Sicht des Stadtklimas keine besonderen Hinweise zu beachten. Eine Bebauung kann anhand der guten fachlichen Praxis erfolgen.
gering	9,7	Flächen im Ausgleichraum mit einer geringen bioklimatischen Bedeutung: Die auf diesen Flächen ablaufenden Prozesse bzw. Funktionen sollen erhalten oder wenn möglich verbessert werden. Negative Auswirkungen auf das Stadtklima sollen durch angepasste Bebauung (Grünanteil, Fassadenbegrünung, Dachbegrünung) gemindert werden.
mittel	38,9	Flächen im Ausgleichraum mit einer mittleren bioklimatischen Bedeutung: Die auf diesen Flächen ablaufenden Prozesse bzw. Funktionen sollen weitgehend erhalten bleiben. Bauliche Eingriffe sind in Hinblick auf den Erhalt der Funktionen der Fläche zu optimieren. Diese sollten im Rahmen von stadtklimatischen Fachstellungnahmen bewertet werden.
hoch	36,2	Flächen im Ausgleichraum mit einer hohen bioklimatischen Bedeutung: Die auf diesen Flächen ablaufenden Prozesse bzw. Funktionen sollen weitestgehend erhalten bleiben. Bauliche Eingriffe sind in Hinblick auf den Erhalt der Funktionen der Fläche zu optimieren. Diese sollten im Rahmen von stadtklimatischen Fachgutachten unter Nutzung von Modellrechnungen bewertet werden.
sehr hoch	7,4	Flächen im Ausgleichraum mit einer sehr hohen bioklimatischen Bedeutung: Die auf diesen Flächen ablaufenden klimatischen Prozesse bzw. Funktionen sollen erhalten bleiben. Flächen dieser Klasse sollten grundsätzlich dauerhaft von Bebauung freigehalten werden.

Tabelle 5: Planungshinweise für den Wirkraum

Bioklimatische Bedeutung	Flächenanteil %	Planungshinweis
sehr günstig	0,2%	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil ist zu erhalten. Bei Neubau- oder Erweiterungsvorhaben ist darauf zu achten, dass möglichst keine Verschlechterung der thermischen Situation eintritt. Dies kann durch einen Grünanteil bzw. Versiegelungsgrad entsprechend der Umgebung erreicht werden.
günstig	9,8%	
mittel	52,6%	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind bei Neubau oder wesentlichen Änderungsvorhaben im Bestand sinnvoll. Bei Nachverdichtung ist darauf hinzuwirken, dass die Maßnahmen nicht zu einer Verschlechterung der thermischen Situation auf der Fläche selbst sowie auf angrenzenden Flächen führen. Dies kann durch einen entsprechenden Grünanteil sowie durch Pflanzgebote erreicht werden. Bei Siedlungserweiterungen ist darauf zu achten, dass das Einströmen von Kalt-/Frischluf in diese Bereiche nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Hierfür sind die Größe der Baukörper und deren Stellung in Bezug zu Ausgleichsströmungen zu beachten.
ungünstig	32,7%	Städtischer Überwärmungsbereich. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind bei Neubau oder wesentlichen Änderungsvorhaben im Bestand erforderlich. Im Bereich der Nachverdichtung ist darauf hinzuwirken, dass sie eine Verbesserung der thermischen Situation auf der Fläche selbst sowie auf angrenzenden Flächen erreicht wird. Dies durch entsprechende Durchgrünung und ggf. Entsiegelung. Bei Siedlungserweiterungen ist darauf zu achten, dass das Einströmen von Kalt-/Frischluf in diese Bereiche nicht beeinträchtigt wird. Bei Siedlungserweiterungen ist in Verbindung mit den entsprechenden Klassen des Ausgleichsraumes ist ein wesentliches Ziel, dass das Einströmen von Kalt-/Frischluf in diese Bereiche nicht beeinträchtigt wird. Hierfür sind die Größe der Baukörper und deren Stellung in Bezug zu Ausgleichsströmungen zu beachten. Dies Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sollten fachgutachtlich, ggf. mit einer Fachstellungnahme begleitet werden.
sehr ungünstig	4,6%	Deutlicher städtischer Überwärmungsbereich. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind bei Neubau oder wesentlichen Änderungsvorhaben im Bestand erforderlich. Im Bereich der Nachverdichtung ist eine Verbesserung der thermischen Situation auf der Fläche selbst sowie auf angrenzenden Flächen führen. Bei Siedlungserweiterungen ist in Verbindung mit den entsprechenden Klassen des Ausgleichsraumes ist modelltechnisch nachzuweisen, dass das Einströmen von Kalt-/Frischluf in diese Bereiche nicht behindert wird.



6.2.5 In der Planungshinweiskarte bereits berücksichtigte Planungen

In Kap. 4.4 wurden die Planungen dargestellt, die bei der Entwicklung der Szenarien bereits berücksichtigt wurden. Diese Planungen wurden explizit den aktuellen Daten zur Landnutzung hinzugefügt. Da die Planungshinweiskarte den Planungshorizont der nahen Zukunft bereits beinhaltet, sollen im Folgenden die Planungen dargestellt werden, welche aus gutachterlicher Sicht nach den vorliegenden Untersuchungen eine klimaökologische Begleitung bei der konkreten Planung erfahren sollten. Die Legenden enthalten die jeweils zugehörigen Karten im Anhang.

Kernstadt – Umwandlung Wohnen anstelle Friedhofserweiterung

Hier kann ein Wohngebiet anstelle der Friedhofserweiterung entstehen. Aufgrund der Größe der Fläche sowie bestehenden Hitzebelastung in der Umgebung ist es möglich, dass hier ein neuer Hitzeschwerpunkt entsteht. Die Planung sollte daher klimaökologisch begleitet werden, um mögliche zusätzliche Belastungen für die Umgebung sowie die neuen Bewohner zu mindern.

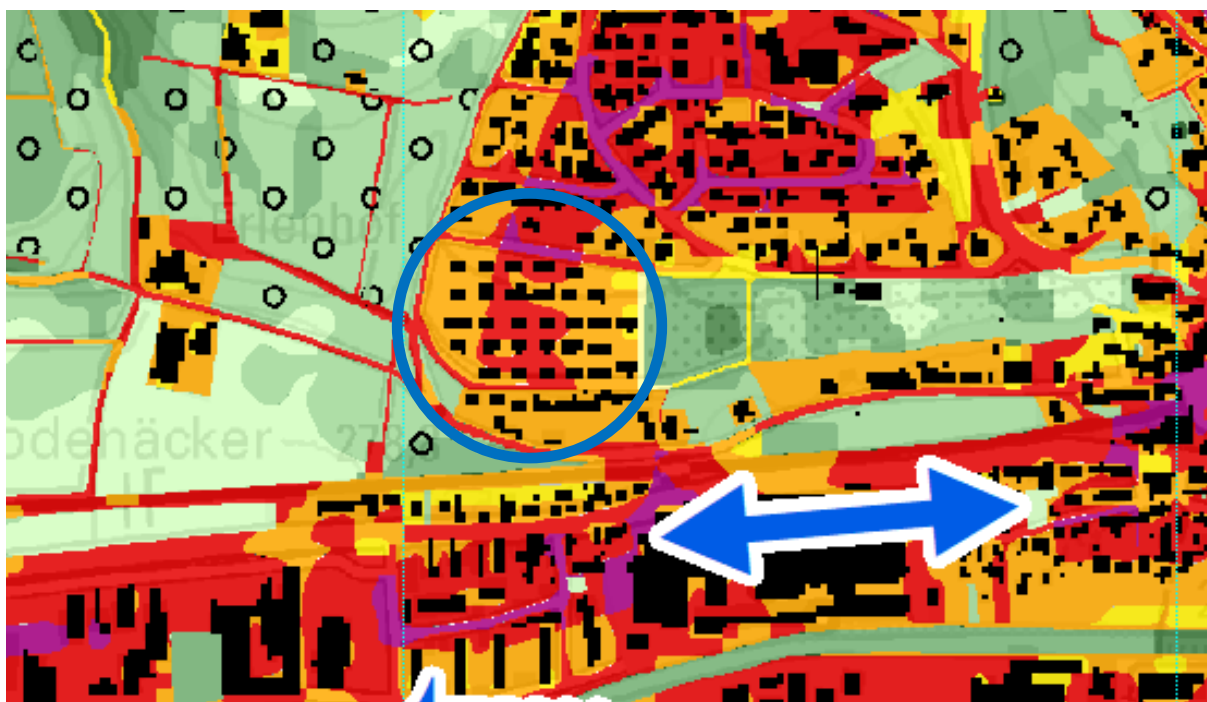


Abbildung 31: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den westlichen Stadtrand inkl. des Plangebietes (blau eingekreist); Legende siehe Karte 12 im Anhang

Sulpach – Wohngebiet „Kauzenhecklen“

Das Wohngebiet „Kauzenhecklen“ soll den Stadtteil Sulpach nach Südwesten erweitern. Denkbar ist, dass eine Erweiterung ähnlich der bestehenden Bebauung am derzeitigen südwestlichen Ortsrand durchgeführt wird. Aus der Planungshinweiskarte wird ersichtlich, dass durch eine massige Bebauung in Fortführung des bestehenden Ortsrandes hier ein neuer Hitzeschwerpunkt entstehen kann (siehe Abbildung 32). Nachteilig wirkt sich hier aus, dass der Bereich aufgrund einer topographischen Höhenlage nicht unmittelbar von Kaltluftströmungen bzw. flächenhaften Kaltluftabflüssen erreicht wird (siehe Abbildung 33).

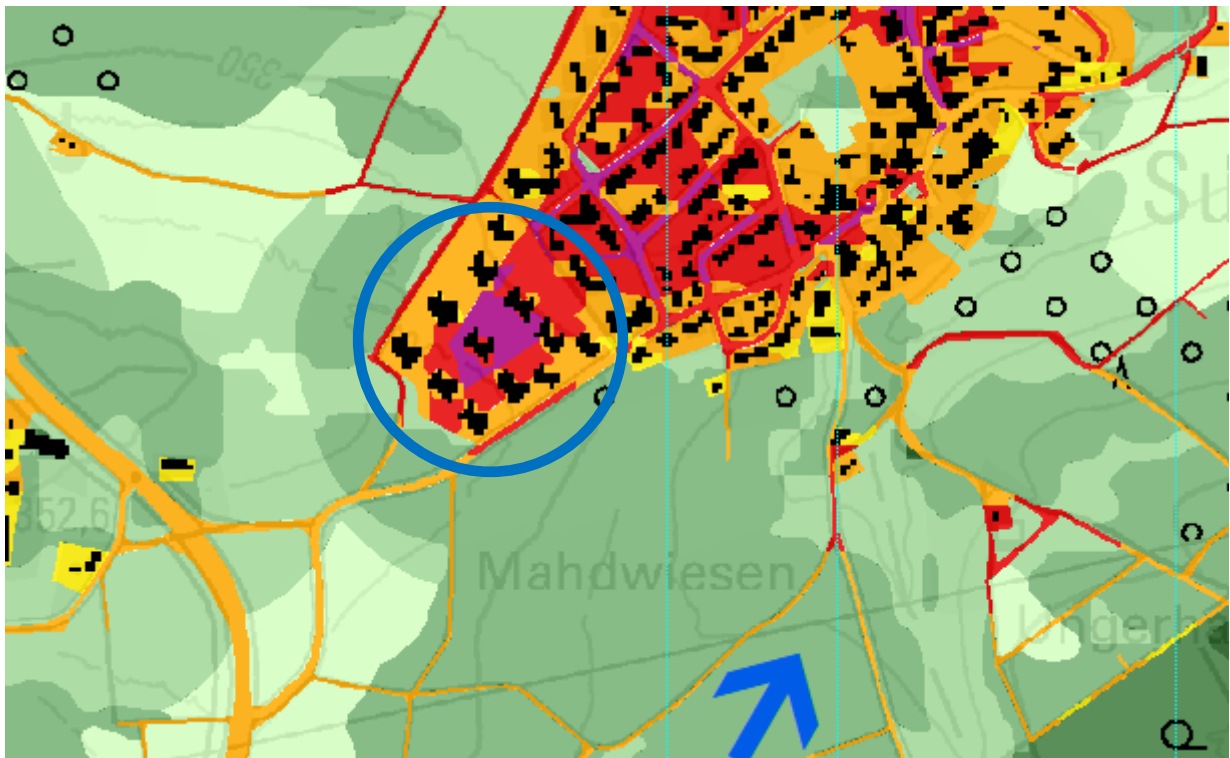


Abbildung 32: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den südwestlichen Ortsrandes von Sulbach inkl. des Plangebietes (blau eingekreist) Legende siehe Karte 12 im Anhang

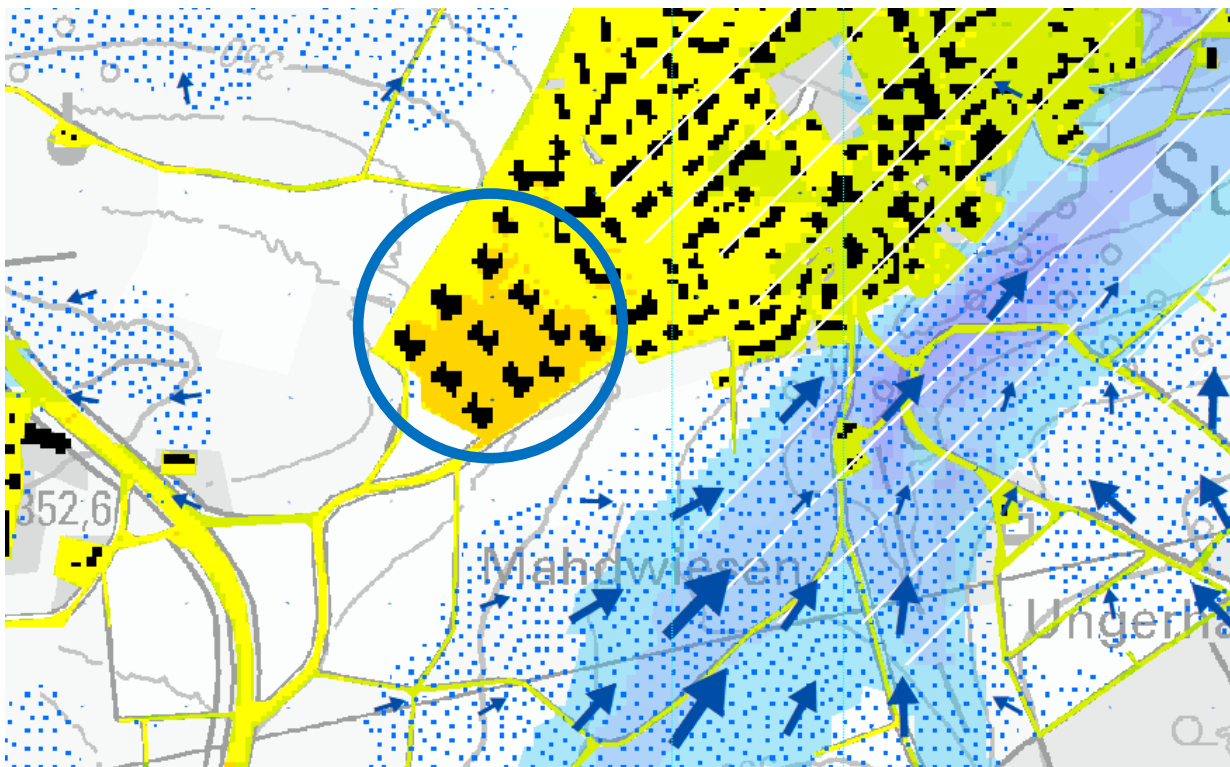


Abbildung 33: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für die nahe Zukunft für den südwestlichen Ortsrandes von Sulpach inkl. des Plangebietes (blau eingekreist)

Kernstadt – Interkommunales Gewerbegebiet „Strut“

Das interkommunale Gewerbegebiet „Strut“ soll das bestehende gleichnamige Gewerbegebiet deutlich nach Osten, ggf. bis zur Nassachtalstraße, erweitern. Die Analysen haben gezeigt, dass im Bereich östlich des bestehenden Gewerbegebietes „Strut“ die Nassachtalströmung in das Filstal eintritt und sich nach Westen in Richtung der Kernstadt von Ebersbach weiterbewegt (siehe Abbildung 34). Die Nassachtalströmung ist – so konnte gezeigt werden – für die Kernstadt von Ebersbach wesentlich. Eine Beeinträchtigung dieser Strömung sollte generell vermieden werden.



Abbildung 34: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für die aktuellen Verhältnisse für den östlichen Stadtrand von Ebersbach inkl. des Bereichs für eine mögliche Erweiterung des Gewerbegebietes (blau eingekreist) Legende siehe Karten 5 im Anhang

Durch eine weitreichende Bebauung ähnlich zur bisherigen Bebauung im bestehenden Gewerbegebiet hätte auch die Ausbildung eines neuen Hitzeschwerpunktes zur Folge. Dementsprechend erhält das Gewerbegebiet in der Planungshinweiskarte in weiten Teilen die Klasse „sehr ungünstig“ in Hinblick auf die thermische Belastung (siehe Abbildung 35).

Eine Bebauung in diesem Bereich sollte möglichst in einem Frühstadium der Planung klimaökologisch mit einem Fachgutachten, welches sich auf Modellrechnungen stützt, begleitet werden. So kann möglichen erheblichen negative Auswirkungen auf die Umgebung sowie das Plangebiet selbst begegnet werden.



Abbildung 35: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den östlichen Stadtrand von Ebersbach inkl. des Bereichs für eine mögliche Erweiterung des Gewerbegebietes (blau eingekreist)

7 Klimaökologische Leitlinien

Aus den Ergebnissen der Modellierungen (siehe Kap. 4) sowie der darauf basierenden Klimaanalysekarte der Stadt Ebersbach (siehe Kap. 5; Karten 5 bis 10 im Anhang) bzw. der Klimatopkarte sowie der Planungshinweiskarte der Stadt Ebersbach an der Fils (siehe Kap. 6 sowie Karte 11 und 12 im Anhang) ergeben sich Anforderungen und Hinweise an die räumliche Planung (insbesondere Stadt-, Verkehrs- und Grünplanung), die insgesamt als Handreichung für die Bauleitplanung dienen können und hier zusammengefasst dargestellt werden sollen.

Die Klimaökologischen Leitlinien basieren u.a. auf den Darstellungen der Städtebaulichen Klimafibel Baden-Württemberg /39/ sowie den Maßnahmen nach VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 /18/. Hier wird jeweils Bezug zur Situation der Stadt Ebersbach hergestellt.

Auf der gesamtstädtischen Ebene ergeben sich nach /39/ folgende wesentliche Hauptkomponenten einer klimaökologisch verträglichen Stadtplanung:

- Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen (siehe Kap. 7.1)
- Sicherung des lokalen Luftaustauschs (siehe Kap. 7.2)

Bezogen auf belastete oder zukünftig nicht zusätzlich zu belastende Siedlungsräume entsprechend der Planungshinweiskarte (siehe Kap. 6.2) ergeben sich darauf basierend (im kleinräumigeren Maßstab, z.B. Quartiersebene) verschiedene Möglichkeiten der Entschärfung bzw. Vermeidung von Belastungssituationen, die in Kap. 7.3 näher dargestellt werden.

Für die Stadt Ebersbach besteht innerhalb des Stadtgebietes die Möglichkeit, eigene Vorgaben im Rahmen der Bauleit- bzw. Fachplanung zu machen oder – soweit möglich – auch Einfluss auf die für Ebersbach relevante Bereiche außerhalb des eigenen Stadtgebietes zu nehmen. Hierzu ist eine Abstimmung der Bauleitplanung mit den Nachbargemeinden (z.B. Uhingen) zu empfehlen, deren Bebauung im Filstal unmittelbar östlich anschließt und so ggf. Auswirkungen auf die klimaökologische Situation in Ebersbach haben kann. Nach den vorliegenden Untersuchungen besonders hervorzuheben ist hierbei die Gestaltung des Interkommunalen Gewerbegebietes „Strut“.

7.1 Erhalt und Gewinnung von Vegetationsflächen

Dem Erhalt und der Gewinnung von Grünflächen kommt insbesondere in bereits belasteten Bereichen oder in Gebieten, welche wichtige Funktionen für belastete Bereiche übernehmen, eine hohe Bedeutung zu. In der Planungshinweiskarte ist dies im Wirkraum durch die thermische Situation beschreibenden Klassen „ungünstig“ und „sehr ungünstig“, im Ausgleichraum durch die bioklimatische Bedeutung beschreibenden Klassen „hoch“ und „sehr hoch“ dargestellt.

Bei zukünftigen Planungen können Vegetationsflächen über Grünordnungs- und Landschaftspläne gewonnen werden.

Diese umfassen eine Bestandsaufnahme der natürlichen Gegebenheiten sowie der Nutzungsansprüche an das betreffende Gebiet. Zu den zu untersuchenden natürlichen Gegebenheiten und Potenzialen zählen u.a. auch klimatische und lufthygienische Aspekte mit

einer ökologischen Bewertung der festgestellten Gegebenheiten und möglicher Einschränkungen und Nutzungskonflikte.

Die im Landschaftsplan enthaltenen Elemente werden in den Flächennutzungsplan eingearbeitet. Darstellungen im Landschaftsplan oder im Grünordnungsplan werden, soweit erforderlich und geeignet, in die Bebauungspläne aufgenommen und durch entsprechende Festsetzungen rechtsverbindlich (z.B. § 9 (1) BauGB).

Über einzelne Bebauungspläne kann der Umfang der Bodenversiegelung beeinflusst und der Anteil von Grün- und Wasserflächen erhöht werden. Dies kann belastete Bereiche entlasten und helfen zukünftige Belastungen zu vermeiden.

Eine Vernetzung von kleineren Grünflächen kann lokal zu einer Verminderung thermischer Belastungen beigetragen. Einer Ausrichtung von Baukörpern in Belüftungsachsen kann auch über den zu überplanenden Bereich hinaus Entlastung schaffen und zusätzliche Belastungen vermeiden.

Bäume und Sträucher entlang von Straßen Begrenzen die Aufheizung von städtischen Oberflächen. Jedoch können insbesondere großkronige Bäume im Straßenraum zu einer Reduzierung der Windgeschwindigkeit und damit einer Einschränkung der Milderung thermischer, aber insbesondere lufthygienischer Belastungen führen, so dass im Einzelfall abgewogen werden muss.

Eine messbare klimatische Wirkung deutlich über die betrachtete Grünfläche hinaus kommt eher bei Größenordnungen von 10 bis 50 ha zustande (u.a. /40/). Kleinere Grünflächen sind jedoch kleinräumig wirksam und bieten in Tagen hoher thermischer Belastungen Alternativen für den Aufenthalt im städtischen Raum.

In Bezug auf die humanbioklimatische Behaglichkeit ist insbesondere in der Kernstadt ohne wesentliche Gartenanteile der Erreichbarkeit öffentlicher zugänglicher Grünflächen mit besonnten und beschatteten Anteilen und ggf. Wasserflächen innerhalb einer Gehentfernung von 500 m wichtig.

7.2 Sicherung des lokalen Luftaustauschs

Der Sicherung des lokalen Luftaustauschs kommt insbesondere in thermisch belasteten Bereichen wie Teilen der Kernstadt von Ebersbach oder einzelner Stadtteile und der Gewerbegebiete eine große Bedeutung zu. Hiermit ist der Schutz bestehender kalt- bzw. frischluftproduzierender Gebiete, wie Wiesen und Wälder, im direkten Siedlungsumfeld (im Ausgleichsraum durch die die bioklimatische Bedeutung beschreibenden Klassen „hoch“ und „sehr hoch“) gemeint.

Beim Übergang in den Siedlungsraum kommt den Bebauungsformen sowie der Gliederung bzw. Stellung der Baukörper eine hohe Bedeutung zu. Ziel muss sein, vorhandene Luftströmungen möglichst weit in den Siedlungsraum hinein zu führen und nicht durch unangepasste Bebauung (z.B. Querriegel oder ungünstige Staffelung (zusätzlich) zu behindern.

Bauwerke, die ihre Umgebung wesentlich überragen, tragen generell zu größerer Turbulenz und damit zur Verringerung der übergeordneten Windgeschwindigkeiten und Durchlüftung der Stadt bei. Lokal erfolgt eine stärkere vertikale Durchmischung der Luft auf Kosten der

horizontalen Windgeschwindigkeit und damit der Reichweite von Kaltluftströmungen. Zugleich sind aber auch Verschattungs- und Düseneffekte möglich.

Zum Erhalt der für weite Teile der Kernstadt klimatisch (und lufthygienisch) überaus bedeutsamen Kaltluftströme (Nassachtalströmung, Ebersbachtalströmung) ist im Talraum auf eine strömungsdynamisch optimierte Bebauung zu achten (z.B. Interkommunales Gewerbegebiet Strut). Diese ist im Wesentlichen geprägt durch eine Ausrichtung der Baukörper in Strömungsrichtung, eine möglichst einheitliche Verdrängungshöhe (Bauhöhe) und möglich geringe Rauigkeit, sodass die städtische Bebauung insgesamt vom Kaltluftstrom leicht durch- bzw. überströmt werden kann.

7.3 Kleinräumige Maßnahmen auf Quartiersebene

Verschattung im öffentlichen Raum

Zentrale öffentliche Aufenthaltsbereiche im städtischen Raum sind Straßen, Geh- bzw. Fahrradwege sowie zentrale Plätze, wie z.B. der Bahnhof oder der Bereich um die Hauptstraße/Bahnhofsallee. Solche Bereiche werden entweder zum längeren Aufenthalt aufgesucht oder dienen dem Zweck der Fortbewegung.

Mit Blick auf zukünftig mögliche häufigere und intensivere Hitzeperioden, einen dem demographischen Wandel geschuldeten zukünftigen höheren Anteil an hitzesensiblen Bevölkerungsgruppen sowie dem u.a. aus Gründen der Luftreinhaltung auch gewollten zunehmenden Fußgänger- und Fahrradverkehr sollten thermisch belastende Situationen auf diesen Flächen vermieden werden bzw. Möglichkeiten zur Vermeidung gegeben werden.

Durch gezielte Verschattung kann die Aufenthaltsqualität im Außenraum deutlich verbessert werden, da die direkte Sonneneinstrahlung am Tag in unbeschatteten Bereichen wesentlich für die dortige thermische Belastung (siehe Karten zur Wärmebelastung am Tag im Anhang) ist. Oberflächen wie Asphalt, Beton oder Stein geben – wenn sie am Tag unbeschattet waren – noch bis spät in die Nacht Wärme ab, was – je nach Nutzungsanspruch – positive oder negative Wirkungen haben kann.

Neben der Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Straßenraum im engeren Sinne stehen bei der Verschattung auch die Wege der gezielt zur Erholung aufgesuchten Grün-/Freiflächen im Fokus.

Die Beschattung sollte vorzugsweise durch Bäume und Sträucher erfolgen. Möglich ist auch die Beschattung durch Gebäudeanbauten (z.B. Markisen in Fußgängerzonen) oder Kleinbauten (z.B. Wartehäuschen an ÖPNV-Haltestellen). Perspektivisch ist auch der großflächigere Einsatz künstlicher Materialien denkbar (z.B. Sonnensegel auf Plätzen), wie es z.T. in südlichen Ländern seit langem praktiziert wird.

Bäume und Sträucher im Straßenraum können zusätzlich zur Verschattung die Filterwirkung in Bezug auf Luftschadstoffe übernehmen und dadurch die Luftqualität verbessern helfen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der vertikale Luftaustausch zum Schadstoffabtransport und der nächtlichen Ausstrahlung möglichst gewährleistet bleibt. Geschlossene Kronendächer und großkronige Bäume können insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hoher Verkehrsbelastung die Durchlüftung behindern. Dies ist im Einzelfall gegen die Vorteile hoher

Vegetation bei der Beschattung, Temperaturdämpfung durch die Verdunstung und die Filterwirkung abzuwägen.

Begrünung und Verschattung von Parkplätzen bzw. versiegelten Flächen

Ungehinderte Sonneneinstrahlung führt tagsüber zu einer hohen Wärmebelastung auf Parkplatz- oder Logistikflächen. Zusätzlich kann die hohe Wärmespeicherkapazität des jeweiligen Bodenbelags (Asphalt, Beton, Schotter) auch die nächtliche Abkühlung in angrenzenden Wohnnutzungen verringern bzw. z.T. stark verzögern. Es gilt dabei auch, den Beitrag der Einzelflächen zum Wärmeinseleffekt der Stadt generell zu mindern.

In Parkplatz- oder Logistikbereichen kann schattenspendende Vegetation diese Effekte deutlich verringern. Wegen der fehlenden Verdunstungskühlung können Überdachung oder Sonnensegel einer Überwärmung nur eingeschränkt entgegenwirken. Sollten Überdachungen jedoch z.B. mit Solaranlagen geplant werden, kann auch hier eine insgesamt positive Wirkung erzielt werden. Ein Beispiel hierfür ist ein offen gestaltetes, fassadenbegrüntes Parkhaus mit untergrünter Dachphotovoltaikanlage, statt mehrerer großflächiger Parkplätze mit hohen Versiegelungsraten.

Bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen sollte auf deren Hitze- und Trockenheitsresistenz geachtet werden.

Entsiegelung bzw. Vermeidung von Neuversiegelung

Entsiegelung meint den Austausch von komplett versiegelten Flächen zugunsten von teilversiegelnden Oberflächenmaterialien wie z.B. Rasengittersteinen, Fugenpflaster, Sickerpflaster, oder zugunsten von komplett unversiegelten Bereichen. Ziel solcher Maßnahmen ist die (teilweise) Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen (auch im Hinblick auf den Hochwasserschutz, s.u.). Aus klimatischer Sicht sind vor allem die Effekte einer reduzierten Wärmespeicherung sowie einer erhöhten Verdunstungskühlung von Bedeutung.

Entsiegelungsprojekte entsprechen zudem den Zielen des Bodenschutzes (siehe Bundesbodenschutzgesetz), des Hochwasserschutzes sowie eines naturnahen Wasserkreislaufs und unterstützen den Ansatz einer dezentralen Siedlungswasserwirtschaft.

Durch ähnliche Maßnahmen sollten auch bei Neubauprojekten (Neu-)Versiegelungen vermieden werden.

Erhöhung der Oberflächen-Albedo

Eine vielfach bei Neubauprojekten schon umgesetzte Maßnahme ist die Erhöhung des Rückstrahlvermögens der Oberflächen (Albedo) durch Wahl von Baustoffen oder Fassadenanstrichen mit hoher Albedo (z.B. Festsetzung von hellen Oberflächen im Rahmen des Planungsprozesses). So wird die Aufheizung des Baustoffs selbst sowie der umgebenden Luft deutlich verringert. Auch dies wird in südlichen Ländern traditionell bereits länger praktiziert.

Hier kann insbesondere bei Sanierungen im thermisch belasteten Bestand ein Beitrag zur Verringerung des Wärmeinseleffektes geleistet werden.

Anlage von offenen Wasserflächen im öffentlichen Raum

Offene bewegte Wasserflächen im öffentlichen Raum bieten eine positive Wirkung auf thermisch belastete Bereiche, da die zur Verdunstung benötigte Energie aus der Umgebung gewonnen wird und sie diese somit abkühlen.

In thermisch stark belasteten, versiegelten Bereichen des öffentlichen Raumes können Brunnen, Wasserspiele (ebenerdige Brunnen), Wasserspielplätze oder künstliche Wasserfälle insbes. in Verbindung mit Verschattung Entlastung schaffen und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum in Hitzeperioden deutlich verbessern.

Dach- und Fassadenbegrünung

Mit Dach- und Fassadenbegrünungen kann zunächst für das begrünte Objekt selbst sowie die nächste Umgebung die thermische Situation verbessert werden. Ein Verbund aus vielen begrünten Dächern und Fassaden kann den städtischen Wärmeinseleffekt mindern, Luftschadstoffe binden und – im Falle der Dachbegrünung – zudem zu einer Reduktion von Niederschlagsabflussspitzen beitragen.

Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten

Die Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten zählt zu den zentralen Maßnahmen in einer Stadt wie Ebersbach, die einerseits auf Kalt- bzw. Frischluftzuflüsse aus dem Umland angewiesen ist und andererseits gleichzeitig unter Siedlungsdruck steht.

Ziel ist es, vorhandene Kaltluftströme optimal zu nutzen bzw. möglichst bei Umbaumaßnahmen bereits eingeschränkte Kaltluftströme zu verbessern. Wesentlich hierbei ist die Ausrichtung der Baukörper parallel zur Fließrichtung von Kaltluftströmen und eine Beschränkung der maximalen Gebäudehöhen in Anlehnung an die Umgebungsbebauung.

Stadtklimatische Entkopplung von Neubau- und Nachverdichtungsgebieten

Das im BauGB verankerte städtebauliche Leitbild der Stärkung der Innenentwicklung sowie das stadtplanerische Ziel der thermischen Entlastung von Siedlungsbereichen tragen eine gewisse Unverträglichkeit bereits im Grundsatz in sich.

Eine Möglichkeit, diesen Konflikt zu bewältigen, ist die thermische Entkopplung von neu zu errichtenden bzw. zu verdichtenden Bereichen durch effektive Bau- und Außenbereichsgestaltung und Gebäudeausrichtung in der Form, dass diese Bereiche möglichst geringe klimatische Auswirkungen auf angrenzende Bereiche haben. Ein Nachweis kann im Vorhinein durch einen modellhaften Vergleich von Alternativen im Rahmen von klimaökologischen Untersuchungen erbracht werden.

Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt in öffentlichen Grünflächen

Die Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt meint grundsätzlich eine Erhöhung des Angebots an Bewohner oder Besucher, sich zu einem bestimmten (Tages- oder Nacht-)in einer ihnen angenehmen klimatischen Umgebung aufhalten zu können.

Ein Beispiel hierfür ist der Stadtgarten, in dem sich beschattete und besonnte Bereiche sowie Wasserflächen und Rasenflächen kleinräumig abwechseln.

Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen

Großräumige, gut wasserversorgte und durch flache Vegetation geprägte Freilandbereiche, wie Wiesen, Felder, Kleingartenanlagen und Parklandschaften, sind Ausgleichsräume im Stadtklima haushalt und Produktionsraum für Kalt- und Frischluft und bedürfen daher – insbesondere bei hohen thermischen und lufthygienischen Belastungen – eines besonderen Schutzes sowie einer behutsamen und reflektierten Beplanung. Entweder besteht auf diesen Flächen eine wesentliche Funktion als „Entstehungsraum“ oder als „Transportraum“ positiver klimaökologischer Effekte.

Entsprechende wesentliche Flächen im Stadtgebiet Ebersbach sind in der Planungshinweiskarte explizit mit mittlerer bis sehr hoher bioklimatischer Bedeutung gekennzeichnet.

Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen

Die Vernetzung von Grün- und Gewässerbereichen ist eine aus dem Biotop- und Artenschutz bereits länger bekannte Maßnahme und besitzt auch Potential zur Verbesserung des Kaltlufthaushaltes sowie des Angebots unterschiedlicher Mikrokimate (s.o.). Solche vernetzte Grünflächen erfordern nicht unbedingt größere Stadtumbaumaßnahmen, sondern können auch entlang von Radwegen oder Gleisflächen erfolgen.

Vermeidung von Austauschbarrieren

Die Wirkung von Freiflächen im Ausgleichsraum am beabsichtigten Wirkungsort im Wirkraum hängt wesentlich von der Hindernisfreiheit des Transportweges zum Luftaustausch ab. Im Einzelfall kann es ratsam sein, natürliche Hindernisse (z.B. Baumgruppen) sowie künstliche Hindernisse (z.B. Bahndämme, Lärmschutzwände, große Gebäude) in relevanten Bereichen möglichst zu verzichten.

Schwammstadt

Um möglichst viel Regenwasser Starkregenereignissen zurückzuhalten (und dabei das Kanalnetz zu entlasten) sollte in räumliche Planungen nach Möglichkeit versickerungsfähige Verkehrsflächen, Pflaster, Mulden, Rigolen sowie zusätzliche urbane Grünflächen eingeplant werden. Dadurch kann die Verdunstungskühlung begünstigt werden, welche positiv auf das Mikroklima wirkt.

8 Zusammenfassung

Der derzeit beobachtete und prognostizierte Klimawandel hat bereits heute z.T. erhebliche Auswirkungen, wie z.B. häufigere Extremereignisse und langanhaltende Hitze mit Trockenheit. Aber auch Überschwemmungen aufgrund von Starkregen treten mit zunehmender Intensität auf (z.B. in /28/). Von 1881 bis 2020 stiegen die mittleren Temperaturen in Deutschland deutlich, sowohl im Jahresdurchschnitt (+1,64 °C) als auch im Sommer (+1,58 °C) und Winter (+1,72 °C), wohingegen beim Niederschlag zwar in der Jahressumme Zunahmen, insbesondere im Sommer jedoch Abnahmen zu verzeichnen sind /2/, /26/, /29/.

Für Ebersbach an der Fils zeigen regionale Klimaänderungsinformationen eine zukünftig zu erwartende Zunahme bei der Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperatur über 25°C), der heißen Tage (Tageshöchsttemperatur über 30°C) und der Tropennächte (Tagesmindesttemperatur über 20°C), bei tendenziellem Rückgang der Sommerniederschläge /35/.

Im Rahmen der vorliegenden Stadtklimaanalyse Ebersbach an der Fils konnte mittels des Stadtklimamodells PALM-4U und des Kaltluftabflussmodells KLAM21 in einem Raster 5 m x 5 m konnten tendenziell thermisch belastete Siedlungsräume (Wirkraum) und bioklimatisch wertvolle Freiräume (Ausgleichsraum) in einem meso- bis mikroskaligen Prognoseansatz herausgearbeitet werden.

Dem absehbaren Klimawandel kann (und muss) bereits jetzt durch geeignete Maßnahmen im Stadtumbau begegnet werden. Mittels der Modelle PALM-4U und KLAM21 wurden flächendeckende Ergebnisse der wichtigsten meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung und Kaltluftvolumenstrom für die Nachtsituation bzw. Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) für die Tagsituation berechnet. Der Simulation liegt eine sommerliche Wetterlage unter autochthonen Bedingungen zugrunde (geringer Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht, hohe Ein- und Ausstrahlung bei wolkenlosem Himmel).

Die Klimaanalysekarten stellen die Überwärmung des Wirkraumes und das Kaltluftprozessgeschehen im Ausgleichsraum für das gesamte Untersuchungsgebiet dar. Sie zeigen die strukturellen Unterschiede im Temperaturfeld sowie den städtischen Wärmeinseleffekt und bilden die in einer autochthonen Sommernacht entstehenden Ausgleichsströmungen ab. Dadurch ist es möglich, die für die Durchströmung des Stadtgebiets besonders wichtigen Kaltluftleitbahnen zu identifizieren.

Die Planungshinweiskarte bewertet die Belastung im Wirkraum sowie die bioklimatische Bedeutung des Ausgleichsraumes im Stadtgebiet Ebersbach an der Fils. In der Nacht ist ein erholsamer Schlaf von besonderer Bedeutung, sodass dieser Aspekt in der Bewertung überwiegend zum Wohnen genutzter Gebiete im Vordergrund steht. Am Tage ist die Aufenthaltsqualität im Freien wesentlich, so dass dabei dieser Aspekt stärker gewichtet wurde.

In der Nacht belastete Siedlungsflächen treten insbesondere an den Oberhängen der Kernstadt sowie teilweise in den südlichen Stadtteilen auf. Wesentlich hier ist, dass Teile der Stadt, welche sich im Bereich der sich bildenden Bodeninversion befinden, in diesem Aspekt günstiger gestellt sind als die Umgebung.

Am Tage sind deutliche Unterschiede zwischen der Aufenthaltsqualität von hoch versiegelten Gewerbegebieten zu stärker durchgrüntem Teilen der Stadt erkennbar. Wohngebiete zeigen mehrheitlich eine mittlere Belastung, Gewerbeflächen sowie der Straßenraum dagegen oftmals ungünstige bis sehr ungünstige bioklimatische Bedingungen.

Es kann festgehalten werden, dass die nächtliche Abkühlung der Stadt v.a. an lokale Kaltluftströmungen wie der Nassachtalströmung und der Ebersbachtalströmung gebunden ist. Diese sollten mit geeigneten Maßnahmen bestmöglich erhalten bleiben.

Für die Stadt wurden insgesamt Planungshinweise für den Wirk- sowie den Ausgleichraum entwickelt, unter deren Beachtung die Stadt zukünftig in Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel (vgl. § 1 (5) BauGB) weiterentwickelt werden kann. Diese sind in Kap. 6.2 ausführlich beschrieben

Ingenieurbüro Dr. Dröscher



Dr.-Ing. Frank Dröscher

Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Immissionsschutz
- Ermittlung und Bewertung von
Luftschadstoffen, Gerüchen und Geräuschen
-



Dr. rer. nat. Christian Geißler

Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Luftschadstoff- und
Geruchsemissionen und -immissionen

9 Literaturverzeichnis

- /1/ Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft über das Förderprogramm KLIMOPASS vom 6. März 2018 – Az.: 22-4500.2/550 In der geänderten Fassung vom 2. April 2020 und vom 28. Juli 2022 – Az.: 22-4500-112/2/20
- /2/ https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html
- /3/ <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=744502&lv2=102248>
- /4/ <https://stadtklimaanalyse-mannheim.de/glossar/>
- /5/ https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?info_glossar
- /6/ <http://www.stadtklima.de/>
- /7/ <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>
- /8/ <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html>
- /9/ <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/physiologisch-aequivalente-temperatur/6004>
- /10/ https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel
- /11/ <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/>
- /12/ <https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/schon-gewusst/wetterlexikon/wetterlexikon-tal-und-hangwindssysteme-machen-berge-ihr-eigenes-wetter>
- /13/ <https://www.ubz-stmk.at/fileadmin/ubz/upload/Luft/35.pdf>
- /14/ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/kompetenzzentrum>
- /15/ https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html
- /16/ VDI (2003), VDI Richtlinie 3787 Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Beuth-Verlag Berlin.
- /17/ VDI (2024), VDI Richtlinie 3787 Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Beuth-Verlag Berlin.
- /18/ VDI (2015), VDI Richtlinie 3787 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, September 2015, Beuth-Verlag, Berlin.
- /19/ VDI (2022), VDI Richtlinie 3787 Blatt 2: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas, Juni 2022, Beuth-Verlag, Berlin.
- /20/ VDI (2020), VDI Richtlinie 3787 Blatt 4: Umweltmeteorologie - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung, Dezember 2020, Beuth-Verlag, Berlin.

-
- /21/ VDI (2008), VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 Umweltmeteorologie - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung, Dezember 2008, Beuth-Verlag, Berlin.
 - /22/ VDI (2020), VDI Richtlinie 3787 Blatt 8: Umweltmeteorologie – Stadtentwicklung im Klimawandel, September 2020, Beuth-Verlag, Berlin.
 - /23/ PALM-4U Handbuch für die Praxis, Finale Version, August 2023 (https://www.uc2-propolis.de/imperia/md/assets/propolis/images/propolis_handbuch_fuer_die_praxis_final_31-08-2023.pdf)
 - /24/ Regionalverband Ruhr / GeoNet (2022): Leitfaden für den Einsatz von Stadtklimamodellen, RVR Essen.
 - /25/ HEREON, Climate Service Center Germany (GERICS) u.a.: PALM-4U Anwendungskatalog für die kommunale Praxis, Stand: April 2023
 - /26/ Bender, S., Groth, M., Schubert-Frisius, M. & Gehrke, J.-M (2023): Eine Stadtklimamodellierung für zentrale Bereiche des Stadtgebiets Geesthacht unter Nutzung des Modells PALM-4U, Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg
 - /27/ Sievers, Uwe (2008): Das Kaltluft-Abfluss-Modell KLAM_21 – Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programmes. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach am Main
 - /28/ Brasseur, G.P., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (2023): Klimawandel in Deutschland, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Spektrum
 - /29/ DWD (2024): Open Data Bereich des CDC (Climate Data Center), https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html
 - /30/ https://www.cedim.kit.edu/download/WGF_Report_Neue_Bezugsperiode_ZFGJahr202.pdf
 - /31/ LUBW (2024): Synthetische Windstatistiken Baden-Württemberg [<http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/>].
 - /32/ Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissions-schutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft 2021), vom 18. August 2021.
 - /33/ VDI 3782 Blatt 6 Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Bestimmung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier
 - /34/ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-in-bw>
 - /35/ Pfeifer S, Bathiany S, Rechid D: Klimaausblick Göppingen. Juni 2021, Climate Service Center Germany (GERICS), eine Einrichtung der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH.
 - /36/ Bongardt, B.: Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. In: Essener Ökologische Schriften. Bd. 24 (2006). Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften, ISBN 3-89432-110-5
 - /37/ Kuttler, W.; Müller, N.; Dütemeyer, D.; Barlag, B.: Prognose und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas. Publikationsreihe der BMBF-Fördermaßnahme KLIMZUG-dynaklim Nr. 25 (2012)

- /38/ Kuttler, W.; Goldbach, A; Dütemeyer, D.; Barlag, B.: Messung der urbanen Evapotranspiration in Oberhausen. Vergleichende Energiebilanzmessungen in unterschiedlichen urbanen Flächennutzungsstrukturen. Publikationsreihe der BMBF-Fördermaßnahme KLIMZUG-dynaklim Nr. 24 (2012)
- /39/ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2012): Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Stuttgart.
- /40/ Mosimann, T., Frey, T., Trute, P. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99

Anhänge

→ Geländehöhen in Ebersbach	→ Karte 1
→ Landnutzung aktuelle Verhältnisse	→ Karte 2
→ Landnutzung nahe Zukunft	→ Karte 3
→ Landnutzung ferne Zukunft	→ Karte 4
→ Klimaanalysekarte Nachtsituation aktuelle Verhältnisse	→ Karte 5
→ Klimaanalysekarte Nachtsituation nahe Zukunft bis 2050	→ Karte 6
→ Klimaanalysekarte Nachtsituation ferne Zukunft bis 2100	→ Karte 7
→ Klimaanalysekarte Tagsituation aktuelle Verhältnisse	→ Karte 8
→ Klimaanalysekarte Tagsituation nahe Zukunft bis 2050	→ Karte 9
→ Klimaanalysekarte Tagsituation ferne Zukunft bis 2100	→ Karte 10
→ Klimatopkarte aktuelle Verhältnisse	→ Karte 11
→ Planungshinweiskarte nahe Zukunft	→ Karte 12