



LANDKREIS
BREISGAU-
HOCHSCHWARZWALD

Lesehilfe

Klimaanalyse

Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald

Impressum

Herausgeber

Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald

Stadtstraße 2

79104 Freiburg i. Br.

Redaktion: Elke Hipler, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Katja Mendzigall, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Sabine Barden, Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald

Dr. Bettina Joa, Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald

Gefördert durch das Land Baden-Württemberg, Förderprogramm KLIMOPASS:

Modellgestützte Klimaanalyse (Vorgangsnummer 2755933) und

Planungsgrundlagen (Vorgangsnummer 2713472)

Bezugsadresse

Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald
Fachbereich Wirtschaft und Klima

Stadtstraße 3, 79104 Freiburg i. Br.

Sabine Barden

Referentin für Klimaschutz und Klimaanpassung

Telefon: 0761 2187 5314

E-Mail: sabine.barden@lkbh.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	2
2.	Bestandteile der Klimaanalyse	4
3.	Hinweise für die Anwendung und Grenzen in der Anwendung	5
4.	Klimakarten und Sensitivitätsanalyse	6
4.1	Klimaanalysekarten Tag	6
4.1.1	Was ist in den Karten dargestellt?	6
4.1.2	Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?	6
4.2	Klimaanalysekarten Nacht	6
4.2.1	Was ist in den Karten dargestellt?	6
4.2.2	Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?	8
4.3	Bewertungskarten.....	9
4.3.1	Bewertungskarten Tag.....	10
4.3.1.1	Was ist in den Karten dargestellt?	10
4.3.1.2	Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?	11
4.3.2	Bewertungskarten Nacht.....	11
4.3.2.1	Was ist in den Karten dargestellt?	11
4.3.2.2	Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?	13
4.4	Planungshinweiskarte (PHK)	13
4.4.1	Was ist in der Karte dargestellt?	13
4.4.2	Wie kann ich die Karte in der Planung verwenden?	17
4.5	Sensitivitätsanalyse	18
4.5.1	Was ist in den Karten dargestellt?	18
4.5.1	Wie kann ich die Karte in der Planung verwenden?	19
5.	Vorgehensweise beim Einsatz der Klimaanalyse.....	21
6.	Einzelparameter der Klimaanalyse	24
6.1	Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET).....	24
6.2	Bodennahe Lufttemperatur	25
6.3	Windfeld: Bodennahe Windgeschwindigkeit und Strömungsrichtung	26
6.4	Kaltluftvolumenstrom	28
6.5	Kaltluftproduktionsrate	29
7.	Grundlagen der Modellierung	30
8.	Quellenverzeichnis	32

1. Einleitung

Im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald machen sich die Folgen des Klimawandels immer deutlicher bemerkbar. Der Oberrheingraben ist bereits jetzt eine der heißesten Regionen Deutschlands. Die Zahl der heißen Tage und der Tropennächte wird in Zukunft noch weiter zunehmen.

Hohe Temperaturen belasten die Gesundheit – besonders bei Kindern, älteren Menschen und Personen mit Vorerkrankungen. Gleichzeitig sinkt die Aufenthaltsqualität im Wohnumfeld, am Arbeitsplatz und im öffentlichen Raum. Gerade im touristisch geprägten Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald kann das auch die Attraktivität der Destination beeinträchtigen und negative wirtschaftliche Folgen haben.

Mit dem Ziel, die Gesundheit der Menschen zu schützen und die hohe Lebensqualität zu erhalten, hat der Landkreis als einer der ersten bundesweit eine kreisweite Klimaanalyse beauftragt. Sie soll die kreiszugehörigen Städte und Gemeinden dabei unterstützen, ihre örtlichen Planungen klima-resilienter aufstellen zu können.

Die kreisweite Klimaanalyse zeigt mit ihrer hohen Auflösung von 5 x 5 m:

- wo nachts kalte Luft entsteht (z. B. auf Freiflächen oder in Waldgebieten),
- über welche Leitbahnen die kalte Luft in die Siedlungsgebiete strömt und dort für nächtliche Abkühlung sorgt,
- welche Flächen eine wichtige kühlende Funktion haben,
- wo sich Hitzeinseln befinden und wo bereits heute eine hohe Hitzebelastung besteht,
- und wie sich die Situation bis zur Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich verschärfen wird (Zukunftsszenarien).

Zudem wurde untersucht, wo hohe Hitzebelastung an Standorten auftritt, an denen sich vulnerable Gruppen wie Kinder, Vorerkrankte oder Senioren aufhalten. So werden Bereiche mit besonderem Handlungsbedarf sichtbar.

Die Ergebnisse der kreisweiten Klimaanalyse sind in verschiedenen Karten dargestellt. Zentrales Produkt der Analyse ist die Planungshinweiskarte. Sie fasst die Bewertungen zusammen und gibt Empfehlungen für Nutzungsänderungen auf den Flächen. Der Maßnahmenkatalog zeigt beispielhaft auf, mit welchen Maßnahmen bestimmte Effekte erzielt werden können.

Die visuelle Darstellung der klimatischen Prozesse vor Ort ist hilfreich für Entscheidungsfindungen in der Verwaltung und im Gemeinderat oder auch für die Information der Öffentlichkeit. Die Klimaanalyse hat keine bindende Wirkung, sondern ist als informelles Planungsinstrument zu verstehen. Sie soll als fachliche Grundlage für örtlichen Planungen dienen und bei Abwägungen zu förmlichen Verfahren berücksichtigt werden (vgl. § 1 (6) BauGB). Die kommunale Planungshoheit bleibt unangetastet.

Da es sich um ein komplexes, für viele neues Thema handelt, hat der Landkreis diese Lesehilfe formuliert. Sie soll einen Zugang zu dem umfangreichen Kartenwerk eröffnen und helfen, den Schatz an Erkenntnissen zu heben, der in den Karten steckt.

Kapitel 2 gibt zunächst eine Übersicht über alle Bestandteile der Klimaaanalyse. Kapitel 3 zeigt die Grenzen der Klimaaanalyse in der Anwendung auf. In Kapitel 4 werden die Inhalte aller Klimakarten und der Sensitivitätsanalyse genau erläutert und Hinweise für die Verwendung in der Planung gegeben. Kapitel 5 zeigt ein idealtypisches Ablaufschema, mit dem die verschiedenen Karten schrittweise und systematisch in der kommunalen Praxis angewandt werden können.

Kapitel 6 und 7 liefern detaillierte Einblicke in die Grundlagen der Klimaaanalyse. Alle modellierten Einzelparameter, die in die Klimakarten einfließen, werden genau beschrieben, ebenso wie die wissenschaftlichen Grundlagen der Modellierung.

Neben der Lesehilfe stellt das Begleitdokument „**Maßnahmenkatalog**“ eine Auswahl an Hitzeschutzmaßnahmen vor mit Details zu ihrer Wirkung und Ausgestaltung sowie Anwendungsfällen.

2. Bestandteile der Klimaanalyse

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über alle Bestandteile der Klimaanalyse. Die Inhalte der Karten und deren Anwendung in der Planung werden in den Kapiteln 4 bis 6 ausführlich erläutert.



Abbildung 1: Bestandteile der Klimaanalyse

Für die Zukunftsszenarien wurden die gängigen Szenarien „moderater Klimawandel“ (Zukunftsszenario I, basierend auf dem RCP 4.5) und „starker Klimawandel“ (Zukunftsszenario II, basierend auf dem RCP 8.5) gewählt. Mit Blick auf die aktuelle Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland ist das Szenario II, auch das „Weiter-wie-bisher-Szenario“ genannt, das wahrscheinlichere Szenario. Aus diesem Grunde und zur Reduktion der Komplexität wird im öffentlichen BürgerGIS auf der Website des Landkreises nur der Kartensatz zu diesem Szenario gezeigt.

RCPs (RCP = representative concentration pathway) sind ausgewählte Szenarien, mit denen der Weltklimarat (IPCC) die Palette plausibler Entwicklungspfade aufzeigen möchte. Um die Spanne möglicher zukünftiger Klimazustände für Temperatur und Niederschlag zu bewerten, werden typischerweise das 15. Perzentil (kühler/trockener) und das 85. Perzentil (wärmer/nasser) genutzt. Für die Modellierung der beiden Zukunftsszenarien wurden folgende Randbedingungen festgelegt (ausführliche Erläuterungen s. Kapitel 7):

Tabelle 1: Parameterwahl der beiden Zukunftsszenarien.

Zukunftsszenario	Klimawandel		Siedlungs- entwicklung
	Temperatursignal Änderung der Sommertemperatur vs. 1971-2000	Bodenfeuchte „Zunehmende Som- mertrockenheit“	
Moderater Klimawandel Zeitraum 2031-2060 (15. Perzentil RCP 4.5)	+1,3 K	60% (identisch zu IST)	In beiden Szenarien identisch
Starker Klimawandel Zeitraum 2031-2060 (85. Perzentil RCP 8.5)	+2,0 K	30%	

3. Hinweise für die Anwendung und Grenzen in der Anwendung

Die Klimaanalyse basiert ausdrücklich nicht auf gemessenen Daten, sondern auf einer computergestützten Modellierung. Solche Modelle bilden klimatische Prozesse sehr realitätsnah ab und sind ein anerkanntes fachliches Instrument in der Planung.

Dabei liegt der Modellierung eine sommerliche Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel, einer Tageshöchsttemperatur über 25 °C und einem sehr schwachen übergelagerten Wind zugrunde (sogenannte autochthone Wetterlage). Dieses Szenario stellt eine ausgeprägte Belastungssituation dar, die aufgrund des Klimawandels in Zukunft häufiger vorkommen wird.

Im Unterschied zur landesweiten Klimaanalyse (Klimaatlas BW) wurden auf Landkreisebene bereits bekannte Nutzungsänderungen bei den Zukunftsszenarien berücksichtigt. So flossen Aufforstungsflächen, Erweiterungen von Baggerseen, Lärmschutzwände und Bebauungspläne in die Modellierungen der Zukunftsszenarien ein.

Berücksichtigt wurden Bundes- und Landesdaten von Anfang 2024 und Bebauungspläne, die bis Sommer 2024 rechtskräftig und dem Landratsamt zur Kenntnis gegeben waren. Erfasst werden konnten nur Daten, die zu diesem Zeitpunkt vorlagen. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In der Praxis kann es vorkommen, dass einzelne Entwicklungsflächen nicht erfasst wurden, weil sie in den verwendeten Quellen nicht aufgeführt waren oder bereits bebaut oder anderweitig genutzt sind. Da ohne Modellierung keine Bewertung möglich ist, fehlen diese Flächen auch bei den Zukunftsszenarien. In diesem Zusammenhang sei nochmals betont, dass die Klimaanalyse als Planungshilfe und der Einordnung dient. Für eine sinnvolle Anwendung ist zusätzliches lokales Wissen hilfreich.

Die Klimaanalyse bildet somit den Datenstand 2024 ab und ist statisch, wird also nicht automatisch fortgeschrieben. Eine Aktualisierung ist technisch jederzeit möglich, setzt jedoch eine entsprechende Finanzierung voraus.

4. Klimakarten und Sensitivitätsanalyse

Mit Ausnahme der Planungshinweiskarte und der Sensitivitätsanalyse liegen alle im folgenden vorgestellten Karten in sechsfacher Ausführung vor. Für die Tag- und die Nachtsituation wurden jeweils die Ist-Situation sowie zwei [Zukunftsszenarien](#) (Zeitraum 2031-2060) modelliert.

4.1 Klimaanalysekarten Tag

4.1.1 Was ist in den Karten dargestellt?

Die Klimaanalysekarten Tag dienen der Beurteilung der Hitzesituation an einem Sommertag mit Tageshöchsttemperatur über 25 °C. Sie bilden die modellierte Hitzebelastung im Freiraum um 14 Uhr ab. Für diese Situation ist die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) der einzige ausschlaggebende Parameter. **Die „Klimaanalysekarten Tag“ sind daher identisch mit den Karten der PET.** Die PET ist ein Maß für die gefühlte Wärmebelastung des Menschen im Freien. Kapitel 6.1 liefert eine ausführliche Erläuterung zur PET.

4.1.2 Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?

Die Karten ermöglichen eine quantitative Abschätzung der Wärmebelastung am Tag: Wie hoch ist die Wärmebelastung für den Menschen bei einem Aufenthalt im Freien?

Tagsüber ist die Wärmebelastung stark von kleinräumigen Strukturen abhängig. Entscheidend ist vor allem das Vorhandensein von beschatteten Flächen. Hitzebelastete Flächen und Entlastungsbereiche können räumlich in unmittelbarer Nähe zueinander vorkommen. In der rasterbasierten Karte treten diese kleinräumigen Unterschiede deutlich hervor. Einzelgebäude und Baumgruppen sowie deren Schattenwurf sind gut erkennbar. Durch den Auswertungszeitpunkt von 14 Uhr zeigt sich der Gebäudeschatten in Nord und Nordost um das jeweilige Gebäude herum.

Die Karten eignen sich sehr gut für die Detailplanung im Bereich von Hitze-Hotspots. Unter anderem kann identifiziert werden, wo es mehr Beschattung, idealerweise durch großkronige Bäume, sowie Begrünung auf einem Areal braucht.

4.2 Klimaanalysekarten Nacht

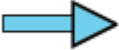
Zur Beurteilung des großräumigeren Wärmeinseleffekts müssen zusätzlich die Klimaanalysekarten Nacht hinzugezogen werden, da der Wärmeinseleffekt vor allem in der Nacht zum Tragen kommt. Auch zur Beurteilung von Kaltluftströmungen braucht es eine Betrachtung der Nachtsituation, da sich die Zirkulationssysteme nur in der Nacht ausbilden. Die komplementäre Betrachtung der Tag- und Nachtsituation ist für die Planung essentiell.

4.2.1 Was ist in den Karten dargestellt?

Die Klimaanalysekarten Nacht zeigen die klimatische Situation in einer sogenannten autochthonen Sommernacht (keine Bewölkung und sehr schwacher übergelagerter Wind) um 4 Uhr morgens. Zu diesem Zeitpunkt ist die Abkühlung der Bodenoberfläche am größten und das Kaltlufthaushaltssystem vollständig ausgebildet. Die Karten bilden die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches im gesamten Landkreis ab. Hierfür werden die Einzelparameter für die Nachtsituation um 4 Uhr (Lufttemperatur, Kaltluftentstehung, Kaltluftvolumenstrom und Windfeld) jeweils in einer Karte zusammengefasst.

Für das Siedlungsgebiet stellen die Klimaanalysekarten Nacht die Überwärmung des Siedlungsraums gegenüber dem Umland anhand der nächtlichen Lufttemperatur dar. Für die Grün- und Freiflächen wird die Kaltluftvolumenstromdichte in abgestufter blauer Flächenfarbe dargestellt. Zusätzliche Legendeninhalte verdeutlichen wichtige Strukturen des Kaltlufthaushalts (Kaltluftleitbahn, Kaltluftabfluss, Kaltluftentstehungsgebiete). Das bodennahe Windfeld ist ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s mit einer Pfeilsignatur abgebildet (s. Tabelle 2). Das Windfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 200 m aggregiert, sodass kleinräumige Windsysteme aus der Karte nicht ersichtlich werden (z.B. Kanalisierung von Winden in schmalen Straßenabschnitten). Mit einem GIS-System lassen sich die Ergebnisse in höherer Auflösung darstellen.

Tabelle 2: Inhalte und Legendarstellung der Klimaanalysekarte der Nachtsituation.

Legende	Layer	Beschreibung
 ≤ 8,0  8,0 - 9,0  9,0 - 10,0  10,0 - 11,0  11,0 - 12,0  12,0 - 13,0  13,0 - 14,0  14,0 - 15,0	 15,0 - 16,0  16,0 - 17,0  17,0 - 18,0  18,0 - 19,0  19,0 - 20,0  20,0 - 21,0  21,0 - 22,0  > 22,0	Nächtliche Lufttemperatur [°C] Lufttemperatur in Grad Celsius [°C] in 2 Meter über Grund (Aufenthaltsbereich des Menschen) und um 4 Uhr nachts.
 ≤ 10,0  10,0 - 20,0  20,0 - 40,0  40,0 - 60,0  > 60,0	Nächtliche Kaltluftvolumen- stromdichte [m³/m/s]	Kaltluftvolumenstromdichte [m³/m/s] um 4 Uhr nachts, integriert bis in eine Höhe von 50 Meter über Grund. Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m³, die in einer 50 m hohen Luftschicht und in jeder Sekunde durch den 1 Meter breiten Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt
	Kaltluftleitbahn	Die Kaltluftleitbahnen verbinden die Kaltluftentstehungsgebiete mit den wärmebelasteten Bereichen im Siedlungsgebiet und erleichtern das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung (Kühlung). Kaltluftleitbahnen weisen eine linienhafte Struktur auf, da sie in ihrer Breite durch Strukturen wie Bebauung oder durch die Orographie (Täler) begrenzt sind.

	Flächenhafter Kaltluftabfluss	Anders als die Kaltluftleitbahnen sind flächenhafte Kaltluftzuflüsse in ihrer Breite nicht durch zusammenhängende Strukturen wie Siedlungen begrenzt. Der flächenhafte Kaltluftabfluss bezeichnet Gebiete mit hohem Kaltluftvolumenstrom, ausgerichtet auf den Siedlungsraum. Begünstigt werden Kaltluftabflüsse durch eine aufgelockerte Bauweise und hinderisarme Strukturen (Grünflächen, teilweise auch Straßen).
	Kaltluftentstehungsgebiet	Grün- und Freiflächen mit einer überdurchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate, d.h. einer stündlichen Kaltluftproduktion von über 34,5 Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter und Stunde [$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$]
▮ 0,1 - 0,3 m/s ▮ 0,3 - 0,5 m/s ↑ 0,5 - 1,0 m/s ↑ 1,0 - 1,5 m/s ↑ > 1,5 m/s	Nächtliches Windfeld	Strömungsrichtung [°, Pfeilrichtung] und -geschwindigkeit [m/s] in 2 Meter über Grund und um 4 Uhr nachts.

4.2.2 Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?

Die Klimaanalysekarten Nacht helfen beim Verständnis des nächtlichen Kaltluftaustausches. Sie ermöglichen eine Abschätzung für folgende Fragestellungen:

- Wie stark ist der Wärmeinseleffekt?
- Wo ist die nächtliche Hitzebelastung besonders groß?
- Wo befinden sich Kaltluftströme, die für die nächtliche Kühlung des Ortskerns von Bedeutung sind?
- Wie groß ist der Kaltluftvolumenstrom?
- Welche Strömungsgeschwindigkeit haben die Winde?
- Wo sind schützenswerte Strukturen im Landkreis (Kaltluftleitbahnen, flächenhafte Abflüsse)?

In den rasterbasierten Karten mit einer Auflösung von 5 x 5 m treten kleinräumige Unterschiede deutlich hervor. Einzelgebäude und Baumgruppen sind gut erkennbar, so dass auch eine Detailplanung möglich ist. Wichtige Kaltluftleitbahnen oder flächenhafte Abflüsse lassen sich einfach identifizieren. Mithilfe der hochaufgelösten Windpfeile kann abgeschätzt werden, welche Gebäudestellung geeignet ist, damit diese Winde nicht blockiert werden.

4.3 Bewertungskarten

Die Bewertungskarten nehmen eine Bewertung der Hitzebelastung auf Siedlungs- und Verkehrsflächen (sogenannter **Wirkraum**) vor. Die Grün- und Freiflächen werden hinsichtlich ihres bioklimatischen Schutzbedarfs und ihrer Bedeutung als **Ausgleichsraum** bewertet.

Während die Bewertung der Wärmebelastung tagsüber auf der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr beruht, wird die nächtliche Überwärmung mittels der Lufttemperatur um 4 Uhr morgen bewertet. Diese unterschiedlichen Bewertungskriterien werden durch unterschiedliche Farbskalen in den Bewertungskarten für den Tag und für die Nacht verdeutlicht (s. Tabelle 4 und Tabelle 5).

Da es sich bei der Klimaanalyse um eine landkreisweite Analyse handelt, ist die Farbcodierung einer Fläche auf den Bewertungskarten jeweils im Verhältnis zu allen anderen Kommunen des Landkreises zu verstehen. Da im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald alle Klimazonen Baden-Württembergs zu finden sind, mussten entsprechend viele Farbabstufungen verwendet werden, um die Vielzahl der Temperaturverhältnisse abzubilden. Absolute Werte sind in den Klimaanalysekarten (Kapitel 4.1 und 4.2) zu finden.

Gerade bei Grün- und Freiflächen ergeben sich je nach ihrer Qualität konträre Bewertungen der Tag- und Nacht-Situation. Eine Freifläche ohne Bäume kühlt in der Nacht stark aus, weist an Sommertagen (ohne Bewölkung) aber eine hohe Wärmebelastung auf. Demgegenüber ist die Aufenthaltsqualität in baumbestandenen Grünflächen bzw. Parks und Wäldern auch an Sommertagen sehr hoch, weil die Baumkronen Schatten spenden. Nachts verringern die abschirmenden Baumkronen jedoch die Auskühlung, weshalb baumbestandene Grünflächen nachts wärmer bleiben als Grünflächen ohne Bäume.

In beiden Zukunftsszenarien wurde neben dem Klimawandelsignal die Auswirkung der Siedlungsentwicklung in den Gemeinden modelliert (abgeleitet aus dem AROK = automatisiertes Raumordnungskataster der Regierungspräsidien in Baden-Württemberg). Somit findet sich sowohl in den Bewertungskarten der Zukünfte als auch in der Planungshinweiskarte (s. Kapitel 4.4) eine Bewertung bzw. eine Handlungspriorität auf diesen Entwicklungsflächen wieder. Eine Bewertung erfolgte nur für Flächen, die **größer als 5.000 m²** sind. Gekennzeichnet sind diese Flächen durch Umringe, wobei in der Kennzeichnung zwischen der Art der Entwicklung unterschieden wird (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Arten der Entwicklungsflächen und Darstellung in den Bewertungskarten.

Legende	Layer	Beschreibung
Entwicklungsflächen*  bauliche Entwicklungsflächen  Solarparks  Aufforstung  Kieseseen, Steinbrüche	Entwicklungsflächen aus dem AROK	Entwicklungsflächen aus dem AROK, welche in den Modellierungen der Zukunftsszenarien als mögliche Siedlungsentwicklung in den Gemeinden des Landkreises übernommen wurden. Die Modellierung der Flächen wird auf Basis der entsprechenden Landnutzungsänderung vorgenommen.

Die Darstellungen in den Bewertungskarten und auch in der Planungshinweiskarte basieren auf Informationen von Referenzflächen. Die Referenzflächen wurden aus den Daten der amtlichen Vermessung (GIS-basiert) abgeleitet und gemäß der auf ihnen überwiegenden Nutzung einer Landnutzungskategorie (z.B. Freiland, Rebfläche, Wald) zugeordnet und zu sinnvollen Blockeinheiten aus Sicht der klimatischen Wirkung gegliedert. Dies kann unter Umständen dazu führen, dass kleinere Freiflächen in der Karte nicht als solche ausgewiesen sind oder Überbauungen mit einem hohen Grünanteil nicht als Siedlungsflächen ausgewiesen sind. Im Falle zusätzlicher Bebauung auf Grün- und Freiflächen kann sich deren Funktion ändern und muss gegebenenfalls neu bewertet werden.

4.3.1 Bewertungskarten Tag

4.3.1.1 Was ist in den Karten dargestellt?

Die Bewertungskarten zur Tag-Situation zeigen die Wärmebelastung in Siedlungsgebieten außerhalb von Gebäuden. Dabei sind Wohn- und Gewerbegebiete gleichermaßen von Bedeutung. Zudem rücken der Straßenraum für Wegebeziehungen sowie die Aufenthaltsqualität und Erreichbarkeit von Grün- und Freiflächen in den Vordergrund. Die Bewertung der Wärmebelastung erfolgt anhand der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) um 14 Uhr (s. Kapitel 4.1 und 6.1).

Im Siedlungsraum zeigt sich eine heterogene Verteilung der Wärmebelastung. Die Wärmebelastung hängt wesentlich von der Verschattung der Siedlungs- und Grünflächen ab. Die ungünstigsten Bedingungen treten über versiegelten Orten ohne Verschattung auf, wie sie oft in Ortskernen sowie in vielen Gewerbegebieten zu finden sind. Thermische Entlastung bieten vor allem gebäudenahen Grünflächen wie Gärten mit Baumbestand. Ohne schattenspendende Bäume heizen sich reine Grünflächen tagsüber jedoch auch in Wohngebieten stark auf.

Die Beurteilung der Aufenthaltsqualität und Erreichbarkeit von Grün- und Freiflächen basiert auf der PET. Bei einer geringen Wärmebelastung liegt eine hohe Aufenthaltsqualität vor, bei hoher Wärmebelastung ist die Aufenthaltsqualität gering.

Die Kenntnis von kühlen Flächen abseits der Siedlungen ist wichtig z.B. als Erholungsraum am Tage für Einheimische und Touristen. Viele Gebiete im Landkreis haben eine große Bedeutung für Naherholung und Tourismus. Die klimatische Bewertung von Flächen abseits der Siedlungen kann dabei helfen, geeignete Standorte für touristische Infrastruktur zu identifizieren.

Tabelle 4: Inhalt und Legendarstellung der Bewertungskarten der Tag-Situation.

Legende	Layer	Beschreibung
 sehr geringe Belastung  geringe Belastung  mittlere Belastung  hohe Belastung  sehr hohe Belastung	Hitzebelastung auf Siedlungs- und Verkehrsflächen am Tag	Bewertung der vom Menschen empfundenen Hitzebelastung anhand der PET
 sehr geringe Bedeutung  geringe Bedeutung  mittlere Bedeutung  hohe Bedeutung  sehr hohe Bedeutung	Aufenthaltsqualität der Grün- und Freiflächen am Tag	Bewertung der Aufenthaltsqualität auf den Grün- oder Freiflächen anhand der PET. Eine (sehr) hohe Bedeutung liegt bei einer geringen Hitzebelastung vor.

4.3.1.2 Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?

Die Bewertungskarten ermöglichen eine Einschätzung der klimatischen Tag-Situation einer bestimmten Siedlungs- oder Freifläche. Daraus lassen sich planerische Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherung der klimatischen Situation eines Gebiets ableiten. Die Karte ermöglicht eine Einschätzung, wo die Wärmebelastung für wohnende und arbeitende Menschen am Tag besonders hoch ist und deshalb Hitzeanpassungsmaßnahmen (z.B. Beschattung) notwendig sind. Dies ist insbesondere für Einrichtungen mit sensiblen Bevölkerungsgruppen, wie etwa Altersheime, Kindergärten etc. relevant. Außerdem zeigen die Karten Grün- und Freiflächen, die aufgrund ihres angenehmen Klimas eine hohe Aufenthaltsqualität aufweisen. Diese können als Erholungsräume dienen und sollten daher planerisch gesichert werden.

4.3.2 Bewertungskarten Nacht

4.3.2.1 Was ist in den Karten dargestellt?

Die Bewertungskarten Nacht zeigen die Bewertung der klimatischen Nachtsituation basierend auf der Lufttemperatur um 4 Uhr. Die Lufttemperatur ist dabei der entscheidende Faktor, da sie die Möglichkeiten für erholsamen Schlaf in Innenräumen maßgeblich beeinflusst. Besonders belastend sind sogenannte Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt und es zu einer starken nächtlichen Überwärmung kommt.

Im Gegensatz zu den Klimaanalysekarten, in denen absolute Werte abgebildet werden, wird die Bewertung basierend auf relativen Unterschieden der meteorologischen Parameter zwischen den Flächen vorgenommen. Die Karten ermöglichen eine Einschätzung, auf welchen Siedlungs- und Verkehrsflächen die nächtliche Überwärmung (Wärmeinseleffekt) besonders hoch ist und welche Bedeutung Grün- und Freiflächen für die nächtliche Hitzeminderung haben.

Ziel der Bewertung des Siedlungsraums in der Nacht ist es, lokale Belastungsschwerpunkte, sogenannte Hitze-Hotspots, für jede Kommune im Landkreis herauszuarbeiten. Die große Spanne

der Nachttemperaturen von der Rheinebene bis zum Feldberg stellte eine besondere Herausforderung dar. Um bei der kreisweiten Betrachtung der nächtlichen Temperaturen zu zielführenden Bewertungen zu kommen, werden mehr Bewertungskategorien benötigt als am Tag.

Bei der Bewertung des Siedlungsraums ist zu beachten, dass damit die relativen Unterschiede im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald wiedergegeben werden. Auch in den als günstig eingestuften Flächen können bei bestimmten Wetterlagen hohe nächtliche Temperaturen auftreten, die jedoch weiterhin geringer ausfallen als in den ungünstig bewerteten Flächen.

Die Bewertung im Siedlungsraum zeigt, dass dicht bebaute (z.B. Ortskern) und/oder hochversiegelte Bereiche (z.B. Gewerbegebiete) hohe bis extrem hohe Belastungen aufweisen. Dank der Höhenlage und einer meist weniger dichten Bebauung herrschen aktuell in den meisten Gemeinden im Hochschwarzwald größtenteils günstige bioklimatische Situationen vor. Dies wird sich in Zukunft ändern, wie die Zukunftsszenarien zeigen. Im Rheintal sind weite Teile der Siedlungsgebiete schon heute nachts thermisch belastet.

Auch öffentliche Plätze und der Straßenraum sowie die offiziell ausgewiesenen Radwege werden in den Karten bewertet, lediglich der Schienenverkehr wird ausgeblendet. Die klimatischen Effekte von Verkehrsräumen (etwa die Wärmespeicherung am Tag und die Wärmeabgabe in der Nacht) werden zusätzlich durch das Modell berücksichtigt. Ein Wohngebiet neben einer großen Straße ist daher beispielsweise wärmer als ein Wohngebiet neben einer Grünfläche.

Die Bewertung der Grün- und Freiflächen orientiert sich an ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt und damit ihrer Ausgleichswirkung für den Siedlungsraum im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald. Besonders wichtigen Kaltluftprozessen werden die höchsten bioklimatischen Bedeutungen zugeschrieben (Kaltluftleitbahnen, Kaltluftabflüsse, etc.). Siedlungserne Grünflächen ohne relevante Klimafunktionen sind aus klimatischer Sicht von geringerer Bedeutung. Die Bewertung folgt einem Abfrageschema, welches folgende Fragen abarbeitet:

- Ist die Grünfläche Teil einer Kaltluftleitbahn oder eines flächenhaften Kaltluftabflusses?
- Weist die Fläche eine hohe Kaltluftlieferfunktion für belastete Siedlungsflächen auf, obwohl sie nicht Teil einer Leitbahn bzw. eines flächenhaften Abflusses ist?
- Beliefert die Grünfläche belastete Siedlungsräume?
- Entsteht auf der Grünfläche überdurchschnittlich viel Kaltluft, welche dann in belastete Siedlungsgebiete strömt?

Die Bewertungskarten der Nachtsituation zeigen ferner anhand einer Linienschraffur auf, wie weit die Kaltluft in das Siedlungsgebiet (Wirkraum) eindringen kann. Dieser Kaltlufteinwirkungsbereich beschreibt wo während einer hitzebelasteten Sommernacht Entlastung für die Bevölkerung vor Ort durch Kaltluft aus dem Umfeld zu erwarten ist. Er weist Siedlungsflächen auf, welche mit einem überdurchschnittlich hohen Kaltluftvolumenstrom ($> 27,8 \text{ m}^3/\text{m/s}$) durchströmt werden.

Tabelle 5: Inhalt und Legendendarstellung der Bewertungskarten der Nacht-Situation.

Legende	Layer	Beschreibung
 1 sehr geringe Belastung  2 sehr geringe bis geringe Belastung  3 geringe Belastung  4 geringe bis mittlere Belastung  5 mittlere Belastung  6 mittlere bis hohe Belastung  7 hohe Belastung  8 hohe bis sehr hohe Belastung  9 sehr hohe Belastung  10 extrem hohe Belastung	Nächtliche Hitzebelastung von Siedlungs- und Verkehrsflächen	Bewertung der nächtlichen Hitzebe- lastung anhand der nächtlichen Lufttemperatur (die Zahlenabstufungen werden zur klaren Abgrenzung der zehn Belastungsklassen mitgeführt)
 sehr geringe Bedeutung  geringe Bedeutung  mittlere Bedeutung  hohe Bedeutung  sehr hohe Bedeutung	Bedeutung der Grün- und Freiflä- chen für die Hitzeminderung	Bewertung der Bedeutung der Grün- oder Freiflächen als Kaltluftlieferant für belastete Siedlungsräume.
	Kaltlufteinwirkbe- reich im Siedlungsraum	Der Kaltlufteinwirkbereich stellt Sied- lungsflächen mit überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstromdichte ($>27,8 \text{ m}^3/\text{m/s}$) dar.

4.3.2.2 Wie kann ich die Karten in der Planung verwenden?

Die Bewertungskarten geben eine Einschätzung der nächtlichen klimatischen Situation auf einer bestimmten Fläche aufgrund der Temperatur und der Kaltluftprozesse. Sie ermöglichen eine Einschätzung, wo die nächtliche Überwärmung besonders hoch ist und dementsprechend Maßnahmen zur Hitzereduktion notwendig sind (großflächige Begrünung und Entsiegelung, Beachtung der Baukörperstellung etc.). Die Karten helfen, Grün- und Freiflächen zu identifizieren, die aufgrund ihrer Funktion für das nächtliche Kaltluftgeschehen (z.B. Teil einer Kaltluftleitbahn) und der Hitzeminderung planerisch gesichert werden sollten.

4.4 Planungshinweiskarte (PHK)

4.4.1 Was ist in der Karte dargestellt?

Die Planungshinweiskarte (PHK) ist das zentrale Produkt der kreisweiten Klimaanalyse und fasst die Ergebnisse der sechs Bewertungskarten in einer Karte zusammen. Hier wird auf den ersten Blick ersichtlich, welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben und wo Maßnahmen zur Anpassung vorrangig umgesetzt werden sollten.

Um Orte mit Bedarf an hitzereduzierenden Maßnahmen weiter priorisieren zu können, sind zudem die Standorte von Einrichtungen mit hitzesensiblen Bevölkerungsgruppen (Schulen, Kitas, Krankenhäuser, Flüchtlingsunterkünfte und Pflege- bzw. Betreuungseinrichtungen) angegeben,

soweit diese vorlagen. Des Weiteren werden Kommunen mit einem touristischen Prädikat (z.B. Luftkurort, Heilklimatischer Kurort) durch Unterstreichen des Namens der Kommune in der Karte gekennzeichnet, da die Zunahme von Tropennächten und Hitzetagen infolge des Klimawandels zu Einschränkungen bei der Prädikatisierung führen kann. Die gezielte Umsetzung von Maßnahmen kann dem vorbeugen. In diesem Zusammenhang sei auf Fördermöglichkeiten des [Tourismusinfrastrukturprogramm](#) des Landes verwiesen, das zahlreiche relevante bauliche Maßnahmen fördert wie Trinkbrunnen, Sonnensegel, Baumpflanzungen i.V. m. baulichen Aktivitäten.

Da es sich bei der Klimaanalyse um eine landkreisweite Analyse handelt, ist die Farbcodierung einer Fläche auf der Planungshinweiskarte jeweils im Verhältnis zu allen anderen Kommunen des Landkreises zu verstehen. Da im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald alle Klimazonen Baden-Württembergs zu finden sind, mussten entsprechend viele Farbabstufungen verwendet werden, um die Vielzahl der Temperaturverhältnisse abzubilden. Absolute Werte sind in den Klimaanalysekarten zu finden.

In beiden Zukunftsszenarien wurde neben dem Klimawandelsignal die Auswirkung der Siedlungsentwicklung in den Gemeinden modelliert (abgeleitet aus dem AROK = automatisiertes Raumordnungskataster der Regierungspräsidien in Baden-Württemberg). Somit findet sich in der Planungshinweiskarte eine Bewertung bzw. eine Handlungspriorität auf diesen Entwicklungsflächen wieder. Gekennzeichnet sind diese Flächen durch Umringe, wobei in der Kennzeichnung zwischen der Art der Entwicklung unterschieden wird (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Arten der Entwicklungsflächen und Darstellung in den Bewertungskarten.

Legende	Layer	Beschreibung
Entwicklungsflächen*  bauliche Entwicklungsflächen  Solarparks  Aufforstung  Kieseeseen, Steinbrüche	Entwicklungsflächen aus dem AROK	Entwicklungsflächen aus dem AROK, welche in den Modellierungen der Zukunftsszenarien als mögliche Siedlungsentwicklung in den Gemeinden des Landkreises übernommen wurden. Die Modellierung der Flächen wird auf Basis der entsprechenden Landnutzungsänderung vorgenommen.

Die Darstellungen in den Bewertungskarten und auch in der Planungshinweiskarte basieren auf Informationen von Referenzflächen. Die Referenzflächen wurden aus den Daten der amtlichen Vermessung (GIS-basiert) abgeleitet und gemäß der auf ihnen überwiegenden Nutzung einer Landnutzungskategorie (z.B. Freiland, Rebfläche, Wald) zugeordnet und zu sinnvollen Blockeinheiten aus Sicht der klimatischen Wirkung gegliedert. Dies kann unter Umständen dazu führen, dass kleinere Freiflächen in der Karte nicht als solche ausgewiesen sind oder Überbauungen mit einem hohen Grünanteil nicht als Siedlungsflächen ausgewiesen sind. Im Falle zusätzlicher Bebauung auf Grün- und Freiflächen kann sich deren Funktion ändern und muss gegebenenfalls neu bewertet werden.

Wirkraum

Im sogenannten Wirkraum (Siedlungsflächen und Verkehrsraum) werden klimatische Handlungsprioritäten dargestellt (s. Tabelle 7). Sie geben Hinweise darauf, in welchen Flächen Maßnahmen zur Klimaanpassung besonders wichtig sind und vorrangig angegangen werden sollten. Eine Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung in den einzelnen Flächen wird damit jedoch nicht vorgegeben.

Tabelle 7: Handlungsprioritäten im Wirkraum und abgeleitete Planungshinweise.

Bewertung im Wirkraum	Planungshinweise
Handlungspriorität 1 – Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen 	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Freiflächen sollten erhalten, der Vegetationsanteil erhöht, Entsiegelungsmaßnahmen umgesetzt und die Durchlüftung verbessert werden. Eine weitere bauliche Verdichtung sollte nur erfolgen, wenn durch die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen negative Auswirkungen auf das Lokalklima vermieden werden.
Handlungspriorität 2 – Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen 	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation (Begrünung, Entsiegelung, Verschattung) werden empfohlen. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden. Es sollte keine weitere Verdichtung (insbes. zu Lasten der Grün- und Freiflächen) erfolgen. Bei baulichen Entwicklungen und Bau- und Straßensanierungen sind Maßnahmen zur Verbesserung der klimatischen Situation und Durchlüftung (u.a. Baukörperstellung) notwendig und sollten prioritär umgesetzt werden.
Handlungspriorität 3 – Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen 	Bei baulichen Entwicklungen und Bau- und Straßensanierungen werden Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation empfohlen. Eingriffe sollten nicht zu einer Verschlechterung der thermischen Situation führen. Freiflächen sollten nach Möglichkeit erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden.
Handlungspriorität 4 bis 6 – Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen 	Bei baulichen Entwicklungen und Bau- und Straßensanierungen sollten Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation beachtet werden. Der Vegetationsanteil sollte erhalten bleiben.
Klimatisch resilienter Bereich 	Keine Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig. Klimaökologische Standards sollten trotzdem bei allen baulichen Entwicklungen eingehalten werden, um die günstige klimatische Situation zu erhalten. Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Für die Entscheidung Innen- vor Außenentwicklung kann die PHK keine Abwägung treffen. Die Abwägung obliegt der Planungshoheit der Kommune. Hierfür soll die Klimaanalyse eine gute fachliche Grundlage bieten.

Zusätzlich zu den Handlungsprioritäten im Wirkraum gibt die PHK eine Einschätzung der klimatischen Verträglichkeit für Entwicklungsflächen größer als 5000 m² (s. Tabelle 8) Sie zeigt, ob die geplante Entwicklung aus klimatischer Sicht empfehlenswert ist oder wo Maßnahmen zu einer besseren klimatischen Verträglichkeit der Entwicklung erforderlich sind. Grundlage der Bewertung sind die Lage der Entwicklungsfläche im Kaltluftströmungssystem, die Art der vorgesehenen Bebauung/Entwicklung sowie die ausgewiesene Handlungspriorität.

Tabelle 8: Bewertung der Entwicklungsflächen und Darstellungsart in der Planungshinweiskarte.

Legende	Layer	Beschreibung
★ aus stadtklimatischer Sicht nicht empfehlenswert* ★ mit optimierenden Maßnahmen stadtklimaverträglich möglich** ★ ohne weitere Maßnahmen stadtklimaverträglich möglich * Es wird dringend empfohlen, die vorhabenbedingten Auswirkungen durch ein zusätzliches Detailgutachten zu analysieren. ** siehe Maßnahmenkatalog im Berichtstext	Bewertung der klimatischen Verträglichkeit der Planung	Bewertung der klimatischen Verträglichkeit der Planung für Flächen größer 5000 m ² . Die Bewertung wurde mittels Betrachtung der jeweiligen Lage der Entwicklungsfläche im Kaltluftströmungssystem sowie der Art der Bebauung/Entwicklung in Kombination mit der jeweilig auf ihr ausgewiesenen Handlungspriorität zugeordnet

Ausgleichsraum

Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen und Wälder werden als klimatischer Ausgleichsraum bezeichnet. Die PHK gibt den klimatischen Schutzbedarf dieser Flächen anhand ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt bzw. als Rückzugsorte an heißen Tagen wieder (s. Tabelle 9). In Abhängigkeit vom Schutzbedarf der Flächen ist deren klimatische Funktion bei geplanten Entwicklungen zu prüfen. Bei einem sehr hohen Schutzbedarf wird eine Entwicklung bspw. nur dann als klimaverträglich gewertet, wenn ein Nachweis über die Erhaltung der jeweiligen Funktion erfolgt.

Tabelle 9: Schutzbedarfe im Ausgleichsraum und abgeleitete Planungshinweise.

Bewertung im Ausgleichsraum	Planungshinweise
Bedeutung und Schutzbedarf sehr hoch 	Hier handelt es sich um Flächen, die für die Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung sind. Bauliche Eingriffe sollten gänzlich vermieden werden. Bei Umsetzung von bestehendem Planungsrecht sollte ein Nachweis des Erhalts der jeweiligen klimatischen Funktion erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung sollte angestrebt werden. Zur Optimierung der klimatischen Ausgleichsleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/ Freiflächen geschaffen werden (Grünverbindungen).

Bedeutung und Schutzbedarf hoch 	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren bis hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Nutzungsänderungen sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und es sollte eine gute Durchströmbarekeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden. Bei baulichen Eingriffen sollte eine klimafachliche Einschätzung eingeholt werden.
Bedeutung und Schutzbedarf erhöht 	Für die Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Bei Eingriffen in die Fläche sollte auf die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion geachtet werden (z. B. Erhalt des Kaltluftdurchflusses durch geeignete Ausrichtung der Baukörper). Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen (z. B. Baukörperstellung).
Bedeutung und Schutzbedarf gering 	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit bzw. befinden sich nicht im Umfeld von Siedlungsflächen.

4.4.2 Wie kann ich die Karte in der Planung verwenden?

Mit der Planungshinweiskarte (PHK) steht eine einfache, übergeordnete Kartengrundlage zur Verfügung. Aus der PHK lassen sich planerische Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherung der klimatischen Situation eines Gebiets ableiten. Die Karte ermöglicht eine Einschätzung, wo die Überwärmung besonders hoch ist und dementsprechend Maßnahmen zur Hitzereduktion geboten sind. Der Maßnahmenkatalog bietet eine Auflistung möglicher Maßnahmen (z.B. Begrünung, Entsiegelung, Beachtung der Baukörperstellung, Beschattung durch Bäume, bewegtes Wasser) mit ausführlichen Erläuterungen.

Die PHK hilft zudem dabei, Grün- und Freiflächen zu identifizieren, die aufgrund ihrer Funktion für das nächtliche Kaltluftgeschehen (z. B. Teil einer Kaltluftleitbahn) und der Hitzeminderung am Tage und in der Nacht planerisch gesichert werden sollten.

In Verbindung mit den Karten aus der Sensitivitätsanalyse lassen sich Bereiche identifizieren, auf denen der Handlungsbedarf zum Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen besonders dringlich ist.

Zur Anwendung passgerechter Maßnahmen wird die hierarchische Nutzung des Gesamtkartenwerks von der Planungshinweiskarte über die Bewertungskarten, die Klimaanalysekarten und die Einzelparameterkarten (s. Kapitel 6) empfohlen. Kapitel 5 zeigt diese systematische Vorgehensweise anhand eines Ablaufschemas exemplarisch auf.

4.5 Sensitivitätsanalyse

4.5.1 Was ist in den Karten dargestellt?

Im Unterschied zu den bisherigen Karten in Kapitel 4 zeigen die Karten der Sensitivitätsanalyse Bevölkerungsdaten und liefern keine klimatischen Informationen. Unter Sensitivität wird hier die Empfindlichkeit bzw. Anfälligkeit der Bevölkerung gegenüber Hitzebelastung verstanden. Insbesondere Kinder und Senioren gelten in Hitzeperioden als körperlich stärker als andere Altersgruppen. Zudem weisen sie eine geringere Anpassungsfähigkeit auf, da sie beispielsweise noch nicht richtig schwitzen können bzw. weniger mobil sind.

Datengrundlage der Sensitivitätsanalyse sind Zensusdaten¹ in 100 x 100 m Auflösung zum Stichtag des 15. Mai **2022**. Die Analyse² betrachtet die **vulnerablen Gruppen** Kinder unter zehn Jahren und Senioren über 65 Jahre. Für jede dieser Bevölkerungsgruppen gliedert sie die **Verteilung der Dichte** in Zehntel (Dezile)³ ein. Diese wird in jeweils einer Einzelkarte für Kinder und für Senioren dargestellt (s. Tabelle 10). Hinter jedem Dezil steckt eine konkrete Anzahl an Personen in der jeweiligen vulnerablen Gruppe pro Hektar, die auch in der Legende zu den Einzelkarten aufgeschlüsselt ist.

Tabelle 10: Inhalte und Legendendarstellung der Sensitivitätsklassen in den Einzelkarten zur Sensitivitätsanalyse.

Legende	Layer	Beschreibung
 3 Kinder/ha (1. bis 4. Zehntel, geringste Dichte)  4 Kinder/ha  5 Kinder/ha  6 Kinder/ha  7 bis 8 Kinder/ha  9 bis 10 Kinder/ha  mehr als 10 Kinder/ha (höchste Dichte)	Zehntel der Kinder jünger als 10 Jahre	Verteilung der Dichte von Kindern jünger als 10 Jahren in den Kommunen des Landkreises anhand von Zehnteln (Datenquelle Zensus 2022)
Legende	Layer	Beschreibung
 3 Senioren/ha (1. bis 2. Zehntel, geringste Dichte)  4 Senioren/ha  5 Senioren/ha  6 Senioren/ha  7 bis 8 Senioren/ha  9 bis 10 Senioren/ha  11 bis 12 Senioren/ha  13 bis 17 Senioren/ha  mehr als 17 Senioren/ha (höchste Dichte)	Zehntel der Senioren älter als 65 Jahre	Verteilung der Dichte von Senioren älter als 65 Jahre in den Kommunen des Landkreises anhand von Zehnteln (Datenquelle Zensus 2022)

¹ Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2025

² in Anlehnung an das KLIMPRAX Stadtklima-Projekt: HLNUG (2019).

³ Jedes Zehntel (Dezil) umfasst 10% der jeweiligen vulnerablen Bevölkerungsgruppe.

Die beiden Einzelkarten zur Verteilung der Bevölkerungsdichte von Kindern unter 10 Jahren und der Senioren älter als 65 Jahre werden verschnitten und daraus unter Hinzuziehung der Einwohnerdichte eine Gesamtkarte zur Sensitivität der Bevölkerung bereitgestellt. Die Gesamtkarte stellt die Siedlungsgebiete im 100 x 100 m-Raster dar und stuft diese in wenig bis extrem sensitiv in Bezug auf die Hitzevulnerabilität der Bevölkerung ein (s. Tabelle 11).

Hinter den jeweiligen Kategorien in der Gesamtkarte Sensitivität stecken folgenden Eigenschaften der drei Indikatoren (Zehntel-Verteilung der beiden vulnerablen Personengruppen und Einwohnerdichte):

Kategorie	Eigenschaft Indikatoren
Extrem sensitives Gebiet	Senioren Zehntel = 8, 9, 10 UND Kinder Zehntel = 10
Sehr hoch sensitives Gebiet	Senioren Zehntel = 8, 9 UND Kinder Zehntel = 8, 9
Hoch sensitives Gebiet	Senioren Zehntel = 8, 9, 10 ODER Kinder Zehntel = 10
Sensitives Gebiet	Einwohnerdichte überdurchschnittlich hoch (Einwohner pro Hektar > 25)
Wenig sensitives Gebiet	Bisheriges unzutreffend

Tabelle 11: Inhalte und Legendarstellung der Sensitivitätsklassen in der Gesamtkarte Sensitivität.

Legende	Layer	Beschreibung
 wenig sensitiv	Dichte sensibler Bevölkerungsgruppen	Verschneidung der Dichte der analysierten vulnerablen Gruppen mit Zuhilfenahme der Einwohnerdichte der Gemeinden des Land- kreises (Datenquelle Zensus 2022)
 sensitiv		
 hoch sensitiv		
 sehr hoch sensitiv		
 extrem sensitiv		

4.5.1 Wie kann ich die Karte in der Planung verwenden?

Die Sensitivitätsanalyse stellt Bevölkerungsdaten bereit. In Kombination mit den Ergebnissen der Planungshinweiskarte zeigt sie, wo besonders großer Handlungsbedarf zum Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen besteht und wo demzufolge die Dringlichkeit für Maßnahmen zur Verringerung der Hitzebelastung besonders hoch ist.

Durch den Fokus auf Gebiete mit hoher Dichte an vulnerablen Bevölkerungsgruppen kann die Betroffenheit der Bevölkerung durch Hitze abgeschätzt werden. Auch wenn die Analyse sich auf einen Zeitpunkt bezieht, der durch Alterung oder Neugeburten lokal nicht mehr korrekt ist, liefert die Betrachtung und Überlagerung mit den Informationen aus den Klimakarten dennoch eine gute Grundlage, um Handlungsschwerpunkte für den Hitzeschutz zu priorisieren.

Neben Kindern und Senioren zählen ökonomisch und sozial benachteiligte Personen sowie Menschen mit Vorerkrankungen zu den besonders gefährdeten Personengruppen. Diese Bevölkerungsgruppen können mangels Datengrundlagen hier nicht dargestellt werden.

Hinweise auf die Betroffenheit **weiterer vulnerabler Bevölkerungsgruppen** und einen entsprechend hohen Bedarf an Hitzeschutz-Maßnahmen geben die Standorte von Einrichtungen mit sensiblen Bevölkerungsgruppen (Krankenhäuser, Pflege-/Betreuungseinrichtungen, Schulen, Kitas, Flüchtlingsunterkünfte), wie sie in den Bewertungskarten und in der Planungshinweiskarte zu finden sind.

5. Vorgehensweise beim Einsatz der Klimaanalyse

Nach der inhaltlichen Erläuterung der einzelnen Karten folgt in diesem Kapitel eine schrittweise Anleitung für die Arbeit mit dem Kartenwerk.

Im Gegensatz zum bisherigen Aufbau der Lesehilfe, der den Entstehungsprozess der einzelnen Karten nachvollzieht, erfolgt die Anwendung der Karten in umgekehrter Reihenfolge. In der Regel bildet die **Planungshinweiskarte den Start**. Sie ist das zentrale Produkt der Klimaanalyse, in dem alle relevanten Informationen zur Berücksichtigung des Themas Klimaanpassung in der Siedlungsplanung enthalten sind. Je nachdem, welcher Aspekt laut Planungshinweiskarte auf einer Fläche von Bedeutung ist, kann der Blick in die jeweils vorgelagerten Karte Aufschluss darüber geben, aus welchen Gründen eine Fläche ihre Bewertung erhalten hat. So lässt sich bei Bedarf der Entstehungsprozess bis zu den zugrunde liegenden einzelnen Klimaparametern zurückverfolgen.

Die folgenden Leitfragen lotsen durch einen Ablauf, der den gezielten Einsatz der Klimaanalyse erleichtern soll. Diese Reihenfolge gewährleistet erfahrungsgemäß die zielführendste Sichtung der Karten und Modellergebnisse.

1. Schritt: Planungshinweiskarte prüfen:

- a. Liegt besonderer Handlungs- / Schutzbedarf vor?
- b. Liegen sensible Einrichtungen in der Umgebung?
- c. Liegt die Fläche im Bereich von Kaltluftleitbahnen / -abflüssen?

2. Schritt: Bewertungskarten (Tag / Nacht) zu Rate ziehen:

- a. Welche Veränderungen in Bezug auf das Klima sind durch evtl. Bebauung zu erwarten (z.B. Erwärmung tags oder nachts, veränderte Windverhältnisse, Verlust an bedeutenden Grünflächen)?
- b. Inwiefern schätzen Sie die klimatische Auswirkung eines Vorhabens als (nicht) vertretbar ein? Warum?
- c. Woher kommt ggfs. die Kaltluft in der Nacht?
- d. Wo sind kühle Flächen am Tage?
- e. Welche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation wären sinnvoll und umsetzbar?

3. Schritt: Einzelparameter zur Stützung der Einschätzung prüfen

- a. Tagsüber: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)
- b. Nachts: bodennahe Lufttemperatur, Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftproduktionsrate
- c. Welche Maßnahmen wären sinnvoll und umsetzbar? (vgl. Maßnahmenkatalog)

Abbildung 2 zeigt die schrittweise Vorgehensweise anhand eines beispielhaften Ablaufschemas.

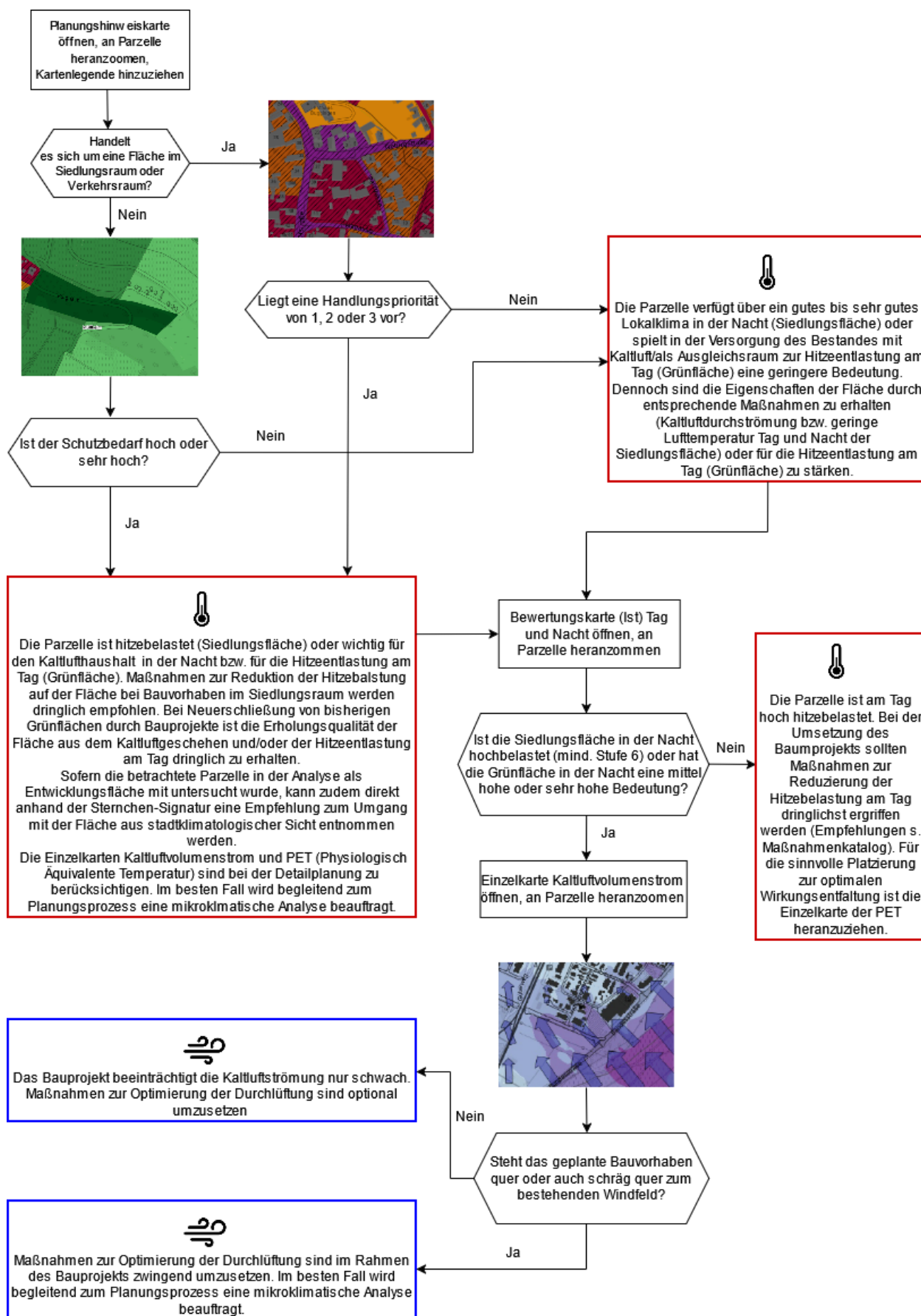


Abbildung 2: Beispielhaftes Schema zur schrittweisen Anwendung des Kartenwerks der Klimaanalyse

Ergibt die Bewertung anhand der Klimaanalyse, dass die Bebauung einer Fläche kritisch ist, so bedeutet dies nicht, dass dort gar nicht bebaut werden kann. Damit eine Bebauung das Lokalklima möglichst wenig negativ beeinflusst, sind die Gebäudestellung und die Höhenentwicklung ausschlaggebend. Die Gebäude sollten parallel zur Windrichtung ausgerichtet sein, sodass die Kaltluftströme nicht behindert werden und durch Neubauten keine Barrieren für die Kaltluft entstehen. Die Gebäudehöhe sollte begrenzt werden, um die Kaltluftversorgung der benachbarten Siedlungsgebiete nicht zu beeinträchtigen. Weitere wichtige Elemente einer klimaangepassten Bebauung sind Begrünungsmaßnahmen wie Grünflächen, Dach- und Fassadenbegrünung (vgl. Maßnahmenkatalog zur Klimaanalyse). In kritischen Fällen sollte eine mikroklimatische Analyse Basis für den städtebaulichen Entwurf sein.

Verwendung der Karten für die Zukunftsszenarien

Die Zukunftsszenarien sind in die Planungshinweiskarte eingeflossen. Flächen, die bereits bei einem moderaten Klimawandel eine hohe thermische Belastung erfahren, wurden höher priorisiert als solche, die erst bei starkem Klimawandel (Zukunftsszenario II) als stark belastet gelten. Mit dem Klimawandel nimmt die Bedeutung von Grünflächen generell immer mehr zu. Dies gilt insbesondere für bereits heute wichtige Grünflächen.

Folgende Beispiele zeigen Fragestellungen, bei denen ein Blick auf die Zukunftsszenarien hilft:

- Werden Entwicklungsflächen als kritisch bewertet, kann ein Blick auf ihre zukünftige Situation bzw. auf ihr Umfeld zusätzliche Argumente liefern, die einer Nutzungsänderung entgegenstehen.
- Soll eine Hitzeinsel thermisch entlastet werden, kann der Blick in die Zukunft die Dringlichkeit untermauern helfen.
- In speziellen Fällen können heute unkritische Flächen in Zukunft eine hohe Bedeutung gewinnen.

Das Szenario „starker Klimawandel“ erscheint angesichts der aktuellen Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland als das realistischere Szenario.

6. Einzelparameter der Klimaanalyse

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung bilden das klimatische Prozessgeschehen im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald ab und stellen die Basis der Klimaanalyse dar. Aus den einzelnen Parametern wurden die Klimakarten (s. Kapitel 4) abgeleitet.

Zur Bewertung der Tagsituation wird die **Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)** herangezogen, die ein Maß für die gefühlte Wärmebelastung des Menschen im Freien ist. Die Ermittlung der **bodennahen nächtlichen Lufttemperatur** ermöglicht es, überwärmte Siedlungsbereiche zu identifizieren (sogenannte Wärmeinseln) und die räumliche Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die Bedeutung einer Grün-/Freifläche bzw. eines Strömungssystems für den Kaltlufthaushalt ergibt sich daraus, wie viel Kaltluft auf der Fläche entsteht (**Kaltluftproduktionsrate**) und wie schnell und in welche Richtung die Kaltluft strömt (**bodennahe Windgeschwindigkeit und Strömungsrichtung**). Zusätzlich spielt die Höhe (Mächtigkeit) und Fließgeschwindigkeit der Kaltluftschicht eine Rolle. Die Kombination aus Mächtigkeit und Fließgeschwindigkeit wird durch den **Kaltluftvolumenstrom** erfasst.

Die Ergebnisse gelten für den bodennahen Aufenthaltsbereich des Menschen (2 m Höhe). Nur der Kaltluftvolumenstrom bildet die Strömung über die kompletten unteren Luftschichten bis zu einer Höhe von 50 m ab. Betrachtet werden die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) sowie 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Erwärmung und hohe Einstrahlung der Sonne).

Im Folgenden werden die Einzelparameter näher erläutert.

6.1 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes (Kenngrößen) verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen⁴. Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET, die Physiologisch Äquivalente Temperatur, um 14:00 Uhr herangezogen. Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit besser nachvollzogen werden zu können⁵. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Analysen vergleichen lassen. Wie die übrigen human-biometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur. Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien und am Tag einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die

⁴ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; s. Jendritzky (2007)).

⁵ Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCI (Universeller thermischer Klimaindex).

physiologische Belastungsstufen quantifiziert (z.B. *Starke Wärmebelastung/Hitzestress* ab PET 35 °C; Tabelle 12). Die PET wird in einer Höhe von 1,1 m ü. Gr. untersucht, da dies die humanbioklimatisch relevante Höhe ist (mittlere Höhe des Körperschwerpunktes eines Menschen).

Tabelle 12: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 3787, Blatt 2 (2022)).

PET in °C	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
PET ≤ 4	Sehr kalt	extremer Kältestress
4 < PET ≤ 8	Kalt	starker Kältestress
8 < PET ≤ 13	Kühl	moderater Kältestress
13 < PET ≤ 18	Leicht kühl	leichter Kältestress
18 < PET ≤ 23	Behaglich	kein thermischer Stress
23 < PET ≤ 29	Leicht warm	leichte Wärmebelastung
29 < PET ≤ 35	Warm	moderate Wärmebelastung
35 < PET ≤ 41	Heiß	starke Wärmebelastung/Hitzestress
PET > 41	Sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung/Hitzestress

6.2 Bodennahe Lufttemperatur

Der Tagesgang der Lufttemperatur hängt direkt von der Sonneneinstrahlung an einem Standort ab und zeigt daher in der Regel eine ausgeprägte Abnahme der Lufttemperatur während der Abend- und Nachtstunden. Kurz nach Sonnenaufgang erreicht die Lufttemperatur ihr Minimum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei große Unterschiede aufweisen – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften. Daher kann sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8°C Temperaturabweichung einstellen kann.

Siedlungsräume weisen ein thermisches Sonderklima auf. Die in Siedlungen gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmespeicher- und Wärmeleitfähigkeit der zu einem hohen Anteil versiegelten Böden und Oberflächen,
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche,
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut,
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt),

- die Wirkung der Siedlung als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland und
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion.

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Siedlung und der Dichte der Überbauung bzw. dem Versiegelungsgrad. Doch auch die Luftschichten über grüneprägten Flächen weisen keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Landnutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus.

Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Boden und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Atmosphäre. Insbesondere in dichten, geschlossenen Waldbeständen ist es unter den Baumkronen tags kälter und nachts wärmer als über dem Kronendach oder über Freiflächen.

Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, in denen sauerstoffreiche, staubfreie und wenig belastete Luft entsteht. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, höhere Temperaturen auf. Siedlungsnaher Wälder können daher auch am Tage kältere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen. Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder topographisch bedingten Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Die in den Karten aufgeführten Absolutwerte der nächtlichen Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die relativen Unterschiede innerhalb der Siedlung bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

6.3 Windfeld: Bodennahe Windgeschwindigkeit und Strömungsrichtung

Das Windfeld umfasst die beiden Einzelparameter bodennahe Windgeschwindigkeit und Strömungsrichtung in 2 Meter über Grund um 4 Uhr nachts.

Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum auf der bodennahen Lufttemperaturverteilung basieren. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen sind die gravitationsbedingten *Berg- und Hangabwinde* und die *Flurwinde*, die als direkte Ausgleichsströmungen vom hohen zum tiefen Luftdruck aufzufassen sind.

Ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärtsgerichtete Strömungen ein, weil die hangnahe Luft durch nächtliche Ausstrahlung stärker abkühlt als die freie Luft in gleicher Höhe. Aufgrund ihrer höheren Dichte fließt die kühlere Bodenluft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt. *Hangabwinde* erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa 3 m/s, ihre Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m. Im Berg- und Bergvorland sind Hangwinde oftmals Teilglieder einer übergeordneten Berg- und Talwind-Zirkulation. Aufgrund ihrer größeren Einzugsgebiete sind nächtliche Bergwinde deutlich stärker ausgeprägt als Hangabwinde und erreichen bei Mächtigkeiten von mehreren Dekametern Strömungsgeschwindigkeiten von über 5 m/s.

Neben diesen durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen unter günstigen Bedingungen sogenannte *Flurwinde* aus. Sie sind radial auf einen überwärmten Raum ausgerichtet und an hindernisarme Leitbahnen gebunden. Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebieten – und dem damit verbundenen konvektiven Aufstieg der betroffenen Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u. a. Kiese et al. 1992). Die Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist deutlich unterhalb von 2 m/s. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Stadt auftreten, werden *Strukturwinde* genannt.

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Siedlungskörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus.

Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

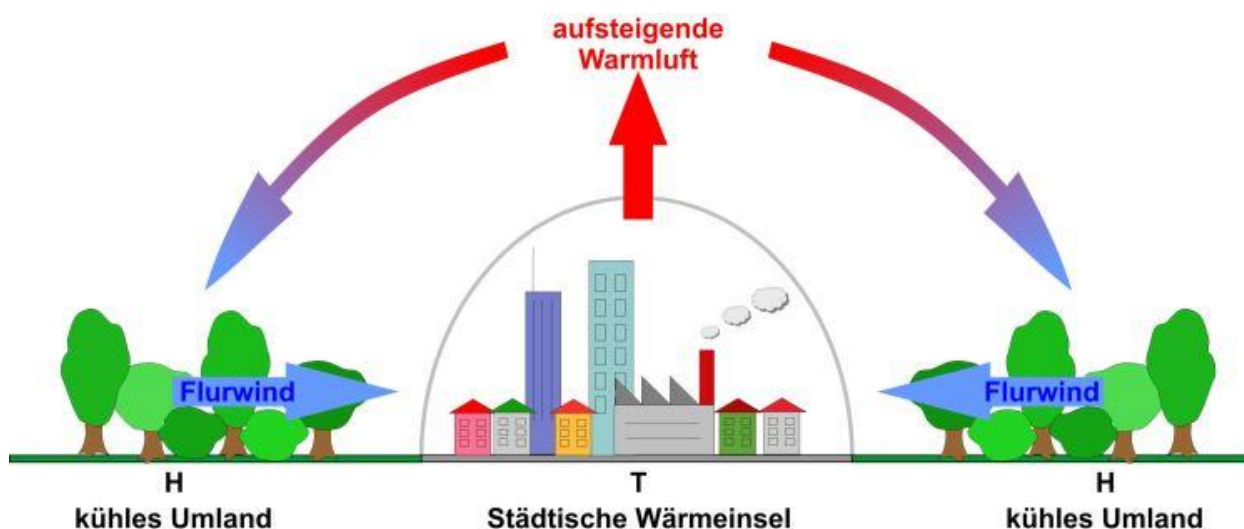


Abbildung 3: Prinzipskizze Flurwind (Quelle: eigene Darstellung, dem DWD nachempfunden).

6.4 Kaltluftvolumenstrom

Wie bereits für das nächtliche Windfeld eingehender erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die *Höhe* der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom.

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

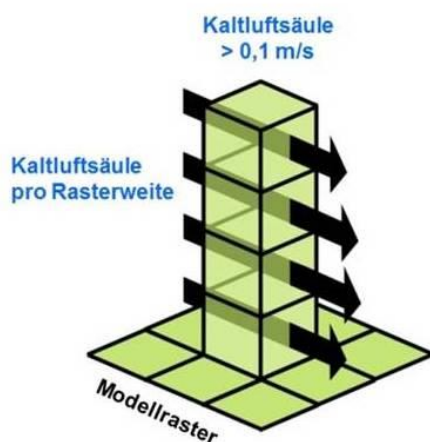


Abbildung 4: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom (Quelle: eigene Darstellung).

6.5 Kaltluftproduktionsrate

Einige landnutzungstypische Charakteristika der Kaltluftentstehung wurden im Abschnitt zum bodennahen Lufttemperaturfeld angesprochen. Ganz allgemein erreicht die langwellige Ausstrahlung des Erdbodens bei wolkenlosem Himmel und geringem Wasserdampfgehalt der unteren Luftschichten – d. h. bei verminderter atmosphärischer Gegenstrahlung – kurz nach Sonnenuntergang ihren maximalen Wert. Die damit verbundene Abkühlung der Erdoberfläche und der unmittelbar angrenzenden bodennahen Luft wird im weiteren Verlauf einerseits durch turbulenten vertikalen und horizontalen Wärmeaustausch aus benachbarten Luftschichten, andererseits durch Wärmeleitung aus tiefer liegenden Bodenschichten modifiziert. Für die Ausprägung des turbulenten Wärmeaustausches sind das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage des betreffenden Kaltluftentstehungsgebietes im thermisch differenzierten Mosaik angrenzender Flächen verantwortlich. Die Wärmenachlieferung aus dem Boden wird vornehmlich von der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität des Substrates sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen wie Vegetation und Laubstreu bestimmt.

Die Kaltluftproduktionsrate beschreibt die Menge der sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter relativ zu ihrer Umgebung abkühlenden Luft in einem Kubikmeter. Ihre Bestimmung kann mit Ungenauigkeiten behaftet sein, was sowohl für die modellhafte Berechnung als auch für die Geländemessung gilt. Für die Modellierung größerer Untersuchungsgebiete ist beispielsweise kaum davon auszugehen, dass alle wichtigen, zum Teil sehr heterogenen Variablen wie etwa die thermischen Bodeneigenschaften – die u.a. von der Dichte des Substrates, dem Luft- und Wassergehalt und dem Porenvolumen abhängen – aus den Eingangsdaten in hinreichender Differenziertheit parametrisiert werden können. Daher ist bei der Angabe von Kaltluftproduktionsraten mit entsprechenden Unsicherheiten zu rechnen. Aktuell berechnet sich die Kaltluftproduktionsrate in FITNAH in Abhängigkeit der spezifischen Flächeneigenschaften und der Geländeneigung. Somit kühlt eine Grün- oder Freifläche stärker aus als eine versiegelte, wobei die höchsten Kaltluftproduktionsraten im geneigten Gelände über Freiflächen zu erwarten sind. Auch Wälder bilden in den Nachtstunden über ihren Kronendächern effektiv Kaltluft, welche nach und nach durch den Kronenraum ins Bodenniveau absinkt und so auch für die überhitzten Städte Ausgleichspotential darstellt. Somit sind im Feld der Kaltluftproduktionsrate auch Wälder als effektive Kaltluftbildner zu erkennen.

7. Grundlagen der Modellierung

Mit dem Stadtklimamodell FITNAH-3D wurde eine Modellrechnung durchgeführt, um flächendeckend für das gesamte Gebiet des Landkreises Informationen zum Lokalklima im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald zu gewinnen.

Die horizontale Auflösung der Modellierung beträgt 5 m, d.h. der Landkreis wird in ein Raster mit einer Gitterweite von 5 m x 5 m zerlegt. Für jede Rasterzelle werden Informationen beispielsweise zur Geländehöhe und Landnutzung, zu Gebäudeumrissen und -höhen sowie zu Bäumen und dem Versiegelungsanteil bestimmt und als Eingangsdaten für die Modellrechnung verwendet.

Das gewählte Untersuchungsgebiet geht mit einer Fläche von ca. 71 km x 45 km über die Landkreisgrenze hinaus, damit die im Umland gelegenen Höhen- und Landnutzungsunterschiede mit Einfluss auf das Klima des Landkreises berücksichtigt werden können. Dabei liegt der Modellierung eine sommerliche Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel und einem sehr schwachen übergelagerten Wind zugrunde (Tageshöchsttemperatur über 25 °C), die in der Stadtklimatologie typischerweise verwendet wird (sogenannte autochthone Wetterlage).

Für die Zukunftsberechnungen wurden die frei verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes (Ensemblerechnungen zum Klimawandel) ausgewertet. Für die Zukunftsszenarien wurden die gängigen Szenarien „moderater Klimawandel“ (Zukunftsszenario I, basierend auf dem RCP 4.5) und „starker Klimawandel“ (Zukunftsszenario II, basierend auf dem RCP 8.5) gewählt. Das Szenario „starker Klimawandel“, auch „Weiter-wie-bisher-Szenario“ genannt, erscheint angesichts der aktuellen Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland als das realistischere Szenario.

RCPs (RCP = representative concentration pathway) sind ausgewählte Szenarien, mit denen der Weltklimarat (IPCC) die Palette plausibler Entwicklungspfade aufzeigen möchte. Um die Spanne möglicher zukünftiger Klimazustände für Temperatur und Niederschlag zu bewerten, werden typischerweise das 15. Perzentil (kühler/trockener) und das 85. Perzentil (wärmer/nasser) genutzt.

Die Bodenfeuchte bezeichnet den Wassergehalt der ungesättigten oberen Bodenschicht (meist 0–2 m), der entgegen der Schwerkraft in den Poren festgehalten wird. Sie ist entscheidend für das Pflanzenwachstum, die Nährstoffversorgung und den Wasserhaushalt, beeinflusst durch Witterung und Bodenart. Die Angabe erfolgt oft in Volumenprozent (Vol.-%). Es wird davon ausgegangen, dass mit zunehmender Erderwärmung die Bodenfeuchte im Oberboden aufgrund höherer Verdunstung abnimmt. Dies hat zur Folge, dass die oberflächennahe Tagtemperatur und die PET steigen, da weniger Wasser verdunsten kann und somit weniger Verdunstungskälte entsteht.

Für die Modellierung der beiden Zukunftsszenarien wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

Tabelle 13: Parameterwahl der beiden Zukunftsszenarien.

Zukunftsszenario	Klimawandel		Siedlungs- entwicklung
	Temperatursignal Änderung der Sommertemperatur vs. 1971-2000	Bodenfeuchte „Zunehmende Som- mertrockenheit“	
Moderater Klimawandel Zeitraum 2031-2060 (15. Perzentil RCP 4.5)	+1,3 K	60% (identisch zu IST)	In beiden Szenarien identisch
Starker Klimawandel Zeitraum 2031-2060 (85. Perzentil RCP 8.5)	+2,0 K	30%	

Für die beiden Zukunftsszenarien wurden neben den klimatischen Änderungen auch (soweit möglich) zukünftige Nutzungsänderungen mitmodelliert. Berücksichtigt wurden schon heute bekannte Nutzungsänderungen wie Erweiterungen von Baggerseen, Aufforstungen, Lärmschutzwände (soweit Daten vorlagen) und Neubaugebiete.

Bereits in der Modellierung des Bestandes wurden Bebauungspläne berücksichtigt, welche bis April 2024 rechtskräftig waren, und in entsprechende Landnutzungsklassen (Gleis, Freiland, Gewässer, Gebäude, ebenerdige Versiegelung, Baum über allen Untergründen, Freiflächen-PV, Sand) überführt. Für die Erstellung der zukünftigen Bebauungskulisse im Landkreis wurden aus dem AROK (automatisiertes Raumordnungskataster der Regierungspräsidien in Baden-Württemberg) die unbebauten Flurstücke aus den betroffenen Kategorien „Wohnbaufläche“, „gemischte Baufläche“, „Gemeindebedarfsfläche“, „gewerbliche Baufläche“ und „Sonderbaufläche“ umgesetzt. Für jede Kategorie wurde eine regionaltypische mittlere Flächenverteilung aus den Nutzungen Gebäude, Straße und Grünfläche festgelegt (sogenannter Mischpixelansatz), wobei die Pixel per Zufallsgenerator auf der Fläche verteilt wurden. Auf die gleiche Weise wurden unbebaute Flurstücke aus Geltungsbereichen der Bebauungspläne des Landkreises umgesetzt. Zudem wurden detaillierte Planunterlagen zu spezifischen Entwicklungsflächen in der zukünftigen Landnutzungskulisse des Landkreises berücksichtigt (bspw. B-Plan Vordere Schlossäcker, Erweiterung Kurpark Bad Krozingen). Eine Bewertung der Entwicklung erfolgte nur für Flächen, die größer als 5.000 m² sind. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Es kann vorkommen, dass Bebauungspläne nicht erfasst wurden, weil sie in den verwendeten Quellen nicht aufgeführt waren oder dass Flächen zwischenzeitlich bebaut sind. Da ohne Modellierung keine Bewertung möglich ist, fehlen diese Flächen auch bei den Zukunftsszenarien. Die Klimaanalyse dient als Planungshilfe. Für eine sinnvolle Anwendung ist zusätzlich lokales Wissen gefragt. Die Klimaanalyse dient zur Einordnung.

8. Quellenverzeichnis

HLNUG. (2019, April 30). *Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit*. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXStadtklima2019/L-Handlungsleitfaden2019_Einzelseiten.pdf

Jendritzky (2007): *The Universal thermal climate index UTCI*. http://www.cbks.cz/SbornikPola07/pdf/Jendritzky_et_al.pdf (Abruf 13.02.2026)

Kanton Luzern (2022). *Leseanleitung Klimakarten Kanton Luzern*. [Klimadaten und Tools - Kanton Luzern](#)

Kanton Zürich (2025). *Leseanleitung Klimakarten Kanton Zürich*. [Klimakarten | Kanton Zürich](#)

Kiese, O. et al. 1992: *Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster*. Stadt Münster – Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Destatis) 2025. *Zensus-Datensatz* (Version: 26.11.2025)

VDI 3787, Blatt 2. (2022). *Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas*. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3787-blatt-2-umweltmeteorologie-methoden-zur-human-biometeorologischen-bewertung-der-thermischen-komponente-des-klimas>

Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald

Stadtstraße 2

79104 Freiburg im Breisgau

Telefon: 0761 2187-0

Telefax: 0761 2187-9999

E-Mail: poststelle@lkbh.de

www.breisgau-hochschwarzwald.de