Lesehilfe zur Stadtklimaanalyse Limburg an der Lahn

2026

Auftraggeberin

Magistrat der Kreisstadt Limburg a. d. Lahn

Stabsstelle Energie
Klima- und Umweltschutz
Über der Lahn 1
65549 Limburg a. d. Lahn

Auftragnehmerin

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel: (0511) 388 72-00
www.geo-net.de

Bearbeitet von:
Lara Wichmann
M. Sc. Landschaftswissenschaften
GEO-NET, Umweltmeteorologie

Gefördert durch

HESSEN
Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat

Klimaplan Hessen
WIR ZEIGT WIRKUNG!

INHALT

Glossar 4
Einleitung 6
Das Limburger Stadtklima der Gegenwart 7
Das Limburger Stadtklima der Zukunft 7
Grundlagen der Modellierung 8
Modellergebnisse 8
Klimaanalysekarte für die Tagsituation 9
Klimaanalysekarte für die Nachsituation 11
Verwendung in der Planung 13
Bewertungskarten 13
Planungshinweiskarte Stadtklima 17
Verwendung bei Planungsvorhaben der Stadtverwaltung sowie durch die Öffentlichkeit 22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nutzungsraster (Kartenausschnitt) mit den Nutzungskassen des Klimamodells. 7
Abbildung 2: Klimaanalysekarte für die Tagsituation (Kartenausschnitt) im Status quo. Darstellung anhand der PET (physiologisch äquivalente Temperatur). 10
Abbildung 3: Klimaanalysekarte der Nachtsituation (Kartenausschnitt) im Status quo. 12
Abbildung 4: Bewertungskarte der Nachtsituation (Kartenausschnitt) im Status quo. 14
Abbildung 5: Bewertungskarte der Tagsituation (Kartenausschnitt) im Status quo 16
Abbildung 6: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt): Handlungsprioritäten im Wirkraum (Siedlungsgebiet). 19
Abbildung 7: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt). Schutzbedarfe im Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen). 21

Glossar

Ausgleichsraum: Grüngeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen → *Wirkraum* angrenzt oder mit diesem über → *Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist.

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist.

Flurwind: Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale 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 Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum).

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Über Wiesen, Acker- und Brachflächen ist der nächtliche Abkühlungseffekt am höchsten.

Kaltluftabflüsse: Kaltluftabflüsse treten flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auf und spielen im hügeligen Stadtgebiet eine wichtige Rolle. Dem Gefälle folgend setzen sie sich hangabwärts in Bewegung.

Kaltlufteinwirkbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Gekennzeichnet sind Siedlungsflächen (Wohn- und Gewerbeflächen), die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden oder bodennahe Windgeschwindigkeiten von mindestens 0,1 m/s aufweisen.

Kaltluftleitbahnen: Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkräume*) miteinander und sind mit ihren hohen → *Kaltluftvolumenströmen* elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (Mayer et al. 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet.

Kaltluftvolumenstrom: Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt.

Klimaanalysekarte der Nachtsituation: Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und Effekte in der Nacht sowie am Tag im Stadtgebiet und dem näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).

Klimaanalysekarte der Tagsituation: Wird anhand der physiologisch äquivalenten Temperatur dargestellt (siehe **PET**).

Mischpixel-Ansatz: Für die Modellierung von zukünftigen Flächenentwicklungen wird eine zufällige Verteilung der Landnutzung anhand bestimmter Vorgaben vorgenommen. Die entsprechenden Prüfflächen umfassen die Klassen „Freifläche“, „Gebäude“ und „ebenerdig versiegelt“.

PET (Physiological Equivalent Temperature / Physiologisch äquivalente Temperatur)**:** Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert.

Planungshinweiskarte: Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen im Stadtgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* in getrennten Karten für die Tag- und die Nachtsituation inklusive der Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island)**:** Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.

Thermischer Komfort: Gemütszustand, der die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt, wobei thermische Behaglichkeit angestrebt wird. Dabei wirken Parameter wie die Temperatur, Wärmestrhalung, Luftbewegung, Licht und Luftfeuchte.

Wirkraum: Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.

Zukunftsperiode: Im Rahmen der Klimaanalyse betrachtete zukünftige Zeitspannen, von der Länge einer Klimaperiode á 30 Jahren. Die Auswertung der langjährigen Klimaänderungen umfassen die nahe Zukunft 2031-2060, mittlere Zukunft 2041-2070 und ferne Zukunft 2071-2100.

Zukunftsszenarien: Im Rahmen der Klimaanalyse entwickelte Szenarien, welche eine Temperatuzunahme um 0,7 K (Zukunft I) bzw. 1,5 K (Zukunft II) addiert zum Stauts quo (21,0 °C) sowie eine gemeinsame städtebauliche Entwicklung annehmen. Beide Szenarien beziehen sich auf die Zeitspanne 2031-2060.

MODELLERGEBNISSE UND KLIMAANALYSEKARTEN

Einleitung

Im Zuge des Klimawandels werden Tage und Nächte mit großer Hitzebelastung in Zukunft immer häufiger und extremer. Insbesondere im Siedlungsraum wird der bereits vorhandene städtische Wärmeinsel-Effekt durch die Klimafolgen verstärkt. Tagsüber heizen sich Siedlungen stärker auf und nachts kühlen sie deutlich langsamer ab als das Umland. Dies hat folgende Ursachen:

- Die vielen versiegelten Flächen nehmen die einfallende Sonnenstrahlung tagsüber auf, speichern sie und geben sie als Wärmestrahlung zeitverzögert in der Nacht wieder ab.
- Beschattung und Grünflächen fehlen vor allem in den dicht besiedelten Bereichen der Stadt.
- Die Windzirkulation ist infolge der dichten Bebauung eingeschränkt.
- Industrie und Verkehr erzeugen ebenfalls Abwärme und verstärken damit den Effekt.

Die Hitzebelastung im Siedlungsraum ist eine Herausforderung, welche in der Stadt- und Landschaftsplanung sowie bei der Hitzeaktionsplanung miteinbezogen werden muss. Dies erfordert jedoch genaue Kenntnisse über die lokalen Klimabedingungen. Vor diesem Hintergrund wurde für die Stadt Limburg an der Lahn die heutige und die zukünftige klimatische Situation flächendeckend und hochaufgelöst modelliert. Die Modellergebnisse und die daraus resultierenden Klimakarten (Klimaanalyse-, Bewertungskarten sowie Planungshinweiskarte) geben Aufschluss über die klimatische Situation in der Stadt.

Die Klimakarten sind eine zentrale Planungsgrundlage für eine hitzeangepasste Siedlungsentwicklung: von der gesamtstädtischen Betrachtung bis hin zur Quartiersebene. Aus ihnen lässt sich bei übergeordneten Planungen oder konkreten Projekten der lokale Handlungs- oder Schutzbedarf ableiten. Dabei gilt es, in hitzebelasteten Gebieten durch Maßnahmen zur Hitzeminderung das Lokalklima zu verbessern und in weniger belasteten Gebieten ein funktionierendes klimatisches System zu erhalten. Dies kann beispielsweise durch Entsiegelung, Begrünung sowie der Sicherstellung der Durchlüftung durch eine entsprechende Gebäudestellung geschehen.

Diese Kurzfassung bildet eine zusammenfassende Erläuterung zu den wichtigsten Klimakarten der Stadtklimaanalyse von Limburg. Eine detaillierte Beschreibung des Projekts liefert der Abschlussbericht, der bei der Stabsstelle Energie, Klima- und Umweltschutz angefordert werden kann (energie.klima.umwelt@stadt.limburg.de).

Das Limburger Stadtklima der Gegenwart

Zur Modellierung des Limburger Stadtklimas der Gegenwart wurde die aktuelle Siedlungsentwicklung einbezogen. Aus diesem Grund sind neben der aktuellen Landnutzung zusätzlich insgesamt fünf aktuelle Bauvorhaben als Status Quo in die Modelldaten integriert worden, deren Erschließung bzw. Bebauung voraussichtlich spätestens 2026 beginnen wird (Stand 04/2025). Diese Pläne wurden in die Nutzungsklassen des Stadtklimamodells FITNAH-3D übersetzt, welche in einem Kartenausschnitt in der nachfolgenden Abbildung 1 zu sehen sind.

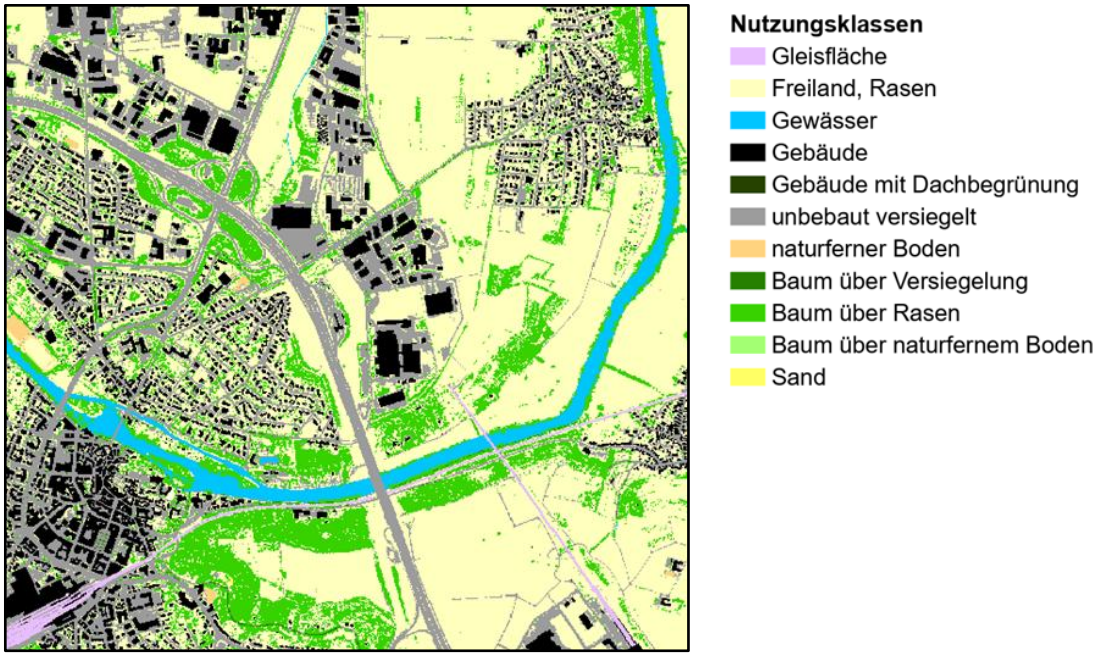

Abbildung 1: Nutzungsraster (Kartenausschnitt) mit den Nutzungskassen des Klimamodells.

Das Limburger Stadtklima der Zukunft

Neben dem aktuellen Stadtklima wurde auch das zukünftige Limburger Stadtklima mit dem Zieljahr 2045 (Mitte der betrachteten Zukunftsperiode 2031-2060) durch Modellrechnungen in zwei weiteren Szenarien simuliert. Die Stellschrauben zur Bestimmung des zukünftigen Stadtklimas bestehen in Landnutzungsänderungen sowie klimatischen Änderungen infolge des Klimawandels.

In der Zukunftskulisse wurden 21 zukünftige Bauvorhaben (Entwicklungsflächen) integriert (Stand 04/2025). Für einige dieser Flächen erfolgte eine Modellübersetzung anhand eines generalisierenden Ansatzes. Der sogenannte Mischpixel-Ansatz sieht eine zufällige Verteilung der Landnutzung anhand bestimmter, aus den Bebauungsplänen abgeleiteter Vorgaben vor. Die Prüfflächen umfassen die Klassen „Freifläche“, „Gebäude“, „Bäume“ und „unbebaut versiegelt“.

Durch den Mischpixel-Ansatz entsteht folglich eine zufällig verteilte Landnutzung auf den Entwicklungsflächen, die in dieser Form nicht umgesetzt werden würde, aber über die gesamte Fläche gesehen das klimatische Geschehen und ihre Wirkung auf das Stadtklima widerspiegelt. Auf dieser Basis können die einzelnen Entwicklungsflächen hinsichtlich ihrer Stadtklimaverträglichkeit untersucht und bewertet werden (siehe bspw. Differenzenkarten im Abschlussberichts zur Stadtklimaanalyse Limburg).

Die zweite Stellschraube für die Zukunftsszenarien betrifft die erwarteten Änderungen durch den Klimawandel. Die Auflösung regionaler Klimamodelle hat sich in den letzten Jahren so weit erhöht, dass für Limburg Aussagen getroffen werden können, wie sich der Klimawandel etwa auf die Temperatur, Trockenheit oder den Niederschlag auswirkt. Dennoch besteht beim Blick in die Zukunft zwangsläufig eine gewisse Unsicherheit, wie stark die jeweiligen Klimaänderungen tatsächlich auftreten[1]. In Limburg wurde das zukünftige Stadtklima 2045 in je einem Szenario „schwacher Klimawandel" sowie „starker Klimawandel" berechnet, die als realistische *best case*- und *worst case*-Variante verstanden werden können. Hierbei gilt als äußerst wahrscheinlich, dass sich die tatsächlich eintretenden Klimaänderungen in Limburg zwischen den beiden modellierten Szenarien befinden. Im „schwachen Klimawandel" wird die Temperatur aller Höhenprofile zu Beginn der Modellrechnung um 0,7 °C erhöht[2], im „starken Klimawandel" um 1,5 °C. Zudem wird dem Modell im starken Klimawandelszenario eine geringere Bodenfeuchte infolge zunehmender sommerlicher Dürrephasen vorgegeben[3].

Grundlagen der Modellierung

Um Informationen zum Stadtklima in Limburg zu gewinnen, wurde eine Modellrechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt, das flächendeckende Ergebnisse für das gesamte Limburger Stadtgebiet bereitstellt. Die horizontale Auflösung der Modellierung beträgt 5 m, d.h. Limburg wird in ein Raster mit einer Gitterweite von 5 m x 5 m eingeteilt. Für jede Rasterzelle werden Informationen bspw. zur Geländehöhe und Landnutzung, zu Gebäudeumrissen und -höhen sowie zu Bäumen und dem Versiegelungsanteil bestimmt und als Eingangsdatensatz für die Modellrechnung verwendet. Grundlage der Modellierung ist eine in der Stadtklimatologie typischerweise verwendete sommerliche Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel, einem sehr schwachen übergelagertem Wind und einer Tageshöchsttemperatur von über 25 °C.

Modellergebnisse

Das Stadtklimamodell liefert für jede Rasterzelle folgende Ergebnisse:

Nächtliche Lufttemperatur	Bodennahe Lufttemperatur [°C] zum Zeitpunkt 04 Uhr nachts.
Kaltluftproduktion	Die Kaltluftproduktionsrate [m³/(m²*h)] beschreibt das Volumen der bodennah abgekühlten Luft über einer ausstrahlenden Fläche.
Kaltluftströmungsfeld	Windgeschwindigkeit [m/s] und -richtung der bodennah gebildeten Kaltluft.
Kaltluftvolumenstrom	Die Kaltluftvolumenstromdichte [m³/(s*m)] ist das Produkt der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts von 1 m Breite.
Wärmebelastung am Tag	Die PET (physiologisch äquivalente Temperatur) in [°C] ist ein humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, ähnlich der „gefühlten Temperatur".

[1] Die Unsicherheit ergibt sich aus der Spannbreite der Ergebnisse verschiedener Klimamodelle. Insbesondere langfristig hängen die real eintretenden Klimaänderungen zudem wesentlich vom zukünftigen globalen Treibhausgas-Ausstoß ab.

[2] Die Ergebnisse zum erwarteten Klimawandel stützen sich auf ein Modellensemble der EURO-CORDEX-Initiative, das die RCP-Szenarien des Weltklimarates (IPCC) als verschiedene Entwicklungspfade der Treibhausgas-Emissionen berücksichtigt.
Das für die Modellierung verwendete Klimaänderungssignal der Temperatur ergibt sich als Differenz der sommerlichen Temperaturen zwischen der Zukunftsperiode 2031-2060 und der Referenzperiode 1991-2020. Für den „schwachen Klimawandel" beruht das Änderungssignal auf dem 50. Perzentil aller Modelläufe des RCP 2.6 und für den „starken Klimawandel" auf dem 100. Perzentil aller Modellläufe des RCP 8.5.

[3] Im starken Klimawandelszenario sinkt die Bodenfeuchte von 60 % im Status quo auf 30 % ab. Die Bodenfeuchte zählt zu den Antriebsgrößen des Modells, wird durch das Modell aber nicht verändert – d.h. das Modell kann keine Ergebnisse zur zukünftigen Bodenfeuchte in Limburg ausgeben.

Mit Ausnahme des Kaltluftvolumenstroms (Strömung über die komplette untere Luftschicht) gelten die Ergebnisse für den bodennahen Aufenthaltsbereich des Menschen und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung).

Die Ermittlung der *bodennahen nächtlichen Lufttemperatur* ermöglicht es, überwärmte städtische Bereiche zu identifizieren (sogenannte städtische Wärmeinseln) und die räumliche Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die relativen Unterschiede innerhalb der Stadt bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

Die Topografie im Limburger Raum beeinflusst die nächtliche Kaltluftströmung: Kaltluftabflüsse finden entlang des abfallenden Geländes hin zu den wärmeren Siedlungsflächen statt. Bereits bei geringer Hangneigung setzt sich Kaltluft dem Gefälle folgend in Bewegung, bspw. nördlich von Offheim oder südlich von Blumenrod. Genau wie Flurwinden kommt diesen Kaltluftabflüssen eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungsgebiete wirken als Strömungshindernis, sodass der Luftaustausch mit dem Umland und die Durchlüftung innerhalb der urbanen Quartiere herabgesetzt sind. Über die genannten regionalen und lokalen Strömungssysteme kann die Zufuhr von Kalt- und Frischluft dem Siedlungsraum eine wichtige klimaökologische Ausgleichsleistung erbringen.

Die Bedeutung einer Grün- bzw. Freifläche 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 nächtliche Windgeschwindigkeit***). Zusätzlich spielt die Höhe der Kaltluftschicht (ihre Mächtigkeit) eine Rolle, die durch den ***Kaltluftvolumenstrom*** erfasst wird[4].

Klimaanalysekarte für die Tagsituation

Zur Bewertung der Tagsituation wird die ***Physiologisch Äquivalente Temperatur*** (PET) herangezogen, die ein Maß für die Wärmebelastung des Menschen im Außenraum ist. Sie berücksichtigt Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung. Die Wärmebelastung wird in der Einheit „°C“ angegeben und ist stark von der Strahlungstemperatur geprägt, vor allem der Sonnenstrahlung. Entsprechend fällt die Wärmebelastung unter der angenommenen sommerlichen Strahlungswetterlage ohne Bewölkung auf Freiflächen ohne Verschattung sehr hoch aus. Für die Situation um 14:00 Uhr ist die PET der einzige ausschlaggebende Parameter, sodass die Karte der PET als „Klimaanalysekarte für die Tagsituation“ verstanden werden kann (s. Abbildung 2).

[4] Vereinfacht ausgedrückt stellt der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m³, die in jeder Sekunde über eine bestimmte Fläche fließt.

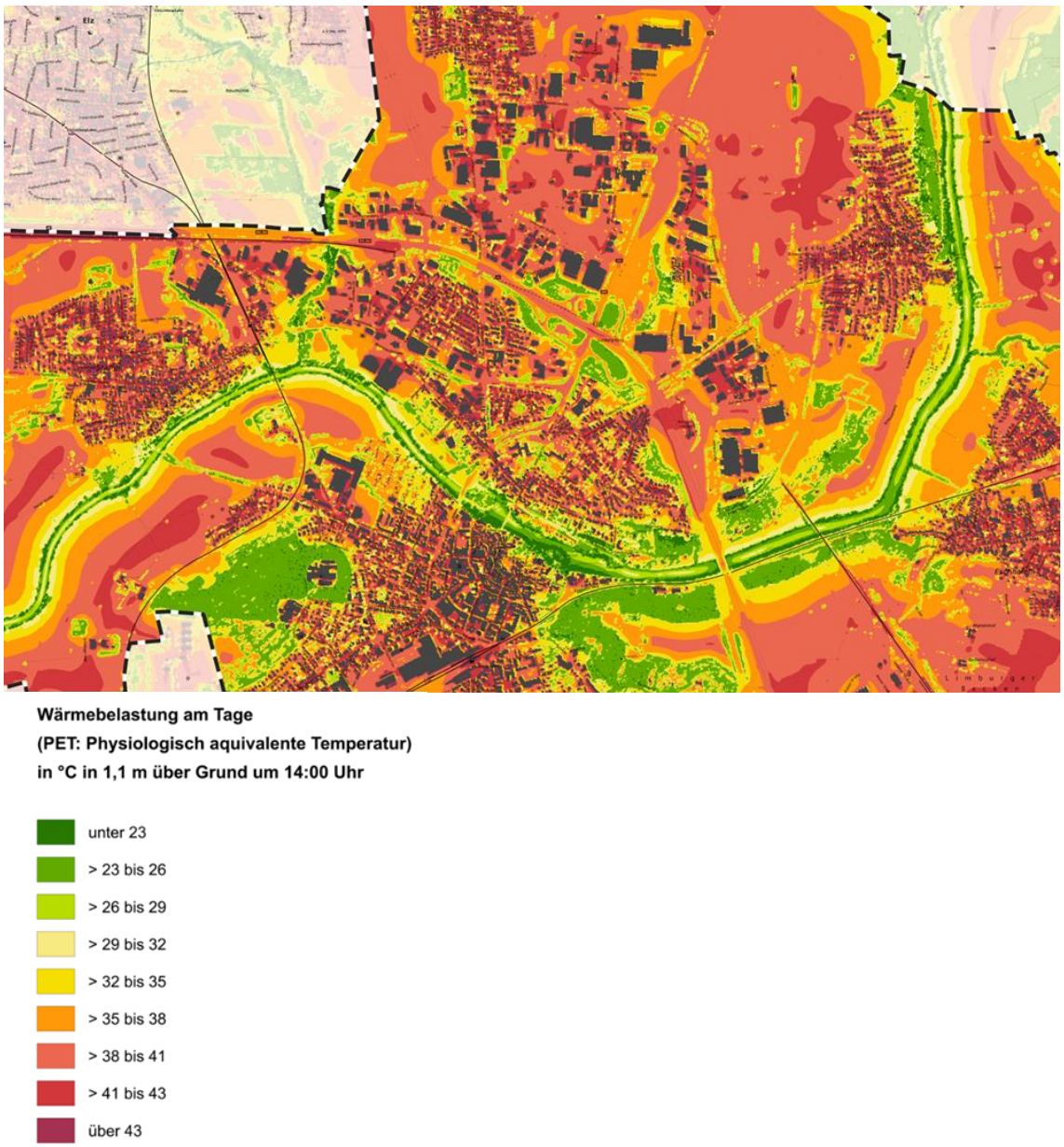

Abbildung 2: Klimaanalysekarte für die Tagsituation (Kartenausschnitt) im Status quo. Darstellung anhand der PET (physiologisch äquivalente Temperatur).

Klimaanalysekarte für die Nachsituation

Die Klimaanalysekarte fasst die wesentlichen Aussagen der meteorologischen Parameter für die Nachtsituation in einer Karte zusammen und präzisiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten.

In der Klimaanalysekarte der Nachtsituation sind für die Grün- und Freiflächen die Modellergebnisse des Kaltluftvolumenstroms in abgestufter Flächenfarbe dargestellt. Bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen steht dagegen der Wärmeinseleffekt im Vordergrund aufgrund der Überwärmung des Siedlungsraums gegenüber dem Umland[5]. Zudem bildet eine Pfeilsignatur das bodennahe Strömungsfeld ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s ab. Das Strömungsfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der A0-Karte auf eine Auflösung von 100 m aggregiert, sodass kleinräumige Windsysteme aus der Karte nicht ersichtlich werden, z.B. die Kanalisierung von Winden in schmalen Straßenabschnitten. **Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in der Karte besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, die in Limburg eine wichtige Rolle spielen:**

Kaltluftleitbahnen =	Die Kaltluftleitbahnen verbinden die Kaltluftentstehungsgebiete mit den wärmebelasteten Bereichen im Siedlungsgebiet und erleichtern das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung zur Kühlung dieser Bereiche. Kaltluftleitbahnen weisen eine linienhafte Struktur auf, da sie in ihrer Breite durch Strukturen wie Bebauung oder durch die Topografie begrenzt sind.
Kaltluftabflüsse =	Anders als die Kaltluftleitbahnen sind flächenhafte Kaltluftabflüsse 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 vom Umland in den Siedlungsraum durch eine aufgelockerte Bauweise und hindernisarme Strukturen am Siedlungsrand (Grünflächen, teilweise auch breitere Straßen).
Parkwinde =	Bei Parkwinden handelt es sich um kühlende Ausgleichströmungen aus einer umbauten Grünfläche, von der aus Kaltluftflüsse in umliegende, wärmere Siedlungsgebiete fließen.
Kaltluftabfluss innerorts =	Innerhalb geschlossener Siedlungen auftretende Kaltluftabflüsse, die über innerstädtischen Grün- und Freiflächen entstehen.
Kaltluftentstehungsgebiete =	Grün- und Freiflächen mit einer überdurchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate, d.h. einer stündlichen Kaltluftproduktion von über 28,97 Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter und Stunde [m^3/m^2*h].

[5] Alternativ zur nächtlichen Überwärmung kann auch die Lufttemperatur im Siedlungsraum um 04:00 Uhr dargestellt werden. Diese zeigt die absoluten Temperaturwerte und erlaubt den Vergleich verschiedener Gemeinden und Städte untereinander.

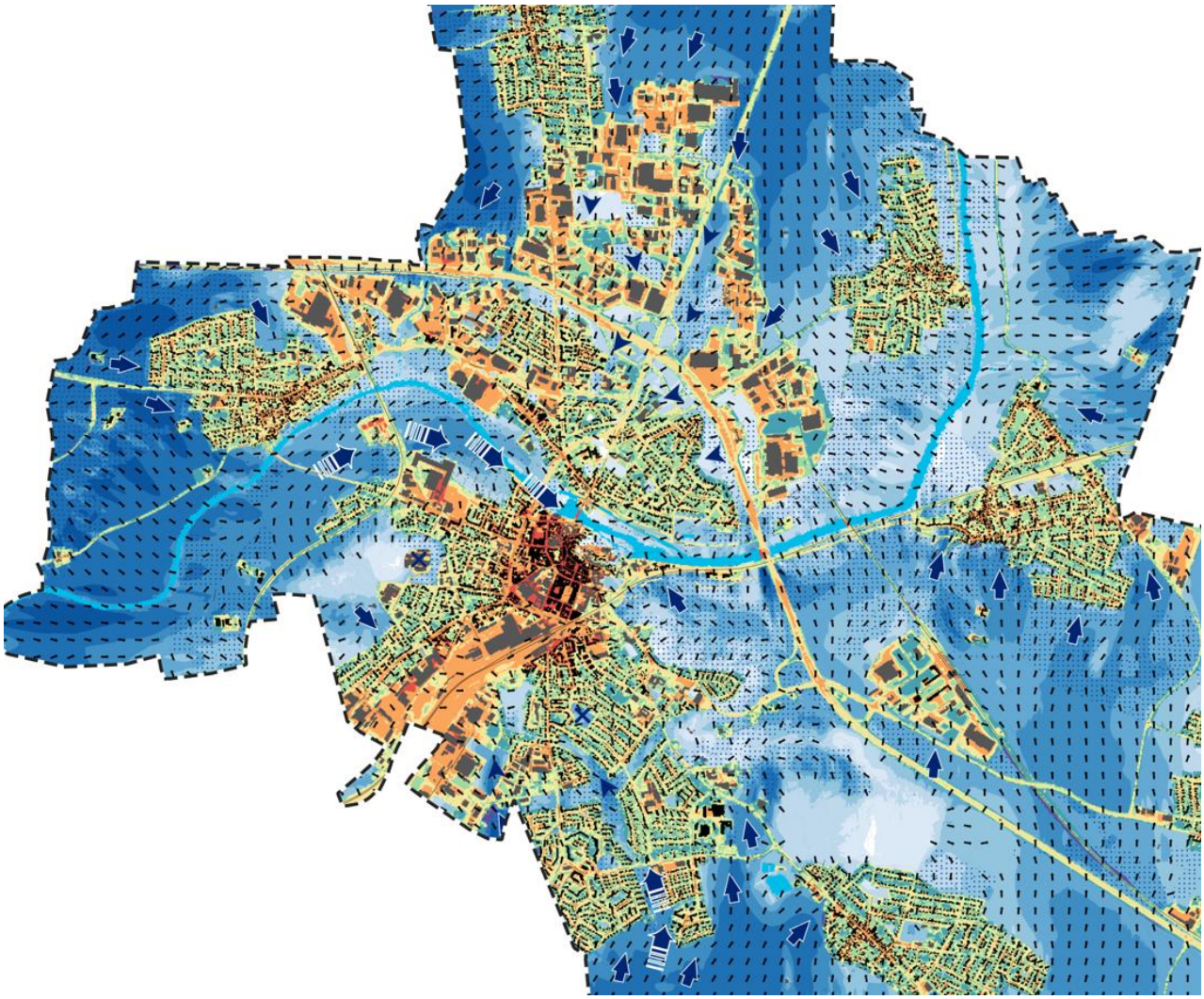

Abbildung 3: Klimaanalysekarte der Nachtsituation (Kartenausschnitt) im Status quo.

Verwendung in der Planung

Die Klimaanalysekarte Nacht hilft beim Verständnis des nächtlichen Kaltluftaustausches. Beispielsweise lassen sich mit der Klimaanalysekarte wichtige Kaltluftleitbahnen identifizieren, die es zu sichern gilt.

Die Klimaanalysekarte gibt eine quantitative Abschätzung zu folgenden planerischen Fragestellungen:

- Wie hoch ist der Wärmeinseleffekt?
- Wie groß ist der Kaltluftvolumenstrom?
- Welche Strömungsgeschwindigkeit haben die Kaltluftabflüsse?

In der rasterbasierten Karte treten kleinräumige Unterschiede deutlich hervor und Einzelgebäude und Baumgruppen sind gut erkennbar, weshalb sie sich für die Detailplanung auf der Baublockebene eignet.

BEWERTUNGSANALYSE UND PLANUNGSHINWEISKARTE

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung und daraus abgeleiteten Klimaanalysekarten für die Tag- und Nachsituation bilden das klimatische Prozessgeschehen in Limburg ab und stellen die Basis der Stadtklimaanalyse dar. Darauf baut die **Planungshinweiskarte auf und ist damit das zentrale Element der Analyse. Sie bewertet sämtliche Flächen im Stadtgebiet hinsichtlich der Handlungspriorität für Anpassungsmaßnahmen im Siedlungsraum sowie des stadtklimatischen Schutzbedarfs von Grün- und Freiflächen**. Die Bewertungen beruhen auf den stadtklimatischen Funktionen, ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen. D.h. die Planungshinweiskarte stellt aus klimafachlicher Sicht gewonnenes Abwägungsmaterial dar.

Bewertungskarten

Die Erstellung der Planungshinweiskarte (PHK) erfolgte schrittweise. Zunächst wurden sechs Bewertungskarten erstellt, bei denen jeweils die Tag- und Nachtsituation im Status quo sowie in den beiden Klimawandelszenarien stadtklimatisch bewertet wurden.

In den *Bewertungskarten zur Nacht-Situation* orientiert sich die Bewertung der Grünflächen an ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt in Limburg (s. Abbildung 4). Besonders wichtigen Kaltluftprozessen, wie Kaltluftleitbahnen und Kaltluftabflüssen, werden die höchsten bioklimatischen Bedeutungen zugeschrieben. **Dabei bekommen Grün- und Freiflächen im Umfeld von Wohngebieten eine höhere Wertigkeit** als im Umfeld von Gewerbegebieten, da in der Nacht die Möglichkeit eines erholsamen Schlafs im Vordergrund steht. Siedlungsferne Grünflächen ohne relevante Klimafunktionen sind aus stadtklimatischer Sicht von geringerer Bedeutung.

Die Bewertung des Siedlungsraums basiert auf der nächtlichen Überwärmung, so dass dicht bebaute und/oder hochversiegelte Bereiche (sehr) ungünstigste Bedingungen aufweisen, z.B. in der Altstadt oder in Gewerbegebieten.

Bei der Bewertung des Siedlungsraums ist zu beachten, dass damit die **relativen Unterschiede** in Limburg 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.

Wie beschrieben liegt der Fokus in den Bewertungskarten auf Wohngebieten. Doch auch Gewerbegebiete werden bewertet, da es sich meist um große Flächen handelt, die teilweise in direkter Nachbarschaft zu Wohngebieten liegen oder es handelt sich um Mischgebiete mit beiden Nutzungen. Zudem werden der Straßenraum bzw. Stadtplätze bewertet, lediglich der Schienenverkehr ist ausgenommen. Die klimatischen Effekte von Verkehrsräumen werden zusätzlich durch das Modell berücksichtigt, etwa die Wärmespeicherung am Tag und die Wärmeabgabe in der Nacht. Das bedeutet, ein Wohngebiet neben einer großen Straße ist wärmer als ein Wohngebiet an einer Grünfläche.

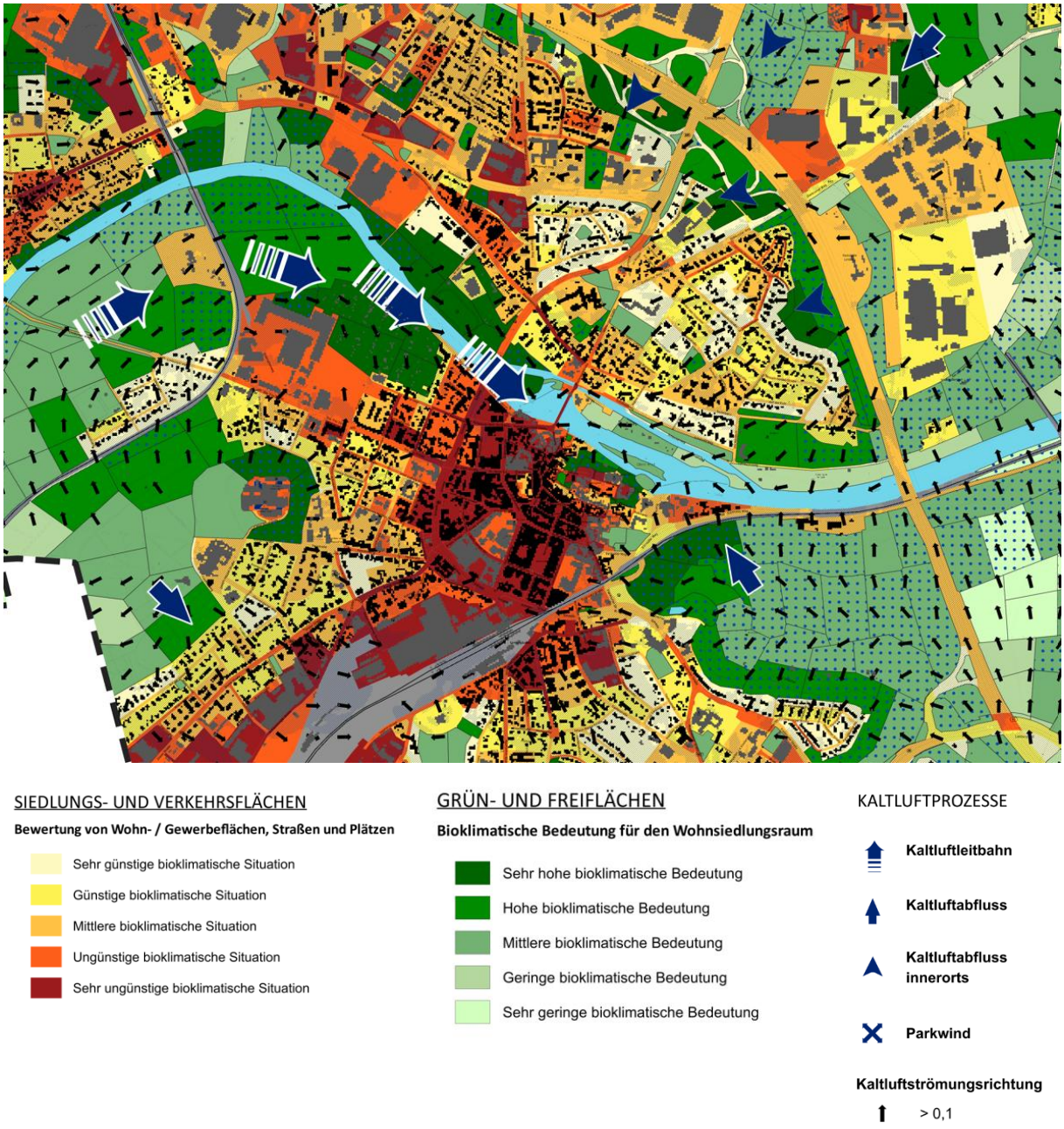

Abbildung 4: Bewertungskarte der Nachtsituation (Kartenausschnitt) im Status quo.

Die *Bewertungskarten zur Tag-Situation* betrachten die Wärmebelastung außerhalb von Gebäuden. Dabei sind Wohn- und Gewerbegebiete gleichermaßen von Bedeutung. Zudem rücken der Straßenraum für Wegebeziehungen sowie die Aufenthaltsqualität auf Plätzen und Grünflächen in den Vordergrund (s. Abbildung 5).

Die Wärmebelastung hängt wesentlich von der Verschattung ab, sodass sich gerade bei Grün- und Freiflächen teilweise konträre Bewertungen zwischen Tag- und Nachtsituation ergeben. Eine Freifläche kühlt in der Nacht stark aus, weist an Sommertagen ohne Bewölkung aber eine hohe Wärmebelastung auf, wenn keine Bäume vorhanden sind. Demgegenüber ist die Aufenthaltsqualität in Wäldern und baumbestandenen Parks auch an Sommertagen sehr hoch.

Im Siedlungsraum zeigt sich eine heterogene Verteilung der Wärmebelastung. Die ungünstigsten Bedingungen treten an versiegelten Orten ohne Verschattung auf, wie sie teilweise innerstädtisch in der Altstadt sowie in vielen Gewerbegebieten zu finden sind. Auch in umliegenden Stadtteilen kann in manchen Bereichen eine hohe Wärmebelastung vorliegen. Wohngebiete außerhalb der Kernstadt bieten zum Teil einen hohen Grünanteil und weisen damit in der Nacht überwiegend günstige Bedingungen auf. Dennoch gibt es gerade in manchen Gärten einen geringeren Bestand alter, großkroniger und damit schattenspendender Bäume, was sich ungünstig auf die Bewertung der Tagsituation auswirkt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass in den Gärten der Einfamilien- und Reihenhausgebiete in den Außenstadtteilen ein kleiner Baum und/oder eine Markise ausreichen können, um den Bewohnenden kleinräumig Verschattung zu bieten. Daraus ergibt sich jedoch mitunter ein nur geringer Effekt auf die Modellergebnisse, da das Modell Markisen und kleinkronige Bäume aufgrund ihrer zu geringen Größe nicht erfassen kann.



Abbildung 5: Bewertungskarte der Tagsituation (Kartenausschnitt) im Status quo.

Planungshinweiskarte Stadtklima

Anhand der Bewertungskarten konnte eine Einschätzung der klimatischen Situation flächenbezogen für die Tag- und die Nachtsituation erzeugt werden. Die Bewertungskarten beinhalten damit die ausführlichen Informationen, die in der Planungshinweiskarte zusammengefasst werden. Es wird dabei u.a. zwischen Wirkraum und Ausgleichsraum unterschieden. Ein Wirkraum ist ein bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann. Ein Ausgleichsraum ist dagegen eine grün geprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkraum angrenzt oder mit diesem über Kaltluftleitbahnen bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. **So können Handlungsbedarfe im Wirkraum oder Schutzbedarfe im Ausgleichsraum festgelegt werden und zielgerichtete Maßnahmen in Bezug auf das Kaltluftprozessgeschehen (Nacht) und den Aufenthaltskomfort im Freien (Tag) entwickelt werden.**

Die Planungshinweiskarte Stadtklima fasst die Ergebnisse der Bewertungskarten zusammen, sodass auf den ersten Blick ersichtlich wird, **welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben und wo in Limburg Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung (v. a. in Bezug auf Hitze) vorrangig umgesetzt werden sollten.**

Der sogenannte Wirkraum, der Wohn- und Gewerbeflächen sowie den öffentlicher Straßenraum umfasst, stellt die *stadtklimatische Handlungspriorität* dar. Die Bewertung beruht in bewohnten Gebieten hauptsächlich auf den Schlafbedingungen mit Blick auf die nächtliche Überwärmung und die Kaltluftfunktion. In unbewohnten Gebieten ist die Aufenthaltsqualität im Außenraum am Tage vorrangig. **Die Handlungsprioritäten sollen eine Hilfestellung geben, in welchen Flächen Maßnahmen zur stadtklimatischen Anpassung besonders wichtig und bevorzugt anzugehen sind**, ohne dass dadurch eine Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung in den einzelnen Flächen vorgeschrieben wird (siehe folgende Tabelle). Mit „klimaökologischen Standards“ sind u.a. eine geringe Versiegelung, das Einplanen von Bäumen mit ausreichend Wurzelraum und eine Dachbegrünung gemeint. Zu den darüberhinausgehenden „optimierenden Maßnahmen“ zählen je nach Vorhaben bspw. das Freihalten von Durchlüftungsachsen, eine Fassadenbegrünung oder die stadtklimatische Aufwertung öffentlicher Räume durch Bäume, Sonnensegel und Fontänen bzw. Brunnen und damit die Schaffung zugänglicher kühler Orte.

	Bewertung im Wirkraum	Planungshinweise
	Handlungspriorität 1	Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation[6] sind bei allen baulichen Entwicklungen[7], Nachverdichtungen und Sanierungen umzusetzen. Dies gilt auch für Neubau und Sanierungen von Straßen, Plätzen und Wegen. Im Bestand ist die Möglichkeit entsprechender Maßnahmen (z.B. klimagerechte Gebäudekühlung[8]) zu prüfen.
	Handlungspriorität 2 – 3	Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind bei allen baulichen Entwicklungen, Nachverdichtungen und Sanierungen umzusetzen. Dies gilt auch für Neubau und Sanierung von Straßen, Plätzen und Wegen.
	Handlungspriorität 4 – 5	Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind bei allen baulichen Entwicklungen, Nachverdichtungen und Sanierungen zu prüfen. Dies gilt auch für Neubau und Sanierung von Straßen, Plätzen und Wegen.

[6] Bioklimatische Situation: Einstufung der Wärmebelastung für den Menschen (von sehr günstig bis sehr ungünstig).

[7] Bauliche Entwicklungen: Umbau/ Modernisierung, Sanierung/ Instandsetzung, Erweiterung/ Nachverdichtung, Nutzungsänderung, Quartiersentwicklung.

[8] Klimagerechte Gebäudekühlung: Verschattung der Fassade durch Bäume, Fassadenbegrünung, techn. Verschattung; (automatisierte) Nachtlüftung; aktive Kühlung mit erneuerbaren Energien

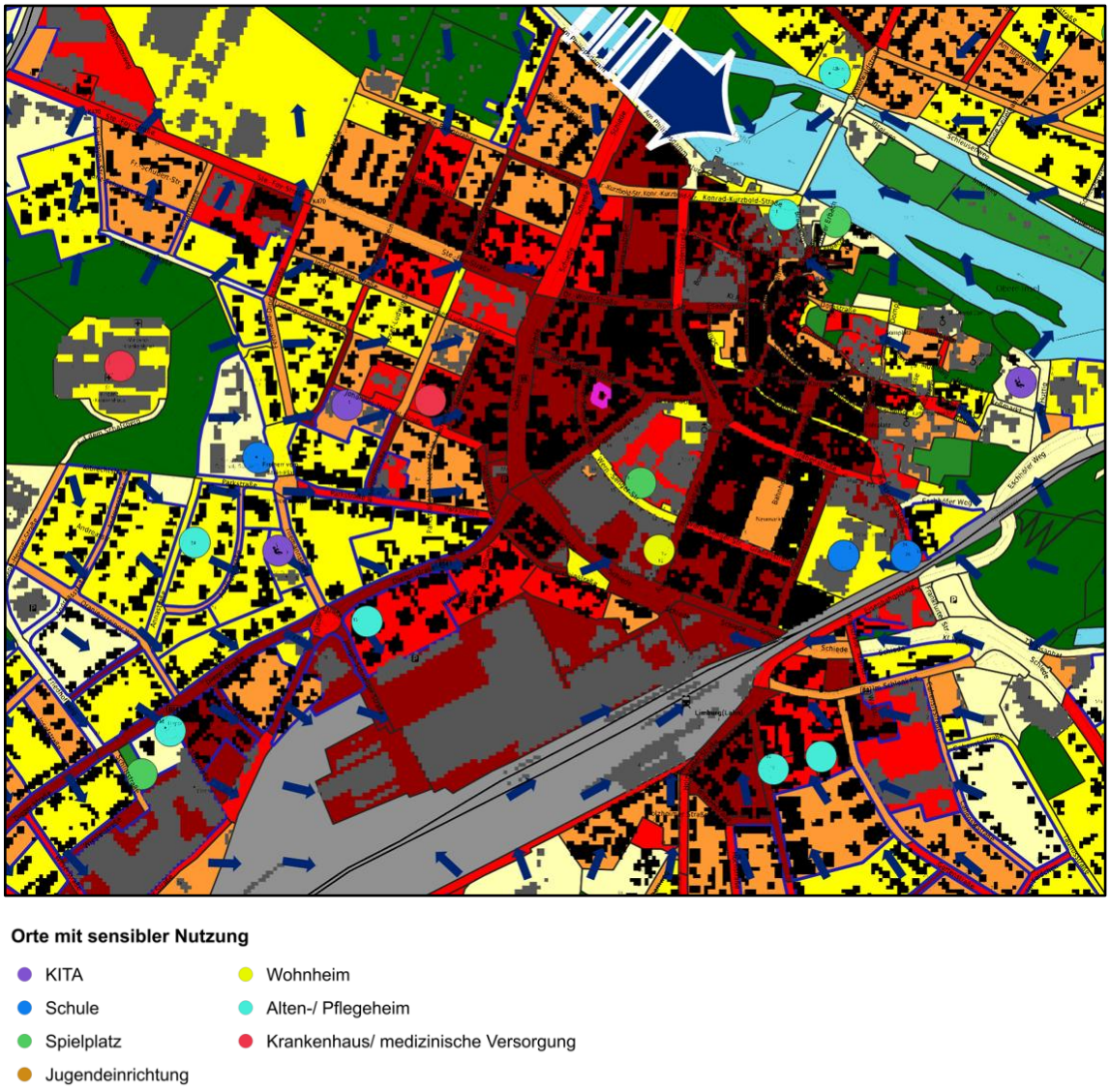

Abbildung 6: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt) mit Handlungsprioritäten im Wirkraum (Siedlungsgebiet).

Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen und Wälder sind stadtklimatische Ausgleichsräume. Die Planungshinweiskarte gibt den ***stadtklimatischen Schutzbedarf*** dieser Flächen anhand ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt bzw. als Rückzugsorte an heißen Tagen wieder. **In Abhängigkeit vom Schutzbedarf der Flächen ist deren stadtklimatische Funktion bei geplanten Entwicklungen zu prüfen – bei einem sehr hohen Schutzbedarf wird eine Entwicklung bspw. nur dann als stadtklimaverträglich gewertet, wenn ein Nachweis über die Erhaltung der jeweiligen Funktion erfolgt.**

	Bewertung im Ausgleichsraum	Planungshinweise
	Schutzbedarf Kategorie 1	Bei Eingriffen in die Fläche ist die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion nachzuweisen (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung). Bauliche Entwicklungen sind klimafachlich zu begleiten[9]. Je nach Art, Lage und Größe des Vorhabens ist dies über eine fachliche Stellungnahme oder modellhafte Untersuchung sicherzustellen.
	Schutzbedarf Kategorie 2	Bei Eingriffen in die Fläche ist auf die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion zu achten (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung). Bei baulichen Entwicklungen ist eine klimafachliche Einschätzung[10] erforderlich. Je nach Art, Lage und Größe des Vorhabens kann hierfür eine klimafachliche Begleitung mit ggf. modellhafter Untersuchung erforderlich sein.
	Schutzbedarf Kategorie 3	Bei Eingriffen in die Fläche ist auf die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion zu achten (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung). Bei baulichen Entwicklungen ist eine klimafachliche Begleitung anzustreben.
	Kein besonderer Schutzbedarf	Keine besondere stadtklimatische Funktion für den derzeitigen Siedlungsraum.

[9] Klimafachliche Begleitung: Bestandsanalyse, Analyse des Planvorhabens, Maßnahmenempfehlung zur Klimaanpassung

[10] Klimafachliche Einschätzung: Erste Einschätzung klimarelevanter Auswirkungen, grobe Empfehlung oder Hinweise



Abbildung 7: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt). Schutzbedarfe im Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen).

Maßnahmen zur Klimaanpassung

Für die im Rahmen der PHK flächenkonkret definierten Handlungsprioritäten im Wirkraum und Schutzbedarfe im Ausgleichsraum sollten geeignete Maßnahmen zugeordnet und angewandt werden, um die thermische Belastung im Siedlungsraum zu reduzieren und Klimafunktionen zu erhalten bzw. zu stärken.

Die Auswahl bestimmter Maßnahmensets aus dem Portfolio der 21 Einzelmaßnahmen hängt vom Flächentyp und den Bewertungen in der Planungshinweiskarte bzw. den Bewertungskarten ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt, Aufenthaltsqualität). Die Maßnahmen sind stichpunktartig und durch Bilder illustriert im Maßnahmenkatalog beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

Maßnahmencluster I	Thermisches Wohlbefinden im Außenraum
Maßnahmencluster II	Verbesserung der Durchlüftung
Maßnahmencluster III	Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum

Der vollständige Maßnahmenkatalog kann dem Bericht zur Stadtklimaanalyse entnommen werden (GEO-NET 2026: Stadtklimaanalyse Limburg an der Lahn).

Verwendung bei Planungsvorhaben der Stadtverwaltung sowie durch die Öffentlichkeit

Aus der Planungshinweiskarte lassen sich planerische Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherung der klimatischen Situation eines Gebiets bzw. Grundstücks ableiten. Sie stellt damit eine wichtige Grundlage z.B. im Rahmen der zukünftigen Siedlungsentwicklung und Bauleitplanung sowie bei der konkreten Umgestaltung öffentlicher Flächen der Stadtverwaltung dar, kann jedoch auch durch Bürgerinnen und Bürger herangezogen werden, um geeignete Maßnahmen für ihre Grundstücke abzuleiten[11].

Die Karte ermöglicht eine Einschätzung, **wo die Überwärmung im Stadt- bzw. Planungsgebiet besonders hoch ist** und dementsprechend Maßnahmen zur Hitzereduktion notwendig sind. Sinnvolle Maßnahmen sind z.B. Begrünung, Entsiegelung, Beachtung der Baukörperstellung und Beschattung durch Bäume. **Die Karte hilft zudem dabei, Grün- und Freiflächen zu identifizieren**, die aufgrund ihrer Funktion für das nächtliche Kaltluftgeschehen und der Hitzeminderung am Tage und in der Nacht planerisch gesichert werden sollten, da sie z.B. Teile einer Kaltluftleitbahn sind. **Zur Auswahl geeigneter Maßnahmen wird die hierarchische Nutzung des Gesamtkartenwerks von der PHK über die Klimaanalysekarten für die Tag- und Nachsituation und die Einzelparameterkarten für das nächtliche Temperaturfeld (T04) sowie das nächtliche Windfeld (WG) jeweils in 2 m Höhe empfohlen, die alle digital im verwaltungsinternen Geoportal eingepflegt werden sollen, sowie für die Öffentlichkeit nach dem entsprechenden Beschluss durch die Stadtverordnetenversammlung einsehbar sind.**

April 2026, GEO-NET Umweltconsulting (Hannover)

[11] Weiterführende Informationen für Bürgerinnen und Bürger:
https://www.abwasser-beratung.nrw/sites/default/files/2023-05/230510_broschuere_entsiegelung_web.pdf
Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen | Deutsches Institut für Urbanistik (difu.de)
schleswig-holstein.de - Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur - Neuauflage des Förderprogramms „Klimaschutz für Bürgerinnen und Bürger“