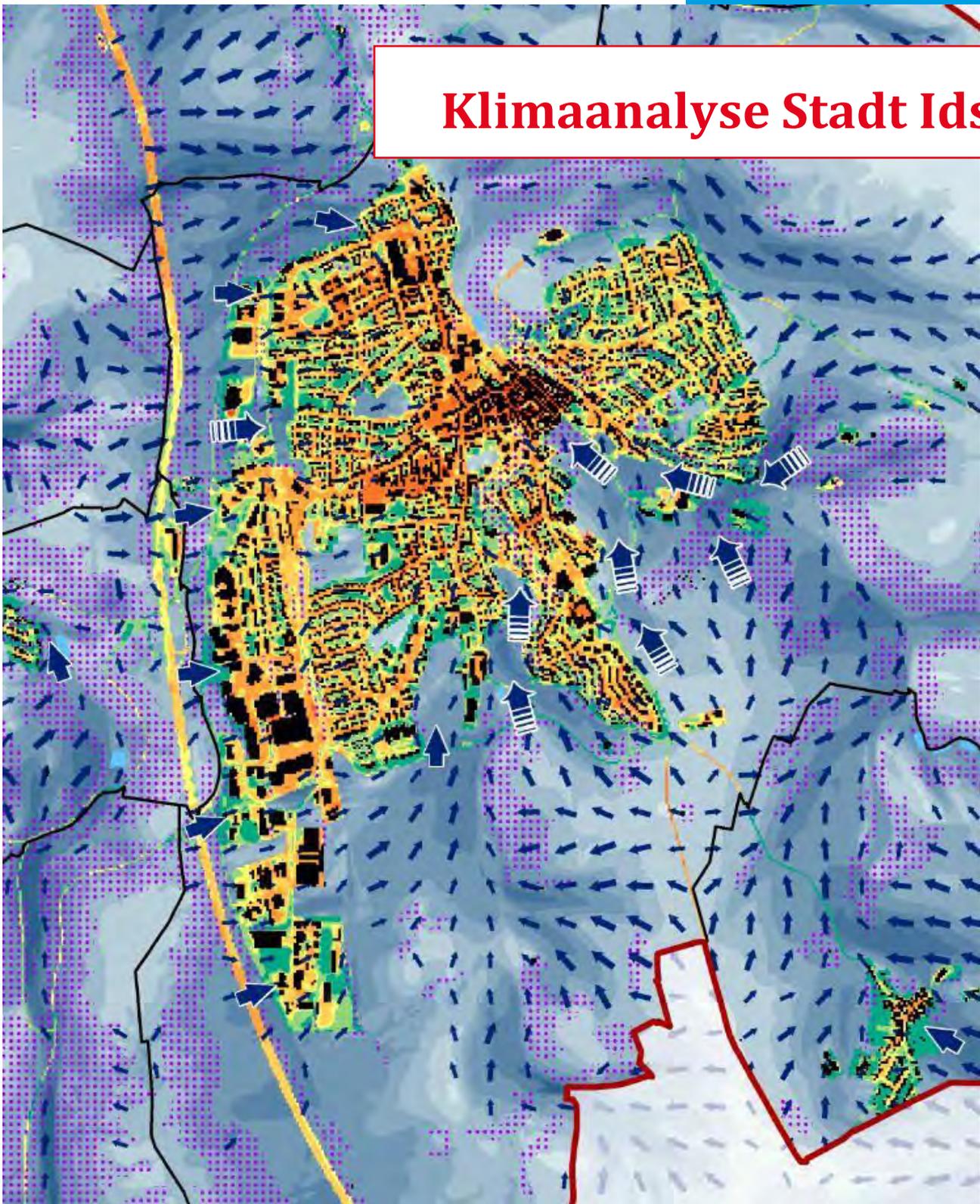


# Klimaanalyse Stadt Idstein



Erstellt von:  
**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**, Hannover



Im Auftrag der  
**Stadtverwaltung Idstein**  
Bau- und Planungsamt  
König-Adolf-Platz 2  
65510 Idstein



**Juni 2021**



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	II
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	III
<b>Glossar</b> .....	IV
<b>1. Aufgabenstellung</b> .....	1
<b>2. Fachliche und klimatische Grundlagen</b> .....	2
2.1. Aktuelles Klima in Idstein .....	2
2.2. Der Wärmeineleffekt .....	3
2.3. Autochthone Wetterlage.....	4
<b>3. Angewendete Methoden</b> .....	6
3.1. Numerische Modellrechnung .....	6
3.2. Eingesetztes Stadtklimamodell.....	7
3.3. Modelleingangsdaten.....	7
3.4. Untersuchungsgebiet .....	9
3.5. Herausforderungen und Unsicherheiten .....	9
<b>4. Modellierte Klimaparameter und Klimaanalysekarte</b> .....	11
4.1. Nachtsituation .....	11
4.1.1. Nächtliches Temperaturfeld.....	11
4.1.2. Kaltluftprozessgeschehen .....	13
4.1.3. Klimaanalysekarte der Nachtsituation.....	17
4.2. Tagsituation .....	20
<b>5. Planungshinweise</b> .....	22
5.1. Bewertungsmethodik .....	22
5.1.1. Standardisierung der Klimaparameter (z-Transformation).....	22
5.1.2. Bewertung von Siedlungs- und Verkehrsflächen (Wirkungsraum) .....	23
5.1.3. Bewertung von Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum) .....	25
5.2. Planungshinweiskarte .....	27
5.3. Maßnahmen und ihre Wirkungen.....	32
5.4. Maßnahmenkatalog .....	34
5.5. Hinweise zur Notwendigkeit und Umsetzung der Maßnahmen .....	38
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	41
<b>7. Literatur</b> .....	44
<b>Anhang</b> .....	45



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prozessorientierte Analyse .....	1
Abbildung 2: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Idstein für den Zeitraum 1881 bis 2019. ....	2
Abbildung 3: Prinzipskizze Flurwind .....	3
Abbildung 4: Maximale Wärmeinselintensitäten in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für ausgewählte Städte .....	4
Abbildung 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen .....	5
Abbildung 6: Auftrittshäufigkeiten von autochthonen Nächsten anhand der DWD-Station Frankfurt-Flughafen .....	6
Abbildung 7: Rasterhafte Darstellung der Geländehöhe für das Idsteiner Stadtgebiet (roter Kasten).....	8
Abbildung 8: Rasterhafte Landnutzungsklassifizierung in 10 Klassen für das Idsteiner Stadtgebiet (Ausschnitt Kernstadt).....	8
Abbildung 9: Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Lufttemperatur im Idsteiner Stadtgebiet.....	12
Abbildung 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom .....	13
Abbildung 11: Rasterbasierte Darstellung des modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Idsteiner Stadtgebiet.....	14
Abbildung 12: Rasterbasierte Darstellung des modellierten bodennahen Windfeldes im Idsteiner Stadtgebiet.....	15
Abbildung 13: Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Kaltluftproduktionsrate im Idsteiner Stadtgebiet.....	16
Abbildung 14: Klimaanalysekarte zur Nachtsituation für einen Ausschnitt der Idsteiner Kernstadt (gekürzte Legende).....	17
Abbildung 15: Rasterbasierte Darstellung der Wärmebelastung am Tag anhand der PET für das Idsteiner Stadtgebiet. ....	20
Abbildung 16: z-Transformation zur Standardisierung der vergleichenden Bewertung von Parametern.....	22
Abbildung 17: Bewertungsschema des bewohnten Siedlungsraums (Schlafumfeld). ....	24
Abbildung 18: Bewertungsschema des unbewohnten Siedlungsraums (Arbeitsumfeld).....	25
Abbildung 19: Bewertungsschema des Ausgleichsraums. ....	26
Abbildung 20: Ausschnitt der Planungshinweiskarte für den Bereich der Idsteiner Kernstadt (gekürzte Legende).....	28



## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einordnung der nächtlichen thermischen Belastung im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation .....	23
Tabelle 2: Einordnung der Wärmelastung am Tage im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation .....	24
Tabelle 3: Ausgleichsraum: Flächenanteile und allgemeine Planungshinweise .....	29
Tabelle 4: Wirkungsraum: Flächenanteile und allgemeine Planungshinweise zum Siedlungs- und Verkehrsraum.....	30
Tabelle 5: Tabellarischer Maßnahmenkatalog zur Klimaanalyse Idstein. ....	33



## GLOSSAR

**Albedo:** Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung). Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Lichtmenge. Die Albedo ist abhängig von der Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung.

**Allochthone Wetterlage:** Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert. Die allochthone Wetterlage ist das Gegenstück zur → *autochthonen Wetterlage*.

**Ausgleichsraum:** Grüngestaltete, relativ unbelastete Freifläche, die an einen → *Wirkungsraum* angrenzt oder mit diesem über → *Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Wärmebelastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

**Austauscharme Wetterlage:** → *Autochthone Wetterlage*

**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. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können. In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagernde Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld, das entsprechend sensibel auf Hindernisse reagiert. Tagsüber sind die Verhältnisse weniger stabil.

**Bioklima:** Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima).

**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).

**Grünfläche:** Als „Grünfläche“ werden in dieser Arbeit unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung diejenigen Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal ca. 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

**Kaltluft:** Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003).

**Kaltluftaustauschbereich:** Ein Kaltluftaustauschbereich findet sich dort wieder, wo ausgehend von einem Ausgleichsraum ein flächenhaftes Einwirken von Kaltluft in einen Wirkraum stattfinden kann. Voraussetzungen hierfür sind eine auf den Wirkraum gerichtete Kaltluftströmung (Kaltluftabfluss) sowie eine möglichst geringe Barrierewirkung des Siedlungsrandes.

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



**Kaltluftentstehungsgebiete:** Bei Kaltluftentstehungsgebieten handelt es sich um grüngerprägte Ausgleichsräume bzw. Grünflächen. Diese zeichnen sich durch eine für Grünflächen überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate aus. Die höchsten Kaltluftproduktionsraten finden sich in der Regel im Bereich offener Grünflächen (Äcker, Wiesen) mit einem geringen Baumanteil, da Bäume durch ihr Kronendach der nächtlichen Ausstrahlung entgegenwirken und somit die Neubildung von Kaltluft bremsen.

**Kaltluftleitbahnen:** Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete ( $\rightarrow$  *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche ( $\rightarrow$  *Wirkungsräume*) miteinander und sind mit ihren hohen  $\rightarrow$  *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:** Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der  $\rightarrow$  *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit  $\text{m}^3/\text{s}$ ). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an  $\rightarrow$  *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer  $\rightarrow$  *Kaltluftleitbahn* fließt. Der in dieser Arbeit modellierte Kaltluftvolumenstrom bezieht sich auf einen 1 m breiten Querschnitt und repräsentiert damit streng genommen eine Kaltluftvolumenstromdichte (Einheit  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ). Zur Vereinfachung wurde in diesem Bericht jedoch auch für die Kaltluftvolumenstromdichte der Begriff „Kaltluftvolumenstrom“ verwendet. Anders als das  $\rightarrow$  *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

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

**NEWA** (New European Windatlas): Im Neuen Europäischen Windatlas wurden mithilfe eines Wettermodells die Windverhältnisse der zurückliegenden 30 Jahre über ganz Europa mit einer Auflösung von drei Kilometern nachsimuliert. Der Atlas liefert für jeden Punkt in der EU Informationen über das langjährige Windklima. Er stellt unter anderem interaktive Karten, Zeitreihen sowie Statistiken von Windgeschwindigkeit und anderen windenergierelevanten Parametern in verschiedenen Höhen bereit.

**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 und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

**Planungshinweiskarte:** Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen im Stadtgebiet ( $\rightarrow$  *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als  $\rightarrow$  *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.

**Strömungsfeld:** Für den Analysezeitpunkt 04:00 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der Winde in 2 m über Grund während einer  $\rightarrow$  *autochthonen Wetterlage*.

**Synoptischer Wind:** Großräumige, in der Regel über längere Zeiträume anhaltende Winde (z.B. Rheintalwind), die das Klima einer Region prägen. Synoptische Winde entstehen nur bei bestimmten Wetterlagen und grenzen sich von tagesperiodischen Winden ab, welche sich aller 24 Stunden mehr oder weniger intensiv wiederholen (z.B. Flurwinde).

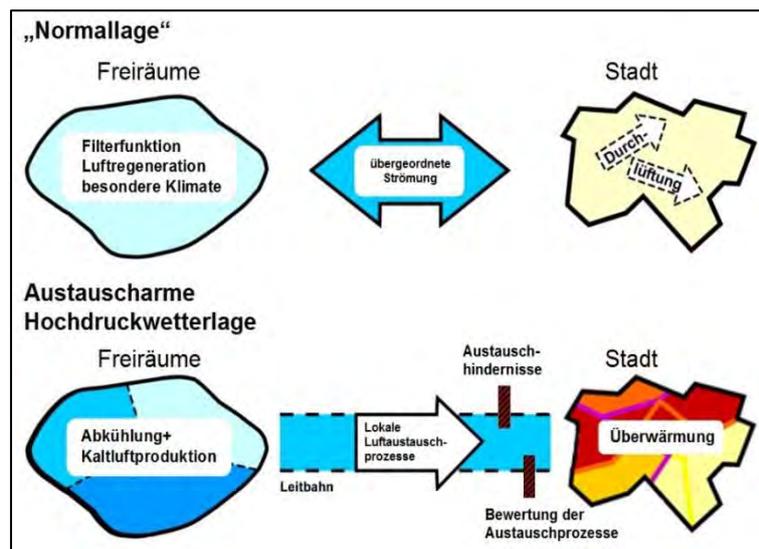
**Wirkungsraum:** Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.

**z-Transformation:** Umrechnung zur Standardisierung einer Variablen, sodass der arithmetische Mittelwert der transformierten Variable den Wert Null und ihre Standardabweichung den Wert Eins annimmt. Dies wird erreicht, indem von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und anschließend durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Dadurch nehmen Abweichungen unterhalb des Gebietsmittels negative und Abweichungen oberhalb des Gebietsmittels positive Werte an, die in Vielfachen der Standardabweichung vorliegen. Die Form der Verteilung bleibt dabei unverändert.



## 1. AUFGABENSTELLUNG

Die Schutzgüter Klima bzw. Luft sind wichtige Aspekte der räumlichen Planung und Bestandteile der Abwägung in der Nutzungsplanung, Umweltverträglichkeitsprüfung und bei Maßnahmen in der Bestandsbebauung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieser Schutzgüter. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas sowie der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse und die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.



**Abbildung 1: Prozessorientierte Analyse.**

Im Auftrag des Bau- und Planungsamtes der Stadt Idstein wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover, Deutschland) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet Idstein durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen (auch autochthone Wetterlagen genannt), die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergehen. Technisch ermöglichen nur solche Wetterlagen eine Analyse der lokalklimatischen Situation, da übergeordnete Wetterphänomene aufgrund von großräumigen Luftdruckdifferenzen die zu analysierenden lokalen Phänomene nicht überlagern. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen (Abbildung 1).

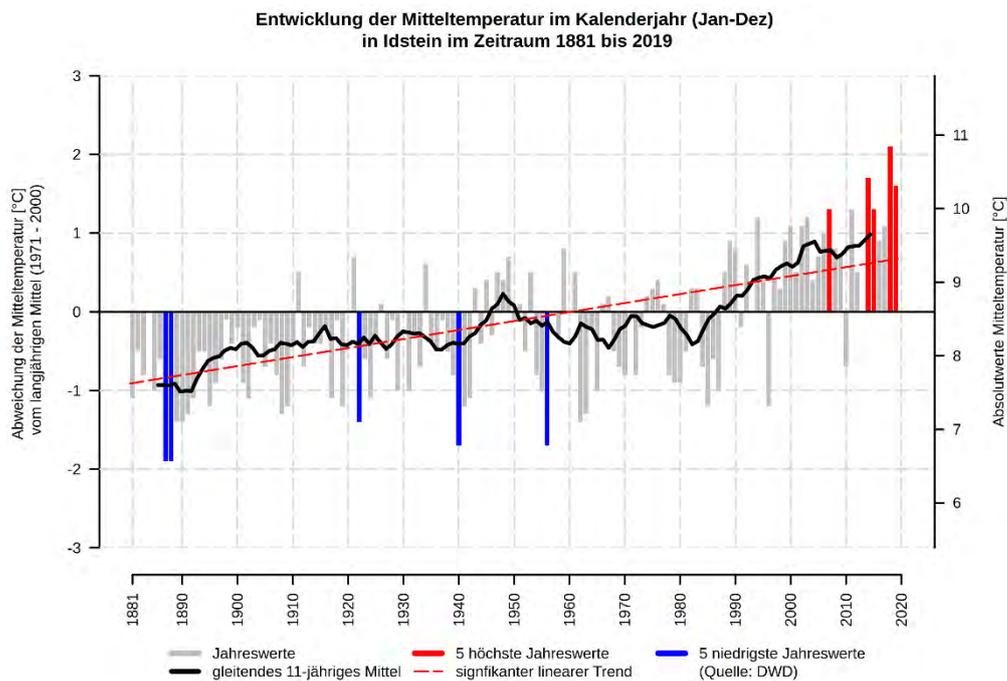
Wesentliches Ziel der Analyse ist, mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) und den aus der Klimaanalyse gewonnenen Ergebnissen eine umfassende Bestandsaufnahme der klimatischen Situation in der Stadt Idstein durchzuführen. Weiterhin besteht das Ziel, klimaökologisch wichtige und bioklimatisch belastete Raumstrukturen herauszuarbeiten und darzustellen. Im Gegensatz zu punkthaften Messungen liegen mit dem modellgestützten Ansatz flächendeckende Daten zum Kaltlufthaushalt für das gesamte Stadtgebiet vor. Diese erlauben eine optimierte Darstellung der thermischen Belastung und insbesondere des Kaltluftprozessgeschehens in der Nacht. Die Ergebnisse spiegeln neben der Nacht-Situation auch die bioklimatische Belastung am Tage wider.



## FACHLICHE UND KLIMATISCHE GRUNDLAGEN

### 1.1. AKTUELLES KLIMA IN IDSTEIN

In Idstein liegt ein verhältnismäßig günstiges Stadtklima vor. So befindet sich die Kernstadt überwiegend in Tallage innerhalb des Taunus und das Relief ist in weiten Teilen abfallend von West nach Ost bzw. von Süd nach Nord. In Bezug auf den Kaltlufthaushalt sorgen die Hangabwinde der umliegenden Höhenzüge insbesondere in der Nacht für eine kühlende Wirkung. Dies trifft auch auf einen Großteil der weiteren Ortsteile zu, wobei der Ortskern von Walsdorf aufgrund seiner Lage auf einer Anhöhe eine Ausnahme darstellt. Positiv wirkt sich zudem die vergleichsweise geringe Siedlungsgröße aus, da die Kaltluft aus dem Umland so potentiell leichter auch bis in zentrale Siedlungsbereiche einwirken kann.



**Abbildung 2: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Idstein für den Zeitraum 1881 bis 2019.**

Das aktuelle Klima Idsteins wurde anhand der DWD-Station Waldems-Reinborn (Stations-ID 5300) abgeleitet. Diese liegt nordöstlich und in ca. 7 km Luftlinie von der Idsteiner Kernstadt entfernt. Die Auswertung der Stationsdaten ergibt für den Raum Idstein im Zeitraum von 1990 bis 2019 eine langjährige Mitteltemperatur von 9,4 °C (DWD 2020), wobei diese im Zuge des Klimawandels insbesondere seit Anfang der 1980er Jahre deutlich zugenommen hat (Abbildung 2). Sie liegt damit um 0,1 °C über dem deutschlandweiten Mittelwert von 9,3 °C. Der wärmste Monat ist der Juli und der kälteste der Januar. Mit einer langjährigen jährlichen Niederschlagssumme von 816 mm fallen die Jahresniederschläge etwas höher aus als im gesamtdeutschen Durchschnitt mit ca. 793 mm pro Jahr. Die meisten Niederschläge fallen in den Monaten Juni und Juli, wohingegen der Monat Februar im langjährigen Mittel die geringsten Niederschläge aufweist.

Im langjährigen Mittel treten in Idstein 40 Sommertage und 9 heiße Tage pro Jahr auf. Vornehmlich in den Wintermonaten wurden 76 Frosttage und 19 Eistage pro Jahr registriert. Dies unterstreicht die durchschnittliche Lage der Stadt im Vergleich zu den deutschlandweiten mittleren Auftrittshäufigkeiten der betrachteten Ereignistage mit 39 Sommertagen, 9 heißen Tagen, 81 Frosttagen und 19 Eistagen pro Jahr für den Zeitraum von 1990 bis 2019. Im Vergleich zu anderen Städten ist das Klima in Idstein im regionalen Vergleich relativ kühl. So beträgt die langjährige Durchschnittstemperatur in Frankfurt am Main 10,7 °C, in Wiesbaden 10,0 °C



und in Limburg an der Lahn 10,1 °C. Grund für das vergleichsweise kühlere Klima ist die relativ hohe Lage im Taunus sowie der hohe Grünflächenanteil.

## 1.2. DER WÄRMEINSELEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973). Gründe hierfür sind beispielsweise der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenüber steht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als **Städtische Wärmeinsel** bezeichnet. Unter den Rahmenbedingungen einer autochthonen Hochdruckwetterlage kommt es zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen auf, d.h. Luftmassen aus dem Umland können bis in das Stadtgebiet hinein strömen (Flurwinde, Abbildung 3). Dies kann nachts zu einer merklichen thermischen Entlastung führen, wobei die Eindringtiefe der kühleren Umgebungsluft stark von der Hinderniswirkung des Siedlungskörpers beeinflusst wird.

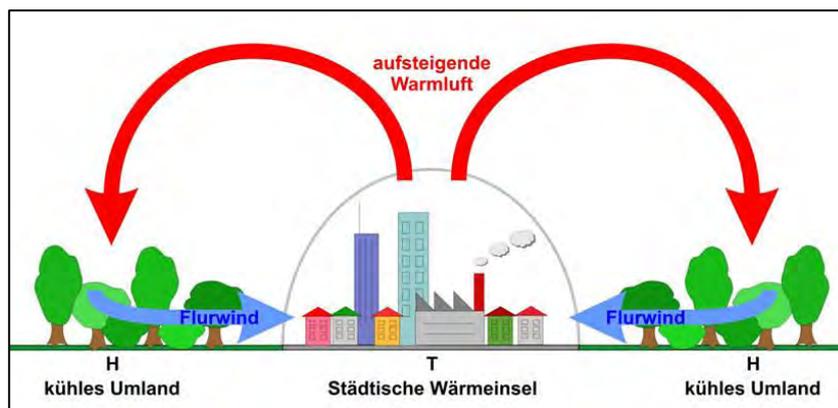


Abbildung 3: Prinzipische Skizze Flurwind

Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht. Sie können jedoch zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht beitragen und eine Verdünnung von Luftschadstoffen bewirken. Nachts dagegen kann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen (und ggf. innerstädtischen) Grünflächen in das wärmere Stadtgebiet strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft“ erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse, sodass er nur entlang von Flächen ohne blockierende Bebauung bzw. sonstige Hindernisse erfolgen kann (insb. über sogenannte Kaltluftleitbahnen).

Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme (anthropogener Wärmefluss) kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung des Stadtgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo, sodass viel Strahlung absorbiert wird und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (HÄCKEL 2012, MALBERG 2002). Aufgrund der stärkeren Versiegelung bzw.



des geringeren Grünanteils (und zudem meist geringerer Wasserverfügbarkeit) ist die Verdunstung und damit verbundene Kühlleistung in der Stadt herabgesetzt<sup>1</sup> (SCHÖNWIESE 2008).

Unabhängig von der geographischen Lage (geographische Breite, Höhenlage und Lage zum Meer) der Stadt nimmt vor allem die Einwohnerzahl einen starken Einfluss auf das städtische Klima (OKE 1973). Gründe hierfür sind u.a. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenüber steht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte. Der städtische Wärmeinseleffekt bzw. die Wärmeinselintensität bezieht sich auf horizontale Temperaturunterschiede zwischen städtischen Baukörpern und dem umgebenden unbebautem Umland. Die Abbildung 4 verdeutlicht den Zusammenhang von Siedlungsgröße und dem zu erwartenden Wärmeinseleffekt anhand einiger ausgewählter Städte. So ist mit steigender Einwohnerzahl in der Tendenz ein höherer Wärmeinseleffekt zu erwarten. Zudem zeigt die Abbildung, dass auch kleinere Städte mit deutlich weniger als 100.000 Einwohnern einen spürbaren Wärmeinseleffekt von über 4 K aufweisen können. Dieser ist im Allgemeinen zwar als moderat zu bezeichnen, wird aufgrund der im Zuge des Klimawandels zu erwartenden Temperaturzunahme aber zukünftig an Relevanz gewinnen. Dies erklärt die Notwendigkeit der Betrachtung des Stadtklimas, insbesondere da ein Großteil der Bevölkerung in Städten wohnt und demzufolge Belastungen so gering wie möglich gehalten werden sollten, um gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sicherzustellen.

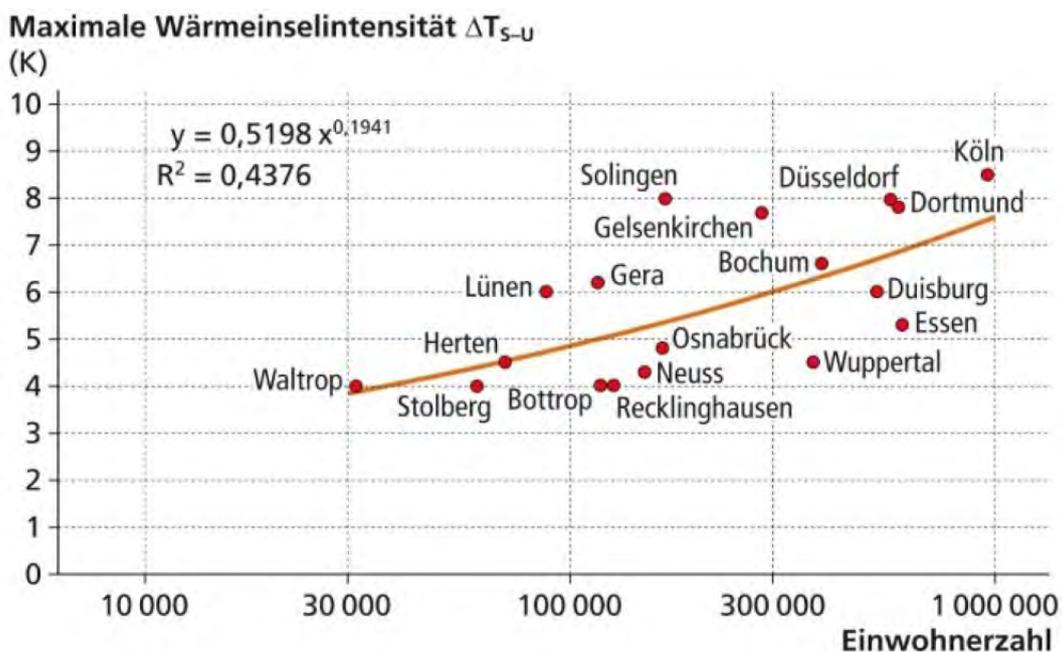


Abbildung 4: Maximale Wärmeinselintensitäten in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für ausgewählte Städte (KUTTLER 2011)

### 1.3. AUTOCHTHONE WETTERLAGE

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut ausprägen.

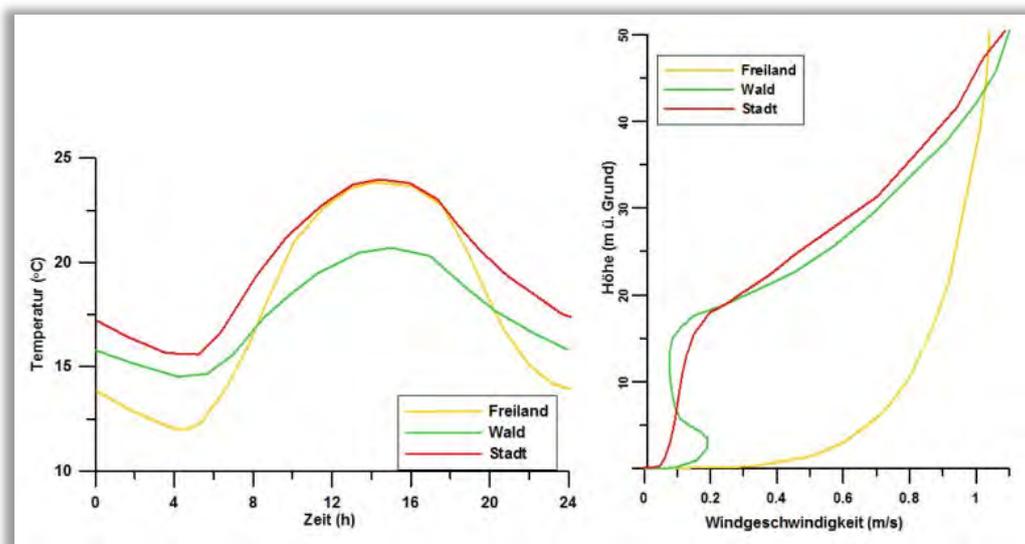
<sup>1</sup> In der Stadt steht dem geringeren latenten Wärmestrom ein höherer fühlbarer Wärmetransport gegenüber.



Dahingehend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- Relative Feuchte der Luftmasse 50 %
- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- 20 °C Lufttemperatur über Freiland um 21:00 Uhr

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist hingegen die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde und Kaltluftabflüsse), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. In Abbildung 5 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.



**Abbildung 5: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen**

Hinsichtlich des Temperaturverlaufs zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Bei den durch Wiesen geprägten Grünflächen trägt der Mangel an Verschattung zum hohen Temperaturniveau bei, während hier nachts die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Bei der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

Im Raum Idstein treten im langjährigen Mittel rund 72 windschwache Strahlungsnächte auf (DWD-Station Frankfurt am Main, 1420), wobei im Sommerhalbjahr und besonders im August und September die Häufigkeit am größten ist (Abbildung 6). Wichtig ist hier festzuhalten, dass die Ermittlung der langjährigen mittleren Anzahl an windschwachen Strahlungsnächten anhand von Daten der Station Frankfurt-Flughafen ermit-



telt wurde und somit nicht auf Idstein bezogen sind. Aufgrund der relativen Nähe sind die Daten aber ausreichend gut auf Idstein übertragbar.

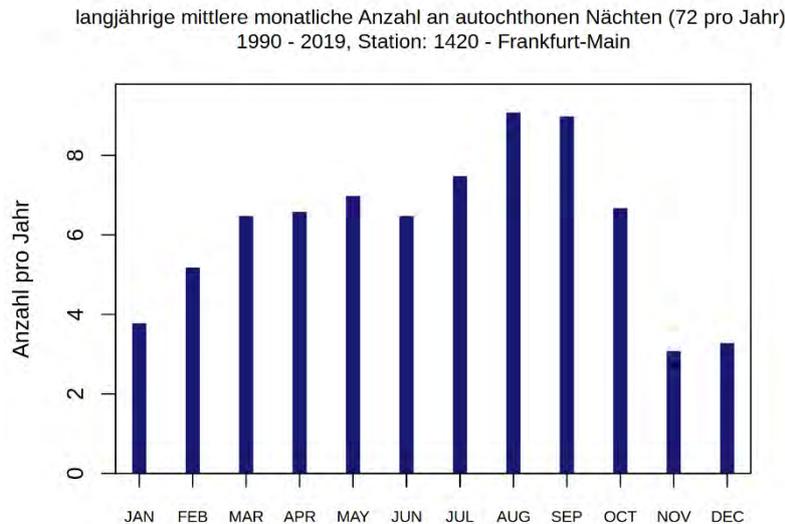


Abbildung 6: Auftrittshäufigkeiten von autochthonen Nächten anhand der DWD-Station Frankfurt-Flughafen (DWD 2020)

## 2. ANGEWENDETE METHODEN

### 2.1. NUMERISCHE MODELLRECHNUNG

In der Praxis spielen sich umweltmeteorologische Fragestellungen meist in der Größenordnung einer Stadt bzw. Region ab. Die dabei relevanten meteorologischen Phänomene weisen eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden auf. Als mesoskalige Phänomene werden dabei bspw. Flurwinde, Land-See-Winde oder die städtische Wärmeinsel bezeichnet, während der Einfluss von Hindernissen auf den Wind (z.B. Kanalisierung, Umströmung) oder die Wirkung verschattender Maßnahmen mikroskalige Effekte darstellen.

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen solch lokalklimatischer Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Zwar kann die Verteilung meteorologischer Größen wie Wind und Temperatur durch Messungen ermittelt werden, aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung (insb. in komplexen Umgebungen) in benachbarte Räume nur selten möglich. Entsprechend schwierig ist es, aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende (also flächenhafte) stadtklimatologische Bewertung vornehmen zu können.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe meso- und mikroskaliger Modelle konzipiert und realisiert (DFG 1988) und der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch. Zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht somit, neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien, ein weiteres leistungsfähiges Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in der Stadt- und Landschaftsplanung zur Verfügung. Die Modelle basieren, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (*Navier-Stokes Bewegungsgleichung*), der Massenerhaltung (*Kontinuitätsgleichung*) und der Energieerhaltung (*1. Hauptsatz der Thermodynamik*).



## 2.2. EINGESETZTES STADTKLIMAMODELL

Für die Klimaanalyse der Stadt Idstein kam das Stadtklimamodell FITNAH 3D zum Einsatz. Mesoskalige Modelle wie FITNAH 3D können deutlich besser zur Beantwortung stadtklimatologischer Fragestellungen herangezogen werden, als rein aus Messkampagnen gewonnene Werte, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst. Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 10 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modelobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Relief und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Für tieferegehende Informationen zu FITNAH 3D wird u.a. auf Groß (1992) verwiesen.

## 2.3. MODELLEINGANGSDATEN

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Geländehöhe und Nutzungsstruktur (Abbildung 7 und Abbildung 8) sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Von der Stadt Idstein wurden die Gebäudegeometrien als 3D-Modell mit der jeweiligen Gebäudehöhe zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieser Informationen wurden den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen jeweils eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Ebenso war es anhand von Luftbildern mit Infrarotkanal sowie eines hochaufgelösten digitalen Oberflächenmodells (DOM) möglich Einzelbäume inklusive Strukturhöhe abzuleiten. Insgesamt wurden für das Idsteiner Stadtgebiet 10 Landnutzungsklassen, welche jeweils unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen, definiert (Abbildung 8). Die Klimaanalyse kann den Zustand des Stadtgebiets immer nur in einer bestimmten Situation abbilden. Die aktuelle Situation Idsteins wird demnach aus einer Sammlung von Daten repräsentiert, die einen Stand von mindestens 2017 aufweisen. Aufgrund der Notwendigkeit der Kombination von verschiedenen Geodaten ist es jedoch nicht möglich, einen feststehendes Jahr als „Ist-Zustand“ anzunehmen. Die meisten Datengrundlagen stammen jedoch mindestens aus dem Jahr 2018 und waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung demnach ausreichend aktuell. Alle Eingangsdaten wurden zudem hinsichtlich ihrer Plausibilität mittels Luftbilder aus dem Jahr 2019 abgeglichen. Die Auswirkungen aktueller Planvorhaben bzw. jene welche in naher Zukunft umgesetzt werden, wurden anhand von aktuellen konkretisierten Bebauungsplänen in den „Ist-Zustand“ übertragen.

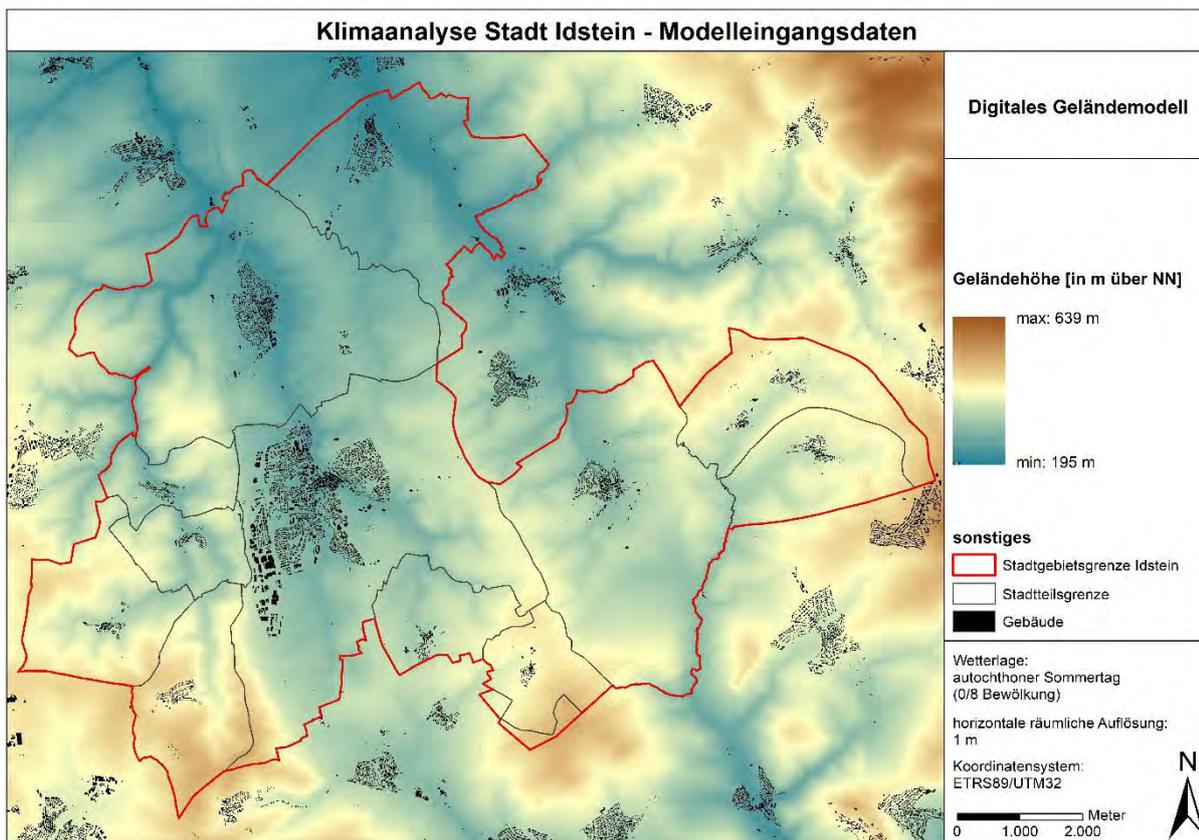


Abbildung 7: Rasterhafte Darstellung der Geländehöhe für das Idsteiner Stadtgebiet (roter Kasten).

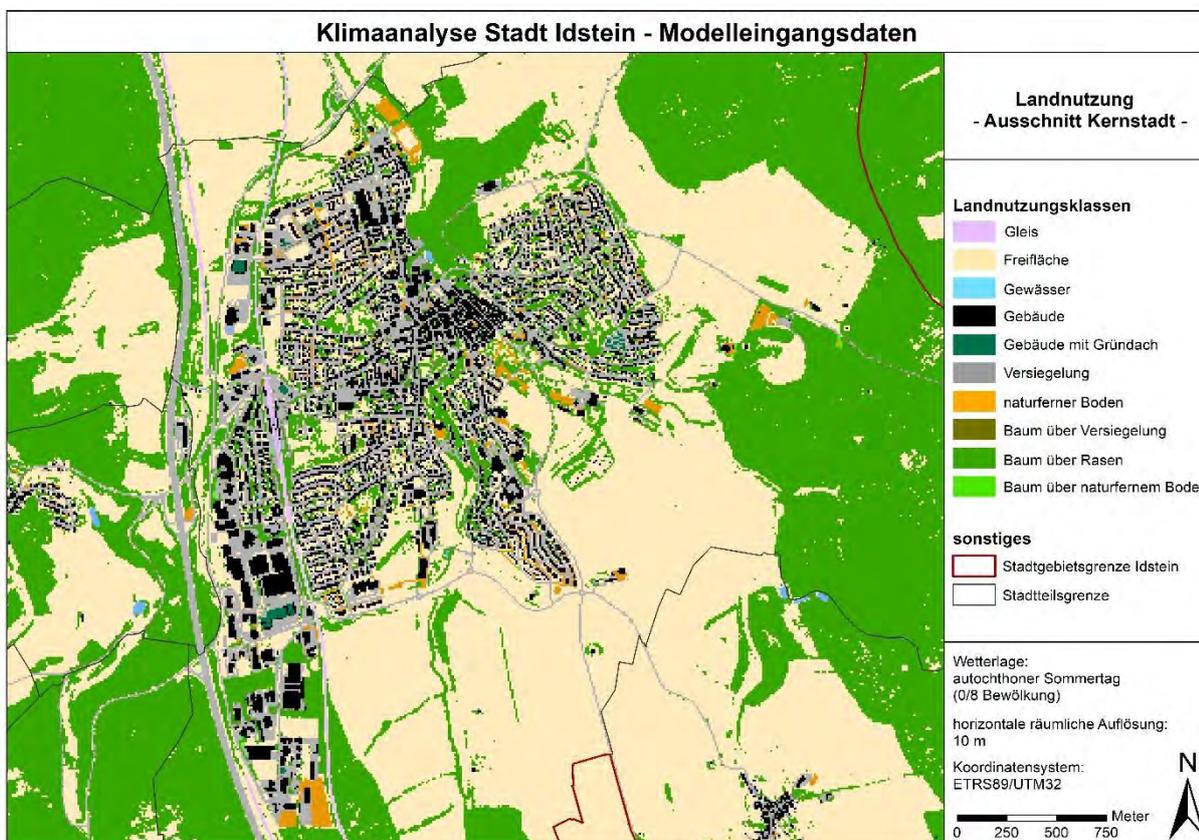


Abbildung 8: Rasterhafte Landnutzungsklassifizierung in 10 Klassen für das Idsteiner Stadtgebiet (Ausschnitt Kernstadt).



## 2.4. UNTERSUCHUNGSGEBIET

Um die klimatischen Prozesse zwischen Stadt und Umland zu erfassen (insb. bezogen auf den Luftaustausch), geht das Untersuchungsgebiet über die Stadtgrenze hinaus. Das Stadtgebiet Idsteins erstreckt sich bei einer maximalen Ausdehnung von ca. 14,6 km in Ost-West- bzw. 11,9 km in Nord-Süd-Richtung über eine Fläche von knapp 80 km<sup>2</sup>. Das für die Modellrechnung verwendete rechteckige Untersuchungsgebiet spannt eine Fläche von rund 200 km<sup>2</sup> auf (15,4 km x 12,6 km), damit die im Umland gelegenen Höhen- und Landnutzungsunterschiede mit Einfluss auf das Idsteiner Stadtklima berücksichtigt werden können. Insgesamt wird das Modellgebiet mit knapp 2 Mio. Rasterzellen beschrieben, wobei für jede Rasterzelle jeweils eine Information zur Geländehöhe, Landnutzung, Strukturhöhe und Versiegelungsgrad hinterlegt ist.

## 2.5. HERAUSFORDERUNGEN UND UNSICHERHEITEN

Die Klimamodellierung wird mit einigen Herausforderungen und Unsicherheiten begleitet, welche in diesem Abschnitt näher beschrieben werden. Allgemein lassen sich die auftretenden Ungenauigkeiten je nach Ursprung des Problems in vier verschiedene Kategorien einteilen:

- (1) Rastergeometrie
- (2) Datengrundlage
- (3) Meteorologische Rahmenbedingungen
- (4) Modellunsicherheiten

Bedingt durch die Rasterung von flächendeckenden Informationen in eine Auflösung von 10 Metern ergeben sich Ungenauigkeiten, die sich zum Teil auch in den Modellergebnissen niederschlagen. So können z.B. besonders kleinkronige Bäume in einem 10 m-Gitter nicht erfasst werden, was sich insbesondere auf die PET am Tag niederschlägt (vgl. Kap. 4.2.). Es kann demnach sein, dass eine Straße mit kleinkronigen Baumreihen (und größeren Abständen zwischen den Bäumen) gar nicht als Allee, sondern als reiner Straßenraum ohne Verschattung betrachtet wird. Dieses Problem schlägt sich auch in den übrigen Landnutzungsklassen nieder. Städte haben besonders kleinteilige Strukturen, sodass oftmals gleich mehrere Oberflächentypen in ein und derselben Rasterzelle liegen. In den Eingangsdaten und damit auch im Modell wird jedoch nur die Nutzung berücksichtigt, die den größten Flächenanteil in der Rasterzelle einnimmt. Auch mit Blick auf die Gelände- und Strukturhöhe treten rasterbedingte Ungenauigkeiten auf. Die mit 1 m sehr fein aufgelösten Gelände- und Oberflächenmodelle der Stadt Idstein mussten für die Klimamodellierung auf eine gröbere Rasterauflösung von 10 m gemittelt werden. Erhebungen und Vegetationsstrukturen werden auf diese Weise geglättet bzw. abgerundet. Um die Modellergebnisse allgemein besser nachvollziehen zu können, sollte also auch immer ein Blick auf die rasterbasierten Eingangsdaten erfolgen.

Weitere Unsicherheiten ergeben sich mit Blick auf die Datengrundlage. Die Verwendung bzw. Kombination von Daten mit verschiedenen Aufnahmezeitpunkten ist problematisch und gleichzeitig unvermeidbar. Die „heutige“ Flächenkulisse der Stadt Idstein wird durch die aktuellsten Daten beschrieben, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung zur Verfügung standen. Doch nicht allein die Datenaktualität, auch Ungenauigkeiten in den Datengrundlagen selbst rufen Probleme hervor. Die Güte der Modellergebnisse hängt also auch stark von der Güte der Eingangsdaten ab. Widersprüchliche und veraltete Daten konnten anhand des Abgleichs mit Luftbildern zum Teil korrigiert bzw. aktualisiert werden, sie sind trotz Plausibilitätsprüfung jedoch nicht komplett auszuschließen.

Die Variabilität von meteorologischen Rahmenbedingungen stellt eine weitere Herausforderung dar. Mit der austauscharen Strahlungswetterlage wurde eine Situation simuliert, die mehrfach jeden Sommer auftritt



und für den Menschen besonders belastend ist. Die modellierte Wettersituation stellt keinen Extremfall, sondern eine durchschnittliche Situation mit wenig Wind und intensiver Sonneneinstrahlung dar. In der Realität treten jedoch viele verschiedene Wettersituationen auf, die nicht alle simuliert und in einer Karte abgebildet werden können. Unter austauschstärkeren Bedingungen sind die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland längst nicht so groß wie in der modellierten Situation. Hinzu kommt, dass im Modell eine Bodenfeuchte von 60 % angenommen wird („Ist-Zustand“) und Wasser an Vegetation potenziell verdunsten kann. Die Bodenfeuchte ist in der Realität jedoch je nach Standort und Niederschlagsverhalten variabel. Das heißt, dass die Kühlleistung von Vegetation an trockenen Standorten oder während andauernder Trockenperioden in der Realität geringer ausfällt als in den modellierten Werten. Will man die modellierten Daten mit Ergebnissen aus anderen Quellen vergleichen, so ist u.a. darauf zu achten, dass die gleichen meteorologischen Rahmenbedingungen vorherrschen, da die Daten sonst nicht miteinander vergleichbar sind.

Zur Charakterisierung einer Landschaft müssen zudem eine ganze Reihe von Standortparametern vorgegeben werden, die zu einem Großteil unbekannt sind. Hier werden in der Regel plausible Werte aus der Literatur angenommen. Wenn diese Annahmen nicht zutreffend sind, können die Modellergebnisse Unsicherheiten aufweisen. Neben der Geländehöhe, die aber in der Regel recht gut bekannt ist, müssen eine Reihe von Oberflächen- und Bodenparameter spezifiziert werden, deren genauen Zahlenwerte vor Ort nicht bekannt sind. In einer umfangreichen Studie wurde untersucht (Groß 2019), mit welchen Unsicherheiten bei den Modellergebnisse zu rechnen ist, wenn diese Eingangsdaten nur mit einer gewissen Genauigkeit bekannt sind. Diese Untersuchungen wurden für einzelne Parameter (z.B. Oberflächenrauigkeit, Albedo, Wärmeleitfähigkeit des Erdboden, etc.), aber auch für viele Kombinationen davon durchgeführt. Als Ergebnis dieser Untersuchungen erhält man, dass die charakteristischen Fehler bei der Lufttemperatur in 2 m Höhe um die Mittagszeit 1,5 Kelvin und in den Nachtstunden 1,1 Kelvin beträgt. Beim Windfeld in 10 m Höhe betragen diese Fehler tagsüber 0,5 m/s und in der Nacht 0,1 m/s.



### 3. MODELLIERTE KLIMAPARAMETER UND KLIMAANALYSEKARTE

Im Folgenden wird die bioklimatische Bedeutung der modellierten Klimaparameter Lufttemperatur, Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftproduktionsrate (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) beschrieben. Die Ergebnisse der Modellierung werden für die Nachtsituation in der sich anschließenden Klimaanalysekarte anhand ihrer wesentlichen Aussagen zusammengefasst. Hinsichtlich der Tagsituation wird das Modellergebnis der PET als einzige wesentliche Größe dargestellt. Alle Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 10 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage. Sie gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m ü.Gr. (Lufttemperatur, Windfeld) bzw. 1,1 m (PET) und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung).

#### 3.1. NACHTSITUATION

##### 3.1.1. NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potentiellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht als besondere Wetterlage zu verstehen. Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb städtischer Bereiche bzw. zwischen den Nutzungsstrukturen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen, sodass die Flächenbewertung, etwa in der Planungshinweiskarte, auf diesen beruht.

#### MODELLERGEBNISSE

Je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage bzw. Höhe des Standorts und den Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften kann die nächtliche Abkühlung merkliche Unterschiede aufweisen, was bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets auch für das Stadtgebiet Idsteins mit seinen verschiedenen Flächennutzungen deutlich wird. So umfasst die nächtliche bodennahe Lufttemperatur bei Minimalwerten von weniger als 13 °C in offenen Tallagen und Maximalwerten bis knapp über 21 °C im Bereich der Idsteiner Altstadt sowie der Ortskerne von Walsdorf und Wörsdorf eine Spannweite von ca. 8,8 °C. Die mittlere Temperatur der Stadt liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 16,5 °C.

Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich ist vor allem von der Größe der Stadt und Dichte der Überbauung abhängig. Im Zentrum sind die höchsten Bebauungsdichten und, gerade in den gewerblich geprägten Bereichen, hohe Versiegelungsgrade vorzufinden, was sich in der stärksten nächtlichen Überwärmung widerspiegelt – selbst nachts werden unter den angenommenen Bedingungen noch Temperaturen von weiträumig über 19 °C erreicht (Abbildung 9 und Anhang A 2). In den weniger dicht bebauten Siedlungsteilen beträgt die nächtliche Lufttemperatur je nach Grünflächenanteil und Höhenlage zumeist 16 bis 19 °C. Höher gelegene Siedlungsflächen weisen dabei tendenziell höhere Temperaturen auf, da diese teilweise von Kaltluftzuflüssen abgeschnitten sind.



Unter den Grünflächen zählen die landwirtschaftlichen Freiflächen mit meist 13 bis 17 °C zu den kühlssten Bereichen im Stadtgebiet, diese offenbaren allerdings aufgrund des relativ heterogenen Reliefs ein vergleichsweise breites Wertespektrum. So weisen die kaltluftbegünstigten Tallagen (ca. 13 bis 15 °C) die niedrigsten und die Kuppenlagen (um 17 °C) die höchsten Temperaturen innerhalb der Freiflächen auf. Ähnlich verhält es sich im Bereich der Waldflächen, welche mit 16 bis 18,5 °C zwar ein insgesamt höheres Temperaturniveau zeigen, aber ebenfalls im Bereich der Kuppen die höchsten Temperaturen aufweisen.

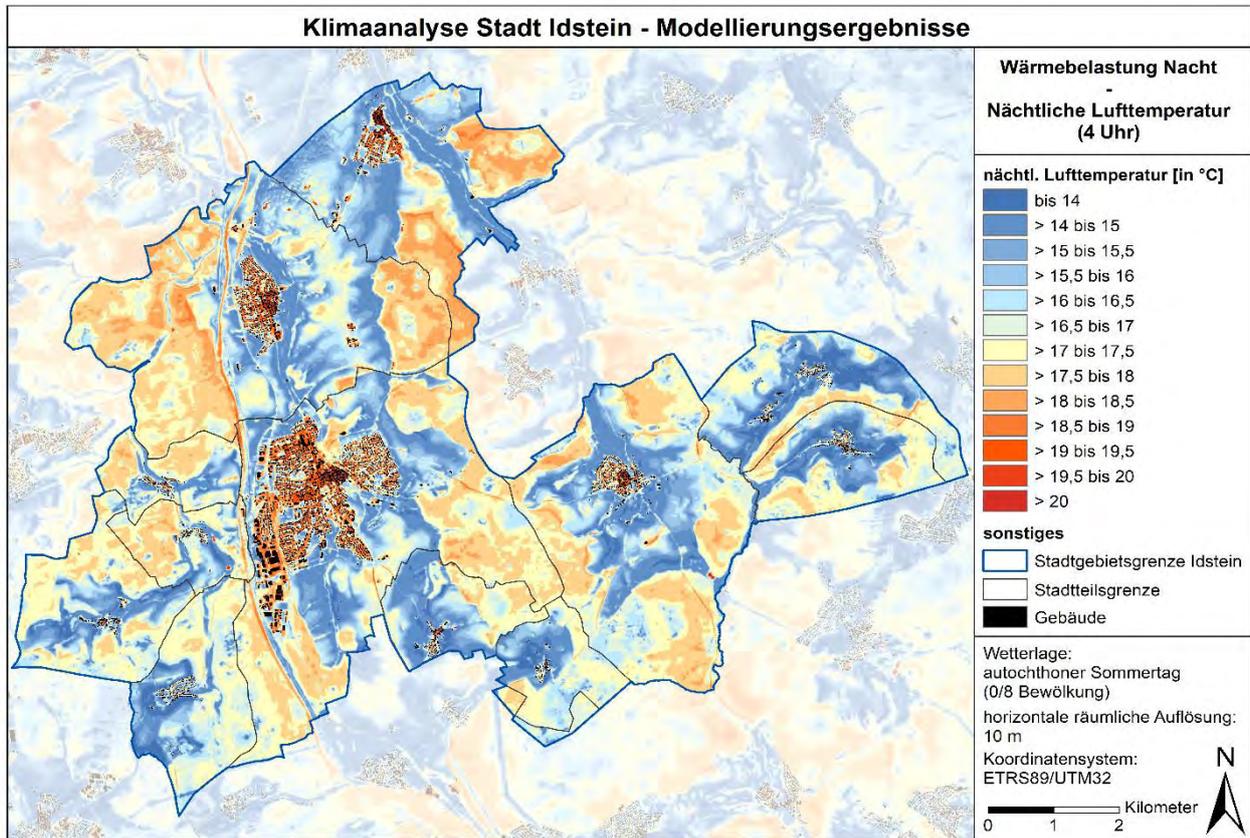


Abbildung 9: Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Lufttemperatur im Idsteiner Stadtgebiet.



### 3.1.2. KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN

Lokalen Strömungssystemen wie Flurwinden oder Hangabwinden kommt eine besondere stadtplanerische Bedeutung zu: Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis, sodass die Durchlüftung des Stadtkörpers herabgesetzt ist. Die Abfuhr überwärmter und schadstoffbelasteter 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 kühlerer und frischer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen, insbesondere dann, wenn Flächen mit hoher Kaltluftproduktion an dieses Strömungssystem angeschlossen sind.

#### KALTLUFTVOLUMENSTROM

Weil die Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der Kaltluftvolumenstrom. Vereinfacht ausgedrückt stellt er 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  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt bspw. eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abbildung 10).

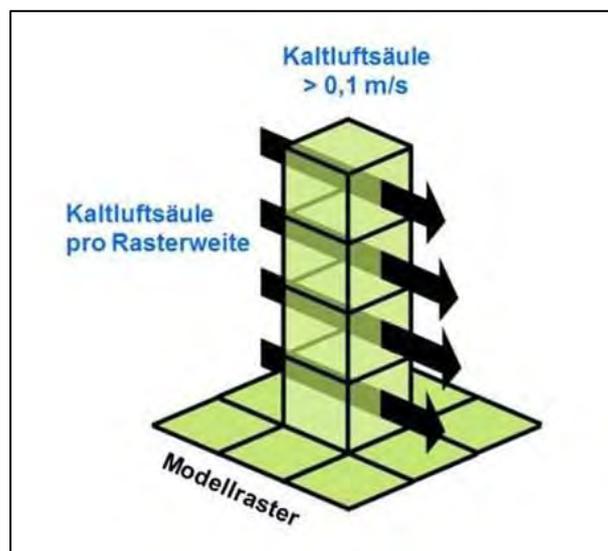


Abbildung 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab. Die Mächtigkeit der Kaltluftschicht nimmt im Verlaufe einer Nacht in der Regel zu und ist, genau wie die Luftaustauschprozesse allgemein, meist erst in der zweiten Nachthälfte vollständig entwickelt.



Strömungshindernisse wie Straßendämme oder Gebäude können luvseitig<sup>2</sup> markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Lee<sup>3</sup> zu bodennahen Geschwindigkeitsreduktionen, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strömungsmaxima stehen kann. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt folglich von der Siedlungsgröße und –struktur sowie Bebauungsdichte und zudem von der anthropogenen Wärmefreisetzung und Menge einströmender Kaltluft ab.

Der Kaltluftvolumenstrom zeigt in Idstein eine relativ große Variabilität und reicht von Werten unter 5 m<sup>3</sup>/(s\*m) im Bereich der Waldgebiete sowie einiger Siedlungsflächen (z.B. TaunusViertel, NassauViertel) bis zu maximalen Werten über 100 m<sup>3</sup>/(s\*m). Der Mittelwert im Idsteiner Stadtgebiet liegt bei vergleichsweise hohen 17,8 m<sup>3</sup>/(s\*m), was im Wesentlichen auf das relativ stark ausgeprägte Relief zurückzuführen ist. Besonders hohe Werte sind in den kaltluftakkumulierenden Talsystemen zu erkennen (Abbildung 11 und Anhang A 3). Diese reichen häufig bis in die Siedlungskörper hinein und versorgen diese bei Nacht effektiv mit Kaltluft. Eine vergleichsweise geringe Kaltluftzufuhr erfährt der Ortsteil Walsdorf, welcher lediglich im Umfeld des Knallbaches mit Kaltluft versorgt wird. Weitere Kaltluftströme werden aufgrund der Reliefsituation östlich (Emsbachtal) und westlich am Siedlungskörper vorbeigeführt.

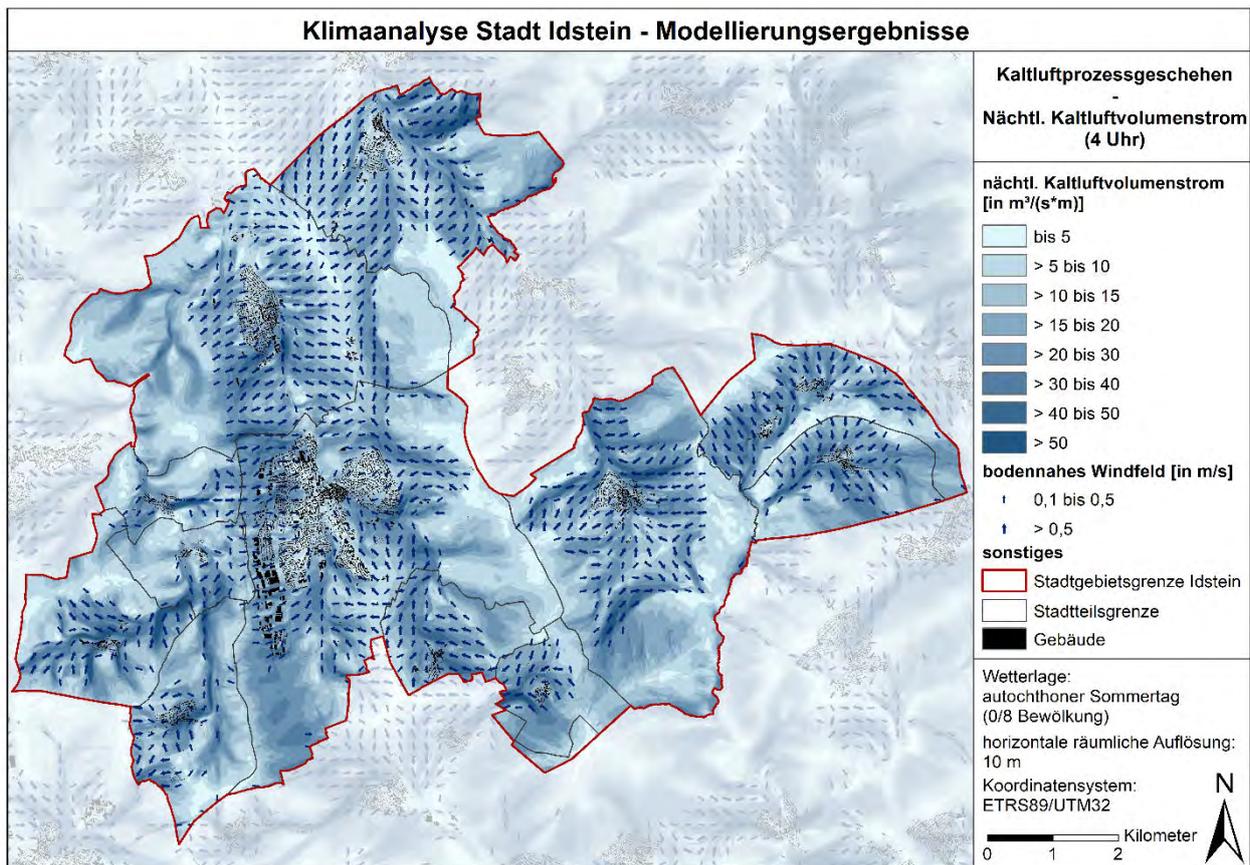


Abbildung 11: Rasterbasierte Darstellung des modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Idsteiner Stadtgebiet.

<sup>2</sup> dem Wind zugewandte Seite

<sup>3</sup> dem Wind abgewandte Seite



### BODENNAHES KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Die räumliche Ausprägung des bodennahen Kaltluftströmungsfeldes folgt größtenteils dem Muster des Kaltluftvolumenstroms (Abbildung 12 und Anhang A 4). Im Idsteiner Stadtgebiet sind die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 2,6 m/s im Bereich der zahlreichen Hangbereiche zu finden. Die vorherrschenden Hangabwinde sorgen im Bereich von Siedlungsflächen für eine bodennah wirksame Durchlüftung und werden entgegen thermisch bedingter Flurwinde weniger durch Strömungshindernisse beeinflusst. Dennoch tritt in 2 m ü. Gr. die Hinderniswirkung von Gebäuden stärker hervor, sodass insbesondere flache Siedlungsgebiete bodennah eine reduzierte Durchlüftung erfahren. Die geringste bodennahe Durchlüftung erfahren die Siedlungsflächen, die sich im Bereich einer Anhöhe befinden, da diese nur durch eine übergeordnete Anströmung überwunden werden kann. Das Kaltluftströmungsfeld verdeutlicht, dass neben den Grünzügen auch der Straßenraum (aufgrund der geringen Hinderniswirkung) zur Durchlüftung des Stadtgebiets beitragen kann – unter Umständen handelt es sich dabei nur noch um Kaltluft-, und je nach Verkehrsaufkommen nicht mehr um Frischlufttransport. Neben Gebäuden stellen Bäume und insbesondere Wälder mit ihrem dichten Baumbestand zwangsläufig ein Hindernis für eine bodennahe Strömung dar, doch zeigen die Ergebnisse, dass von den Waldrändern her auch bodennahe Ausgleichsströmungen ausgehen.

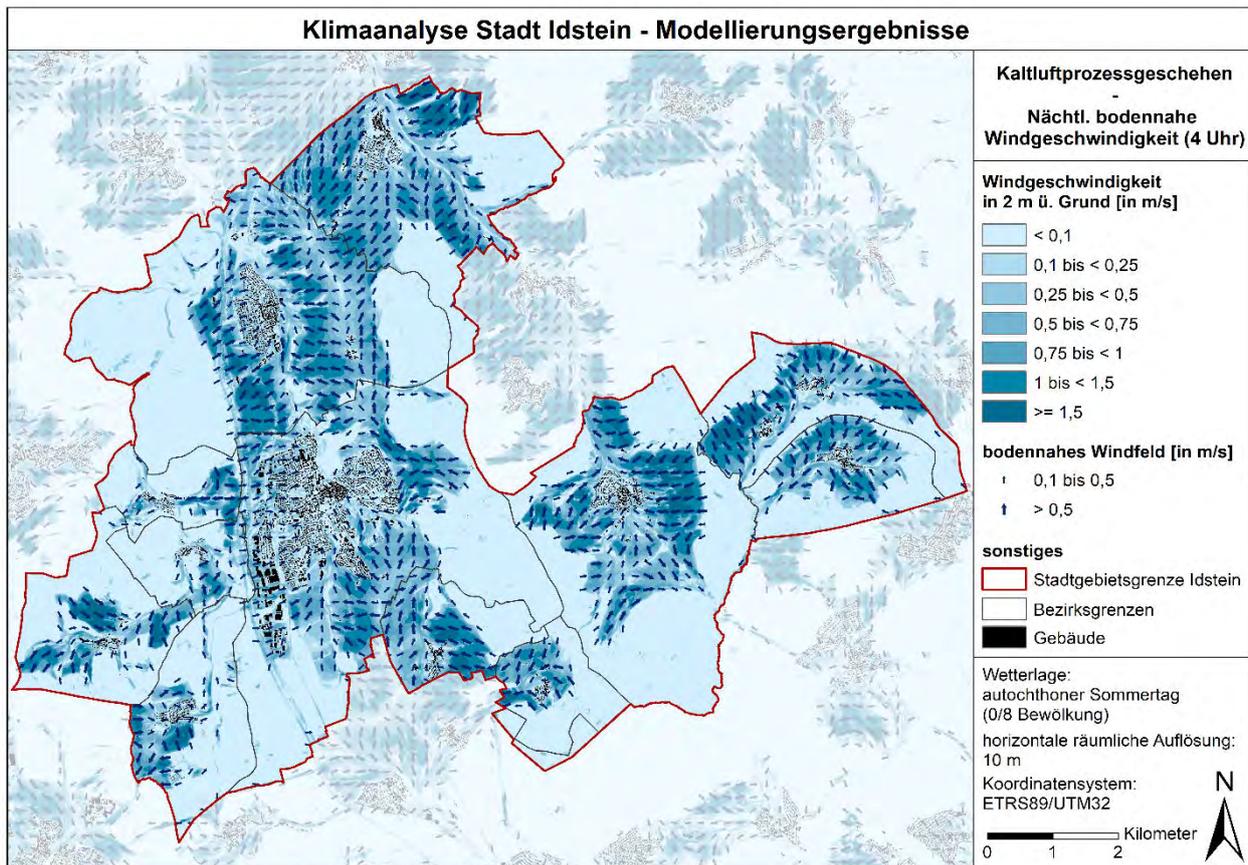


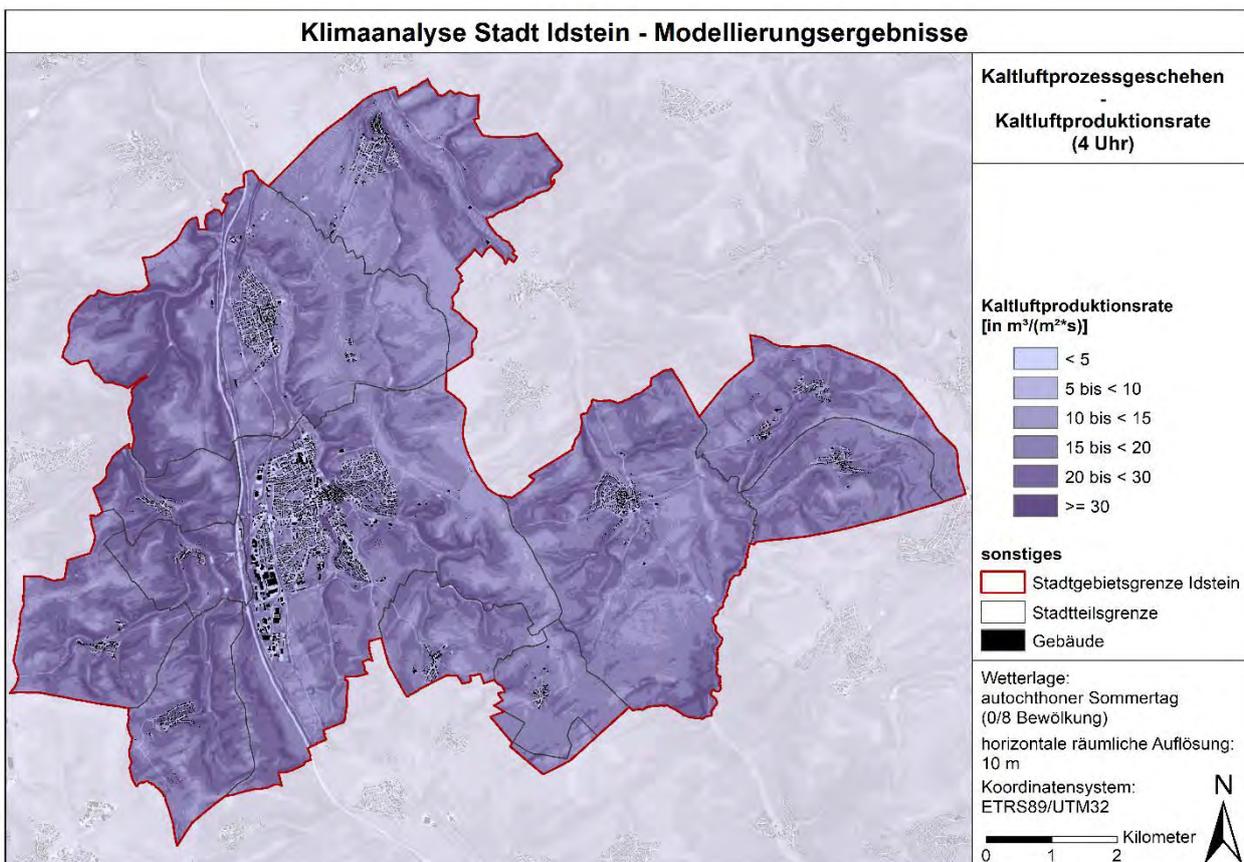
Abbildung 12: Rasterbasierte Darstellung des modellierten bodennahen Windfeldes im Idsteiner Stadtgebiet.



## KALTLUFTPRODUKTIONSRATE

Die Kaltluftproduktionsrate gibt an, wie viele Kubikmeter Luft sich pro Quadratmeter innerhalb einer Stunde lokal durch Ausstrahlung abgekühlt hat. Die Abkühlungsrate hängt unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens ab. Für die Berechnung der Kaltluftproduktionsraten sind somit Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes von großer Bedeutung. Die in der Literatur zu findenden Werte zu den wichtigsten Bodeneigenschaften decken eine große Bandbreite ab, sodass die Parametrisierung der Wärmeleitung im Boden für Modellsimulationen stets mit Unsicherheiten behaftet ist. Die Bestimmung der Kaltluftproduktion kann daher erhebliche Fehler aufweisen, was sowohl für modellhafte Berechnungen als auch für Geländemessungen gilt. In der hier durchgeführten Modellsimulation wurden einheitliche thermische Eigenschaften für den nicht versiegelten Untergrund angenommen. Eine Berücksichtigung variierender Bodenfeuchtigkeiten und daraus resultierender Abkühlungsraten fand damit nicht statt.

Die Abbildung 13 (sowie Anhang A 5) zeigt die räumliche Verteilung der nächtlichen Kaltluftproduktion. Dabei treten neben Freiflächen auch Waldgebiete im Bereich erhöhter Hangneigung mit einer überdurchschnittlichen Kaltluftproduktion hervor. Beide Flächentypen besitzen die Eigenschaft, dass sich die produzierte Kaltluft verlagern und somit neu produziert werden kann. Im Fall der Freiflächen handelt es sich dabei im Wesentlichen um die vertikale Ausstrahlung und in Waldgebieten um die reliefbedingten Hangabwinde. Die höchsten Kaltluftproduktionsraten sind dort zu beobachten, wo Freiflächen und erhöhte Hangneigungen aufeinander treffen. Siedlungskörper weisen aufgrund des individuellen Versiegelungsgrades in der Regel die geringsten Kaltluftproduktionsraten auf, wobei grüngerprägte Siedlungsflächen ebenfalls



**Abbildung 13:** Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Kaltluftproduktionsrate im Idsteiner Stadtgebiet. wirksam Kaltluft produzieren können.



### KLIMAANALYSEKARTE DER NACHTSITUATION

Die Klimaanalysekarte bildet die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches im gesamten Untersuchungsraum ab (Strömungsfeld, Kaltluftleitbahnen). Für Siedlungs- und Verkehrsflächen stellt sie die nächtliche Überwärmung dar, basierend auf der bodennahen Lufttemperatur in einer autochthonen Sommernacht um 04:00 Uhr morgens. Außerhalb des Stadtgebiets erlauben die Ergebnisse der Modellrechnung aufgrund des geringeren Detaillierungsgrads zwar eine Darstellung des Prozessgeschehens, lassen jedoch keine tiefergehende Analyse bzw. Ableitung flächenkonkreter Maßnahmen zu (insb. zum Rand des Untersu-

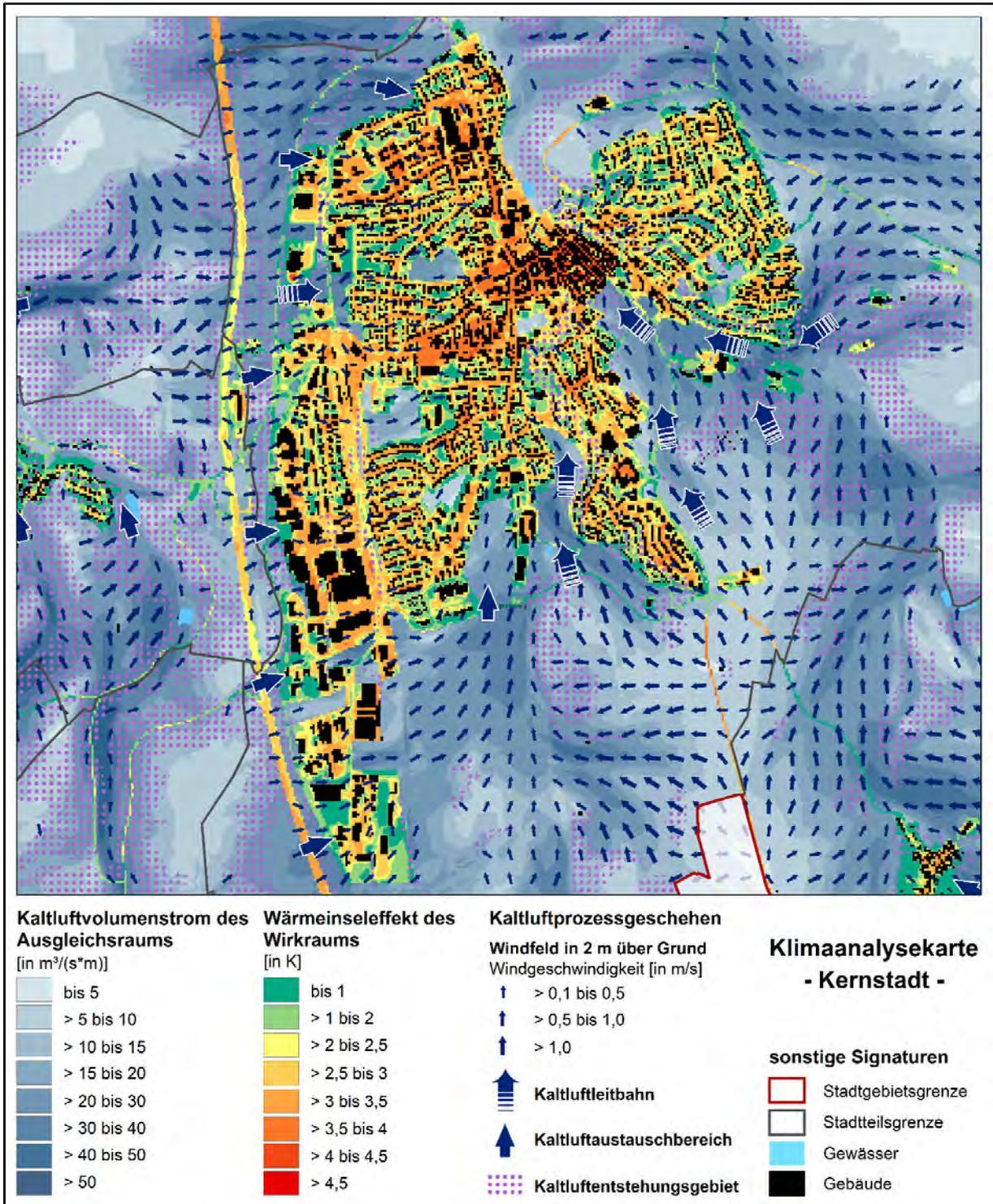


Abbildung 14: Klimaanalysekarte zur Nachtsituation für einen Ausschnitt der Idsteiner Kernstadt (gekürzte Legende).



chungsgebiets hin).

Die Klimaanalysekarte fasst die wesentlichen Aussagen der meteorologischen Parameter für die Nachtsituation in einer Karte zusammen und präzisiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten. Für die Situation um 14 Uhr ist die PET der einzige ausschlaggebende Parameter (vgl. Kap. 4.2), sodass auf die Erstellung einer Klimaanalysekarte für die Tagsituation verzichtet wurde. Die Karte der PET (Abbildung 15) kann jedoch auch als „Klimaanalysekarte für die Tagsituation“ verstanden werden.

In der Klimaanalysekarte (Abbildung 14 bzw. externe gesamtstädtische Karte) sind für die Grün- und Freiflächen die Modellergebnisse des Kaltluftvolumenstroms in abgestufter Flächenfarbe dargestellt (blaugraue-Farbgebung). Bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen steht dagegen die nächtliche Überwärmung im Vordergrund, welche anhand der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. beschrieben wird. Weiterhin ist das bodennahe Strömungsfeld ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s mit einer abgestuften Pfeilsignatur abgebildet. Das Strömungsfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 150 m aggregiert. Kleinräumige Windsysteme (z.B. Kanalisierung von Winden in schmalen Straßenabschnitten) werden aus der Karte nicht ersichtlich; derartig detaillierte Informationen müssen aus den Rasterergebnissen auf 10 m –Basis entnommen werden. Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in der Karte besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, welche in Idstein eine wichtige Rolle spielen. Dazu zählen die Systeme von Kaltluftleitbahnen und Kaltluftaustauschbereiche. Ebenso sind besonders wirksame Kaltluftentstehungsgebiete durch eine violette Punktsignatur hervorgehoben.

**Kaltluftleitbahnen** sind lineare Strukturen, die Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander verbinden und einen elementaren Bestandteil des Luftaustausches darstellen. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (Mayer et al., 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet. Insbesondere entlang von Grünachsen dringt Kaltluft in die Bebauung ein und kann dort die thermische Belastung senken. Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. Beispielsweise können einzelne Grünflächen, die zwar nicht zusammenhängen, aber räumlich nahe liegen und durch nur wenige Hindernisse getrennt sind, als Trittsteine für Kaltluft dienen.

Im Stadtgebiet von Idstein wurden insgesamt vier verschiedene Kaltluftleitbahnen identifiziert. Dazu zählen die beiden Kaltluftleitbahnen „Wolfsbachtal“ und „Im Wasserfall“, welche aus südöstlichen Richtungen in Richtung der Idsteiner Altstadt verlaufen und sich im Bereich des Friedhofs vereinigen. Eine dritte Kaltluftleitbahn befindet sich im Bereich des Wörsbachtals und verläuft ausgehend von den südlich der Henri-Dunant-Allee gelegenen landwirtschaftlichen Flächen bis zum Gelände der Max-Kirmsse-Schule. Die vierte Kaltluftleitbahn befindet sich im Westen der Idsteiner Kernstadt und verläuft im Bereich „Rosenküppel“ u.a. über das südliche Schwimmbadgelände bis in die lockere Wohnbebauung im Bereich „Stolzwiese“ und „Alte Poststraße“. Alle vier Kaltluftleitbahnen sind durch ein in den Siedlungsraum gerichtetes bodennahes Strömungsfeld gekennzeichnet und weisen zudem eine überdurchschnittliche Kaltluftvolumenstromdichte auf. Daneben verfügen sie über einen hohen Grünanteil, sodass sich die Luft während des Transportes nicht wesentlich erwärmt und ausreichend kalte Luft in die Stadt hineingetragen werden kann.

Neben den Kaltluftleitbahnen als linienhafte Strukturen gibt es auch **Kaltluftaustauschbereiche**, welche flächenhaft im Übergangsbereich von Wirk- und Ausgleichsräumen auftreten. Kaltluftaustauschbereiche treten überall dort auf, wo Flurwinde oder Hangabwinde – letztere spielen in Idstein eine sehr bedeutende Rolle – aufgrund einer relativ lockeren Bebauung oder kleinräumigen Grünachsen verhältnismäßig weit in den Wirkraum einwirken können. Diese flächenhaften Kaltluftströmungen sind durch eine überdurchschnittliche Kalt-



luftvolumenstromdichte sowie bodennah wirksame Windgeschwindigkeiten von über 0,1 m/s gekennzeichnet und treten in Bezug auf die Idsteiner Kernstadt vor allem an der westlichen Siedlungsgrenze auf.

**Kaltluftentstehungsgebiete** kennzeichnen Grünflächen mit einer besonders hohen Kaltluftproduktionsrate (violette Punktsignatur) und speisen die verschiedenen Kaltluftströmungen bzw. reichen häufig sogar über diese hinaus.

Die nächtliche Temperatursituation zeichnet sich im städtischen **Wärmeineleffekt** ab. Während die gering bis moderat verdichteten Siedlungsflächen eine eher niedrige Überwärmung von meist 1,5 bis 3,5 K gegenüber den Grün- und Freiflächen aufweisen, steigt sie mit zunehmender städtebaulicher Dichte an und beträgt zwischen 4 und 5 K im Innenstadtbereich von Idstein sowie im Bereich größerer Gewerbeflächen. Auch in den teils dicht bebauten Ortskernen der kleineren und mittleren Ortsteile treten lokal Werte von über 4 K auf. Dabei zeigen insbesondere Wörsdorf, Walsdorf und mit Abstrichen Heftrich eine teils ähnliche Überwärmung wie die Idsteiner Innenstadt. Die weiteren Ortsteile zeigen meist nur im Straßenraum eine kleinräumige Überwärmung von maximal 2 bis 3 K, weisen darüber hinaus aber kaum eine erhöhte thermische Belastung auf.

Ein Abgleich mit Abbildung 4 zeigt, dass sich Idstein mit einem maximalen Wärmeineleffekt von rund 5 K im unteren Bereich der aufgeführten Vergleichsstädte bewegt, was die in Kapitel 2.1 als vergleichsweise günstig beschriebene stadtklimatische Situation unterstreicht. Die somit als vergleichsweise moderat einzustufende nächtliche Wärmebelastung Idsteins wird auch anhand des relativ geringen durchschnittlichen Wärmeineleffektes der Kernstadt von 2,7 K bzw. 2,1 K (Gesamtstadt) hinterlegt.



### 3.2. TAGSITUATION

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index **PET um 14:00 Uhr** herangezogen (**Physiologisch Äquivalente Temperatur**; Matzarakis & Mayer 1996). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit besser nachvollzogen werden zu können<sup>4</sup>. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen human-biometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien und am Tage einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifiziert (z.B. starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; vgl. Anhang A 1). Die PET wird in einer Höhe von 1,1 m über dem Grund untersucht, da dies die humanbioklimatisch relevante Höhe ist (mittlere Höhe des Körperschwerpunktes eines Menschen).

Die Modellergebnisse zur PET (Abbildung 15 und Anhang A 6) zeigen einen starken Kontrast zwischen den vergleichsweise kühlen Waldflächen (PET ≈ 25-27 °C) und den zumeist stark bis extrem belasteten Siedlungs- und Freiflächen (PET > 35 bis ca. 42 °C). Hier verdeutlicht sich für die Tagsituation der bedeutende Einfluss schattenspendender Bäume, welcher sich auch innerhalb der Siedlungsflächen in Bereichen mit erhöhtem

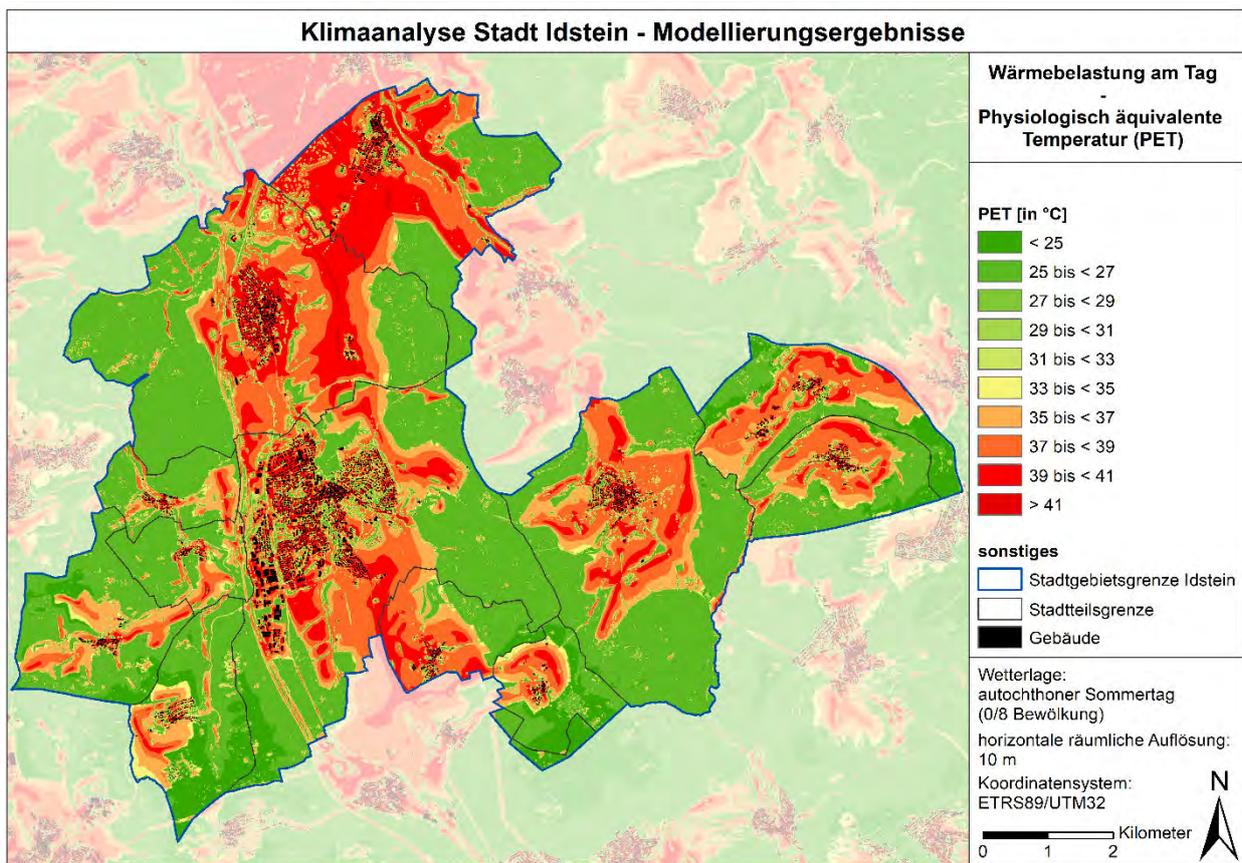


Abbildung 15: Rasterbasierte Darstellung der Wärmebelastung am Tag anhand der PET für das Idsteiner Stadtgebiet.

<sup>4</sup> Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCI (Universeller thermischer Klimaindex).



Baumanteil (z.B. Parks, Gärten, begrünte Innenhöfe) bemerkbar macht. Innerhalb der Idsteiner Kernstadt weisen neben den Gewerbegebieten sowie der Innenstadt auch eine Reihe von baumarmen Wohngebieten eine meist starke bis extreme Wärmebelastung auf. Hierzu zählen insbesondere das TaunusViertel sowie die Wohnbebauung im NassauViertel. Dagegen weist der Nordosten der Idsteiner Kernstadt im Bereich Gänsberg und Füllenschlag aufgrund des insgesamt höheren Baumanteils eine vergleichsweise moderate Wärmebelastung am Tag auf.



## 5. PLANUNGSHINWEISE

Aufbauend auf den Modellergebnissen der einzelnen bioklimatischen Parameter wurde auf Basis planungsrelevanter Flächen eine Bewertung der Wirkräume (Siedlungs- und Verkehrsflächen) und Ausgleichsräume (Grünflächen) vorgenommen. Das Resultat dieser Bewertung wurde in Form einer Planungshinweiskarte, welche das zentrale Produkt der Klimaanalyse Idstein darstellt, veranschaulicht. Wie bei der Bewertung im Einzelnen vorgegangen wurde wird im Folgenden näher erläutert.

### 5.1. BEWERTUNGSMETHODIK

Im Unterschied zur Klimaanalysekarte wurde bei der Planungshinweiskarte (PHK) die Nacht- und die Tagsituation berücksichtigt. Die Bewertung der bioklimatischen Belastung im Siedlungsraum (Wirkungsraum) sowie der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsraum erfolgte in Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3785, Blatt 1 bzw. 3787, Blatt 1 (VDI 2008a, VDI 2014). Die Bewertungen beruhen auf den klimaökologischen Funktionen ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen, d.h. die Planungshinweiskarte stellt das aus klimafachlicher Sicht gewonnene Abwägungsmaterial dar.

#### 5.1.1. STANDARDISIERUNG DER KLIMAPARAMETER (Z-TRANSFORMATION)

Die Modellergebnisse und Klimaanalysekarte bilden das Prozessgeschehen in Form absoluter Werte ab – diese gelten jedoch nur für den Zustand einer autochthonen Sommerwetterlage. Die Bewertung in den Planungshinweiskarten fußt dagegen auf relativen Unterschieden der meteorologischen Parameter zwischen den Flächen, um losgelöst von einer bestimmten Wetterlage die Belastungen beschreiben und Planungshinweise ableiten zu können.

Für die Bewertung meteorologischer Größen bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes. Nicht immer ist ersichtlich, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie beispielsweise Hoch und Niedrig oder Günstig und Ungünstig erfolgt. In der VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1 wird daher vorgeschlagen, einer Beurteilung das lokale bzw. regionale Wertenniveau der Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen (VDI 2008a). Demzufolge wurden die modellierten Parameter über eine z-Transformation standardisiert. Rechnerisch bedeutet diese, dass von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Hieraus ergeben sich Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert (= 0) und positive sowie nega-

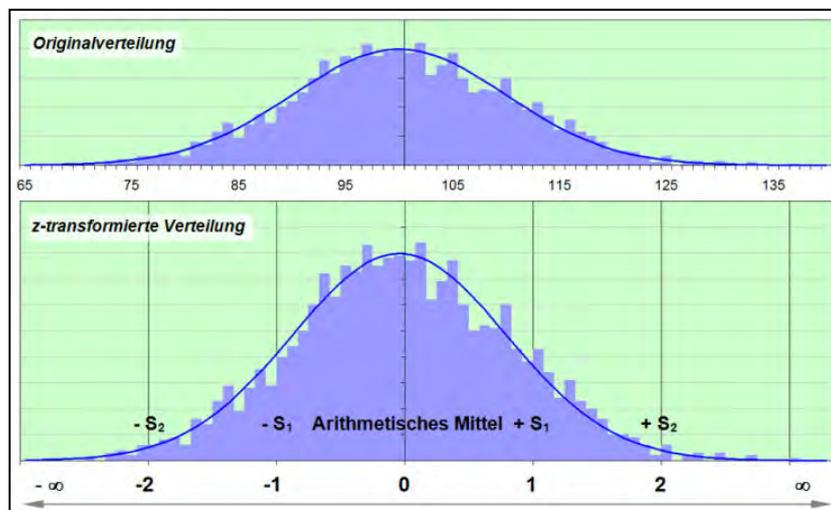


Abbildung 16: z-Transformation zur Standardisierung der vergleichenden Bewertung von Parametern



tive Standardabweichungen von diesem Mittelwert festgelegt sind. Auf diese Weise entstehen standartmäßig vier Bewertungskategorien (Abbildung 16).

### 5.1.2. BEWERTUNG VON SIEDLUNGS- UND VERKEHRSFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM)

Der bewohnte und unbewohnte Siedlungsraum sowie die Verkehrswege stellen den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der bioklimatischen Belastungssituation geschildert.

#### BEWERTUNG DER NACHTSITUATION

In der Nacht ist weniger der Aufenthalt im Freien der Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI 2008b). Als besonders belastend gelten Tropennächte mit einer Minimumtemperatur  $\geq 20$  °C.

Für die PHK erfolgte die räumliche Bewertung des bewohnten Siedlungsraums (Schlafumfeld) primär anhand der nächtlichen Überwärmung (Wärmeinseleffekt). Dabei wurde die bioklimatische Belastung der Siedlungsflächen zur besseren Differenzierung in vier Klassen von sehr günstig bis sehr ungünstig eingeteilt (Tabelle 1). Ähnlich wie beim unbewohnten Siedlungsraum (z.B. Gewerbegebiete) steht der Verkehrsraum in der nächtlichen Betrachtung weniger im Vordergrund, doch geben aufgeheizte Plätze und Straßen nachts ihre Wärme an die Umgebung ab und beeinflussen damit ebenfalls die Situation in der umliegenden Bebauung.

**Tabelle 1: Einordnung der nächtlichen thermischen Belastung im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation**

Qualitative Einordnung	Lufttemperatur [°C] – Siedlungsflächen *	Lufttemperatur [°C] – Verkehrswege und Plätze **
1 = sehr günstig	bis 16,02	bis 16,4
2 = günstig	> 16,02 bis 17,14	> 16,4 bis 17,6
3 = ungünstig	> 17,14 bis 18,26	> 17,6 bis 18,8
4 = sehr ungünstig	> 18,26	> 18,8

\* Mittelwert = 17,14 °C; Standardabweichung = 1,12 °C | \*\* Mittelwert = 17,6 °C; Standardabweichung = 1,2 °C

#### BEWERTUNG DER TAGSITUATION

Zur Bewertung der Tagsituation wurde der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen. Die Bewertung der thermischen Belastung in den Siedlungs- und Verkehrsflächen im Stadtgebiet Idsteins wurde analog zur Nachtsituation auf der Basis der z-transformierten Werte vorgenommen (Tabelle 2). Die bioklimatische Belastung am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität außerhalb von Gebäuden. Dieses übt einen gewissen Einfluss auf die Situation innerhalb der Gebäude aus, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren Faktoren ab und kann hier nicht bestimmt werden. Entgegen der nächtlichen Wärmebelastung spielt die Wärmebelastung am Tag nur eine vergleichsweise untergeordnete Rolle für den bewohnten Siedlungsraum. Dagegen stellt die Wärmebelastung am Tag für den unbewohnten Siedlungsraum (Arbeitsumfeld) sowie für den Verkehrsraum (Bewegungsumfeld) die wesentliche Größe dar.



**Tabelle 2: Einordnung der Wärmebelastung am Tage im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation**

Qualitative Einordnung	PET [°C] – Siedlungsflächen *	PET [°C] – Verkehrswege und Plätze **
1 = sehr günstig	bis 33,71	bis 34,59
2 = günstig	> 33,71 bis 36,4	> 34,59 bis 37,1
3 = ungünstig	> 36,4 bis 39,09	> 37,2 bis 39,61
4 = sehr ungünstig	> 39,09	> 39,61

\* Mittelwert = 36,4 °C; Standardabweichung = 2,69 °C | \*\* Mittelwert = 37,1 °C; Standardabweichung = 2,51 °C

**KOMBINIERTE BEWERTUNG DER TAG- UND NACHTSITUATION**

Bei der Bewertung des Wirkraums wird zwischen bewohnten (Schlafumfeld) und unbewohnten (Arbeitsumfeld) Siedlungsraum sowie dem Verkehrsraum (Bewegungsumfeld) unterschieden. Beim bewohnten Siedlungsraum erfolgt die Bewertung primär anhand der nächtlichen Wärmebelastung sowie sekundär mittels der Wärmebelastung am Tag. Zudem wurde die Kaltluftfunktionalität einer jeden Bewertungsfläche mit berücksichtigt (Abbildung 17).

**Bewertungsschema des bewohnten Siedlungsraums**

**Wärmebelastung Nacht (04 Uhr)**

		schwach	mäßig	stark	sehr stark
Wärmebelastung Tag (14 Uhr)	schwach bis mäßig	1	2*	3*	4*
	stark	1	2*	3*	4*
	sehr stark	1	2	3	4
	extrem stark	2	3	4*	4

\* nächst niedrigere Belastungsstufe bei guter Kaltluftfunktion

Abbildung 17: Bewertungsschema des bewohnten Siedlungsraums (Schlafumfeld).



Entgegen der Bewertung des bewohnten Siedlungsraums wurde der unbewohnte Siedlungsraum (Arbeitsumfeld) primär anhand der Wärmebelastung am Tag bewertet. Da teilweise auch nachts gearbeitet wird und die Trennung von unbewohnten und bewohnten Siedlungsraum nicht immer klar trennbar ist, wurde nachrangig auch die nächtliche Wärmebelastung in der Bewertung berücksichtigt (Abbildung 18).

Für die Bewertung des Verkehrsraums (Bewegungsumfeld) wurde lediglich die Tagsituation berücksichtigt.

**Bewertungsschema des unbewohnten Siedlungsraums**

**Wärmebelastung Nacht (04 Uhr)**

		Wärmebelastung Nacht (04 Uhr)			
		niedrig	mäßig	hoch	sehr hoch
Wärmebelastung Tag (14 Uhr)	schwach bis mäßig	1	1	1	2
	stark	2	2	2	3
	sehr stark	3	3	3	4
	extrem stark	4	4	4	4

Abbildung 18: Bewertungsschema des unbewohnten Siedlungsraums (Arbeitsumfeld).

### 5.1.3 BEWERTUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSRaum)

In der Planungshinweiskarte steht die stadtklimatische Bedeutung von Grünflächen sowie deren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika bedarf es im Hinblick auf planerische Belange einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Stadtgebiet. Der während einer autochthonen Sommernacht über Grünflächen entstehenden Kaltluft wird nur dann eine planerische Relevanz zugesprochen, wenn sie in Zusammenhang mit Siedlungsräumen steht, die von ihrer Ausgleichsleistung profitieren. Erfüllt eine Grünfläche dagegen für den derzeitigen Siedlungsraum keine nennenswerte Funktion bzw. stellt keinen Ausgleichsraum dar, ist ihre klimaökologische Bedeutung geringer einzustufen. Im Falle zusätzlicher Bebauung im Bereich dieser Flächen kann sich deren Funktion ändern und muss ggf. neu bewertet werden. Die Grünflächen wurden für die Tag- und Nacht-Situation in einem teilautomatisierten Verfahren bewertet.

#### BEWERTUNG DER TAG- UND NACHTSITUATION

Für die Bewertung von Grünflächen in der Nacht rückt der Kaltlufthaushalt in den Fokus. So erhielten Kaltluftleitbahnen und Kaltluftaustauschbereiche automatisch eine hohe bis sehr hohe Bedeutung. Zudem spielen weitere Faktoren wie die Kaltluftproduktivität und die Nähe zu (belasteten) Siedlungsräumen eine entscheidende Rolle.

Für den Tag basiert die Bewertung der Grünflächen auf der modellierten Wärmebelastung (PET). Ähnlich zum Wirkungsraum wurde eine z-Transformation durchgeführt. Allerdings basiert die z-Transformation nicht auf der Statistik der gesamten Grünflächen Idsteins, sondern bezieht sich lediglich auf die nicht bewaldeten Grün- und Freiflächen. Mit einer PET von meist unter 29 °C sind in Waldgebieten die geringsten Werte zu finden. In der Tagsituation erhalten Waldgebiete damit automatisch höhere bioklimatische Bedeutung als die meisten weiteren Grünflächen mit geringerem Baumanteil.



Das Bewertungsschema der Abbildung 19 veranschaulicht welche Kriterien in Kombination mit der Wärmebelastung am Tag zu welcher Flächenbewertung des Ausgleichsraums geführt haben.

Ergänzend zur vierstufigen Bewertung der Ausgleichsräume wurden innerhalb der Kaltluftleitbahnen die jeweiligen Leitbahnachsen durch eine blaue Schraffur hervorgehoben (siehe Abbildung 20). Diese Bereiche sollten um die Funktion der Kaltluftleitbahn zu erhalten stadtplanerisch möglichst nicht nachteilig beeinflusst werden.

Kriterium	Definition/Funktion	Schutzbedarf	relative Wärmebelastung am Tag (14:00 Uhr)			
			sehr ungünstig	ungünstig	günstig	sehr günstig
1	kein Kriterium erfüllt	4	4	4	4	4
2	Grünfläche liegt im nahen Umfeld des bewohnten Siedlungsraums	3	4	3	3	2
3	Grünfläche liegt im nahen Umfeld hoher bis sehr hoher Wärmebelastung des unbewohnten Siedlungsraums	3	3	3	3	2
4	Grünfläche liegt im Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn bzw. eines Kaltluftaustauschbereichs	3	3	3	2	2
5	Grünfläche fungiert als Kaltluftaustauschbereich oder Einzugsgebiet mit hoher Kaltluftproduktion	2	2	2	2	2
6	Grünfläche im nahen Umfeld sehr hoher Wärmebelastung des bewohnten Siedlungsraums	2	2	2	2	2
7	Grünfläche im Bereich einer Kaltluftleitbahn	1	1	1	1	1

Abbildung 19: Bewertungsschema des Ausgleichsraums.



## 5.2. PLANUNGSHINWEISKARTE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Planungshinweiskarte (siehe Kartenausschnitt in Abbildung 20, Anhang A 7 bis Anhang A 14 bzw. externe gesamtstädtische Darstellung) im gesamtstädtischen Kontext dargestellt und beschrieben.

In Idstein haben mit 49,8 % etwa die Hälfte der Siedlungsflächen eine im gesamtstädtischen Vergleich günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation (Belastungsstufe 1 und 2, vgl. Tabelle 4), 32,5 % weisen eine ungünstige (Belastungsstufe 3) und weitere 17,7 % eine sehr ungünstige (Belastungsstufe 4) bioklimatische Situation auf. Die günstigsten Bedingungen befinden sich insbesondere in den ländlichen Stadtteilen Eschenhahn (durchschnittliche Belastungsstufe = 1,2), Lenzhahn (1,3), Kröftel (1,3), Oberauroff (1,5) sowie Nieder- und Oberrod (1,5). Aber auch Teile der insgesamt deutlich stärker belasteten Idsteiner Kernstadt weisen vergleichsweise günstige bioklimatische Bedingungen auf. Hierzu zählen beispielsweise die Wohnbebauungen im Bereich Schützenhausstraße bzw. Zinsgrabenweg, Am Tiergarten sowie Alte Poststraße.

Den gering belasteten Siedlungsräumen stehen die sehr dicht bebaute und stark versiegelte Idsteiner Innenstadt sowie die ebenfalls meist stark versiegelten Gewerbegebiete im Westen und Norden Idsteins mit einer meist hohen thermischen Belastung gegenüber (Belastungsstufe 4). Ebenfalls hohe Belastungen sind in baumarmen Wohngebieten wie insbesondere dem Taunusviertel zu beobachten. Hier ist es insbesondere die thermisch hohe Belastung am Tag die gebietsweise zur höchsten Belastungsstufe führt. Auch die alten Ortskerne der Stadtteile Wörsdorf, Walsdorf und Heftrich weisen aufgrund ihrer dichten Bebauungsstruktur eine meist sehr ungünstige bioklimatische Situation auf. Dies spiegelt sich auch in der durchschnittlichen Belastung wider, welche insbesondere in Wörsdorf und Walsdorf mit jeweils 2,8 ein ähnliches Niveau wie jenes der Kernstadt aufweist.

Das Belastungsniveau der Verkehrsflächen und Plätze korreliert stark mit jenem der umliegenden Siedlungsflächen. Eine positive Ausnahme stellt die Luxemburger Allee (Belastungsstufe 2) aufgrund der hohen Zahl an Straßenbäumen dar.

Unter den Idsteiner Grünflächen bzw. Ausgleichsräumen weisen ca. 80 % den geringsten Schutzbedarf (Priorität 4) auf (Tabelle 3). Dies begründet sich darin, dass lediglich Flächen, die in einem direkten Wirkzusammenhang mit dem Siedlungsflächen (Wirkraum) stehen eine potentiell erhöhte bioklimatische Funktion aufweisen. Dieser Wirkzusammenhang endet in der Regel spätestens nach 500 m, kann im Vorfeld von Kaltluftleitbahnen aber auch leicht darüber liegen (Kaltlufteinzugsgebiete). Mit rund 89 ha besitzen ca. 1,3 % der Idsteiner Grünflächen den höchsten bioklimatischen Schutzbedarf (Priorität 1). Bei den Flächen handelt es sich um die insgesamt 4 identifizierten Kaltluftleitbahnen im Bereich der Idsteiner Kernstadt. Bezogen auf die Kernstadt machen diese einen Anteil von 7,1 % der Grünflächen aus. Neben den Kaltluftleitbahnen wurden auch deren zentrale Bereiche (Leitbahnachsen) durch eine blaue Schraffur hervorgehoben. Diese 50 m breiten Korridore markieren die sensibelsten Flächen innerhalb der Kaltluftleitbahnen und sollten von baulichen Eingriffen möglichst ausgeschlossen werden. Dies gilt besonders für Bereiche, wo die Kaltluftleitbahnen eine Breite von 50 m nicht oder nur kaum überschreiten oder durch grünflächeninterne Strömungshindernisse wie beispielsweise größere Baumgruppen, Kleingartensiedlungen oder Sportanlagen gestört sind. Solche Engstellen sind insbesondere im Bereich der Kaltluftleitbahn Wolfsbachtal, wo der Leitbahndurchmesser südlich der Schützenhausstraße durchgängig nahe der 50 m liegt sowie innerhalb der Leitbahnen „Im Wasserfall“ (Engstelle zwischen L3027 und Kleingartensiedlung) und „Rosenküppel“ (Engstelle zwischen Schwimmbad und Gewerbebebauung) zu beobachten.



Weitere rund 312 ha (4,3 %) der Idsteiner Grünflächen wurden dem zweithöchsten Schutzbedarf 2 zugeordnet. Dabei handelt es sich überwiegend um die ausgewiesenen Kaltluftaustauschbereiche, welche sich im Wesentlichen dort befinden, wo siedlungsgerichtete Hangabwinde zu beobachten sind. Im Übergangsbereich zum Siedlungskörper sollte hier bei etwaigen baulichen Vorhaben sehr auf eine strömungsangepasste Baukörperstellung geachtet werden um eine Erhöhung der bebauungsbedingten Hinderniswirkung möglichst gering zu halten. Neben den Kaltluftaustauschbereichen besitzen auch innerstädtische Grünflächen im Nahbereich hoher bis sehr hoher thermischer Belastung (Belastungsstufe 3 und 4) einen hohen Schutzbedarf (Priorität 2). Innerhalb der Kernstadt handelt es sich hierbei beispielsweise um den Stolziesenpark sowie die Grünflächen entlang des Wörsbaches. Der Schutzbedarf 3. Priorität wurde weitestgehend den Kaltluftzugsgebieten der Leitbahnen und Kaltluftaustauschbereiche zugewiesen. Zudem gehören siedlungsinterne Grünflächen im Nahbereich vergleichsweise geringer Wärmebelastung sowie Grünflächen im unbewohnten Siedlungsumfeld dazu. Flächenmäßig machen diese insgesamt 1011 ha bzw. 14,1 % der Idsteiner Grünflächen aus.

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Bewertungen der Ausgleichs- und Wirkräume mit den jeweiligen Flächenanteilen zusammengefasst. Zudem werden für jede Belastungsstufe bzw. für jeden Schutzbedarf allgemeine Maßnahmenempfehlungen gegeben.

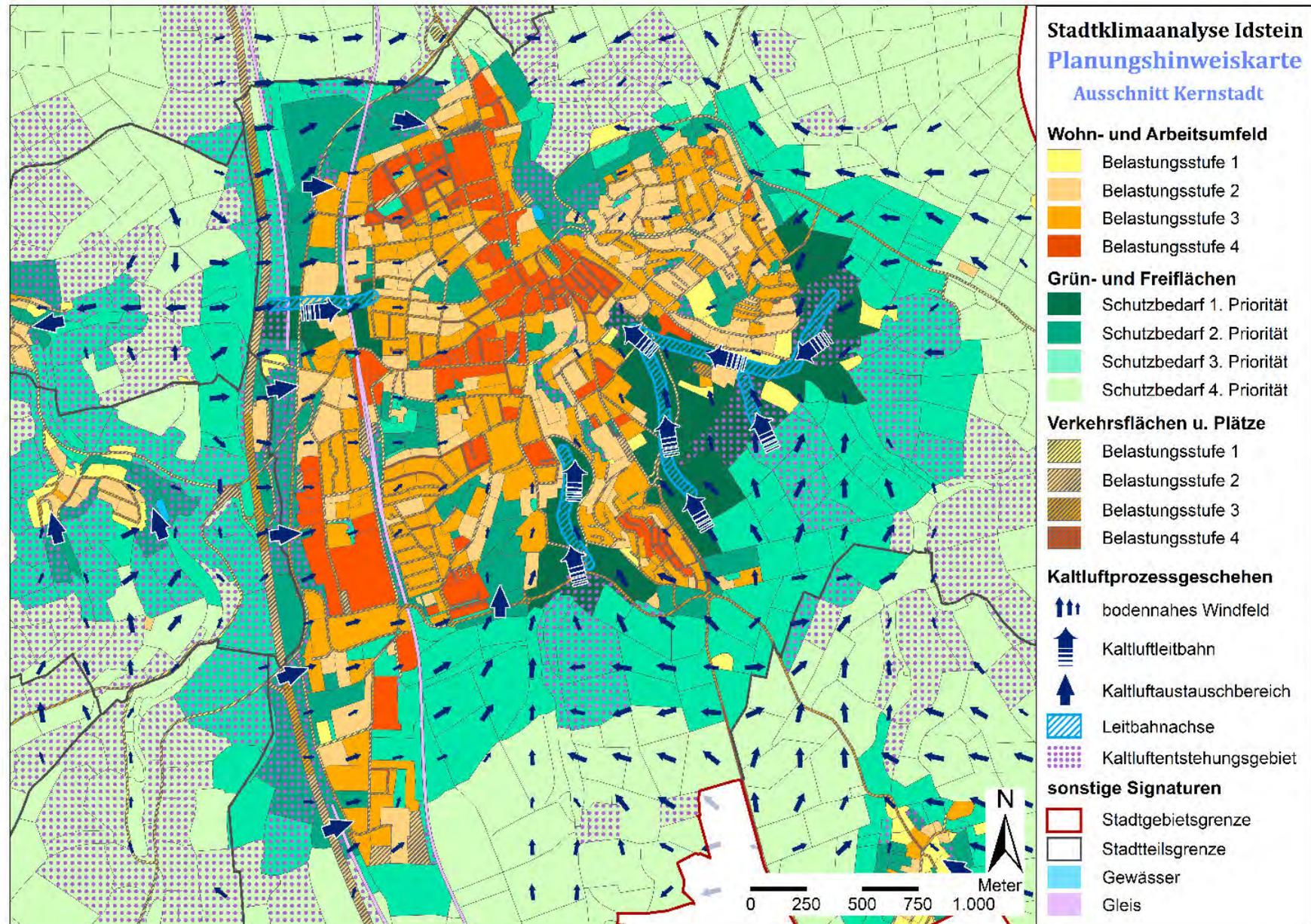


Abbildung 20: Ausschnitt der Planungshinweiskarte für den Bereich der Idsteiner Kernstadt (gekürzte Legende).



Tabelle 3: Ausgleichsraum: Flächenanteile und allgemeine Planungshinweise

Bewertung der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
Schutzbedarf 1	1,3	Die Flächen bilden die Kernbereiche der für die thermisch belasteten Siedlungsräume besonders relevanten Kaltluftleitbahnen und weisen damit eine sehr hohe klimaökologische Bedeutung auf. Aufgrund ihrer linienhaften Ausprägung weisen sie eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen auf, so dass möglichst keine neuen Strömungshindernisse geschaffen werden sollten. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Leitbahnachsen. Bei geplanten baulichen Entwicklungen jeglicher Art (aber ggf. auch z.B. bei Aufforstungen und sonstigen bodennahen Strömungshindernissen) sollte unbedingt auf den Erhalt der Klimafunktionen der Leitbahnen hingewirkt werden. Es sind modellgestützte Detailgutachten zu entsprechenden Einzelvorhaben – ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld – notwendig.
Schutzbedarf 2	4,3	Die Flächen liegen im Bereich von zu belasteten Siedlungsräumen gerichteten flächenhaften Kaltluftabflüssen (Kaltluftaustauschbereiche) und/oder im Nahbereich stark belasteter Siedlungsflächen. Sie weisen somit eine hohe klimaökologische Bedeutung auf. Eine bauliche Entwicklung ist nur unter der Prämisse des Erhalts der Klimafunktion fachlich zu vertreten. Für kleinere Vorhaben (z.B. Einzel-/Reihenhausbebauungen) ist in der Regel eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung ausreichend. Für mittlere und größere Vorhaben (Zeilen-/Geschosswohnungsbau, Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte ein modellgestütztes Detailgutachten – ggf. unter Berücksichtigung etwaiger weiterer Planungen im Umfeld – eingeholt werden.
Schutzbedarf 3	14,1	Die Flächen liegen in größerer Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen, weisen jedoch eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate oder einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom auf. Für kleinere und mittlere Vorhaben (z.B. Einzel-/Reihenhausbebauung, Zeilenbebauungen) sind in aller Regel keine negativen klimaökologischen Auswirkungen zu erwarten. Für größere Vorhaben (vor allem Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung eingeholt werden.
Schutzbedarf 4	80,3	Die Flächen liegen zwar innerhalb von Kaltluftprozessräumen, die für thermisch belastete Siedlungsräume relevant sind. Aufgrund ihrer Lage, Exposition oder Entfernung zu diesen Siedlungsräumen weisen sie aber nur eine geringe klimaökologische Bedeutung auf. Eine bauliche Entwicklung dieser Flächen ist aus klimaökologischer Sicht grundsätzlich möglich. Dabei sollte insbesondere auf die Ausrichtung der Baukörper in Fließrichtung des bodennahen Windfeldes geachtet werden. Für größere Vorhaben (vor allem Gewerbestandorte, Hochhäuser) sollte im Zweifel eine gutachterliche verbal-argumentative Stellungnahme zur Optimierung der Planung eingeholt werden.


**Tabelle 4: Wirkungsraum: Flächenanteile und allgemeine Planungshinweise zum Siedlungs- und Verkehrsraum**

Bewertung des Wohn- u. Arbeitsumfeldes	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
Belastungsstufe 1 (sehr günstig)	17,9	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das sehr günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil sollte möglichst erhalten bleiben.
Belastungsstufe 2 (günstig)	31,9	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig, können im Einzelfall aber gemäß dem Vorsorgeprinzip sinnvoll sein. Der Vegetationsanteil und Freiflächen sollten möglichst erhalten bleiben.
Belastungsstufe 3 (ungünstig)	32,5	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen und Vegetationsanteil erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
Belastungsstufe 4 (sehr ungünstig)	17,7	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil durch z.B. Straßenbäume und Entsiegelungsmaßnahmen erhöht werden (ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen, Verwendung von z.B. Rasengittersteinen anstatt Vollversiegelung oder Schotter).
Bewertung der Verkehrswege und Plätze	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
Belastungsstufe 1 (sehr günstig)	20,1	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fußwegen und Plätzen jedoch geprüft werden. Das sehr günstige Bioklima ist zu sichern.
Belastungsstufe 2 (günstig)	27,8	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht zwingend erforderlich, sollten im Umfeld hoher Siedlungsbelastung aber angestrebt werden (Beschattungsmaßnahmen). Das günstige Bioklima ist zudem zu sichern.
Belastungsstufe 3 (ungünstig)	33,5	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind insbesondere dann notwendig, wenn eine als ungünstig oder sehr ungünstig eingestufte Siedlungsfläche unmittelbar angrenzt. Der Grünanteil sollte erhöht werden.
Belastungsstufe 4 (sehr ungünstig)	18,6	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind insbesondere im Bereich von hoch belasteten Siedlungsräumen sowie von Plätzen, Haltestellen und Fußwegen im Rahmen der Möglichkeiten erforderlich. Die Verschattungssituation sollte ausgebaut und verbessert werden.



### 5.3. Maßnahmen und ihre Wirkungen

Die Planungshinweiskarte zeigt Bereiche in der Stadt auf, in denen Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation erforderlich bzw. empfehlenswert sind. Der nachstehende Maßnahmenkatalog zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgestaltung auf und soll dazu dienen, die Planungshinweise zu konkretisieren. Für Idstein wurde ein Katalog aus **19 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen** identifiziert. Die Maßnahmen sind stickpunktartig in Tabelle 5 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

- Thermisches Wohlbefinden im Außenraum<sup>5</sup>
- Verbesserung der Durchlüftung
- Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum<sup>6</sup>

Der Maßnahmenkatalog soll dazu dienen, bioklimatisch günstige Strukturen zu erhalten und bioklimatisch belastende Strukturen zu optimieren. Er stützt sich allein auf bioklimatische Aspekte und ist mit anderen (z.B. ökologischen oder stadtplanerischen) Belangen abzuwägen. Demnach sollten etwa Entsiegelungsmaßnahmen unter Beachtung der Belange des Boden- und Grundwasserschutzes umgesetzt werden und Vorhaben zum Rückbau im Hinblick auf die stadtplanerische Leitlinie „Innen- vor Außenentwicklung“ geprüft und abgewogen werden.

Soweit möglich sollte der Grünanteil im Stadtgebiet erhöht werden, insbesondere in thermisch belasteten Bereichen (→ M01: Innen-/Hinterhof-Begrünung, → M02: Öffentliche Grünräume schaffen). Wasserversorgte strukturreiche Grünflächen (mit Bäumen, Sträuchern) wirken sich durch ihre Verdunstung positiv auf das Umgebungsklima aus und erhöhen durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität (→ M07: Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können (ab einer gewissen Größe) als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekte zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und zur Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen).

Neben ihres Potentials zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen **Bäume** (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an. Im Bereich von Leitbahnen sollten Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und daher möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden. Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Großkronige Laubbäume sind Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit

<sup>5</sup> Bereich außerhalb von Gebäuden

<sup>6</sup> Gebäudeinnenraum; in diese Kategorie fallen insbesondere Maßnahmen, die direkt am oder im Gebäude umgesetzt werden



von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (vgl. „Projekt Stadtgrün 2021“ der LWG Bayern<sup>7</sup> oder GALK-Straßenbaumliste<sup>8</sup>).

**Maßnahmen zur Verschattung** verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung am Tage. Beschattete Straßen, Fuß- und Radwege oder Parkplätze speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten versiegelten Freiflächen (→ M06: Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien). Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeinseleffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden.

**Klimaangepasstes Bauen** enthält viele der bisher genannten Maßnahmen und ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei Nachverdichtung sind Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Berücksichtigung stadtklimatischer Belange möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die Gebäudeausrichtung zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlafzimmern (oder auch Arbeitszimmer/Büroräume) der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird (→ M19: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes). Umso mehr gilt dies für sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Krankenhäuser oder Pflegeheime. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → M10: Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die Albedo kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden, so ist die Reflektion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ M03: Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente<sup>9</sup> oder energetische Sanierung<sup>10</sup> sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ M14, M15, M16, M17).

Bei **Nachverdichtung** im Stadtgebiet sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden (insb. die Gewährleistung einer guten Durchlüftung). In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss. Um Nachverdichtung möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte *doppelte Innenentwicklung* in den Blickpunkt geraten (BfN 2016). Dabei geht es darum, Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf urbanes Grün zu entwickeln. Damit bildet diese auch Schnittstellen zum Städtebau, der Freiraumplanung und dem Naturschutz.

---

<sup>7</sup> [www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes\\_gruen/085113/index.php](http://www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085113/index.php) (Abruf 28.03.2021)

<sup>8</sup> [www.galk.de/index.php/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste](http://www.galk.de/index.php/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste) (Abruf 28.03.2021)

<sup>9</sup> Bäume, Vordächer, Markisen, Jalousien/Außenrollos, Sonnensegel, Sonnenschutzglas, etc.

<sup>10</sup> Wirkt nicht nur Energieverlusten im Winter entgegen, sondern auch gegen übermäßiges Aufheizen der Fassaden im Sommer.

## 5.4. MAßNAHMENKATALOG

Tabelle 5: Tabellarischer Maßnahmenkatalog zur Klimaanalyse Idstein.

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
<b>THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM</b>				
01	Innen-/Hinterhofbegrünung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vegetation und Entsiegelung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement und zur Biodiversität</li> </ul>	Innen- und Hinterhöfe
02	Öffentliche Grünräume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts</li> <li>Vernetzung von Grünflächen</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement und zur Biodiversität</li> </ul>	Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)
03	Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Helle Farben (insbesondere von Dächern) und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts</li> </ul>	Dächer (Neubau und Bestand), ggf. Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze
04	Entsiegelung / Versiegelungsanteil minimieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rasenflächen oder Teilversiegelung (Rasengittersteine, etc.)</li> <li>niedrige Anzahl oberirdischer Stellplätze zugunsten von Grünflächen oder begrünte Gebäudeflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und insb. nachts</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement</li> </ul>	Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe
05	Blau-grüne Verkehrsraumgestaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blaue oder grüne Maßnahmen für den Verkehrsraum (blau-grün muss nicht zwangsläufig in Kombination erfolgen)</li> <li>Erhöhung des Vegetationsanteils im Verkehrsraum (Bäume, Alleen, Begleitgrün, Rasengitter, etc.) sowie Schaffung von offenen Wasserflächen (z.B. Brunnenanlagen auf Plätzen)</li> <li>s. auch Forschungsprojekt „<a href="#">BlueGreenStreets: Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere</a>“ (BLUEGREENSTREETS 2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber (bei Pflanzung neuer Bäume) und nachts</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement (Entlastung des Kanalnetzes bei Starkregen, Grundwasserneubildung, Verdunstungskühlleistung) und zur Biodiversität</li> </ul>	Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
06	<b>Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bäume (Pflanzung oder Bäume in Pflanzkübeln) oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung, Sonnensegel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber und nachts</li> </ul>	Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude im Wohn- und Arbeitsumfeld
07	<b>Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mikroklimatische Vielfalt von Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts</li> <li>▪ Synergien zur Biodiversität</li> </ul>	Grün- und Freiflächen, Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze
08	<b>Erhalt und Verbesserung der Bodenkühlleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schutz von Ausgleichsräumen mit einer sehr hohen Bodenkühlleistung und Aufwertung von Böden mit mittlerer bis geringer Bodenkühlleistung</li> <li>▪ Verbesserung des Bodenaufbaus (Bodenlockerung, Bodenauftrag, usw.), Bodenschutz, Etablierung von verdunstungsstarken Pflanzen, Bewässerungsmaßnahmen, Begrünung und Entsigelung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung insbesondere nachts, aber auch tagsüber</li> <li>▪ Synergien zum Niederschlagswassermanagement</li> </ul>	Grün- und Freiflächen im Innen- und Außenbereich
09	<b>Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schutz von Grünflächen, die das Stadtklima besonders begünstigen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bedeutung für den Kaltlufthaushalt</li> <li>▪ Wichtige Funktionen für die Erholung, Biodiversität und Niederschlagswassermanagement</li> </ul>	Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
<b>VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG</b>				
10	<b>Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung</li> <li>Reduktion des Wärmestaus</li> </ul>	Neubau, Gebäudekomplexe
11	<b>Entdichtung (Rückbau)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts</li> <li>Verbesserung der Durchlüftung</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement</li> </ul>	Gebäude(-teile), z.B. in Blockinnenhöfen sowie Garagen, Lagerhallen, ggf. Industrie- und Gewerbebrachen, Bahnanlagen
12	<b>Vermeidung von Austauschbarrieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klimaökologische Belange anpassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz des Luftaustauschsystems</li> </ul>	Grün- und Freiflächen im Innen- und Außenbereich, gut durchlüftete Wohn- und Gewerbeflächen, Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze
13	<b>Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, Felder, Kleingärten und Parklandschaften (im Außen- und Innenbereich), die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben</li> <li>Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz vor stärkerer Überwärmung und Verschlechterung der Durchlüftung</li> <li>Synergien zur Biodiversität</li> </ul>	Grün- und Freiflächen im Innen- und Außenbereich, Wiesen und extensives Grünland

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
<b>REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM</b>				
14	<b>Dachbegrünung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung des Innenraumklimas</li> <li>Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich</li> <li>Synergien zum Niederschlagswassermanagement, Biodiversität und Klimaschutz</li> </ul>	Flachdächer, ggf. flach geneigte Dächer
15	<b>Fassadenbegrünung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas</li> <li>Synergien zur Biodiversität sowie zu Lärm- und Gebäudeschutz</li> </ul>	Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)
16	<b>Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirkung tagsüber und nachts</li> <li>Verbesserung des Innenraumklimas</li> <li>Synergien zum Klimaschutz</li> </ul>	Gebäude (Neubau und Bestand)
17	<b>Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dämmung von Gebäuden, helle Farbgebung (Erhöhung des Albedowertes), geeignete Raumlüftung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In erster Linie Klimaschutzmaßnahme</li> <li>Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber</li> </ul>	Gebäude (Bestand)
18	<b>Technische Gebäudekühlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Möglichst ressourcenschonende Lösung</li> <li>Adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird</li> <li>Erdkältenutzung</li> <li>Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder Abwärme angetrieben werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kühlung des Innenraums von Gebäuden durch eine möglichst nachhaltige Gebäudeklimatisierung</li> </ul>	Gebäude, in denen passive Maßnahmen nicht ausreichend angewendet werden können
19	<b>Anpassung des Raumnutzungskonzeptes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits- oder von Risikogruppen genutzte Zimmer, z.B. im Seniorenzentrum)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen)</li> </ul>	Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (vorwiegend Neubau)



## 5.5. HINWEISE ZUR NOTWENDIGKEIT UND UMSETZUNG DER MAßNAHMEN

Durch die in der Planungshinweiskarte dargestellten Bewertungen der Idsteiner Wirk- und Ausgleichsräume sind die verschiedenen Belastungsniveaus bzw. Schutzbedarfe sichtbar. Maßnahmenempfehlungen um das jeweilige Belastungsniveau zu reduzieren bzw. die Kaltluftfunktion der Grünflächen zu erhalten gewinnen mit steigender Belastungsstufe bzw. steigendem Schutzbedarf an Bedeutung. Das in Kapitel 2.1 beschriebene vergleichsweise günstige Stadtklima von Idstein weist darauf hin, dass die Notwendigkeit einer Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen primär als Vorsorgeleistungen, welche einer zukünftigen klimawandelbedingten Zunahme der Wärmebelastung entgegenwirken. Dies gilt nicht für Maßnahmen, welche die thermischen Belastung am Tag reduzieren, da diese zum einen schon heute relevant sind und zum anderen Maßnahmen wie das Anpflanzen von Straßenbäumen ihre Wirkung erst nach einem längeren Zeitraum voll entfalten.

Nachfolgend werden anhand einer Auswahl von Strukturtypen kurz- bzw. mittelfristig umzusetzende Maßnahmen skizziert. Es gilt zu berücksichtigen, dass in der Regel nicht jede Maßnahme aufgrund der lokalen Gegebenheiten umsetzbar ist, einzelne Maßnahmen aber dennoch einen ausreichend großen Effekt erzielen können. Ergänzend sollte im Einzelfall die Umsetzung weiterer Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog in Erwägung gezogen werden, um die Wirkung der nachfolgend aufgeführten Maßnahmenempfehlungen zu unterstützen.

### ALTSTADT UND DICHT BEBAUTE ORTSKERNE

Die Idsteiner Altstadt sowie die Ortskerne von Walsdorf, Wörsdorf und Heftrich weisen die höchsten thermischen Belastungen innerhalb des Idsteiner Stadtgebiets auf. Demzufolge sind es auch diese Flächen, die bereits einen kurzfristigen klimaökologischen Optimierungsbedarf besitzen. So sollten kurzfristig überall dort wo möglich Maßnahmen umgesetzt werden, die der thermischen Belastung am Tage entgegenwirken. Hierzu zählen insbesondere die Maßnahmen **„03 - Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten“**, **„05 - Blau-grüne Verkehrsraumgestaltung“**, **„06 - Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien“**, **„16 - Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen“** sowie **„17 - Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen“**. Zudem sollten mittelfristig zur Reduktion der nächtlichen Wärmebelastung **Entsiegelungsmaßnahmen (04)** z.B. im Bereich von Parkplätzen und Blockinnenhöfen und sofern durchführbar die **Begrünung von Innen- und Hinterhöfen (01)** stattfinden. Sollte ein Rückbau einzelner Bestandsgebäude zukünftig relevant werden, wäre die **Schaffung von zusätzlichem öffentlichem Grünraum (02)** einer Neubebauung aus klimaökologischer Sicht vorzuziehen.

Die Idsteiner Innenstadt als auch die oben genannten Ortskerne weisen aufgrund ihrer dichten Bebauungsstruktur nur wenig Spielraum hinsichtlich der aufgeführten Maßnahmenempfehlungen auf, weshalb eine Umsetzung selbiger zumeist nur eingeschränkt realistisch ist. So bietet sich potentiell hinsichtlich des Anpflanzens von zusätzlichen Straßenbäumen (entsprechend **Maßnahmen 05 und 06**) lediglich die vergleichsweise breite Straße „Weiherwiese“ an, wohingegen im Bereich der meisten anderen Straßen aufgrund ihrer geringen Breite in dieser Hinsicht nur wenig Handlungsspielraum besteht. Eine Alternative stellt hier der Einsatz temporärer und weniger platzintensiver Verschattungselemente wie Sonnensegel oder Bäume in Pflanzkübeln dar. Diese können beispielsweise im Bereich des Marktplatzes, Löherplatzes und König-Adolf-Platzes in den Sommermonaten für thermische Entlastung sorgen. Zudem bietet sich an geeigneter Stelle der ebenfalls platzsparende Einsatz von **Fassadenbegrünung (Maßnah-**



men 14 und 16) oder eine energetisch angepasste Sanierung der Gebäude und Verkehrswegoberflächen an (helle Farben/Baumaterialien; entsprechend **Maßnahmen 03 und 16**).

### **WOHNGBIETE MIT GERINGER BIS MÄßIGER BEBAUUNGSDICHTE**

Wohngebiete mit einer geringen bis mäßigen Bebauungsdichte weisen in Idstein nachts in der Regel keine erhebliche Wärmebelastung auf. Die hohe Belastungsstufe, welche insbesondere im Taunus- und Nassau-Viertel zu beobachten ist, ergibt sich vielmehr aus der hohen thermischen Belastung am Tag, was wiederum auf einen geringen Anteil höherer Vegetation zurückzuführen ist. Kurzfristig ist deshalb vergleichbar wie in der Innenstadt die Umsetzung von Maßnahmen wie „**05 - Blau-grüne Verkehrsraumgestaltung**“, „**06 - Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien**“, „**07 - Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren**“ sowie „**16 - Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen**“ überall dort anzustreben wo ein entsprechendes Defizit festzustellen ist. Aufgrund der im Vergleich zur Innenstadt besseren Platzsituation sind dabei permanente Verschattungselemente wie Straßenbäume den temporären Maßnahmenalternativen vorzuziehen.

Hinsichtlich der Nachtsituation sollte eine weitere Nachverdichtung innerhalb und im näheren Umfeld der betroffenen Siedlungsflächen nicht („**12 - Vermeidung von Austauschbarrieren**“) bzw. nur bei Sicherstellung einer ausreichenden Kaltluftversorgung erfolgen („**10 - Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten**“).

### **GEWERBEGEBIETE**

Gewerbegebiete besitzen aufgrund ihres hohen Bauvolumens und Versiegelungsgrades neben den Innenstadtbereichen in der Regel mit das höchste thermische Belastungsniveau innerhalb einer Stadt. In Idstein handelt es sich hierbei im Wesentlichen um das Gewerbegebiet im Umfeld der Black-und-Decker-Straße, die Gewerbebebauung im Bereich der Wiesbadener Straße sowie der Gewerbeflächenanteil innerhalb des NassauViertels. Neben einer im lokalen Vergleich hohen nächtlichen Wärmebelastung weisen die genannten Gewerbegebiete insbesondere am Tag eine erhöhte Wärmebelastung auf. Da Gewerbegebiete primär als Arbeitsumfeld fungieren, spielt die Tagsituation hier eine noch entscheidendere Rolle. Dementsprechend sind kurzfristig umzusetzende Maßnahmen ebenfalls primär auf die Verbesserung der bioklimatischen Situation am Tag auszurichten. Vergleichbar zu den vorangegangenen Strukturtypen sind demnach die Maßnahmen „**03 - Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten**“, „**05 - Blau-grüne Verkehrsraumgestaltung**“, „**06 - Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien**“, „**07 - Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren**“ sowie „**16 - Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen**“ nach Möglichkeit kurzfristig umzusetzen. Bei Erschließung der derzeit noch vorhandenen Baulücken z.B. im Bereich des NassauViertels ist auf eine möglichst strömungsangepasste Baukörperstellung zu achten („**10 - Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten**“). Zudem sind die Belange des klimaangepassten Bauens zu beachten, indem die Maßnahmen „**Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten**“ (3), „**Dachbegrünung**“ (14), „**Fassadenbegrünung**“ (15), „**Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen**“ (16) in der Planung Berücksichtigung finden.



## AUßENENTWICKLUNG

Mit Außenentwicklung ist die bauliche Erschließung derzeit noch unbebauter Ausgleichsräume gemeint. Bei der Umsetzung muss dabei zunächst unterschieden werden welche klimaökologische Funktion der entsprechende Ausgleichsraum in der derzeitigen Situation besitzt. So sind bauliche Maßnahmen im Bereich von Kaltluftleitbahnen (Schutzbedarf 1. Priorität) sowie der Kaltluftaustauschbereiche (Schutzbedarf 2. Priorität) aus klimaökologischer Sicht nicht zu empfehlen. Dies gilt insbesondere für die zentralen Leitbahnachsen. Ist eine bauliche Erschließung aus gewichtigen Gründen dennoch angedacht, ist der Erhalt der Kaltluftfunktion unbedingt zu gewährleisten („**13 - Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen**“). Dabei ist hinsichtlich des Durchmessers ein Mindestmaß der Kaltluftleitbahnen von 50 m zwingend erforderlich (entsprechend dem Durchmesser der Leitbahnachsen). Im Übergangsbereich zum Siedlungsraum ist zudem eine ausreichende Durchströmbarkeit der Kaltluft zu gewährleisten („**12 - Vermeidung von Austauschbarrieren**“). Bei der Umsetzung der Neubebauung sind die Belange des klimaangepassten Bauens möglichst einzuhalten. Dieses beinhaltet neben einer strömungsangepassten Ausrichtung der Gebäudekörper („**10 - Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten**“) auch Maßnahmen wie „**Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten**“ (3), „**Dachbegrünung**“ (14), „**Fassadenbegrünung**“ (15), „**Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen**“ (16) sowie die „**Anpassung des Raumnutzungskonzeptes**“ (19) indem sensible Räume wie Schlaf- und Arbeitszimmer beispielsweise nicht nach Süden ausgerichtet werden.



## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Bislang wurde das Stadtklima der Stadt Idstein noch nicht untersucht – angesichts der weiteren Siedlungsentwicklung war im Hinblick auf das aktuelle bzw. das in Zukunft klimawandelbedingt zunehmende Belastungsniveau sowie hinsichtlich der künftigen städtebaulichen Planung eine erste Untersuchung des Stadtklimas notwendig. Gemäß dem Stand der Technik wurde eine Rechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH 3D durchgeführt, um hochaufgelöste, flächendeckende Ergebnisse für das gesamte Stadtgebiet zu erhalten.

Die Modellrechnung beruht auf der Annahme einer sommerlichen Strahlungswetterlage (d.h. ohne Bewölkung), die typischerweise zu den höchsten Belastungen führt. In solch einer „autochthonen Sommernacht“ ist der Wärmeinseleffekt besonders stark ausgeprägt und kein übergeordneter Luftaustausch vorhanden („die Luft steht“). Lokal können sich jedoch Ausgleichsströmungen bilden und für Entlastung im Stadtgebiet sorgen. Neben reliefbedingten Hangabwinden sind Flurwinde die wichtigsten dieser Windsysteme. Flurwinde werden durch Temperaturunterschiede angetrieben und sind vom kühleren Umland auf die überwärmten Stadtgebiete ausgerichtet. Im besten Fall kann damit Kaltluft (und ggf. Frischluft) über zusammenhängende Grünzüge bzw. Freiflächen bis weit in den Stadtkörper fließen.

Bei Betrachtung der modellierten bodennahen Lufttemperatur zeigt sich eine deutliche nächtliche Überwärmung der überdurchschnittlich stark versiegelten Siedlungsflächen – so weisen beispielsweise die Idsteiner Innenstadt, die Ortskerne von Walsdorf und Wörsdorf sowie die hochversiegelte Gewerbeflächen im Norden und Westen der Idsteiner Kernstadt um bis zu 5 °C höhere Temperaturen als das natürliche, weitgehend unbebaute Umland auf (Wärmeinseleffekt). Da diese Flächen auch am Tag mit dem höchsten Belastungsniveau aufweisen, sind es auch diese, die in der Planungshinweiskarte das höchste Belastungsniveau zugewiesen bekommen haben. Die weiteren Siedlungsflächen zeigen je nach Bebauungsdichte und Grünflächenanteil einen durchschnittlichen Wärmeinseleffekt von moderaten 2 bis 3 K auf. Insbesondere in den ländlichen Ortsteilen wie Eschenhahn, Lenzhahn oder Kröftel herrscht mit einem Wärmeinseleffekt von meist 1 bis 2 K ein noch günstigeres Bioklima vor.

Im Vergleich zu anderen Städten liegt in Idstein ein verhältnismäßig günstiges Stadtklima vor. So ist der maximale Wärmeinseleffekt von 4 bis 5 K insgesamt als moderat zu bewerten und befindet sich im erwartbaren Bereich. Auch die durchschnittliche Überwärmung der Kernstadt von 2,7 K (Gesamtstadt = 2,1) zeigt keine auffallend hohe Belastung. Begünstigt wird die Kernstadt durch eine überwiegende Tallage innerhalb des Taunus sowie durch das in weiten Teilen vorherrschende Relief. In Bezug auf den Kaltlufthaushalt sorgen die Hangabwinde der umliegenden Höhenzüge insbesondere in der Nacht für eine kühlende Wirkung. Dies trifft auch auf einen Großteil der weiteren Ortsteile zu, wobei der Ortskern von Walsdorf aufgrund seiner Lage auf einer Anhöhe eine Ausnahme darstellt.

In der Tagsituation weisen neben den dicht bebauten und stark versiegelten Gewerbegebieten sowie der Idsteiner Innenstadt auch einige gering bis mäßig dicht bebaute Wohngebiete eine teils sehr starke thermische Belastung auf. Hier sind insbesondere das TaunusViertel und NassauViertel zu nennen.

Besonders wichtige Funktionen als Kaltluftleitbahnen übernehmen in Idstein die Grünzüge im Bereich „Wolfsbachtal“, „Wörsbachtal“, „Im Wasserfall“ sowie „Rosenküppel“, welche Kaltluft von Süden bzw. Westen her in das thermisch belastete Stadtgebiet tragen. Außerdem treten im gesamten Untersuchungsgebiet immer wieder flächenhaft durchlüftete Grünräume auf, die auch zur Durchlüftung der äußeren Siedlungsbereiche beitragen. Hierzu zählen die jeweiligen Hangbereiche, welche auf die einzelnen Siedlungskörper ausgerichtet sind. So wird die Idsteiner Kernstadt flächenhaft vor allem von Westen aus mit Kalt- bzw. Frischluft versorgt. In Wörsdorf und Niederaueroff findet die Durchlüftung ausgehend von den Hängen im Osten und Westen statt, wohingegen Walsdorf und Oberaueroff vorwiegend aus südlicher Richtung, Heftrich von Süden und Osten, Dasbach von Südosten und Ehrenbach aus südlicher bis westlicher Richtung



durchlüftet wird. Aus den jeweiligen Durchlüftungsrichtungen ergeben sich für jeden Ortsteil entsprechende Kaltluftaustauschbereiche, welche nach den Kaltluftleitbahnen die höchste bioklimatische Funktion innerhalb der Grünflächen besitzen. Der Übergangsbereich zum Siedlungskörper sollte in diesen Bereichen möglichst offengehalten werden um die Durchlüftung nicht zu behindern. Insbesondere bei baulichen Planungen sollte deshalb auf eine strömungsangepasste Baukörperstellung geachtet werden. Darüber hinaus können (intakte) städtische Grünflächen ebenfalls eine wichtige bioklimatische Funktion aufweisen. Diesbezüglich ist der Stolziesenpark hervorzuheben, dessen kühlende Wirkung auf die umliegende Bebauung ausstrahlt. Neben Parks wirken oftmals auch Friedhöfe, Kleingärten aufgrund ihrer Grünprägung positiv auf das Stadtklima ein.

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung sind die Basis der Stadtklimaanalyse Idstein und erlauben genaue Aussagen zu den Klimaparametern verschiedener Flächen. Für die tägliche Arbeit in der Planungspraxis noch wichtiger ist das Inwertsetzen der Ergebnisse, etwa in Form der Planungshinweiskarte. In dieser wird eine Bewertung der Siedlungs- und Straßenflächen bzw. Plätze als „Wirkungsraum“ sowie der Grünflächen als „Ausgleichsraum“ hinsichtlich ihrer bioklimatischen Situation vorgenommen und mit allgemeinen Planungshinweisen verbunden. Die Bewertungen beruhen auf den klimaökologischen Funktionen ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen. Die getroffenen Bewertungen - insbesondere der Wirkräume - stellen dabei eine relative Bewertung auf lokaler Ebene dar, d.h. es werden die Siedlungsflächen hervorgehoben, die innerhalb der Stadt eine über- oder unterdurchschnittliche Belastung aufweisen. Ein direkter Vergleich der Flächenbewertungen anderer Städte ist somit nur bedingt möglich. Hierfür eignen sich der zuvor aufgegriffene Wärmeinseleffekt sowie die Betrachtung des Kaltluftprozessgeschehens deutlich besser.

In der Nachtsituation orientiert sich die Bewertung der Grünflächen an ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt des Stadtgebiets, sodass den genannten Kaltluftleitbahnen bzw. den für das Kaltluftprozessgeschehen wichtigen Grünflächen die höchsten bioklimatischen Bedeutungen zugeschrieben werden. Die Bewertung des Siedlungsraums spiegelt die nächtliche Überwärmung wider. Entsprechend weisen u.a. die Idsteiner Innenstadt sowie die Ortskerne von Wörsdorf und Walsdorf die ungünstigsten Bedingungen auf.

Bei der Bewertung der Tagsituation wird die Wärmebelastung außerhalb von Gebäuden betrachtet. Dabei sind Wohn- und Gewerbegebiete gleichermaßen von Bedeutung, um die Auswirkungen auf die Wohn- sowie arbeitende Bevölkerung abzubilden. In den Vordergrund rücken zudem der Straßenraum für Wegebeziehungen und Pendlerströme sowie die Aufenthaltsqualität auf Plätzen und die Erreichbarkeit von (möglichst öffentlichen und kühlen) Grünflächen.

Die aus der Bewertung der Nacht- und Tagsituation resultierende Planungshinweiskarte verdeutlicht die vergleichsweise hohen Belastungen im Bereich der Idsteiner Innenstadt, dem Taunusviertel, den Gewerbegebieten sowie den Orstkernen von Wörsdorf, Walsdorf und Heftrich. In Anbetracht des insgesamt moderaten Belastungsniveaus von Idstein sind es primär diese Flächen mit der höchsten Belastung innerhalb Idsteins, für welche gezielte Maßnahmen zur thermischen Entlastung notwendig sind. Hier sollte kurzfristig insbesondere der thermischen Belastung am Tag entgegengewirkt werden. In Bereichen der zweithöchsten Belastungsstufe 3 ist die Umsetzung von Maßnahmenempfehlungen derzeit noch nicht notwendig, allerdings in Anbetracht des zu erwartenden Klimawandels entsprechend des Vorsorgeprinzips mittelfristig anzustreben. Wirksame Maßnahmen sind in diesem Zusammenhang vor allem Rückbau, Entsiegelungsmaßnahmen z.B. in Form von Innenhofbegrünungen oder das Teilversiegeln von Parkplätzen sowie eine Erhöhung des Grünanteils mittels einer Anpflanzung von Straßenbäumen und der Begrünung von Hausfassaden. Da die genannten Maßnahmen aufgrund der lokalen Gegebenheiten nicht immer im vollen Umfang umsetzbar sind, bietet sich eine Kombination mit ergänzenden Maßnahmen an. So wurde für Idstein ergänzend zu den allgemeinen Planungshinweisen ein Katalog aus 19 klimaökologisch wirksamen Maßnahmen



erstellt, welche als Planungsempfehlungen und Ergänzung zur Planungshinweiskarte zu verstehen sind. Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Stadtklimas in Idstein beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

Hinsichtlich der Idsteiner Grünflächen beschränken sich die empfohlenen Maßnahmen weitestgehend auf den Erhalt ihrer derzeitigen Klimafunktion. Dies gilt primär für die als Kaltluftleitbahn und Kaltluftaustauschbereich ausgewiesenen Flächen sowie insbesondere der zentralen Leitbahnachsen. Bauliche Eingriffe sollten in diesen Bereichen möglichst vermieden werden bzw. nur bei einer Sicherstellung des Erhalts der Kaltluftfunktion erfolgen. Die Umsetzung der baulichen Eingriffe sollte dabei im Zweifel durch ein modelltechnisch gestütztes Gutachten begleitet werden.

Um etwaige Nachverdichtungen möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte doppelte Innenentwicklung in den Blickpunkt geraten. Dabei geht es darum, Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf urbanes Grün zu entwickeln. In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss.



## 7. LITERATUR

- BfN (2016) – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (HRSG.): URBANES GRÜN IN DER DOPPELTEN INNENENTWICKLUNG. BfN-SKRIPTEN 444.
- BLUEGREENSTREETS (HRSG.) (2020): BLUEGREENSTREETS ALS MULTICODIERTE STRATEGIE ZUR KLIMAFOLGENANPASSUNG – WISSENSTAND 2020, APRIL 2020, HAMBURG.
- DFG (1988) – DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DES KLIMAS UND KLIMAMODELLE. ABSCHLUSSBERICHT. BONN.
- GROß, G. (1989): NUMERICAL SIMULATION OF THE NOCTURNAL FLOW SYSTEMS IN THE FREIBURG AREA FOR DIFFERENT TOPOGRAPHIES. BEITR. PHYS. ATMOSPH. , H 62 , S. 57-72.
- GROß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- GROß, G. (1993): NUMERICAL SIMULATION OF CANOPY FLOWS. SPRINGER VERLAG HEIDELBERG.
- GROSS, G. (2002): THE EXPLORATION OF BOUNDARY LAYER PHENOMENA USING A NONHYDROSTATIC MESOSCALE MODEL. METEOR. Z.SCHR. VOL. 11 NR. 5., S. 701-710.
- HÄCKEL, H. (2012): METEOROLOGIE. 7. AUFLAGE. STUTT GART.
- KUTTLER, W. (1999): HUMAN-BIOMETEOROLOGISCHE BEWERTUNG STADTKLIMATOLOGISCHER ERKENNTNISSE FÜR DIE PLANUNGSPRAXIS. IN: WISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN AUS DEM INSTITUT FÜR METEOROLOGIE DER UNIVERSITÄT LEIPZIG UND DEM INSTITUT FÜR TROPOSPHÄRENFORSCHUNG E. V. LEIPZIG. BAND 13.
- MALBERG, H. (2002): METEOROLOGIE UND KLIMATOLOGIE- EINE EINFÜHRUNG. 4. AUFLAGE. BERLIN, HEIDELBERG.
- MATZARAKIS, A. UND H. MAYER (1996): ANOTHER KIND OF ENVIRONMENTAL STRESS: THERMAL STRESS. WHO NEWSLETTER NO. 18: 7-10.
- MAYER, H., W. BECKRÖGE UND A. MATZARAKIS (1994): BESTIMMUNG VON STADTKLIMARELEVANTEN LUFTLEITBAHNEN. UVP-REPORT 5/94, S. 265-268.
- OKE, T. R. (1973): CITY SIZE AND THE URBAN HEAT ISLAND. ATMOSPHERIC ENVIRONMENT (1967), VOLUME 7, ISSUE 8: S. 769-779.
- SCHÖNWIESE, C.- D. (2008): KLIMATOLOGIE. 3. AUFLAGE. STUTT GART.
- VDI (2004): VDI-RICHTLINIE 3787 BLATT 9. UMWELTMETEOROLOGIE. BERÜCKSICHTIGUNG VON KLIMA UND LUFTHYGIENE.
- VDI (2008A): VDI-RICHTLINIE 3785 BLATT 1. UMWELTMETEOROLOGIE. METHODIK UND ERGEBNISDARSTELLUNG VON UNTERSUCHUNGEN ZUM PLANUNGSRELEVANTEN STADTKLIMA.
- VDI (2008B): VDI-RICHTLINIE 3787 BLATT 2. UMWELTMETEOROLOGIE. METHODEN ZUR HUMAN-BIOMETEOROLOGISCHEN BEWERTUNG VON KLIMA UND LUFTHYGIENE FÜR DIE STADT- UND REGIONALPLANUNG. TEIL I: KLIMA.
- VDI (2014): VDI-RICHTLINIE 3787 BLATT 1. UMWELTMETEOROLOGIE. KLIMA- UND LUFTHYGIENEKARTEN FÜR STÄDTE UND REGIONEN. ENTWURF.

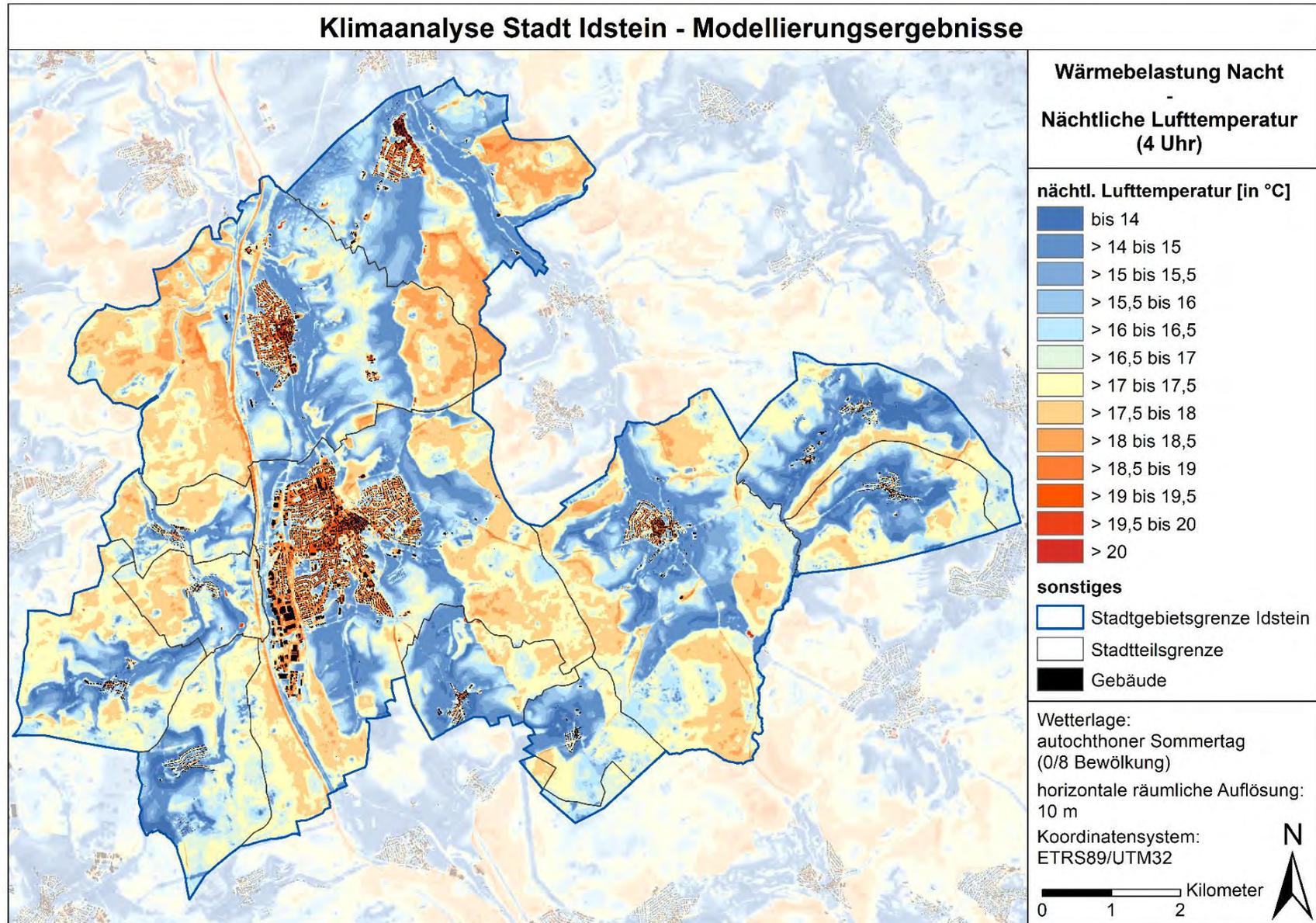


## ANHANG

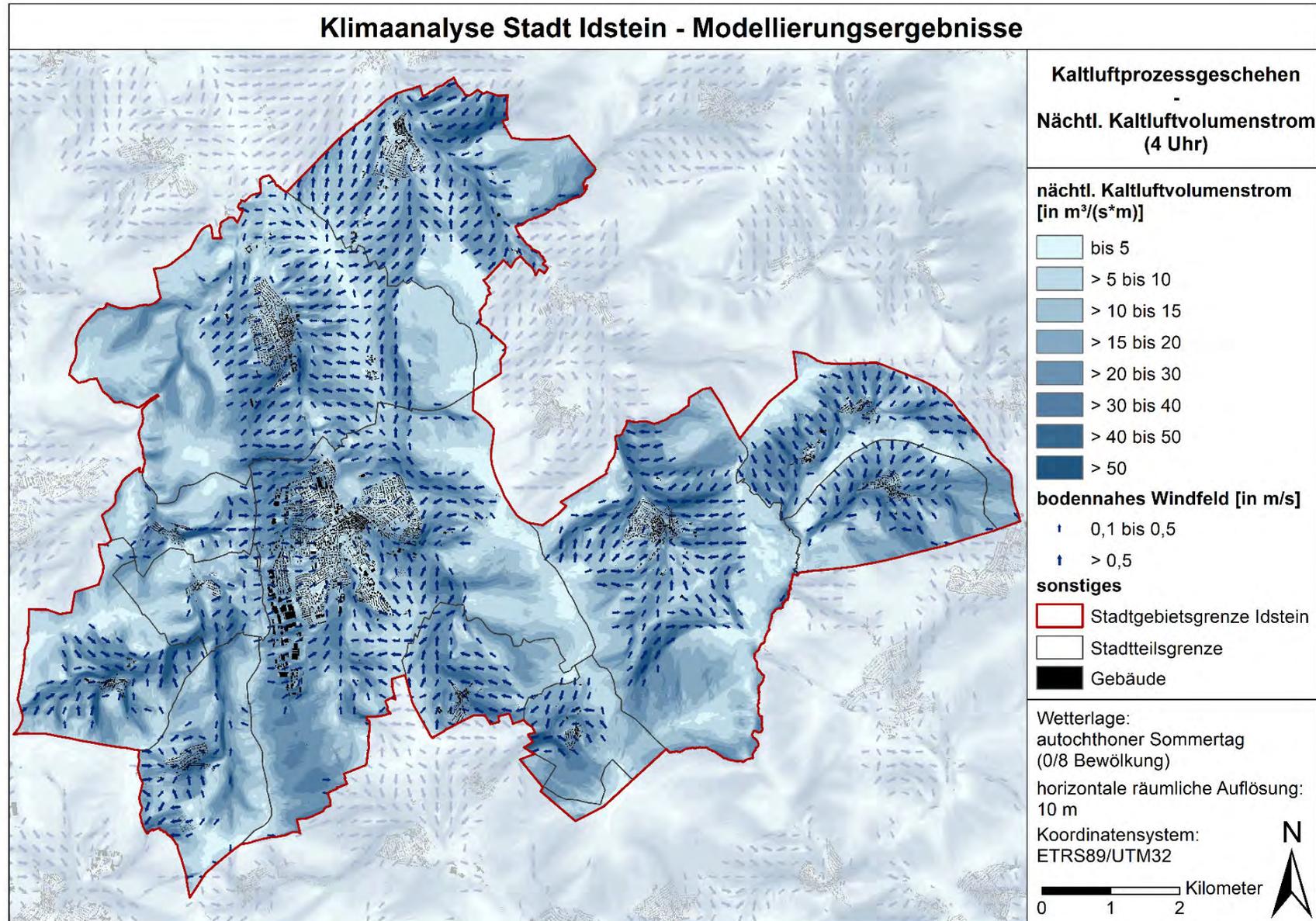
*Anhang A 1: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 2004).*

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwache Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

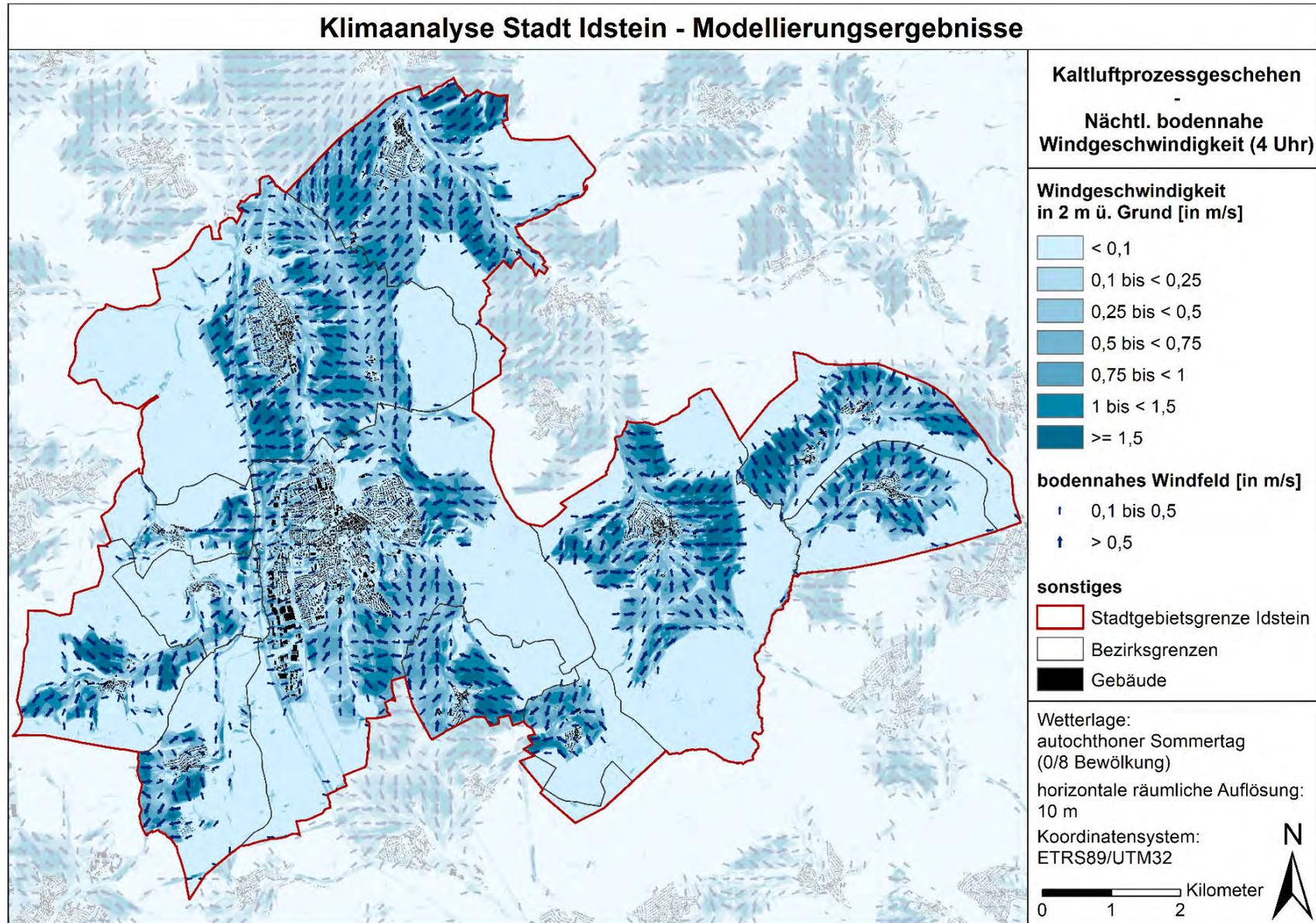
Anhang A 2: Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Lufttemperatur im Idsteiner Stadtgebiet.



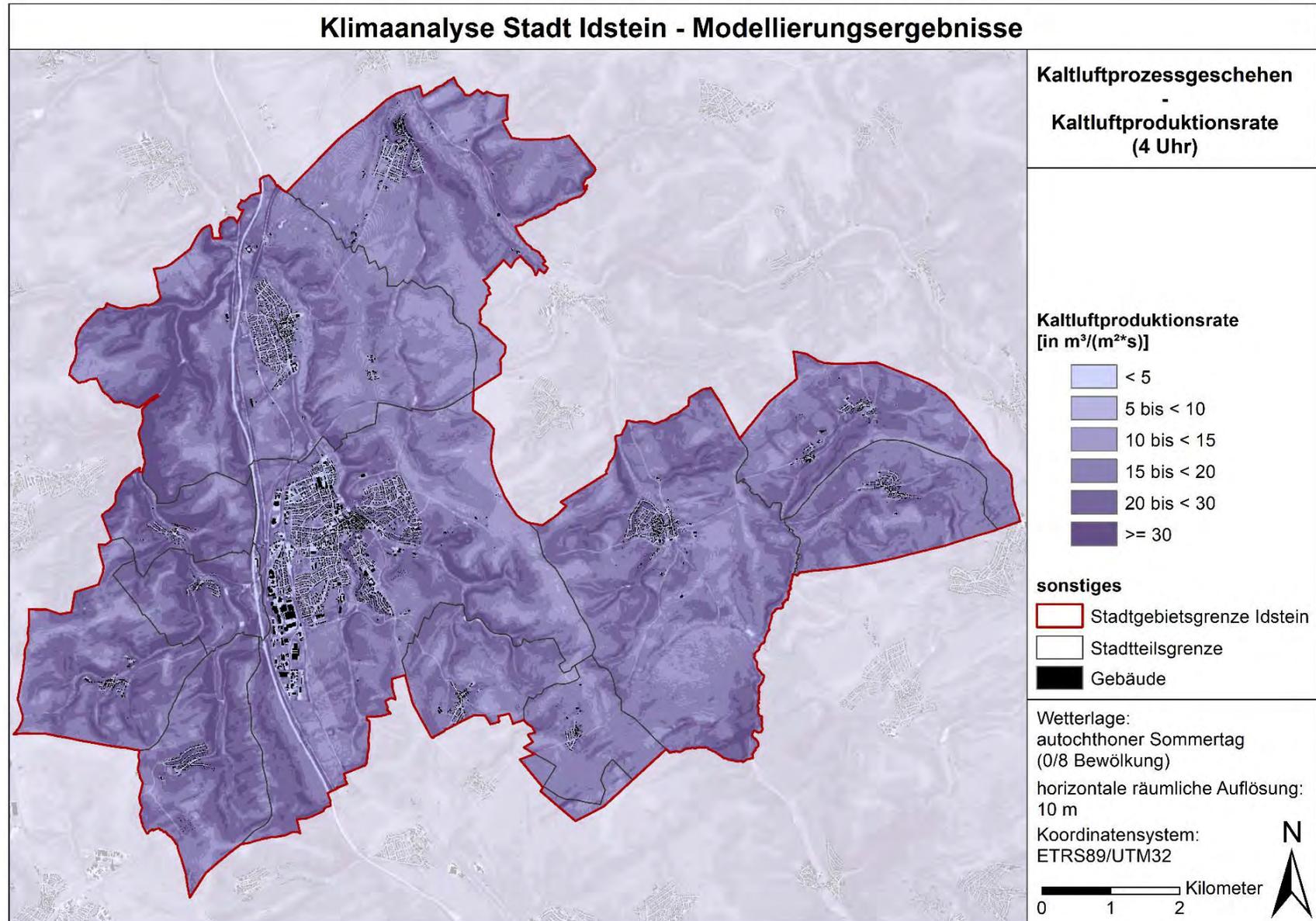
Anhang A 3: Rasterbasierte Darstellung des modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Idsteiner Stadtgebiet.



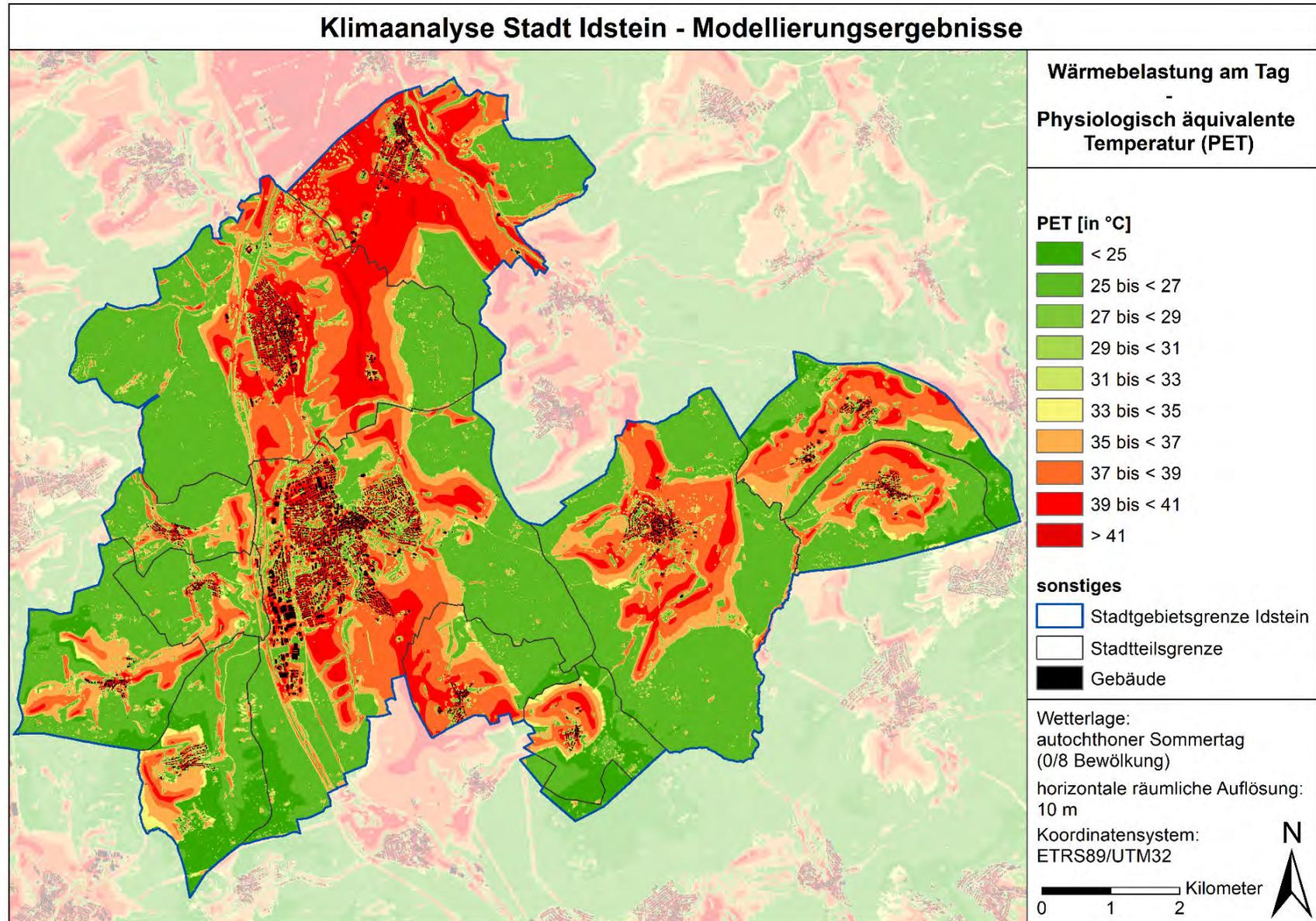
Anhang A 4: Rasterbasierte Darstellung des modellierten bodennahen Windfeldes im Idsteiner Stadtgebiet.



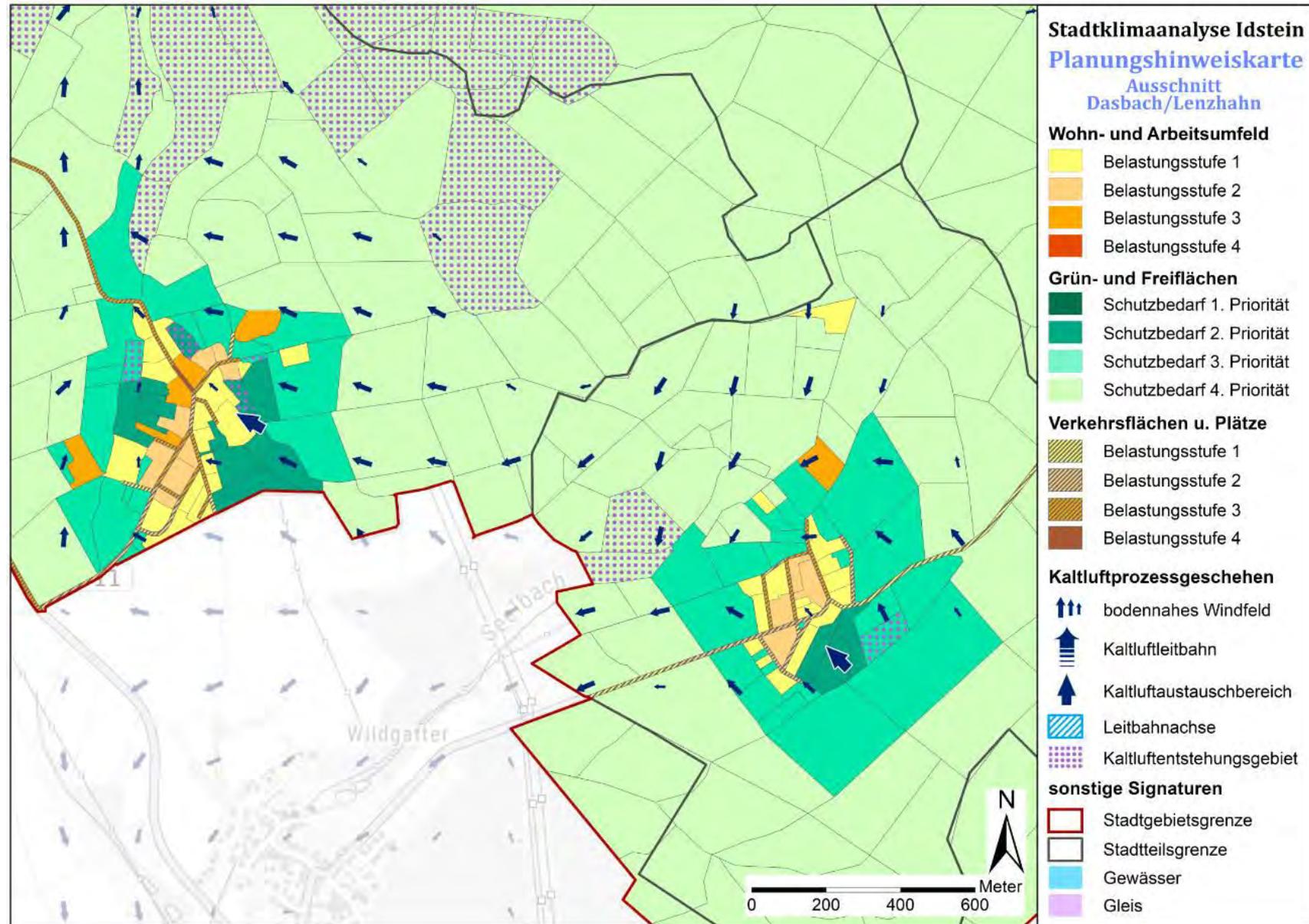
Anhang A 5: Rasterbasierte Darstellung der modellierten nächtlichen Kaltluftproduktionsrate im Idsteiner Stadtgebiet.



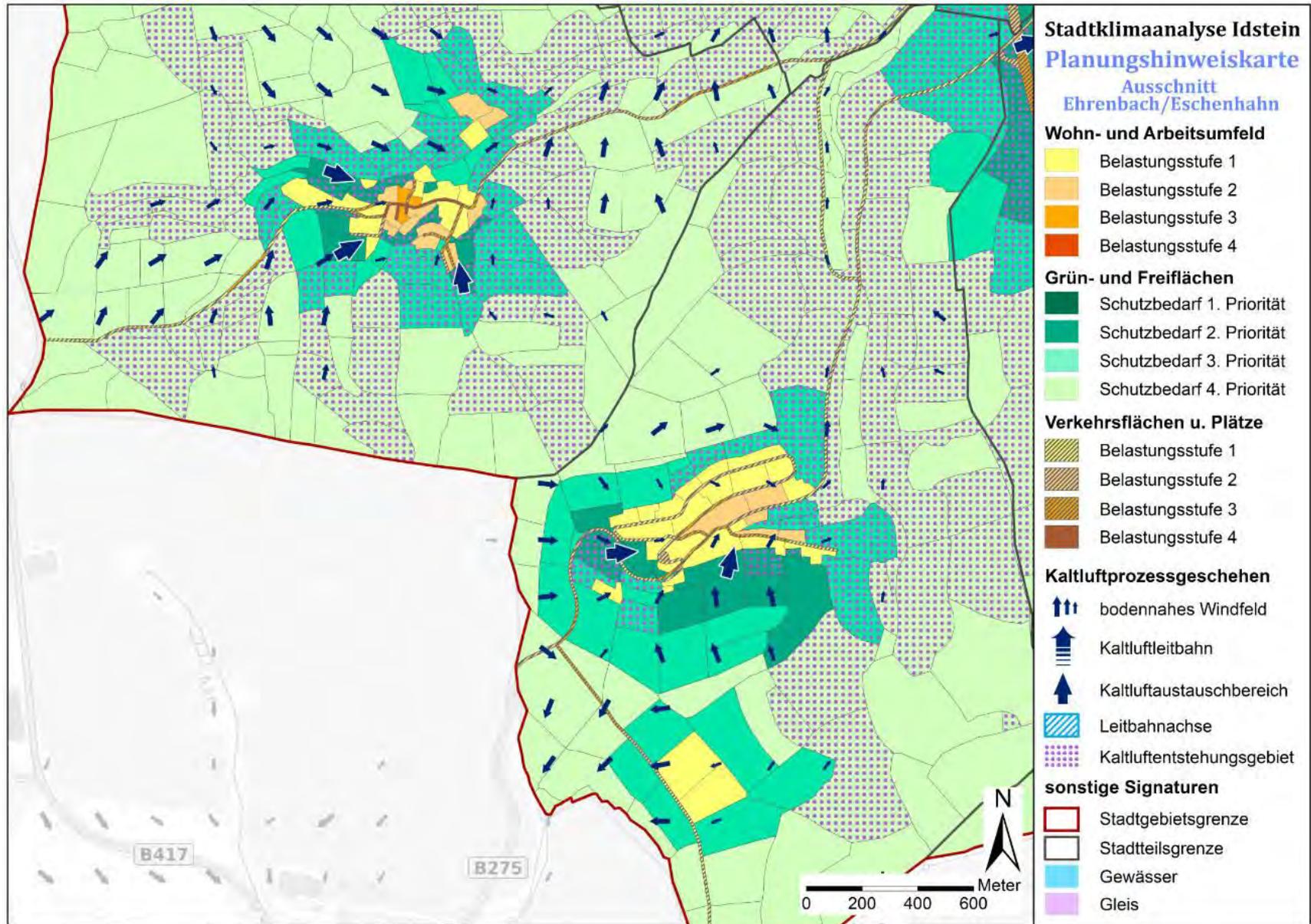
Anhang A 6: Rasterbasierte Darstellung der Wärmebelastung am Tag anhand der PET für das Idsteiner Stadtgebiet.



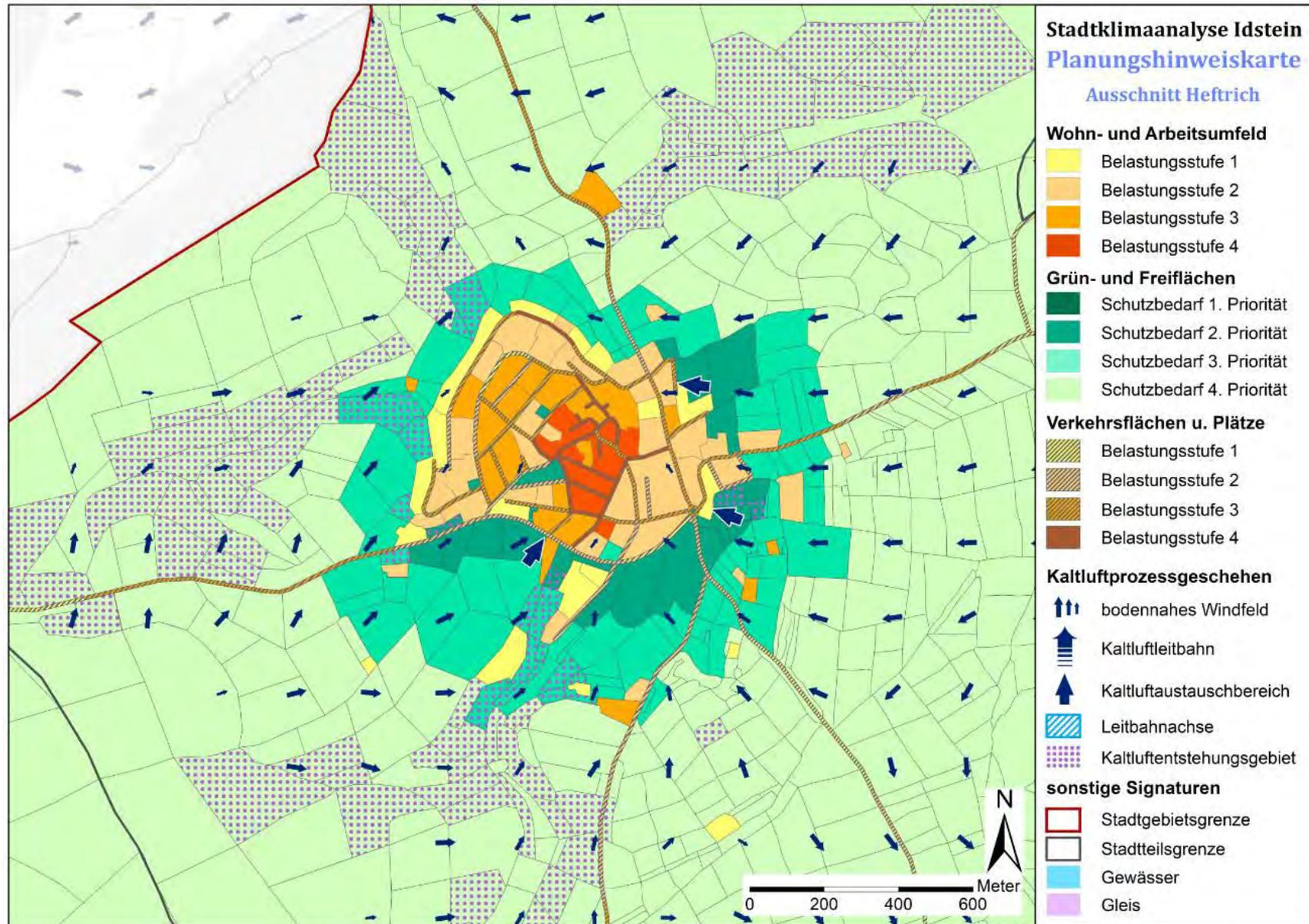
Anhang A 7: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Dasbach/Lenzhahn (verkürzte Legende).



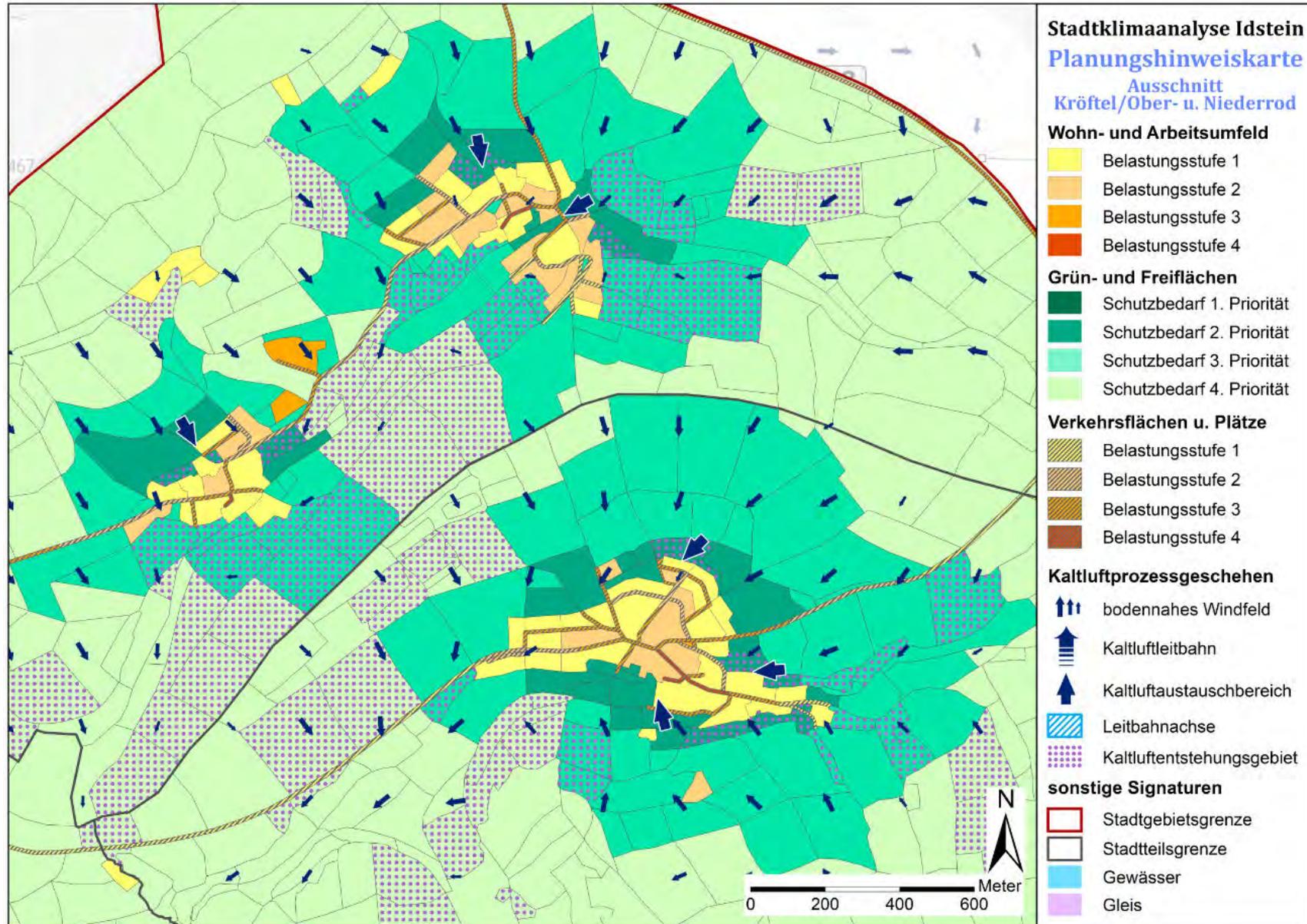
Anhang A 8: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Ehrenbach/Eschenhahn (verkürzte Legende).



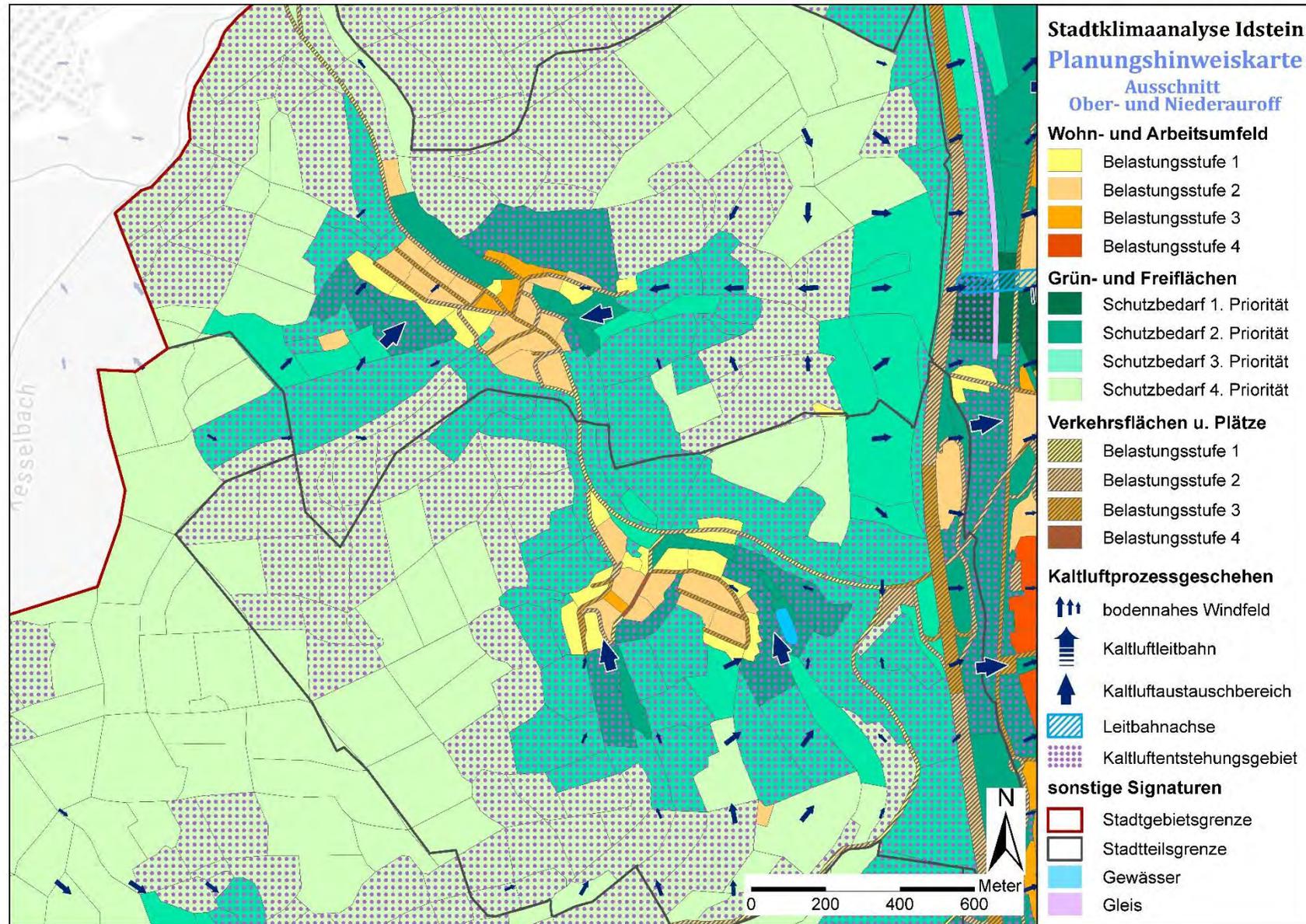
Anhang A 9: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Hetrich (verkürzte Legende).



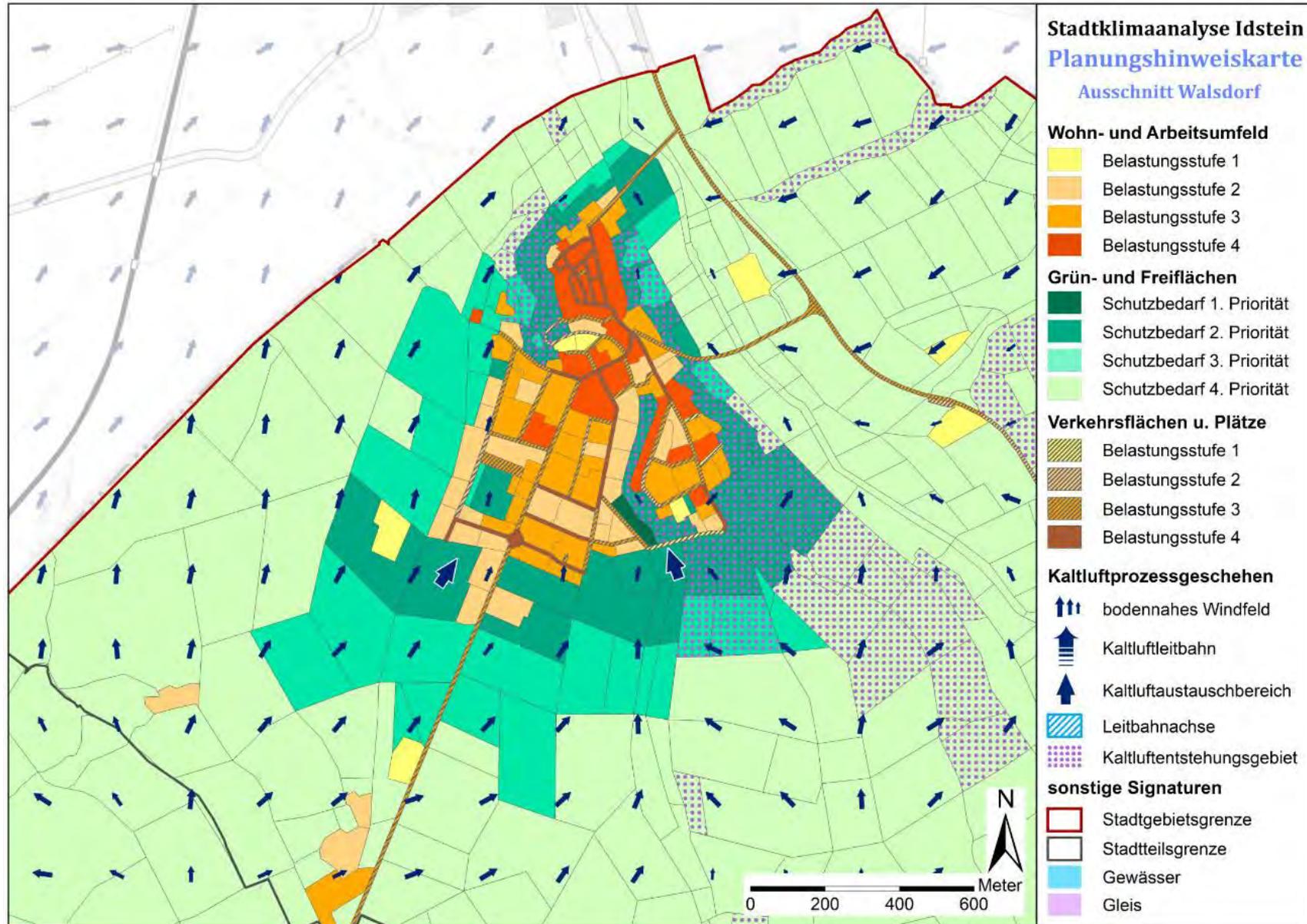
Anhang A 10: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Kröftel/Ober- und Niederrod (verkürzte Legende).



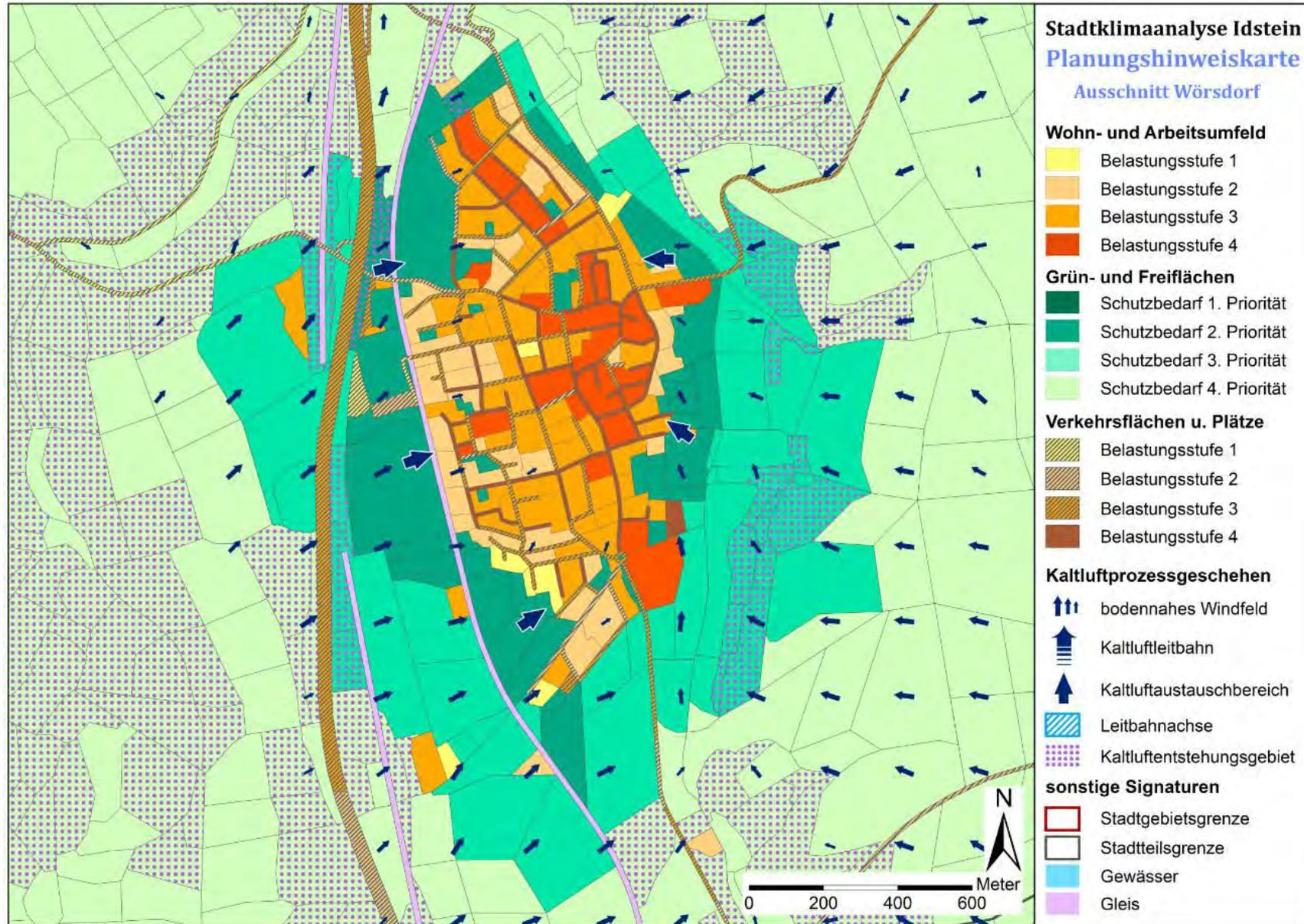
Anhang A 11: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Ober- und Niederauff (verkürzte Legende).



Anhang A 12: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Walsdorf (verkürzte Legende).



Anhang A 13: Planungshinweiskarte für den Ausschnitt Wörsdorf (verkürzte Legende).



Anhang A 14: Gesamtstädtische Darstellung der Planungshinweiskarte Idstein.

