

# STADTKLIMAANALYSE

## FÜR DIE STADT CRAILSHEIM

### **Auftraggeber:**

Stadtverwaltung Crailsheim  
Marktplatz 1 – 74564 Crailsheim

**Auftraggeber:** Stadtverwaltung Crailsheim  
Ressort Stadtentwicklung  
Sachgebiet Stadtplanung  
Marktplatz 1  
74564 Crailsheim

## **Stadtklimaanalyse für die Stadt Crailsheim**

**Projekt-Nr.:** 23-06-09-FR  
**Umfang:** 108 Seiten  
**Datum:** 16.12.2024

**Bearbeiter:** Dr. Christine Ketterer, M.Sc. in Climate Sciences  
Dr. Tobias Gronemeier, M.Sc. in Meteorologie  
Dr. Markus Hasel, Diplom-Meteorologe  
Marcel Gangwisch, M.Sc. in Umweltwissenschaften  
Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe

**Tel.:** 0761/ 400077-09  
**E-Mail:** [ketterer@ima-umwelt.de](mailto:ketterer@ima-umwelt.de)  
**Internet:** [www.ima-umwelt.de](http://www.ima-umwelt.de)

IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG  
Eisenbahnstraße 43  
79098 Freiburg

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Zusammenfassung.....</b>                                    | <b>5</b>  |
| Gunstfaktoren.....                                             | 6         |
| Belastungen .....                                              | 6         |
| Maßnahmenempfehlungen.....                                     | 7         |
| <b>1 Einführung und Aufgabenstellung.....</b>                  | <b>9</b>  |
| <b>2 Vorgehensweise .....</b>                                  | <b>11</b> |
| <b>3 Datengrundlage und Methoden .....</b>                     | <b>13</b> |
| 3.1 Daten.....                                                 | 13        |
| 3.1.1 Topographie .....                                        | 13        |
| 3.1.2 Nutzungsstruktur .....                                   | 13        |
| 3.1.3 Messdaten und Klimadaten .....                           | 15        |
| 3.2 Methoden .....                                             | 18        |
| 3.2.1 Mesoskalige Simulation mit FITNAH .....                  | 18        |
| 3.2.2 Betrachtung des Klimawandels.....                        | 18        |
| 3.2.3 Mikroskalige Simulation mit PALM-4U.....                 | 19        |
| 3.2.4 Human-Biometeorologie .....                              | 21        |
| <b>4 Bestandsbeschreibung .....</b>                            | <b>23</b> |
| 4.1 Örtliche Verhältnisse .....                                | 23        |
| 4.2 Klimatische Einordnung der Stadt Crailsheim .....          | 26        |
| <b>5 Auswirkungen des Klimawandels .....</b>                   | <b>27</b> |
| 5.1 Lufttemperatur .....                                       | 28        |
| 5.2 Niederschlag .....                                         | 30        |
| 5.3 Klimatologische Kenntage .....                             | 33        |
| 5.3.1 Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte .....        | 33        |
| 5.3.2 Frost- und Eistage.....                                  | 35        |
| 5.3.3 Hageltage .....                                          | 36        |
| <b>6 Ergebnisse der Simulationen .....</b>                     | <b>40</b> |
| 6.1 Kaltluftströmung.....                                      | 40        |
| 6.1.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen.....                    | 40        |
| 6.1.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen.....            | 41        |
| 6.1.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen.....                    | 41        |
| 6.1.4 Ergebnisse der Modellierung .....                        | 42        |
| 6.2 Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse ..... | 51        |
| 6.2.1 Human-biometeorologische Verhältnisse .....              | 51        |
| 6.2.2 Urbane Wärmeinsel .....                                  | 57        |
| 6.2.3 Häufigkeit von Sommertagen.....                          | 61        |
| 6.3 Stadtgrün und Klimavielfalt .....                          | 62        |
| 6.4 Empfindlichkeit .....                                      | 70        |
| 6.5 Betroffenheit .....                                        | 74        |
| <b>7 Klimaanalysekarte .....</b>                               | <b>78</b> |

|           |                                                                                |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b>  | <b>Planungshinweiskarte und Handlungsstrategien für die Stadtplanung .....</b> | <b>81</b>  |
| 8.1       | Maßnahmenkatalog.....                                                          | 81         |
| 8.2       | Planungshinweiskarte.....                                                      | 87         |
| 8.3       | Bewertung der einzelnen Stadt- und Ortsteile.....                              | 89         |
| <b>9</b>  | <b>Schlusswort .....</b>                                                       | <b>93</b>  |
| <b>10</b> | <b>Literatur .....</b>                                                         | <b>94</b>  |
| <b>A1</b> | <b>Daten und Methodik .....</b>                                                | <b>98</b>  |
| A1.1      | Aufbereitung der Eingangsdaten für FITNAH.....                                 | 98         |
| A1.2      | Methodik.....                                                                  | 98         |
| A1.2.1    | Das prognostische Modell FITNAH .....                                          | 98         |
| A1.2.2    | Berechnung der Klimavielfalt.....                                              | 99         |
| A1.2.3    | Berechnung der Empfindlichkeit.....                                            | 99         |
| A1.2.4    | Berechnung der Betroffenheit.....                                              | 100        |
| A1.2.5    | Identifikation der belüftungsrelevanten Strömungssysteme .....                 | 102        |
| A1.3      | Lokale Kaltluftleitbahnen.....                                                 | 103        |
|           | <b>Glossar.....</b>                                                            | <b>105</b> |

## Zusammenfassung

Die Stadt Crailsheim plant bei zukünftigen Stadt- und Grünflächenplanungen verstärkt stadtklimatische Aspekte zu berücksichtigen. Grundlage hierfür ist eine Stadtklimaanalyse.

Die Stadt Crailsheim liegt im Südwesten der Region Heilbronn-Franken in der Crailsheimer Bucht beidseitig der Jagst. Durch den hohen Versiegelungsgrad der Gewerbe- und Industriegebiete, aber auch der dicht bebauten Innenstadt entstehen im Sommer häufig Hitzebelastungen innerhalb des Siedlungsgebiets. Tage mit Hitzestress werden im Rahmen des Klimawandels weiter zunehmen. Ziel ist es, sowohl die Bereiche mit hoher Belastung zu lokalisieren, wie auch die Faktoren und Raumschaften zu ermitteln, die für eine Entlastung sorgen.

In der Stadtklimaanalyse Crailsheim werden die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch belasteten Räumen (Wirkungsraum\*) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen analysiert. Dabei wird ein heißer Tag\* betrachtet, der in der Regel bei wolkenarmen und wind-schwachen Wetterlagen auftreten kann. Bei diesen Wetterlagen prägen sich die lokaltypischen klimatischen Eigenheiten am stärksten aus.

Die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen unterstützt die Planer in der Flächennutzungsplanung, in der Bauleitplanung und bei der Projektierung von Klimaanpassungsmaßnahmen.

Eine sommerliche Belastungssituation in den Wirkungsräumen ergibt sich sowohl tags (Hitze) wie auch nachts (urbane Wärmeinsel). Um die Be- und Entlastungseffekte zu bewerten, wird zudem die Betroffenheit der Bevölkerung herangezogen. Diese ergibt sich aus der Intensität der Belastung bzw. Entlastung und der Empfindlichkeit der betrachteten Fläche. Die Empfindlichkeit wird über die Bevölkerungsdichte und die Lage klimasensibler Nutzungen, wie Krankenhäuser oder Pflegeheime ermittelt. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische\* Methoden herangezogen.

Die wesentlichen Faktoren für eine Entlastung stellen die Durchlüftung und innerstädtische Grünflächen dar. Für die Durchlüftung sind insbesondere nächtliche Kaltluftabflüsse\* maßgebend, die Frischluft\* herantransportieren und die tagsüber entstandenen thermischen und lufthygienischen Belastungen verringern. Die Bedeutung wird jedem klar, der in einer Hitzeperiode in den Nachtstunden Schlaf sucht. Wird die Wohnung und das Schlafzimmer bei geöffneten Fenstern gut belüftet, stellen sich verträglichere Verhältnisse ein, als wenn keinerlei Luftbewegung vorhanden ist.

Innerstädtische Grünanlagen haben verschiedene positive lokalklimatische Effekte. Sie stellen an heißen Tagen sowohl Ausgleichs- wie auch Aufenthaltsbereiche dar. Die Qualität dieser Bereiche wird geprägt von schattenwerfendem Baumbestand, der Größe der Grünfläche und der fußläufigen Erreichbarkeit.

Um diese Aspekte des Stadtklimas zu erfassen und aufzuarbeiten, wurden mittels umfangreicher Modellsimulationen die Gunstfaktoren und die thermischen Belastungen ermittelt. Dabei wurde auf die Aktualität der Eingangsdaten geachtet. Auf der Basis dieser Informationen wurden eine Klimaanalyse- und eine Planungshinweiskarte erarbeitet. Die flächendeckenden Klimainformationen des vorliegenden Gutachtens stellen für die Stadt Crailsheim eine gute Grundlage für die Einordnung planerischer Maßnahmen aus klimatischer Sicht dar. Sie dienen neben der Flächennutzungsplanung auch der Lokalisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen.

## Gunstfaktoren

Die abendliche und nächtliche Kaltluftzufuhr bei austauscharmen wolkenarmen Wetterlagen, sogenannten „autochthonen Wetterlagen“\*, erfolgt im Raum Crailsheim durch Kaltluftabflüsse\* aus dem Jagsttal und von den Hängen der umliegenden Erhebungen des Crailsheimer Harfts und der Ellwanger Berge. Die Kernstadt und die südlich gelegenen Ortschaften Altenmünster, Ingersheim, Onolzheim und Jagstheim werden durch die Kaltluftströmung entlang der Jagst belüftet. Die östlich gelegenen Ortsteile Goldbach, Westgartshausen und Beuerlbach, aber auch der Stadtteil Kreuzberg werden durch Kaltluftströmungen aus dem Crailsheimer Hardt belüftet. Durch die Struktur der Orographie wird die Strömung entlang der Jagst im Bereich der Kernstadt nach Nordwesten umgelenkt und erreicht die Ortsteile Tiefenbach, Triensbach und Roßfeld.

Innerstädtische Grünflächen wie die Jagstauen, entlang des Trutenbachs oder der Alte Friedhof, aber auch die umgebenden Waldgebiete stellen für die Bevölkerung wichtige Freizeit- und Naherholungsbereiche dar. Allerdings stellen die großflächigen Gewerbegebiete sowie die Bahnlinie und vor allem die Industrie- und Gewerbeflächen Barrieren dar, die den fußläufigen Zugang zu größeren Erholungsflächen einschränken.

Im Stadtgebiet von Crailsheim sind die kleineren Grünflächen überwiegend gut erreichbar, lediglich 18 % der Einwohner – insbesondere in den Ortsteilen Altenmünster, Roter Buck und teilweise in Kreuzberg – haben einen erhöhten Bedarf an zusätzlichen öffentlichen Grünflächen. Grün- und Freiflächen dienen als klimatische Ausgleichsräume und haben somit eine wichtige klimatische Funktion innerhalb der Stadt inne. Mit Blick auf den Klimawandel sind der Erhalt und die Weiterentwicklung ihrer Funktionalität auch in Zukunft wichtige Aspekte.

## Belastungen

Die thermische Belastung wird durch die Tallage und die hohe Anzahl an stark versiegelten Gewerbeflächen geprägt. Die geringe Höhenlage und der reduzierte Luftaustausch in Tallagen führt im Sommer häufig zu Überwärmungen. Neben der, durch die großräumige Lage vorgegebene thermische Belastung, steigern aber auch ein erhöhter Anteil versiegelter Flächen sowie ein Mangel an klimatisch relevanten Grün-, Frei- und Wasserflächen innerhalb der städtischen Bebauung die Wärmebelastung\*.

In den Abend- und Nachtstunden ist dies an der urbanen Wärmeinsel\*, die die Überwärmung der verdichteten Siedlungs- und Gewerbegebiete gegenüber dem Umland zeigen, sichtbar. Die Überwärmung ist in den Industrie- und Gewerbegebieten und der Innenstadt mit bis zu 4,8 K besonders ausgeprägt. Vegetationsreiche, durch Baumkronen tagsüber abgeschattete Bereiche weisen eine geringere nächtliche Überwärmung auf als wenig verschattete Straßenzüge, wie z.B. der Bereich des Alten Friedhofs.

Die human-biometeorologische Belastung tagsüber ist hauptsächlich von der Sonnenexposition abhängig. In besonnten, windstillen und versiegelten Bereichen, z.B. auf dem zentralen Busbahnhof oder am Schweinemarktplatz oder in versiegelten Innen- und Hinterhöfen, ist der größte Hitzestress vorzufinden. In durch Bäumen abgeschatteten Bereichen beträgt die PET\* weniger als 30 °C, so dass hier zwar „warme“ Bedingungen, jedoch ohne starken Hitzestress vorzufinden sind. Deshalb ist der Erhalt und die Schaffung von klimatisch wirksamen Ausgleichsräumen mit grün-blauer Infrastruktur für die Stadtbewohner im Zuge des Klimawandels von größter Bedeutung.

Neben der Intensität der Wärmebelastung ist auch deren Auftrittswahrscheinlichkeit entscheidend. Zur Bewertung der Häufigkeit der Wärmebelastung wird die Anzahl an Sommertagen pro Jahr herangezogen. Im Mittel treten in Crailsheim etwa 34 Sommertage pro Jahr auf. Da die Anzahl an Sommertagen direkt von der Lufttemperatur\* abhängig ist, treten mehr Sommertage in überwärmten Gebieten auf (z.B. 45 Tage in Gewerbegebieten) als in kühleren Bereichen (Waldgebiete: 21 – 33 Tage). Die dicht bebaute Innenstadt verzeichnet etwas mehr Sommertage (35 Tage).

Zur Bewertung der thermischen Belastung der Bevölkerung wird die thermische Betroffenheit ausgewiesen. Dies geschieht unter Einbezug der Empfindlichkeit der Bevölkerung, basierend auf der Einwohnerdichte und dem Vorhandensein klimasensibler Nutzungen, wie z.B. Pflegeheimen. Die thermische Belastung selbst setzt sich zusammen aus der nächtlichen Überwärmung, der humanbioklimatischen Belastung in den Tagstunden und der Häufigkeit der thermischen Belastungen, basierend auf der Anzahl an Sommertagen.

Durch die Gewichtung mit der Einwohnerdichte ist die thermische Betroffenheit besonders in den Übergangsbereichen zwischen Wohn- und Gewerbegebieten hoch, so z.B. im Bereich der zentral gelegenen Gewerbegebiete Hardt und Fliegerhorst. Des Weiteren ist die thermische Betroffenheit im südlichen Kreuzbach und im Zentrum des Stadtteils Roter Buck erhöht. Die umliegenden Ortsteile besitzen eine überwiegend geringe bis vereinzelt mittlere thermische Betroffenheit.

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer weiteren Zunahme der Wärmebelastungen zu rechnen. Um eine lebenswerte Stadt Crailsheim zu erhalten, gewinnt die Berücksichtigung des Mikroklimas\* und entsprechender Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, sowohl in der Flächennutzungsplanung wie auch in der Bauleitplanung, zunehmend an Bedeutung.

## Maßnahmenempfehlungen

Der Klimawandel bedingt nicht nur eine tendenzielle Zunahme der Lufttemperatur. Probleme ergeben sich hauptsächlich durch die Extreme wie z.B. Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge oder Sturmereignisse. Diese können insbesondere Leben und Gesundheit gefährden, aber auch Güter und Produktion schädigen. Diesen Ereignissen ist man meist großflächig ausgesetzt und es gibt keine kurzfristigen Lösungen, diese Belastungen zu entschärfen.

Dürre und Hitze haben Auswirkungen auf die endemische Vegetation (Ernteaufschläge, Stress für Waldbestände) und die Fauna (Artenaustausch). Trocken- und hitzeresistente Arten sind meist an ein ausschließlich warmes Klima angepasst. Da allerdings immer noch kalte Winter auftreten können, kann eine allgemeine Empfehlung für die Ansiedlung solcher Arten nicht ausgesprochen werden. Stattdessen muss eine größere Vielfalt angestrebt werden.

Starkniederschläge können auch abseits von Fließgewässern zu Hochwasser führen oder Erdrutsche auslösen. Diese sind weder nach Ort noch Eintrittszeit, wie andere Unwetter auch, nicht wirklich zu prognostizieren. Um diesen Gefahren zu begegnen sind entsprechende Notfall- und Maßnahmenpläne zu entwickeln. Die Analyse potenziell gefährdeter Bereiche bleibt anderen Experten vorbehalten.

Die Berücksichtigung des Schwammstadt-Prinzips wird durch die immer häufiger auftretenden kurzzeitigen Starkniederschläge und langanhaltenden Trockenphasen immer wichtiger. Um die Funktionalität des städtischen Grüns zu sichern, ist die Speicherung von Niederschlagswasser zur Versorgung der Vegetation elementar.

Der Umgang mit Hitze erfordert im Siedlungsraum ein Umdenken. In thermisch belasteten Bereichen, wie es die stark versiegelten Innenstädte darstellen, sollte nicht weiter nachverdichtet werden. Hier ist eine stärkere Durchgrünung in Zusammenhang mit der Retention von Niederschlagswasser zielführender, um aus klimatischer Sicht Entlastungselemente zu schaffen. Ziel ist die Schaffung einer möglichst großen Klimavielfalt in fußläufiger Entfernung, so dass je nach Jahreszeit Aufenthaltsbereiche mit verträglichen Bedingungen aufgesucht werden können.

Die thermische Belastung hat zwei Aspekte. In den Nachtstunden sind die Siedlungsbereiche überwärmt. In Hitzewellen ist innerstädtisch dann mit hohen Belastungen zu rechnen, da die nächtliche Regenerationsphase verkürzt ist oder ausfällt. Minderungsmaßnahme ist der Erhalt der Kaltluftproduktionsbereiche\*, von denen eine Strömung in belastete Siedlungsräume ausgeht. Hier sind vor allem der Kaltluftabfluss durch das Jagsttal und die Hangabwinde aus dem Crailsheimer Hardt und den Ellwanger Bergen zu nennen.

Neben der Durchlüftung spielen auch die Aufheizung und die Wärmespeicherung der Bebauung eine Rolle. Fassaden- und Dachbegrünungen reduzieren die Aufheizung. Helle Oberflächen reflektieren die einfallende Strahlung stärker als dunkle Fassaden und heizen sich so weniger stark auf.

Bei Neubauten ist aufgrund der Wärmedämmung im Rahmen der Energieeinsparverordnungen mit einer geringeren Speicherwirkung zu rechnen. Die Fassaden dieser Gebäude heizen sich zwar tagsüber schneller auf, kühlen nachts aber auch wieder rasch ab. Maßnahmen sind hier aber meist nur bei Neuplanungen umsetzbar.

In den Tagstunden bestimmt die Einstrahlung das thermische Empfinden stark. Ein Aufenthalt in besonnten Bereichen ist bei Hitzewellen kaum möglich. Auch das Zurücklegen von Wegen in der Sonne kann stark belastend sein. Die beste Aufenthaltsqualität wird in parkähnlichen Strukturen erreicht. Großkronige Bäume sorgen für Schatten, die Durchlüftung ist besser als in waldähnlichen Strukturen und die Vegetation kühlt, sofern sie ausreichend bewässert ist.

Aus klimatischer Sicht ist deshalb die Schaffung solcher Grüninseln zielführend. Die Klimaanalyse liefert u.a. die Hinweise, wo diese Maßnahmen zu verorten sind.

# 1 Einführung und Aufgabenstellung

Die Stadt Crailsheim möchte bei zukünftigen Stadt- und Grünflächenplanungen verstärkt stadtklimatische Aspekte berücksichtigen. Grundlage hierfür ist eine flächendeckende Stadtklimaanalyse.

Durch den Klimawandel und den damit verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist neben dem globalen Klima auch das lokale Klima weiter in den Fokus gerückt. Die Zielsetzungen der Sicherung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse erfordert die Berücksichtigung der klimatischen Belange bei zahlreichen planerischen Fragestellungen. Dies fängt bei der Flächennutzungsplanung an, wo es beispielsweise um die Erhaltung der Kalt- und Frischluftzufuhr geht und endet bei kleinräumigen Planungen im Bereich der Bauleitplanung oder lokalen Klimaanpassungsmaßnahmen. In jedem Fall ist die Kenntnis der räumlichen Struktur und Intensität sowohl der Belastungen wie auch der Entlastungen erforderlich, um mit der Planung richtig reagieren zu können.

Die Stadtklimaanalyse stellt deshalb eine wichtige Grundlage für planerische Entscheidungen dar. Sie basiert auf umfangreichen Modellierungen der thermischen Belastungen und der entlastenden Momente durch Kaltluftabflüsse<sup>\*1</sup> und städtische Klimavielfalt.

Im Rahmen der Klimaanalyse für den Regionalverband Heilbronn-Franken wurden die Kaltluftströmungen, die thermischen Bedingungen und das Human-Bioklima\* modelliert. Für die Stadt Crailsheim wurden weitere Simulationen mit einem Mikroskalenmodell, welches jedes einzelne Gebäude und auch die Vegetation auflöst, durchgeführt. In die Modellierungen fließen das Höhenmodell, die Realnutzung, die Baukörper und vieles mehr ein. Auch die Entwicklung der Häufigkeit der Wärmebelastung durch den Klimawandel im 21. Jahrhundert wird in die Untersuchung integriert. Die Ergebnisse werden in der Klimaanalysekarte bewertungsfrei dargestellt. Es folgt die Bewertung der Relevanz des Ausgleich- und Wirkraumgefüges und die Ableitung von Planungshinweisen. Diese Ergebnisse werden in der Planungshinweiskarte zusammengefasst.

Um relevante Strömungssysteme\* und die zugrunde liegenden Kaltluftentstehungsgebiete\* und Luftleitbahnen\* zu identifizieren, müssen die räumlichen Wirkungszusammenhänge zwischen den thermisch belasteten Räumen (Wirkungsraum\*) und den ihnen zugeordneten Ausgleichsräumen ermittelt werden.

Die Wärmebelastung\* der Wirkungsräume setzt sich aus der thermischen Belastung und der Empfindlichkeit der Bevölkerung zusammen. Die thermische Belastung wird für die Tag- und Nachtsituation untersucht. Zur Quantifizierung der Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen werden human-biometeorologische Methoden herangezogen. Mit Hilfe der auf der menschlichen Energiebilanz basierenden thermischen Indizes wie der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET\*) kann unter Berücksichtigung der Lufttemperatur\*, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und der Strahlungsflüsse die Wärmebelastung flächendeckend quantifiziert werden.

Für die Bewertung des lokalen Klimas gibt es keine Grenz- oder Richtwerte. Der Grad der positiven und negativen Wirkungen ergibt sich aus der Zusammenschau von Intensität und Betroffenheit. Letztere wird durch die Bevölkerungsdichte ausgedrückt.

Die große Kreisstadt Crailsheim liegt im Jagsttal in der Crailsheimer Bucht, ca. 75 km östlich von Heilbronn. Im Vergleich zu Heilbronn ist die Stadt weniger stark wärmebelastet. Zur Charakterisierung der Wärmebelastung kann die Zahl der Sommertage\*, d.h. Tage mit Tageshöchsttemperatur

---

<sup>1</sup> Fachbegriffe werden bei ihrer ersten Erwähnung im Text mit „\*“ gekennzeichnet und im Glossar erläutert.

$\geq 25^\circ\text{C}$ , herangezogen werden. Exemplarisch sind die langjährigen Mittel der Sommertage in Baden-Württemberg für die Zeiträume 1961 bis 1990 und 1991 bis 2010 dargestellt (Abbildung 1-1). Im Stadtgebiet Crailsheim treten maximal 36 (1961 – 1990) bzw. 48 (1991 – 2020) Sommertage pro Jahr auf.

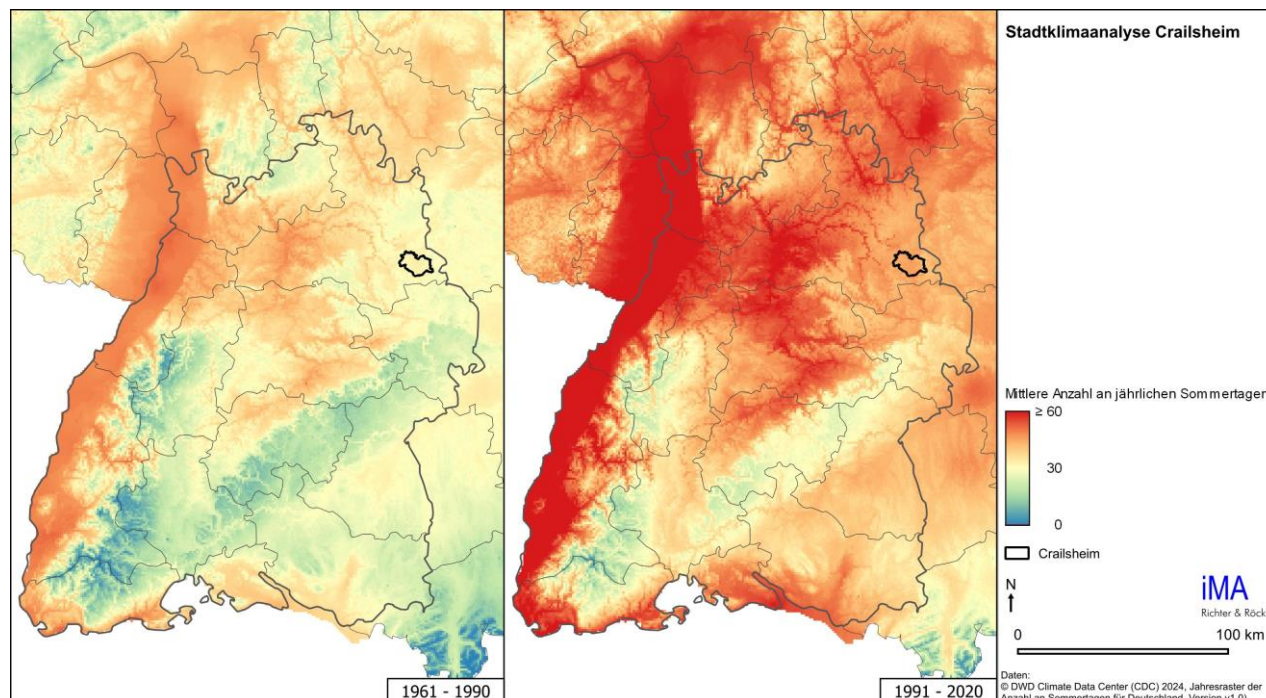


Abbildung 1-1: Langjähriges Mittel der Anzahl an Sommertagen in den Zeiträumen 1961 – 1990 (links) und 1991 – 2020 (rechts; Daten: DWD Climate Center (CDC) 2024, Jahresraster der Anzahl an Sommertagen für Deutschland, Version v1.0).

Durch den anthropogenen\* Klimawandel wird im 21. Jahrhundert ein Anstieg der mittleren Lufttemperatur, der Dauer, Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen und der Anzahl an heißen Tagen\* erwartet (Schär et al. (2004); Christidis, Jones & Stott (2015)). Die Vulnerabilität\* der europäischen und somit auch deutschen Bevölkerung wurde bereits bei der Hitzewelle 2003 offensichtlich, als die hitzebedingte Mortalität\* europaweit mit mehreren zehntausend Fällen beziffert wurde (Robine et al. (2008)). Dabei traf es weniger junge gesunde Menschen, Menschen mit einem guten sozialen Status oder die Landbevölkerung, sondern Kleinkinder, alte und vorbelastete Menschen oder Menschen mit niederem Sozialstatus, die in Städten leben (Basu (2009)). Des Weiteren entsteht durch das verringerte Leistungsvermögen ein volkswirtschaftlicher Schaden (Zander et al. (2015)).

In Städten kühlt die Luft weitaus weniger ab als im ländlich geprägten Umland. Dieses Phänomen wird als urbane Wärmeinsel\* bezeichnet und verstärkt den Hitzestress und damit die thermische Belastung in Städten. Die Ausprägung der thermischen und lufthygienischen Belastungen hängt jedoch von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu zählen die geographische Lage, die Höhenlage, das Relief, Bebauungsdichten und -höhen, die Verteilung von versiegelten und durchgrünten Flächen usw.

Eine Abkühlung bzw. Entlastung für die städtische Bevölkerung in Hitzeperioden kann durch Kaltluftabflüsse und Flurwinde\* herbeigeführt werden. Diese tragen in der Nacht wesentlich zur thermischen Regeneration von Mensch und Umwelt bei. Die Zufuhr von – möglichst unbelasteter – Kaltluft

in die urbanen Siedlungsräume ist daher von hohem Stellenwert für die Gesundheit und die Lebensqualität der Stadtbevölkerung. Daneben sind innerstädtische Grünflächen von Bedeutung. Diese sind für eine ausreichende Klimavielfalt, d.h. die Verfügbarkeit unterschiedlicher Mikroklimata\* statt einer homogenen Bebauungssituation, erforderlich.

## **2 Vorgehensweise**

Für die Stadtklimaanalyse Crailsheim sind umfangreiche Modellierungen und Analysen durchgeführt worden. Diese reichen von der Aufbereitung der Eingangsdaten über die numerischen Simulationen mit den Modellen FITNAH und PALM und nachfolgenden Datenanalysen zur Bewertung der Ausgleichs- und Wirkungsräumen bis hin zur Erstellung der Planungshinweiskarte. In Abbildung 2-1 ist die Vorgehensweise in einem Flussdiagramm skizziert.

Meteorologische Phänomene erstrecken sich über mehrere Skalen. Bei Stadtklimaanalysen spielen die Mesoskala mit einer Ausdehnung von mehreren Kilometern und die Mikroskala, bei der Einzelhindernisse (Gebäude, Bäume, etc.) explizit berücksichtigt werden, die wesentliche Rolle.

Um die Strömungsverhältnisse der Mesoskala – insbesondere Kaltluftabflüsse – zu modellieren, müssen großräumige Nutzungs- und Geländestrukturen berücksichtigt werden, so dass die wesentlichen Kaltlufteinzugsbereiche\* erfasst werden. Die Nutzung bestimmt u.a. die Erwärmung der Oberflächen und der Luft in den Tagstunden bzw. die Abkühlung und damit die Kaltluftproduktion\* in den Nachtstunden. Die Rauigkeit\* des Geländes beeinflusst das bodennahe Fließverhalten. Das Relief bestimmt die Strömungslenkung und beeinflusst den Antrieb der Strömung.

Die mesoskaligen Simulationen wurden im Auftrag des Regionalverbands Heilbronn-Franken angefertigt (IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG (2023)). Dieser stellt die Daten den Kommunen zur Verfügung.

Zur Bestimmung kleinräumiger stark variierender Größen der Mikroskala wie z.B. der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) bedarf es der Berücksichtigung der Einzelhindernisse. Nur dann kann ermittelt werden, ob beispielsweise ein Aufenthaltspunkt verschattet oder besonnt wird, was sich lokal stark auf die gefühlte Temperatur auswirkt.

Die Eingangsdaten für die Modellrechnungen werden auf Basis der aufbereiteten Datengrundlagen erstellt. Die Modellergebnisse werden hinsichtlich der Gunstfaktoren (z.B. Kaltluftabflüsse) und der Ungunstfaktoren (Belastungen) ausgewertet. Aus den Ungunstfaktoren und der Empfindlichkeit der Bevölkerung (Bevölkerungsdichte) ergeben sich die Betroffenheiten. Aus der Zusammenschau der Gunstfaktoren und ihrer Intensität sowie der Betroffenheit werden die relevanten Ausgleichsflächen ermittelt. Die Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte, erstellt in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015), fassen sämtliche Simulationsergebnisse zusammen und stellen das finale Resultat der Klimaanalyse dar.

In der Klimaanalysekarte werden die thermischen, dynamischen sowie lufthygienischen Verhältnisse einer Bezugsfläche ohne Bewertung in ihrer Intensität dargestellt.

Die Planungshinweiskarte ist definiert als informelle Hinweiskarte, die eine Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält. Die Planungshinweiskarte leitet sich aus der Klimaanalysekarte ab und greift wie diese auf die Untersuchungsergebnisse der Klimaanalyse zurück. Wichtiges Element der Planungshinweiskarte ist die Darstellung der Belüftungsfunktion.

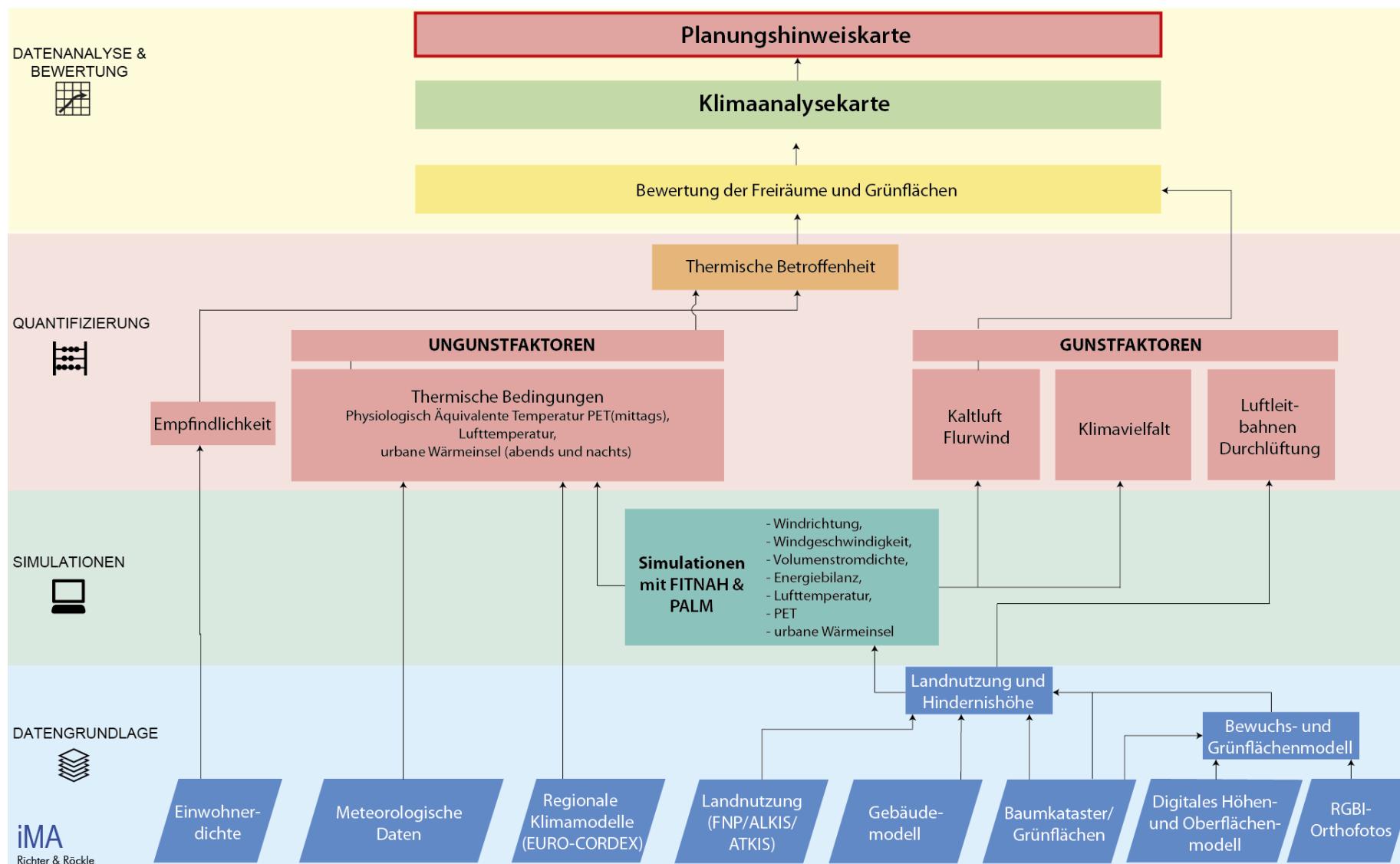


Abbildung 2-1: Vorgehensweise für die Stadtklimaanalyse Crailsheim.

### 3 Datengrundlage und Methoden

Räumliche Daten, wie das Gelände- und Gebäudemodell sowie die Landnutzung, werden für die Simulation meteorologischer Größen mit den Modellen FITNAH und PALM-4U benötigt. Aus den Modellergebnissen lassen sich Gunst- und Ungunstfaktoren berechnen. Dabei werden Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Klimavielfalt als Gunstfaktoren und Luftqualität, Urbane Wärmeinsel und thermische sowie human-biometeorologische Bedingungen als Ungunstfaktoren berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Betroffenheit aus Ungunstfaktoren und Sensitivität analysiert (s. Anhang A1.2.4), sodass letztlich die Auswertung und Bewertung in Form von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten erfolgen kann.

Eine Übersicht der verwendeten Daten und Methoden ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik befindet sich im Anhang A1.

#### 3.1 Daten

##### 3.1.1 Topographie

Für die meso- und mikroskaligen Simulationen wird ein digitales Geländemodell (vgl. Abbildung 4-2) und ein digitales Oberflächenmodell verwendet.

*Tabelle 3-1: Räumliche Daten für die Klimaanalyse Crailsheim.*

| Daten                         | Auflösung | Bereitgestellt durch                                         |
|-------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------|
| Digitales Geländemodell (DGM) | 1 m       | LGL B-W ( <a href="http://www.lgl-bw.de">www.lgl-bw.de</a> ) |
| Digitales Oberflächenmodell   | 1 m       | LGL B-W ( <a href="http://www.lgl-bw.de">www.lgl-bw.de</a> ) |

##### 3.1.2 Nutzungsstruktur

Landnutzung und Oberflächenbeschaffenheit spielen für die Ausprägung von Mikroklimaten und damit auch für die Klimamodellierung eine elementare Rolle. Abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche wird die Energie der einfallenden lang- und kurzwelligen Strahlung unterschiedlich umgesetzt. Reflektion, Wärmespeicherung, Wärmeleitfähigkeit, Fähigkeit zur Verdunstung usw. bestimmt die Energieumsetzung.

Die Landnutzungsdaten aus dem aktualisierten Flächennutzungsplan liefert die Grundlage zur Bestimmung der Landnutzungsstruktur aus klimatischer Sicht (zur Definition der Nutzungsklassen siehe Tabelle A1-1). Die aktuelle Landnutzungsstruktur von Crailsheim ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

Der verwendete aktualisierte Flächennutzungsplan bezieht neben dem NORA-ALKIS 2020 und NORA-Basis-DLM 2020 Datensatz auch die zur Verfügung gestellten Bebauungspläne mit ein (siehe Tabelle 3-2).

Aus dem Flächennutzungsplan und den weiteren in Tabelle 3-2 aufgeführten Datensätzen wurden die Eingangsdaten für die FITNAH- und PALM-4U-Simulationen ermittelt und auf die jeweiligen Simulationsgitter übertragen (Abbildung 3-5).

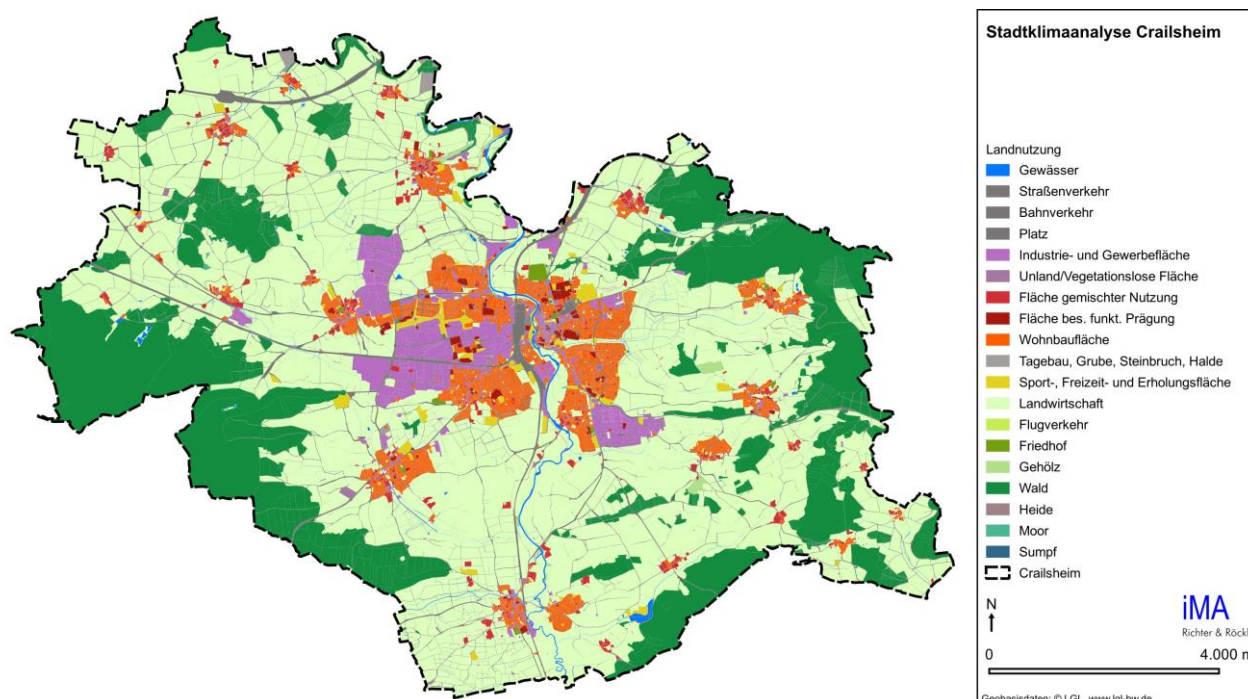


Abbildung 3-1: Aktuelle Landnutzungsstruktur von Crailsheim.

Tabelle 3-2: Räumliche Daten für die Stadtklimaanalyse Crailsheim.

| Daten                                                                                                          | Datenformat | Bereitgestellt durch                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NORA-ALKIS-2020                                                                                                | gdb         | LGL B-W ( <a href="http://www.lgl-bw.de">www.lgl-bw.de</a> )                                                                                               |
| NORA-Basis-DLM-2020                                                                                            | gdb         |                                                                                                                                                            |
| DOP - RGBI                                                                                                     | tif         |                                                                                                                                                            |
| Bebauungspläne (November 2020)                                                                                 | shp         |                                                                                                                                                            |
| Einwohner pro Gebäude                                                                                          | shp         | Einwohnerzahlen der Stadt Crailsheim vom 07.07.2022, ergänzt gemäß Bebauungsplänen.                                                                        |
| Grünflächen/Freiflächen                                                                                        |             | LGL B-W ( <a href="http://www.lgl-bw.de">www.lgl-bw.de</a> ), Stadt Crailsheim (Stand: Dezember 2022)                                                      |
| Klimasensible Nutzung (z.B. Pflegeheim, Krankenhäuser, soziale Einrichtungen für Kinder und Jugendliche, etc.) |             | Klimasensible Nutzung (z.B. Pflegeheim, Krankenhäuser, soziale Einrichtungen für Kinder und Jugendliche, etc.), aus den ATKIS-Daten (Stand: Dezember 2019) |
| LoD2-Gebäudedaten                                                                                              | gml         | LGL B-W ( <a href="http://www.lgl-bw.de">www.lgl-bw.de</a> ), ergänzt gemäß Bebauungsplänen.                                                               |

### 3.1.3 Messdaten und Klimadaten

Zur klimatischen Einordnung der Stadt Crailsheim, Analyse der Indikatoren und Validierung der Simulationsergebnisse wurden folgende Daten und Quellen herangezogen:

Tabelle 3-3: Messdaten und weitere klimatologische Daten.

| Daten                                                              | Auflösung   | Bereitgestellt durch                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karten des DWDs                                                    | 1 km · 1 km | <a href="https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/">https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/</a> |
| Messdaten des DWD                                                  | –           | <a href="https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/">https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/</a> |
| EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain) | Tagesdaten  | <a href="http://www.euro-cordex.net">www.euro-cordex.net</a>                                                    |

Das Klima unterliegt ständigen Schwankungen und Veränderungen. Neben den natürlichen Klimaschwankungen tragen anthropogene Einflüsse erheblich zu Klimaveränderungen bei. So ist seit Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten, welche hauptsächlich durch die anthropogen bedingte Freisetzung von Treibhausgasen verursacht wird.

Um sich an das künftig prognostizierte Klima frühzeitig anpassen zu können, werden Klimaprojektionen entwickelt, die die zu erwartenden klimatischen Bedingungen ermitteln. Dabei werden verschiedene Klimaprojektionen betrachtet, basierend auf unterschiedlichen möglichen gesellschaftlichen Entwicklungen.

Eine wichtige Grundlage für die unterschiedlichen Klimaprojektionen sind die globalen Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die mögliche Entwicklung der Konzentrationen werden in so genannten „Emissionsszenarien“ (Representative Concentration Pathways, RCP) klassifiziert. Die verschiedenen Szenarien wurden vom zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) erarbeitet und im fünften Sachstandsbericht veröffentlicht (IPCC (2013)). Abbildung 3-2 zeigt die Entwicklung des Strahlungsantriebs\* aus anthropogenen Quellen innerhalb der verschiedenen Szenarien. Dies ist indirekt ein Indikator für die mögliche Zunahme der globalen mittleren Lufttemperatur.

Die Grundlage der verschiedenen RCP-Szenarien bilden Annahmen über verschiedene sozioökonomische Entwicklungen. Jedem Emissionsszenario liegt ein Bewertungsmodell, welches die zukünftige Energieversorgung, Bevölkerungsentwicklung, Nahrungsmittelproduktion, Weltwirtschaft und ihre Wechselwirkung mit dem Klimasystem und der Landnutzung berücksichtigt, zugrunde (Moss et al. (2008); van Vuuren et al. (2011)). Die Unsicherheiten die durch die Annahmen der zukünftigen Entwicklungen innerhalb jedes Szenarios entstehen, werden in Abbildung 3-2, (dünne farbliche Linien) abgebildet.

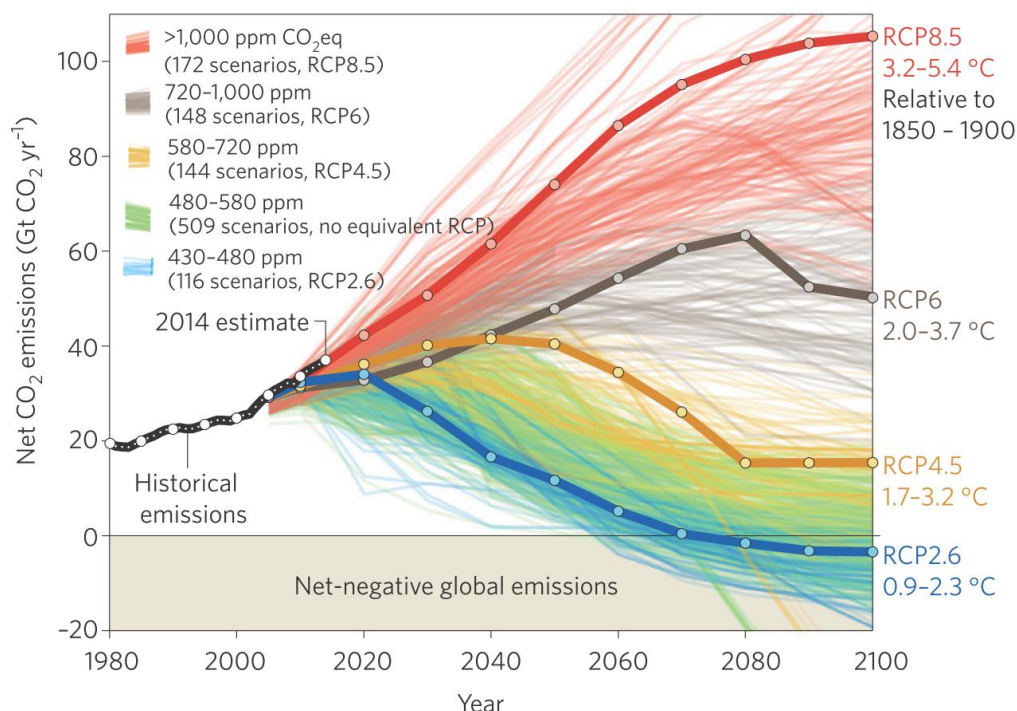


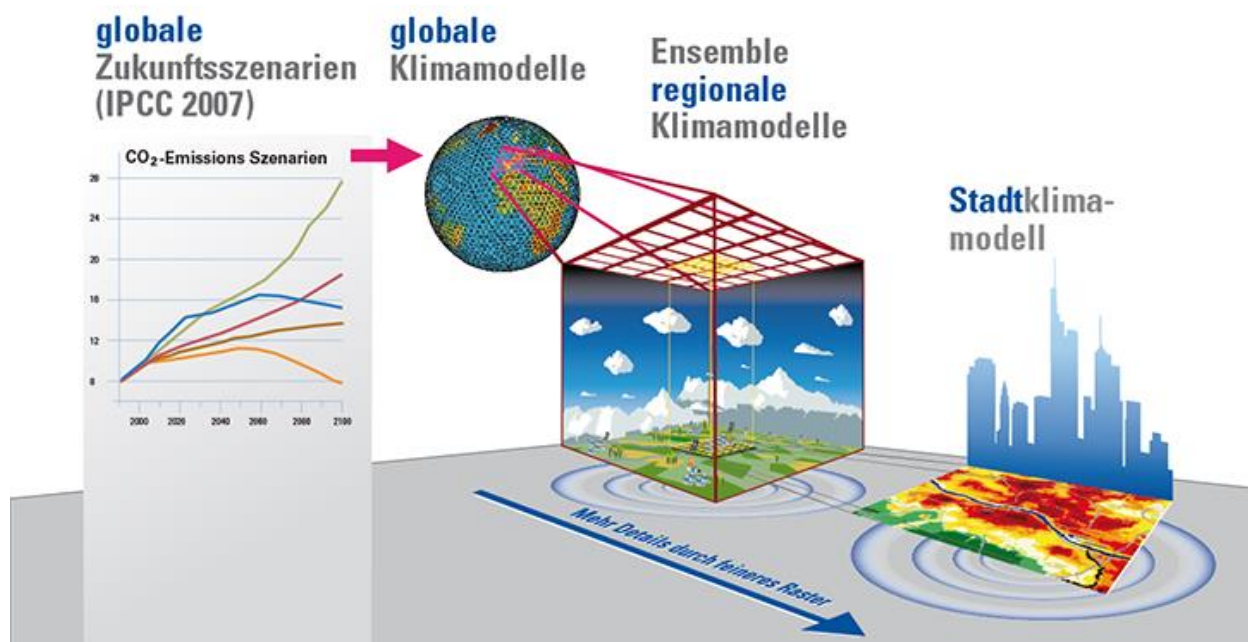
Abbildung 3-2: Zeitreihe des anthropogenen Strahlungsantriebs (W/m<sup>2</sup>) für verschiedene Emissionsszenarien (RCP; Quelle: Fuss et al. (2014))

Tabelle 3-4: Beschreibung der Representative Concentration Pathways (RCP).

| Szenario | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RCP8.5   | Bis über das Jahr 2100 ansteigender Strahlungsantrieb. Dieser beträgt im Jahr 2100 8,5 W/m <sup>2</sup> oder 1370 ppm CO <sub>2</sub> -Äquivalent.                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| RCP6.0   | Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 ppm CO <sub>2</sub> -Äquivalent.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| RCP4.5   | Moderate Entwicklung. Anstieg des CO <sub>2</sub> -Äquivalents auf 650 ppm bis 2100.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| RCP2.6   | „Peak-Szenario“, d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 2,6 W/m <sup>2</sup> im Jahr 2100. Durch den drastischen Rückgang der Emissionen wird eine globale Erwärmung um mehr als 2 °C im Jahr 2100 sehr wahrscheinlich nicht überschritten. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris. |

Vom IPCC wurden vier Konzentrationspfade für den fünften Sachstandsbericht ausgewählt (IPCC (2013)): RCP2.6 (relativ niedriger Strahlungsantrieb), RCP4.5 (mittlerer Strahlungsantrieb), RCP6.0 (hoher Strahlungsantrieb) und RCP8.5 (sehr hoher Strahlungsantrieb) (Abbildung 3-2, dicke Linien).

Mit RCP8.5 wird ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasemissionen beschrieben, der zum Ende des 21. Jahrhunderts einen Strahlungsantrieb von 8,5 W/m<sup>2</sup> erreicht. RCP2.6 beinhaltet sehr ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Er führt zu einem Strahlungsantrieb von etwa 3 W/m<sup>2</sup> um 2040 und geht zum Ende des 21. Jahrhunderts auf einen Wert von 2,6 W/m<sup>2</sup> zurück. Die beiden übrigen RCPs bewegen sich im mittleren Bereich (siehe auch Tabelle 3-4 und Abbildung 3-2).



**Abbildung 3-3:** Schematische Darstellung der räumlichen Verfeinerung (Downscaling) der Klimasimulationsrechnungen von der globalen Skala zur städtischen Skala. Die auf IPCC-Emissions-szenarien basierenden globalen Klimasimulationen dienen als Antrieb für ein Ensemble höher auflösender regionaler Klimamodelle. Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle dienen wiederum als Eingabedaten des Stadtklimamodells (Grafik: Koßmann, Noppel & Früh (2014)).

Auf Grundlage der verschiedenen RCP-Szenarien werden auf globaler Ebene Klimaprojektionen errechnet. Mit regionalen Klimamodellen werden die Ergebnisse anschließend für einzelne Regionen verfeinert (Abbildung 3-3). Dies erlaubt genauere Aussagen über die Änderungen der mittleren Zustände und der Wetterextreme. Das Verfahren wird als Downscaling-Verfahren bezeichnet und verwendet sowohl statistische als auch dynamische Methoden. Bei dem Downscaling werden komplexe Topographie und die jeweilige Landnutzung durch die feinere Auflösung (Gitterweite) besser repräsentiert als in den globalen Klimaprojektionen (Wang et al. (2004)).

Aus der Vielzahl an Ergebnissen unterschiedlicher Regionalmodelle und Szenarien werden Ensemble-Datensätze erstellt, sogenannte Multi-Modell-Multi-Szenario-Ensemblemodelle. Diese bündeln die Ergebnisse der Regionalen Klimamodelle für verschiedene Regionen, z.B. Europa, und ermöglichen damit eine Abschätzung der Unsicherheiten in den Klimamodellen und deren Parametrisierungen (Hewitt (2004); Murphy et al. (2004)).

Konkrete, zeitlich eindeutig zuordenbare Vorhersagen sind mit Hilfe der Klimaprojektionen nicht möglich. Die hohe Unsicherheit in der Entwicklung lässt lediglich eine Aussage über die statistisch betrachtete wahrscheinliche Klimaentwicklung zu.

Im 2021/2022 veröffentlichten sechsten Sachstandsbericht (IPCC (2021)) werden die Zukunftsszenarien aktualisiert. Die Entwicklung des anthropogenen Strahlungsantriebs ist vergleichbar mit denen der RCP-Szenarien des fünften Sachstandsberichts, wobei das Szenario RCP2.6 als unwahrscheinlich eingestuft und nicht mehr betrachtet wird. Da die Ergebnisse des sechsten Sachstandsberichts erst vor kurzem veröffentlicht wurden, liegen noch keine Ensembledatensätze von regionalen Klimamodellen vor. Die Unterschiede in den betrachteten Szenarien zwischen dem fünften und sechsten Sachstandsbericht sind allerdings nur gering. Daher werden für die regionale Klimanalyse weiterhin die RCP-Szenarien des fünften Sachstandsberichts verwendet.

Für die Zukunftsprojektionen der Stadtklimaanalyse wurden die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 verwendet. RCP4.5 stellt die beste mögliche Entwicklung (RCP2.6 wird seitens des IPCC bereits als unrealistisch eingestuft) und RCP8.5 die schlechteste mögliche Entwicklung dar. Dadurch kann die gesamte Bandbreite der möglichen Entwicklung des Klimas in der Stadt Crailsheim abgedeckt werden.

## **3.2 Methoden**

### **3.2.1 Mesoskalige Simulation mit FITNAH**

Die mesoskaligen Simulationen der meteorologischen Größen (z.B. Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit) wurden mit dem Mesoskalenmodell FITNAH durchgeführt. Die räumliche Auflösung des FITNAH-Rechengebietes für die Klimaanalyse des Regionalverbandes Heilbronn-Franken beträgt horizontal 50 m · 50 m. Eine Beschreibung des Modells kann dem Anhang A1.2.1 entnommen werden.

Für die FITNAH-Simulation wurde von einer autochthonen Wetterlage\* ausgegangen. Die Luftdruckverteilung weist kaum Druckunterschiede auf (wie es z.B. im Kern von Hochdruckgebieten typischerweise der Fall ist) und es gibt keine übergeordnete bzw. überregionale Strömung. Lokalklimatische Besonderheiten im Untersuchungsgebiet können sich unter diesen Bedingungen am besten ausbilden.

Die meteorologischen Bedingungen für den Anfangszustand sind:

- Lufttemperatur um 18:00 Uhr bodennah im Mittel 30 °C,
- relative Feuchte 20 %,
- kein übergeordneter geostrophischer Wind\*,
- wolkenloser Himmel.

Die Ergebnisse der Simulation repräsentieren damit typische hochsommerliche Verhältnisse.

Das Modell rechnet kontinuierlich in die Zeit mit einer feinen zeitlichen Auflösung im Sekundenbereich. Aus dem berechneten Tagesgang werden folgende Zeiträume ausgewertet:

- Abend-/Nachtstunden (2 Stunden nach Sonnenuntergang, 22:00 Uhr wahre Ortszeit\*).
- Thermische Bedingungen (Wärmebelastung) tagsüber (14:00 Uhr wahre Ortszeit)

Als Ergebnis liefert FITNAH flächendeckend die Strömungsverhältnisse (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Volumenstromdichte\*), die Lufttemperatur sowie alle meteorologischen Größen zur Berechnung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET).

Zur Validierung der Modellergebnisse werden die oben beschriebenen Messdaten herangezogen. Die Winddaten werden mit besonderem Augenmerk auf die Strömungsverhältnisse zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang während autochthonen Wetterlagen im Hochsommer beurteilt.

### **3.2.2 Betrachtung des Klimawandels**

Die EURO-CORDEX-Daten wurden mittels der vom Deutschen Wetterdienst entwickelten „Quader“-Methode (Früh et al. (2011)) in eine Auflösung von 50 m · 50 m überführt.

Die EURO-CORDEX-Daten wurden genutzt, um die möglichen Extremwerte der meteorologischen Größen Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit während der zukünftigen Dekaden zu ermitteln. Die Minima und Maxima dieser drei Klimaparameter beschreiben einen dreidimensionalen Ereignisraum („Quader“). Für die acht Eckpunkte dieses Quaders wurden acht FITNAH-Läufe durchgeführt (siehe Abbildung 3-4). Für die Werte der EURO-CORDEX-Daten wurde innerhalb des Ereignisraumes durch dreifache lineare Interpolation für jeden Punkt im FITNAH-Rechengitter eine Zeitreihe generiert. Damit kann beispielsweise die mittlere jährliche Anzahl klimatischer Kenntage, z.B. die Anzahl an Sommertagen, für die vergangene Klimanormalperiode (1971 – 2000) und unter zukünftig geänderten Klimabedingungen (für die Klimanormalperioden 2031 – 2060, 2071 – 2100) für das RCP4.5 und RCP8.5 berechnet werden.

Darauf aufbauend wurde die Zunahme der Häufigkeit von Wärmebelastung für die Mitte und für das Ende des 21. Jahrhunderts abgeleitet (siehe Kapitel 5.3).

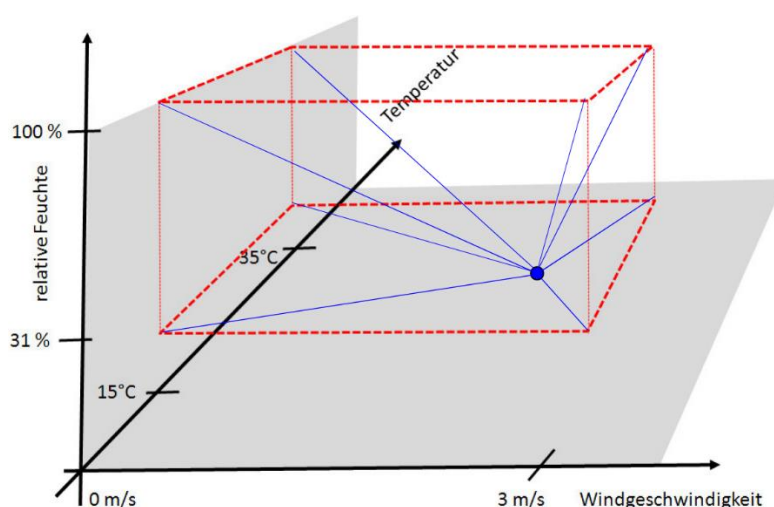


Abbildung 3-4: Skizze des Quaders zur Illustration der Eckpunktsimulationen und der multiplen linearen Interpolation. Die Quadereckpunkte werden durch Simulation der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Windgeschwindigkeit bestimmt. Der terminbezogene Zielwert (blauer Punkt) wird durch eine multiple lineare Interpolation berechnet, wobei die Jahreszeitreihe der EURO-CORDEX-Daten als Eingangsdaten dient.

### 3.2.3 Mikroskalige Simulation mit PALM-4U

Das Stadtklimamodell PALM-4U basiert auf dem prognostischen turbulenzauflösenden Grobstruktursimulationsmodell (engl.: Large-Eddy simulation model, LES model) PALM und ist daher in der Lage, turbulente atmosphärische Strömungen in hoher räumlicher Auflösung ( $< 10$  m) zu simulieren (Maronga et al. (2020)). Atmosphärische Turbulenz wird explizit aufgelöst und ermöglicht eine exakte Simulation der Auswirkung der Turbulenz auf die Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung. In der gewählten Auflösung von 5 m im Bereich der Kernstadt ist neben der guten Wiedergabe der baulichen Strukturen im Untersuchungsgebiet auch die detailgetreue Berücksichtigung der Vegetation möglich (Abbildung 3-6).

Die Landnutzung wird über verschiedene Bodenmodelle in der Simulation berücksichtigt. Dabei wird zwischen versiegelten Oberflächen, mit Vegetation bedeckten Oberflächen, Wasseroberflächen oder Gebäudestrukturen unterschieden. Ein Ausschnitt ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Je nach Klassifizierung werden entsprechende Parameter für die Beschaffenheit der Oberfläche angesetzt (Rauigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Bodenfeuchte, usw.).

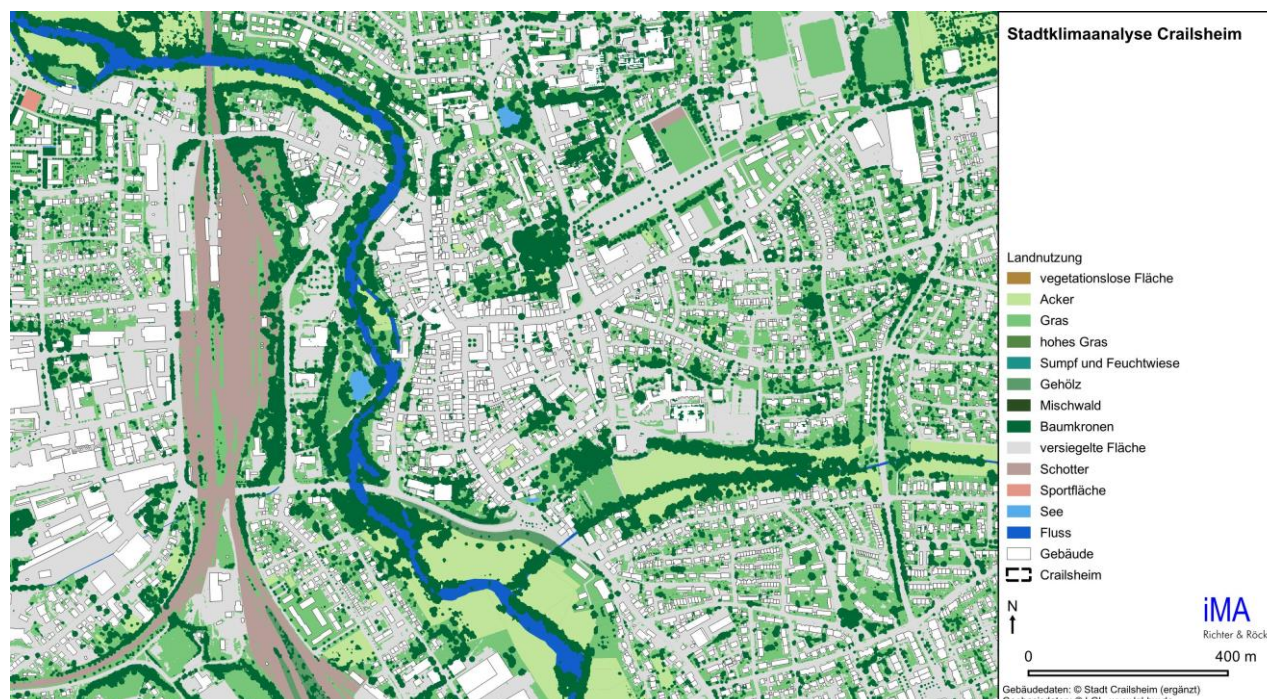


Abbildung 3-5: Oberflächenbeschaffenheit, Gebäude- und Vegetationsmodell als Eingangsdateien für die mikroskalige Simulation mit PALM-4U.

Durch die direkte Berücksichtigung von Konvektion\* und Turbulenz wird die an Oberflächen durch zum Beispiel Sonneneinstrahlung entstehende Wärme im Modellgebiet weitertransportiert und sorgt für eine realistische Temperaturverteilung.

Die Vegetation wird mit Hilfe eines Vegetationsmodells detailliert berücksichtigt. Dabei werden einzelne Bäume und Sträucher, sofern es die Gitterweite zulässt, explizit als Strömungshindernis sowie über den Schattenwurf sowohl dynamisch (Einfluss auf Windgeschwindigkeit und -richtung) als auch thermisch (Einfluss auf Temperatur und Feuchte) berücksichtigt.

Der hohe Detaillierungsgrad im Modell PALM-4U ergibt sich aus der hohen Auflösung, die es erlaubt, sowohl kleine Strukturen wie einzelne Bäume bis hin zu ganzen Stadtkreisen zu betrachten. Durch die Interaktion zwischen mikroskaligen (z.B. Umströmung einzelner Gebäude) und mesoskaligen Prozessen (z.B. städtische Wärmeinsel) können die Verhältnisse realitätsnah abgebildet werden.

PALM-4U wurde in der Vergangenheit bereits mehrfach erfolgreich im Bereich der Stadtklimafor-schung validiert und angewandt und wird seit Kurzem erfolgreich im gutachterlichen Bereich für Stadtklimaanalysen verwendet.

Wie bereits für die FITNAH-Simulationen wird auch für die PALM-4U-Simulation eine hochsommer-liche, wolkenarme und windschwache Situation berücksichtigt. Ein Großteil der gesamten Stadtflä-che wird in einer Simulation mit 10 m · 10 m Auflösung, die Kernstadt in einer Auflösung von 5 m · 5 m abgedeckt (Abbildung 3-6).

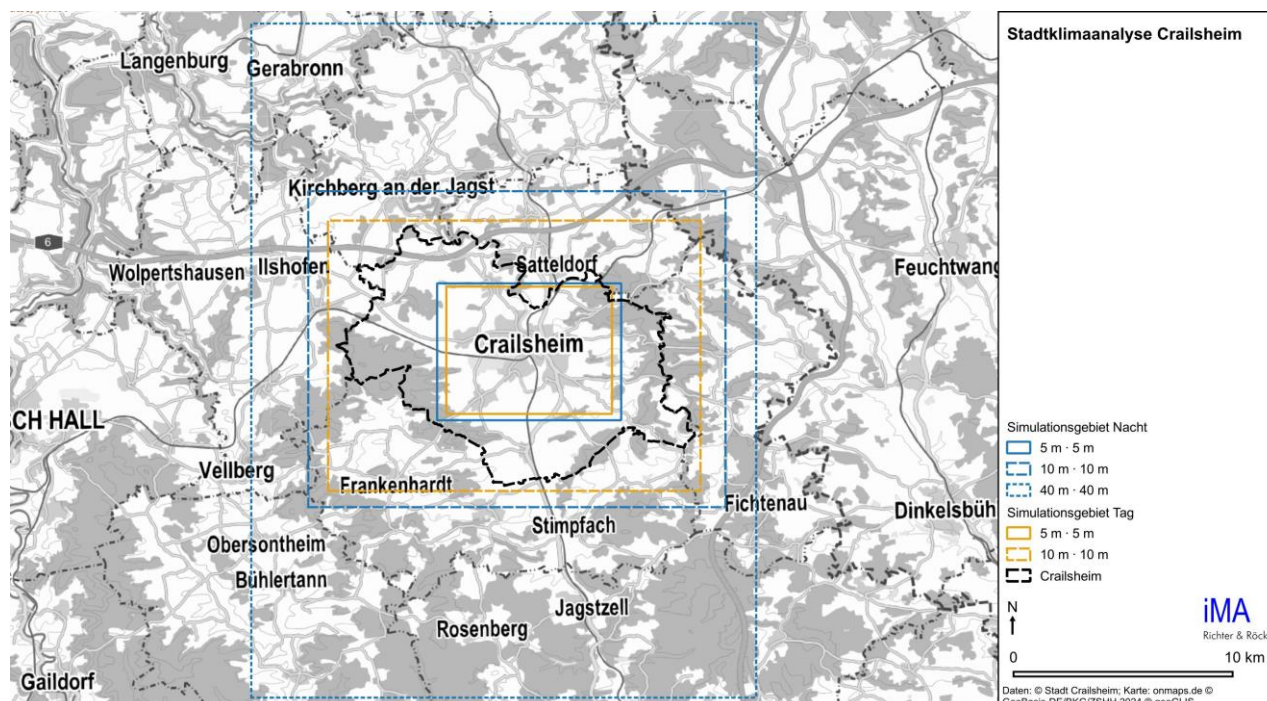


Abbildung 3-6: Simulationsgebiet für die mikroskalige Simulation mit PALM-4U.

Durch die geringe räumliche Ausdehnung der mikroskaligen Simulation können großskalige Einflussfaktoren wie Gebirgszüge oder große Talflächen nicht direkt in der Simulation berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen dieser Faktoren auf die meteorologischen Größen Wind, Temperatur und Feuchte dennoch in der mikroskaligen Simulation mit einzubeziehen, wird in PALM-4U ein sogenanntes Nesting verwendet (Kadasch et al. (2021)). An den Modellgebietsrändern werden die Daten der mesoskaligen FITNAH-Simulation vorgegeben, welche alle relevanten Einflussfaktoren beinhalten. Auf diese Weise können auch Einflussfaktoren, welche außerhalb des mikroskaligen Modellgebiets liegen, indirekt berücksichtigt werden.

### 3.2.4 Human-Biometeorologie

Thermische Indizes, wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Mayer & Höppe (1987)), berücksichtigen den integralen Effekt der meteorologischen Größen Lufttemperatur ( $T_a$ ), Luftfeuchte (VP), Windgeschwindigkeit ( $v$ ) sowie der Strahlungsflüsse ( $T_{mrt}$ ) auf die menschliche Energiebilanz (siehe Abbildung 3-7). Die physiologischen Parameter Aktivität, Kleidung sowie weitere physische Faktoren werden dabei konstant gehalten.

Zur Klassifizierung von Hitze- und Kältestress sowie zur Differenzierung des thermischen Komforts für den mitteleuropäischen Raum wurde die PET-Bewertungsskala nach Matzarakis & Mayer (1997) verwendet (Tabelle 3-5).

Die Physiologisch Äquivalente Temperatur ist konform mit der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022) und eignet sich aufgrund ihrer Definition besonders für die (Stadt-)Planung, wird aber auch im Bereich der Kurort-Zertifizierung (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10 (2010)) und im Bereich Tourismus angewandt.

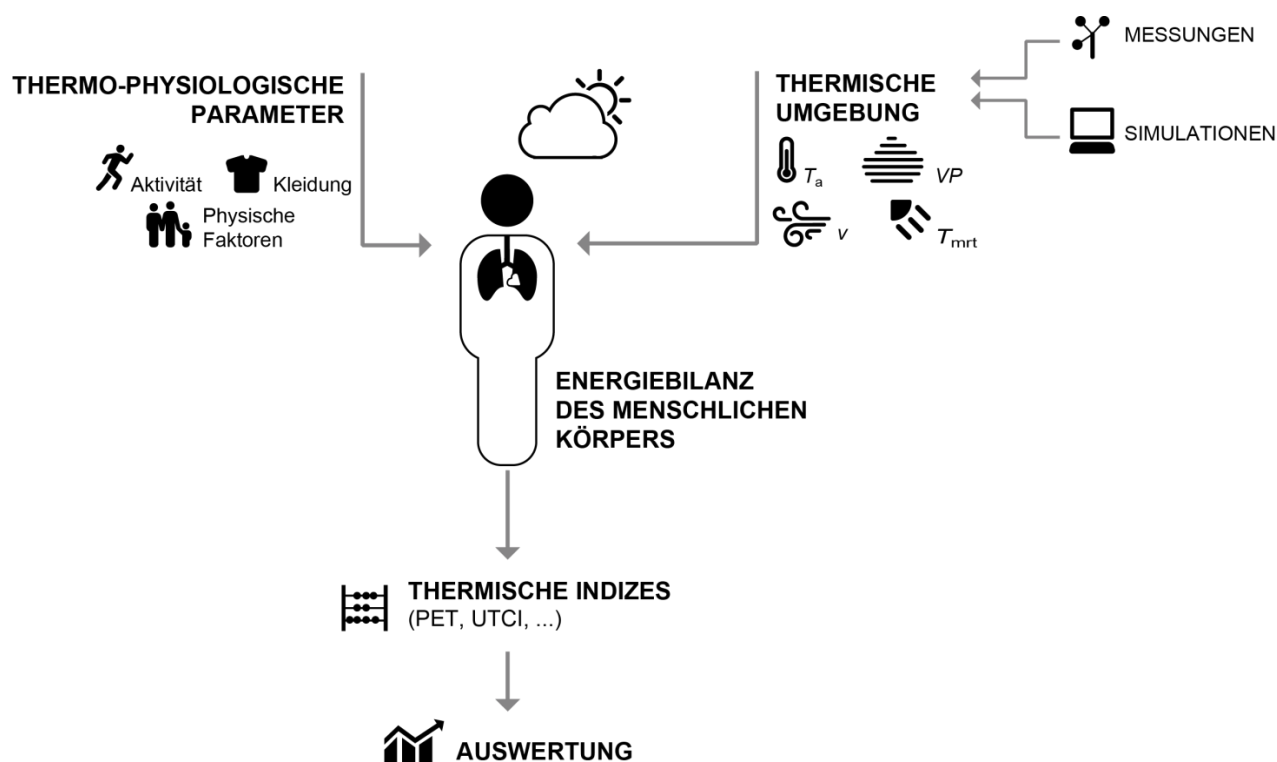


Abbildung 3-7: Fließdiagramm zur Veranschaulichung der Berechnung thermischer Indizes.

Tabelle 3-5: Bewertungsskala von PET zur Quantifizierung der thermischen Verhältnisse und des Physiologischen Stresses bei Kälte- und Hitzebelastung (Matzarakis & Mayer (1997); VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2022)).

| PET (°C)    | Thermische Sensitivität | Physiologischer Stress  |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| < 4,1       | sehr kalt               | extremer Kältestress    |
| 4,1 - 8,0   | kalt                    | starker Kältestress     |
| 8,1 - 13,0  | kühl                    | moderater Kältestress   |
| 13,1 - 18,0 | leicht kühl             | leichter Kältestress    |
| 18,1 - 23,0 | komfortabel (neutral)   | kein thermischer Stress |
| 23,1 - 29,0 | leicht warm             | leichter Hitzestress    |
| 29,1 - 35,0 | warm                    | moderater Hitzestress   |
| 35,1 - 41,0 | heiß                    | starker Hitzestress     |
| > 41,0      | sehr heiß               | extremer Hitzestress    |

## 4 Bestandsbeschreibung

### 4.1 Örtliche Verhältnisse

Die große Kreisstadt Crailsheim liegt auf beiden Seiten der Jagst im Landkreis Schwäbisch Hall (Abbildung 4-1). Die Stadtfläche umfasst 109,08 km<sup>2</sup> bei einer Ost-Westausdehnung von ca. 16,4 km (9,944° bis 10,168° östliche Breite) und einer Nord-Südausdehnung von ca. 11,84 km (49,0796° bis 49,186° nördlicher Breite). In Crailsheim leben etwa 35.760 Einwohner (Stand 31.12.2022<sup>2</sup>).

Die Jagst bildet an der nördlichen Stadtgrenze mit ca. 361,4 m über Normalhöhennull (NHN) den tiefsten Punkt. Der höchste Geländepunkt befindet sich mit ca. 542,4 m ü. NHN im Pfarrholz auf der Frankenhöhe östlich von Westgartshausen.

Crailsheim liegt auf beiden Seiten der Jagst, welche von etwa von Süden nach Norden durch das Stadtgebiet verläuft. Bei Jagstheim nimmt die Jagst den Degenbach und die Speltach auf und tritt in die Crailsheimer Bucht ein, die sie und ihre Nebenbäche im Gips- und Unterkeuper ausgeräumt haben. Weidenbach und Hammerbach entwässern den Osten der Crailsheimer Bucht, die Maulach die Westhälfte. Bei der Wiesmühle erreicht die Jagst den Unterkeuper, das Tal wird schmaler und der Flusslauf gestreckter. Nördlich des Stadtgebiets von Crailsheim schneidet sich die Jagst tief in den Oberen Muschelkalk ein und durchfließt ein enges, steilwandiges Muschelkalktal.

Im Südosten und Osten wird die Crailsheimer Bucht von der Crailsheimer Hardt umrahmt, im Südwesten von den Randhöhen der Ellwanger Berge begrenzt: den Burgberg-Vorhöhen mit der Speltachbucht. Im Nordwesten öffnet sich die Crailsheimer Bucht zur lössbedeckten und damit fruchtbaren Haller Ebene.

Die Kernstadt befindet sich östlich der Jagst. Westlich der Kernstadt und angrenzenden Jagstaue liegt der Hauptbahnhof.

Die wesentlichen Flächennutzungsstrukturen Crailsheims bestehen aus 80,4 % vegetationsbestandene Flächen. Ca. 18,6 % der Flächen sind versiegelt. Gewässer nehmen 0,8 % der Fläche ein. Die Industrie- und Gewerbegebiete nahmen 2022 eine Fläche von 404 ha, Wohnbauflächen 557 ha und Verkehrsflächen 6,7 % ha<sup>3</sup> in Anspruch. Große Industrie- und Gewerbeflächen der Gewerbegebiete Hardt und Flügellau erstrecken sich westlich des Bahnhofs. Im Nordwesten liegen das Gewerbegebiet Rotebachring und das geplante Gewerbegebiet Härtle. Das Gewerbegebiet Roßfeld liegt östlich des gleichnamigen Teilortes. Zwischen der Jagst und der Bahnlinie, südlich des Stadtteils Türkei liegt ebenfalls ein kleineres Gewerbegebiet. Östlich der Jagst befinden sich Gewerbegebiete entlang der Schöneburgstraße, sowie das Gewerbegebiet Südost an der südöstlichen Stadtgrenze.

<sup>2</sup> <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Bevoelkerung/99025010.tab?R=GS127014>

<sup>3</sup> <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/015152xx.tab?R=GS127014>

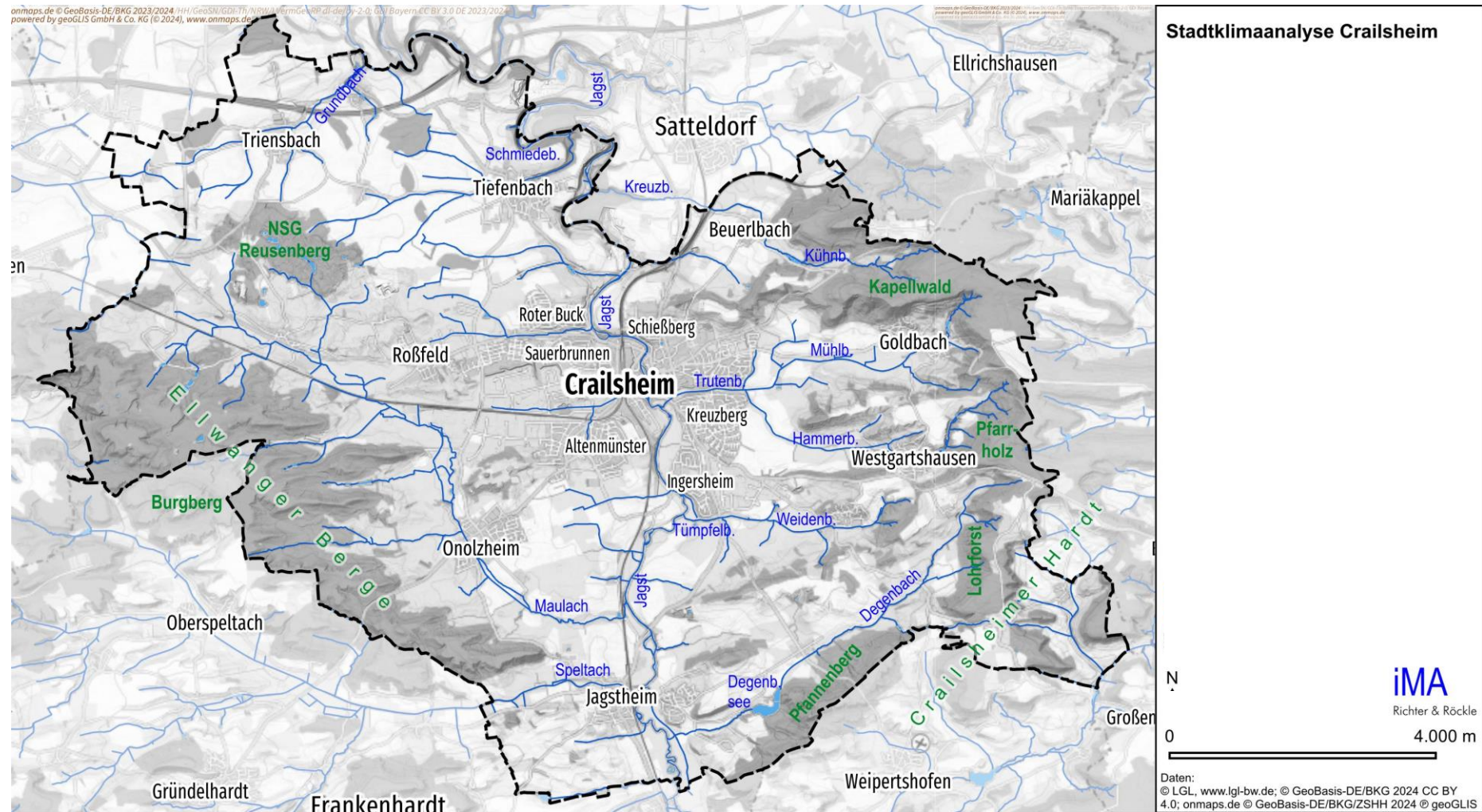


Abbildung 4-1: Gewässer, Erhebungen und Stadtteile von Crailsheim (Kartendaten: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2021).

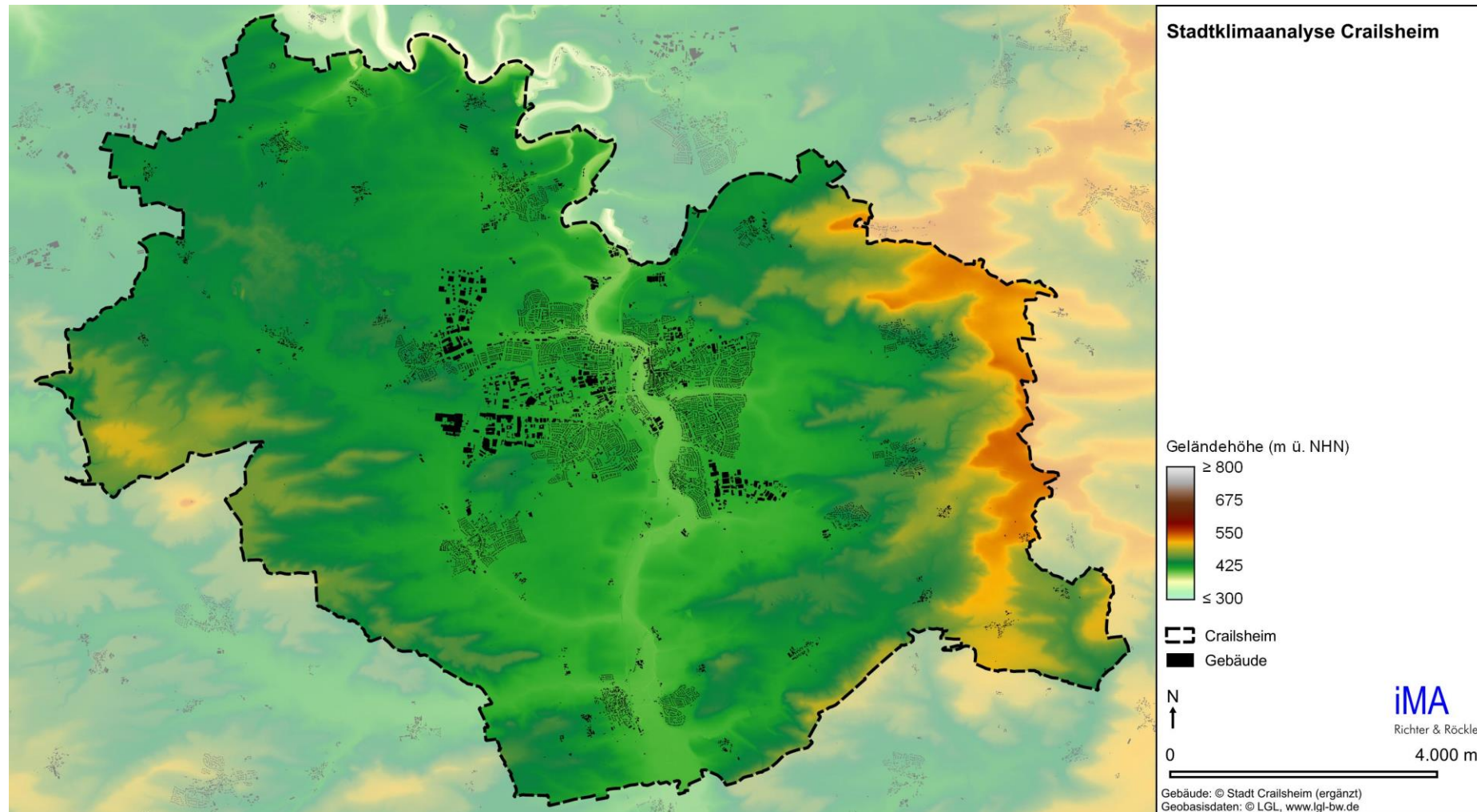


Abbildung 4-2: Topographie der Stadt Crailsheim und Umgebung.

## 4.2 Klimatische Einordnung der Stadt Crailsheim

Crailsheim lässt sich dem Klima der gemäßigten Breiten unter maritimem Einfluss zuordnen, das sich durch ganzjährige Niederschläge und milden Temperaturen auszeichnet (Cfb nach Köppen und Geiger (Köppen (1936))).

Das Klima eines Ortes wird durch die Angabe statistischer Kennzahlen der Klimaelemente beschrieben, welche in der Regel über einen 30-jährigen Zeitraum (die sog. „Klimanormalperiode“) erfasst werden. Für eine klimatisch feinere Einordnung werden thermische Indikatoren gewählt, wie sie in Tabelle 4-1 für die Klimanormalperiode 1961 – 1990 und 1991 – 2020 aufgeführt sind. Generell spielen die Höhenlage, die geografische Lage und lokale Nutzungsstruktur eine entscheidende Rolle für die thermischen Indikatoren.

In Tabelle 4-1 sind Klimaindikatoren für Crailsheim und ausgewählte Orte in Deutschland aufgeführt. Die ausgewerteten Daten beruhen auf Stationsmessungen und abgeleiteten flächendeckenden Datensätze des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Für Crailsheim wurde die nächstgelegene Messstation in Alexandersreute, welche im Zeitraum 01.01.1950 bis 31.12.2003 betrieben wurde, ausgewertet und durch die Rasterdaten ergänzt.

An der Messstation Alexandersreute wurden im Mittel 27 Eistage\* und 104 Frosttage\* im Bezugszeitraum 1961 – 1990 beobachtet. Auf dem Feldberg im Schwarzwald, auf 1.490 m ü. NHN, liegt die Anzahl an Eistagen bei 85 und an Frosttagen bei 163. In Freiburg lag die mittlere Anzahl an Eis- und Frosttagen bei 16 und 61 im selben Zeitraum.

*Tabelle 4-1: Jahresmittelwerte verschiedener Indikatoren für die Umgebung von Crailsheim und für ausgewählte Orte in Deutschland in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2020. Datengrundlage: Messdaten des DWD Climate Data Center (CDC) <sup>4</sup>.*

| Ort/Messstation     | Stationshöhe (m) | Eistage (d)     | Frosttage (d)   | Sommertage (d)  | Heiße Tage (d)  | Niederschlag (mm) | Lufttemp. (°C) |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <b>1961 – 1990</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |                   |                |
| CR Alexandersreute  | 423              | 27              | 104             | 33              | 5               | 811               | 7,9            |
| Freiburg            | 236              | 16              | 61              | 49              | 10              | 908               | –              |
| Feldberg            | 1.490            | 85              | 163             | 0               | 0               | 1.909             | 3,3            |
| Frankfurt/Main      | 100              | 17              | 82              | 42              | 9               | 658               | 9,7            |
| Hamburg-Fuhlsbüttel | 11               | 21              | 77              | 20              | 3               | 770               | 8,6            |
| <b>1991 – 2020</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |                   |                |
| CR Alexandersreute  | 423              | 20 <sup>†</sup> | 92 <sup>†</sup> | 46 <sup>†</sup> | 10 <sup>†</sup> | 783               | 9,2            |
| Freiburg            | 236              | 12              | 57              | 60              | 15              | 934               | 11,4           |
| Feldberg            | 1.490            | 75              | 151             | 1               | 0               | 1.637             | 3,9            |
| Frankfurt/Main      | 100              | 13              | 70              | 52              | 13              | 629               | 10,5           |
| Hamburg-Fuhlsbüttel | 11               | 16              | 70              | 27              | 5               | 793               | 9,4            |

Eistag:  $T_{\max} < 0\text{ °C}$ , Frosttag:  $T_{\min} < 0\text{ °C}$ , Sommertag:  $T_{\max} \geq 25\text{ °C}$ , Heißer Tag:  $T_{\max} \geq 30\text{ °C}$

<sup>†</sup> keine Messdaten vorhanden, deshalb wurden die Rasterdatensätze des DWD verwendet.

<sup>4</sup> DWD Climate Data Center (CDC): Vieljährige Stationsmittelwerte für die Klimareferenzperiode 1981-2010 für aktuellen Standort und Bezugsstandort, 2024.

Mit 33 Sommertagen und 5 Heißen Tagen in der Klimanormalperiode 1961 – 1990 weist die Region um Crailsheim eine deutlich geringere Wärmebelastung als z.B. Freiburg auf. Noch geringere Wärmebelastungen finden sich im Norden Deutschlands (z.B. Hamburg mit 20 Sommertagen und 3 Heißen Tagen) oder in den Höhenlagen des Schwarzwalds (z.B. Feldberg ohne Sommertage oder Heiße Tage).

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge liegt bei etwa 811 mm/a in Crailsheim im Zeitraum 1961 bis 1990 und liegt somit etwas über dem deutschlandweiten Mittelwert von 789 mm.

In Tabelle 4-1 sind zusätzlich die Indikatoren und klimatologischen Kenntage für die Klimanormalperioden 1991 – 2020 dargestellt. Zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2020 stieg die Jahresmitteltemperatur in der Region um etwa 1,3 K an. Dementsprechend erhöhten sich im selben Zeitraum z.B. die mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr um etwa 13 Tage. Zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2020 verringerte sich die mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr um etwa 7 Tage und die mittlere Anzahl an Frosttagen pro Jahr um etwa 12 Tage. Die Dauer und Intensität sommerlicher Wärmebelastung spiegelt sich nicht automatisch in hohen Jahresmittelwerten. Diese sind nicht nur auf heiße Sommer zurückzuführen, sondern können sich auch durch warme Wintermonate ergeben. So sticht z.B. das Jahr 2003 trotz des sehr heißen Sommers bei den Jahresmittelwerten nicht hervor, da es gleichzeitig im Winter relativ kalt war.

Der Niederschlag ging zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2020 um 28 mm/a zurück (Tabelle 4-1).

## 5 Auswirkungen des Klimawandels

Das Klima unterliegt ständigen Schwankungen und Veränderungen, da die Witterungsabläufe während einzelner Jahre sehr unterschiedlich sein können. Zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen tragen anthropogene Einflüsse zu Klimaveränderungen bei. So ist seit etwa der Mitte des 20. Jahrhunderts eine Zunahme der globalen Lufttemperatur zu beobachten, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Folge der anthropogen bedingten Freisetzung von Treibhausgasen ist (Deutsches Klima-Konsortium et al. (2023)). Auch in Baden-Württemberg wird eine Zunahme der Lufttemperatur beobachtet (Abbildung 5-1).

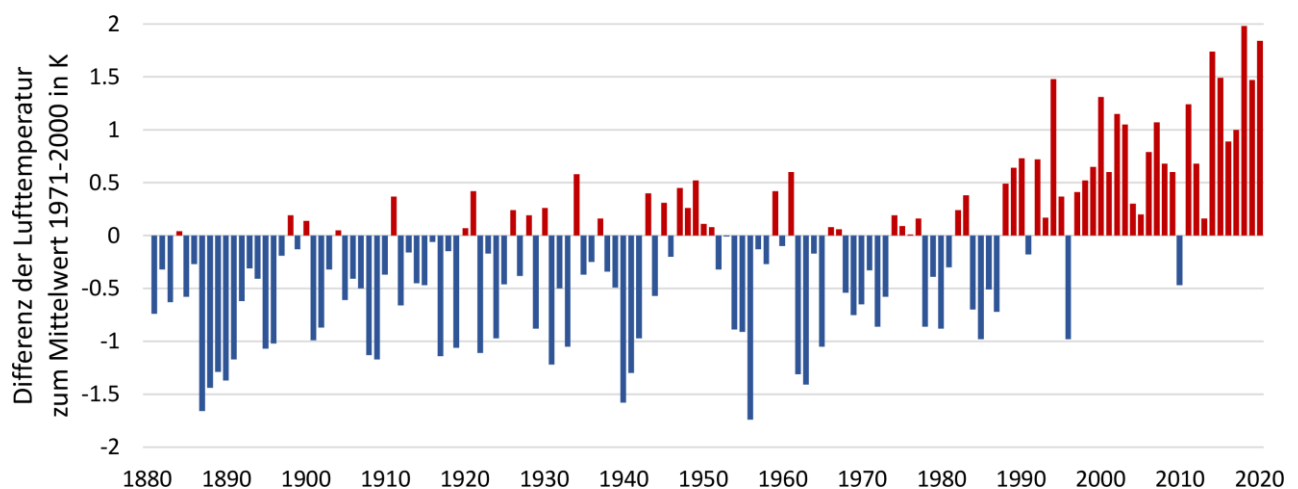


Abbildung 5-1 Beobachteter Klimawandel in Baden-Württemberg. Differenz der mittleren Lufttemperatur zum langjährigen Mittel in der Klimanormalperiode 1971 – 2000 von 1880 bis heute (Daten: DWD).

In Tabelle 5-1 sind die potenziellen Änderungen der meteorologischen Größen für Crailsheim zusammenfassend aufgelistet. Welche Auswirkungen sich auf die betroffenen Bereiche ergeben, ist in den anschließenden Kapiteln aufgeführt.

*Tabelle 5-1: Veränderung meteorologischer Größen im Laufe des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Werte in Klammern geben jeweils das Minimum und Maximum des Modell-Ensembles an.*

| Meteorologische Größe | Erwartete Änderung im 21. Jahrhundert                                                                                                                                                                                                                     |                           |                           |                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                       | Mitte (2031 – 2060)                                                                                                                                                                                                                                       |                           | Ende (2071 – 2100)        |                           |
|                       | RCP4.5                                                                                                                                                                                                                                                    | RCP8.5                    | RCP4.5                    | RCP8.5                    |
| Lufttemperatur        | +1,3 K<br>(0,9 K – 1,5 K)                                                                                                                                                                                                                                 | +1,8 K<br>(1,2 K – 2,2 K) | +2,0 K<br>(1,5 K – 2,3 K) | +3,7 K<br>(2,3 K – 4,6 K) |
| Anzahl Sommertage     | +12 (+37 %)<br>(10 – 22)                                                                                                                                                                                                                                  | +17 (+51 %)<br>(14 – 28)  | +19 (+56 %)<br>(16 – 24)  | +39 (+113 %)<br>(29 – 54) |
| Anzahl heiße Tage     | +7 (+135 %)<br>(5 – 13)                                                                                                                                                                                                                                   | +9 (+163 %)<br>(5 – 14)   | +10 (+184 %)<br>(8 – 16)  | +24 (+452 %)<br>(18 – 32) |
| Jahresniederschlag    | +5 %<br>(-1 % – 10 %)                                                                                                                                                                                                                                     | +4 %<br>(-3 % – 10 %)     | +7 %<br>(5 % – 10 %)      | +4 %<br>(-8 % – 15 %)     |
|                       | Innerhalb dieser Trends muss die jahreszeitliche Variabilität berücksichtigt werden. Hierbei ist generell von winterlicher Zunahme des Niederschlags und sommerlicher Abnahme auszugehen. Gleichzeitig wird eine Zunahme an Starkregeneignissen erwartet. |                           |                           |                           |
| Starkregen-Ereignisse | +17 %<br>(-4 % – 34 %)                                                                                                                                                                                                                                    | +16 %<br>(2 % – 28 %)     | +26 %<br>(17 % – 46 %)    | +34 %<br>(13 % – 66 %)    |
| Trockenheit           | Sommerlicher Rückgang von Niederschlägen                                                                                                                                                                                                                  |                           |                           |                           |
| Starkwind             | Zunahme <sup>5</sup>                                                                                                                                                                                                                                      |                           |                           |                           |

Auf die Auswirkungen und Maßnahmen für unterschiedliche Akteure kann in einer Klimaanpassungsstrategie näher eingegangen werden. Hier sollen als Übersicht die klimatologischen Aspekte beleuchtet werden. Eine Übersicht über die betroffenen Bereiche findet sich auf der Webseite des Umweltbundesamts<sup>6</sup>.

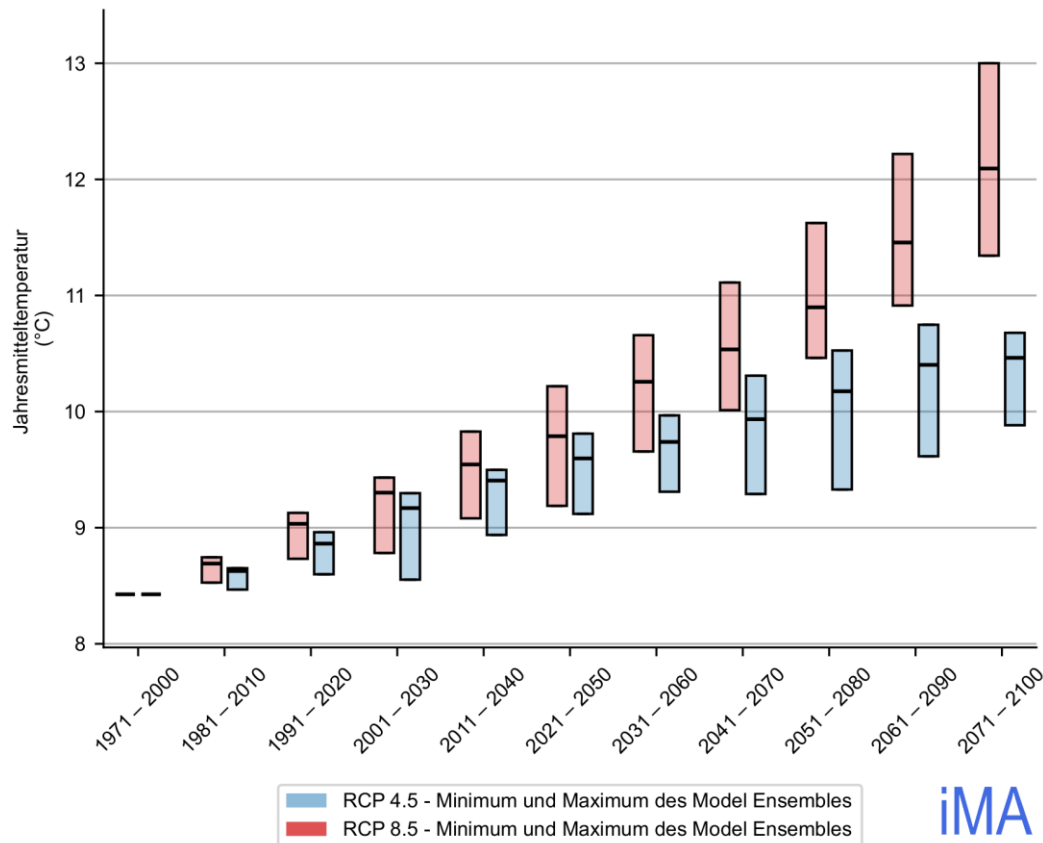
## 5.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist die Temperatur der bodennahen Atmosphäre. Deren Messung soll nicht von der Sonnenstrahlung oder anderen Wärmeströmen beeinflusst werden. Sie ist neben der Strahlung und der Windgeschwindigkeit ein wesentlicher Parameter bei der Bestimmung der Wärmebelastung für den Menschen.

<sup>5</sup> Für Starkwind liegen keine belastbaren Prognosen vor. Quelle: Umweltbundesamt. Projekt-Nr. 24309; 2015, „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem-klimawandel>

<sup>6</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimatse/uebersicht-betroffenheiten>

In Abbildung 5-2 ist die berechnete Entwicklung der bodennahen Lufttemperatur für verschiedene Klimanormalperioden von 1971 bis 2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 – 2000 dargestellt. Im Szenario RCP8.5 tritt eine deutliche Temperaturerhöhung auf. Diese äußert sich bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts in einer Zunahme um etwa 1,8 K (1,4 K in RCP4.5). Zum Ende des 21. Jahrhunderts wird eine deutliche Zunahme von 3,7 K prognostiziert (2,0 K in RCP4.5). Die Spannweite der Lufttemperatur ergibt sich aus dem zugrundeliegenden Modellensemble von ReKlieS-De.

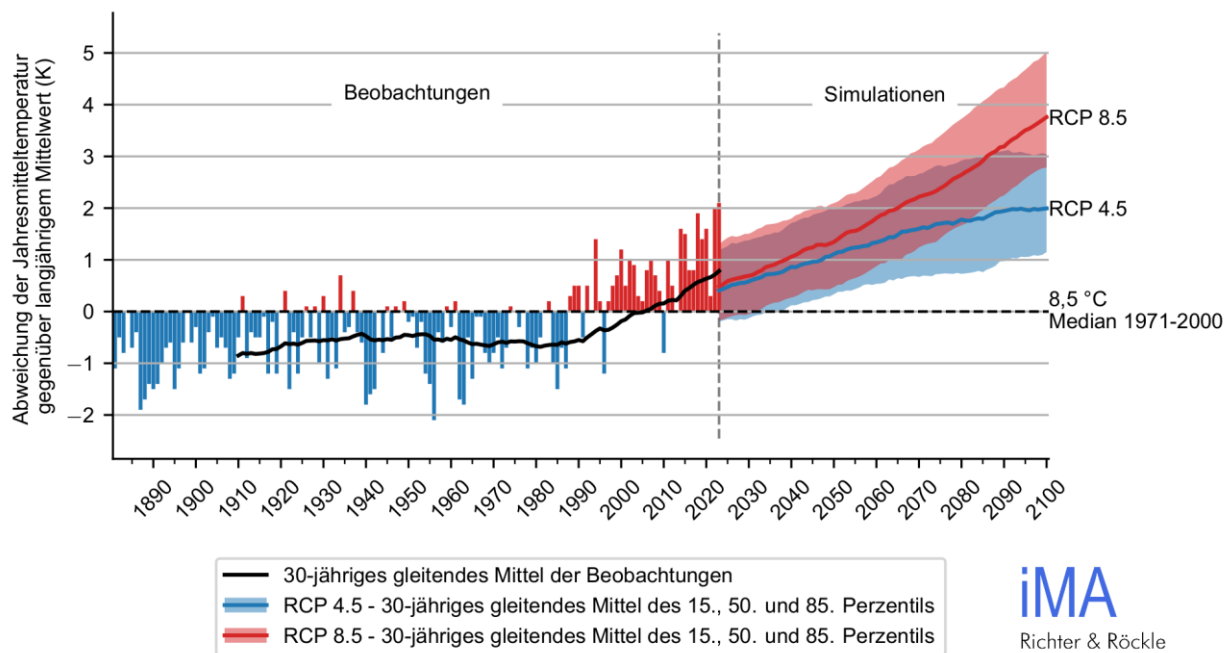


Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

**Abbildung 5-2:** Absolute Entwicklung der 30-jährigen Jahresmitteltemperatur (Median) im 21. Jahrhundert gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 unter Berücksichtigung der Zukunftsszenarien RCP4.5 und RCP8.5.

Dies spiegelt sich auch in der jährlichen Betrachtung der Lufttemperatur von 1881 – 2100 wider (Abbildung 5-3). Die Zunahme der Lufttemperatur war insbesondere in den letzten Jahren seit Beginn der 1990er Jahren zu beobachten. Die Zeitreihe des Mittelwerts der Lufttemperatur in Abbildung 5-3 verdeutlicht nochmals die prognostizierte Zunahme der Lufttemperatur bis 2100.

Der farblich hervorgehobene Unsicherheitsbereich, definiert als Wertebereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil\*, zeigt, dass die Prognose um teilweise mehr als 2 K schwankt. Im Jahr 2024 lag das beobachtete 30-jährige gleitende Mittel (das Mittel über die vergangenen 30 Jahre) über dem 30-jährigen gleitenden Mittel des RCP8.5 Szenarios. Es ist daher mit einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit von RCP8.5 verglichen mit RCP4.5 zu rechnen. Einzelne Jahre vor 2024 übertreffen dabei sogar das 85. Perzentil des RCP8.5 Szenarios.



Datengrundlage: Beobachtungen: Deutscher Wetterdienst, Simulation: ReKlieS-De

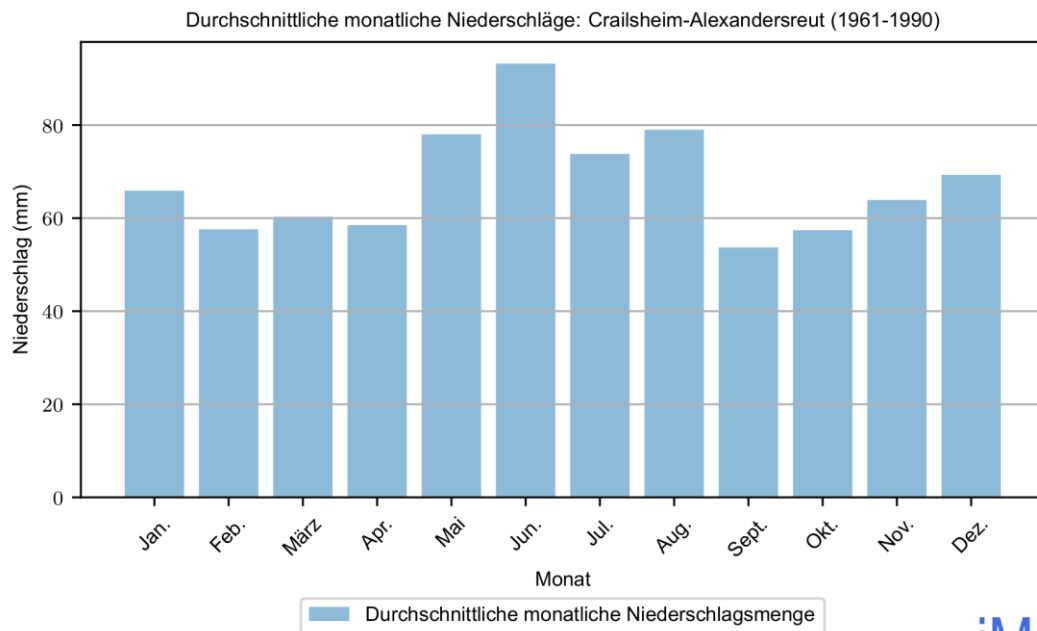
Abbildung 5-3: Beobachtete und simulierte Änderung der Lufttemperatur für den Zeitraum 1881 bis 2100 in Crailsheim. Die Simulationsdaten entsprechen den Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 und werden ab dem Jahr 2024 dargestellt.

Die grundsätzlich festgestellte Temperaturerhöhung in der Vergangenheit sowie in der Zukunft in Crailsheim wirkt sich auf die in den folgenden Kapiteln betrachteten Parameter maßgeblich aus.

## 5.2 Niederschlag

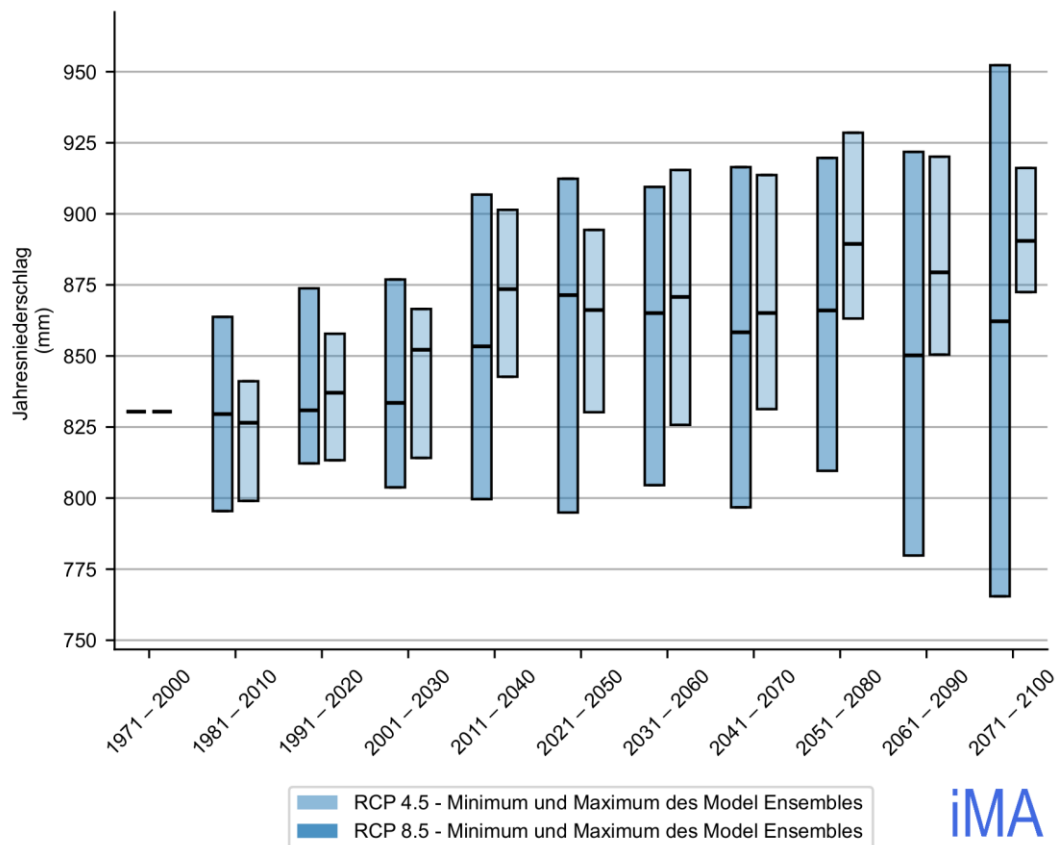
Niederschlag ist das in flüssiger oder fester Form aus Wolken auf die Erde fallende Wasser. Die gefallene Menge an Niederschlag kann über die einzelnen Monate zusammengefasst werden, so dass sich eine durchschnittliche monatliche Niederschlagsverteilung ergibt. In Crailsheim fällt in den Monaten Mai bis August im Schnitt der meiste Niederschlag mit 70 mm bis über 90 mm pro Monat (Abbildung 5-4). Im übrigen Jahr liegt der Monatsniederschlag zwischen ca. 55 mm und 65 mm.

Für das 21. Jahrhundert wird keine eindeutige Änderung des Jahresniederschlags prognostiziert. Zwar wird im Mittel eine geringe Zunahme von etwa 5 % (RCP4.5) bzw. 4 % (RCP8.5) zur Mitte des Jahrhunderts und eine Zunahme von 7 % (RCP4.5) bzw. 4 % (RCP8.5) zum Ende des Jahrhunderts berechnet, allerdings lässt sich durch die hohe Variabilität keine gesicherte Aussage über die Entwicklung treffen.



Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst

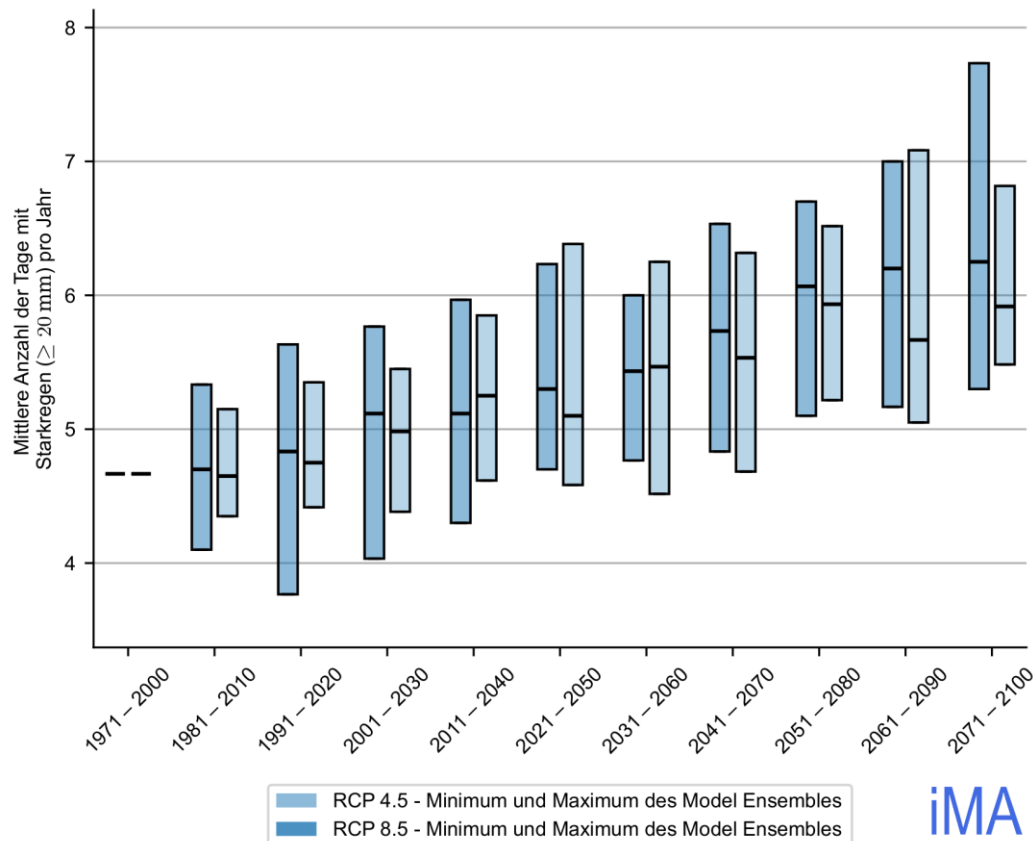
Abbildung 5-4: Mittlere monatliche Niederschlagsverteilung von 1961 bis 1990 gemessen an der Messstation Alexandersreut in Crailsheim (Daten: Deutscher Wetterdienst).



Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

Abbildung 5-5: Prognostizierte Änderung des mittleren Jahresniederschlags im Laufe des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000 unter Berücksichtigung der Zukunftsszenarien RCP8.5 und RCP4.5.

Für die Vorsorge einer Stadt wie Crailsheim gegenüber Trockenheit und Starkregen ist die Veränderung des Jahresniederschlags nicht so bedeutsam. Wichtiger ist hingegen die Beurteilung der Intensität und die Häufigkeit der Starkregenereignisse bzw. der Anzahl der Tage mit Starkregen (Tage mit Niederschlag  $\geq 20$  mm). Es ist zu erwarten, dass die Tage mit Starkregenereignissen um etwa einen Tag (RCP4.5 und RCP8.5) bis zur Mitte des Jahrhunderts und um ein (RCP4.5) bis zwei Tage (RCP8.5) bis Ende des Jahrhunderts zunehmen werden (Abbildung 5-6).



Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

**Abbildung 5-6:** Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an Starkregentagen im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Model Ensembles dar.

### 5.3 Klimatologische Kenntage

In Tabelle 5-2 sind die klimatologischen Kenntage aufgeführt, die sowohl für den Zeitraum 1971 – 2000 (siehe Kapitel 4.2), als auch mit den Multi-Modell-Multi-Szenario-Klimadaten für die 30-jährigen Zeiträume (Klimanormalperioden) 2031 – 2060 und 2071 – 2100 ermittelt wurden. Die hier untersuchten klimatologischen Kenntage beziehen sich direkt auf Crailsheim.

*Tabelle 5-2: Klimatologische Kenntage für verschiedene Klimanormalperioden ermittelt aus ReKlieS-DE Klimamodelldaten auf dem Gebiet von Crailsheim. Kenntage für zukünftige Perioden basieren auf den Szenarien RCP8.5 und RCP4.5.*

| Klimatologischer Kenntag | 1971 – 2000 | 2031 – 2060 |        | 2071 – 2100 |        |
|--------------------------|-------------|-------------|--------|-------------|--------|
|                          |             | RCP4.5      | RCP8.5 | RCP4.5      | RCP8.5 |
| Sommertage               | 34          | 46          | 52     | 52          | 73     |
| Heiße Tage               | 5           | 13          | 14     | 15          | 30     |
| Tropische Nächte         | 0           | 0           | 1      | 2           | 7      |
| Frosttage                | 102         | 83          | 70     | 67          | 42     |
| Eistage                  | 25          | 14          | 10     | 10          | 4      |

#### 5.3.1 Heiße Tage, Sommertage und tropische Nächte

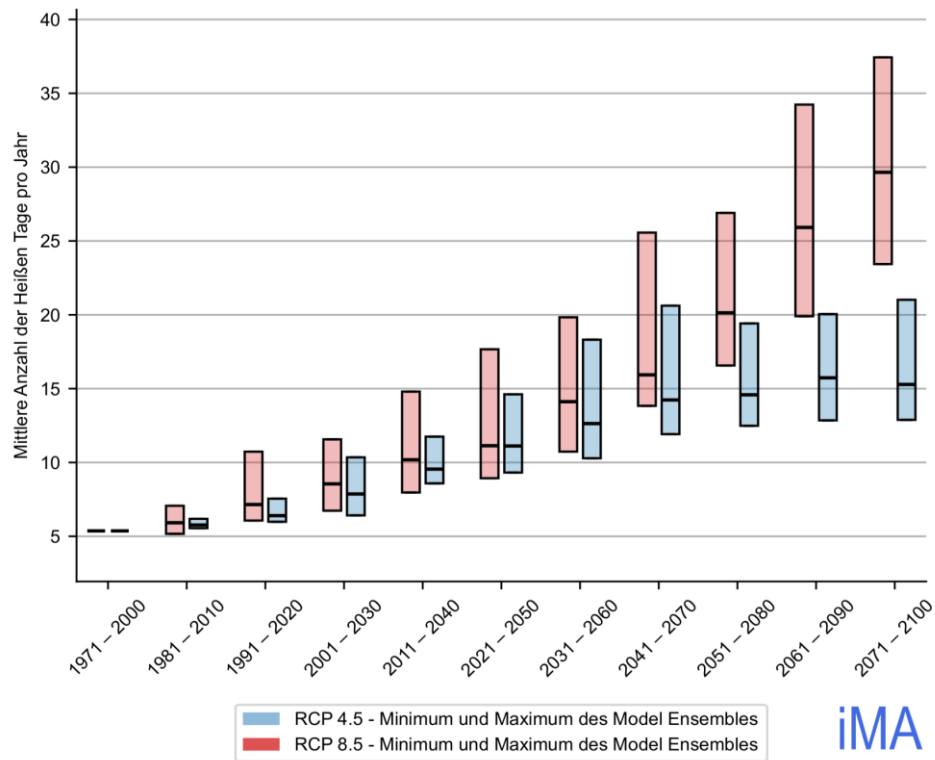
Die Anzahl an heißen Tagen beschreibt in erster Linie ein Gütekriterium für den Sommer, was durch die Anzahl an Sommertagen ergänzt wird<sup>7</sup>.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird prognostiziert, dass die Anzahl der heißen Tage um etwa 7 (RCP4.5) bzw. 9 Tage (RCP8.5) ansteigt (Tabelle 5-2, Abbildung 5-7). Bis 2100 wird ein Anstieg um 10 Tage (RCP4.5) bzw. 25 Tage (RCP8.5) erwartet. Zu beachten ist hier die große Unsicherheit, welche durch die Variabilität in der Temperaturzunahme bedingt ist (Abbildung 5-7, Tabelle 5-1).

Eine ähnliche Tendenz wie für die Anzahl an heißen Tagen lassen sich in Tabelle 5-2 auch für die Anzahl an Sommertagen erkennen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts könnte die Anzahl der Sommertage um etwa 12 Tage (RCP4.5) bis 17 Tage (RCP8.5) ansteigen (Tabelle 5-2, Abbildung 5-8). Bis 2100 wird sich die Anzahl um die Hälfte (+56 %, RCP4.5) erhöhen oder sogar mehr als verdoppeln (+113 %, RCP8.5).

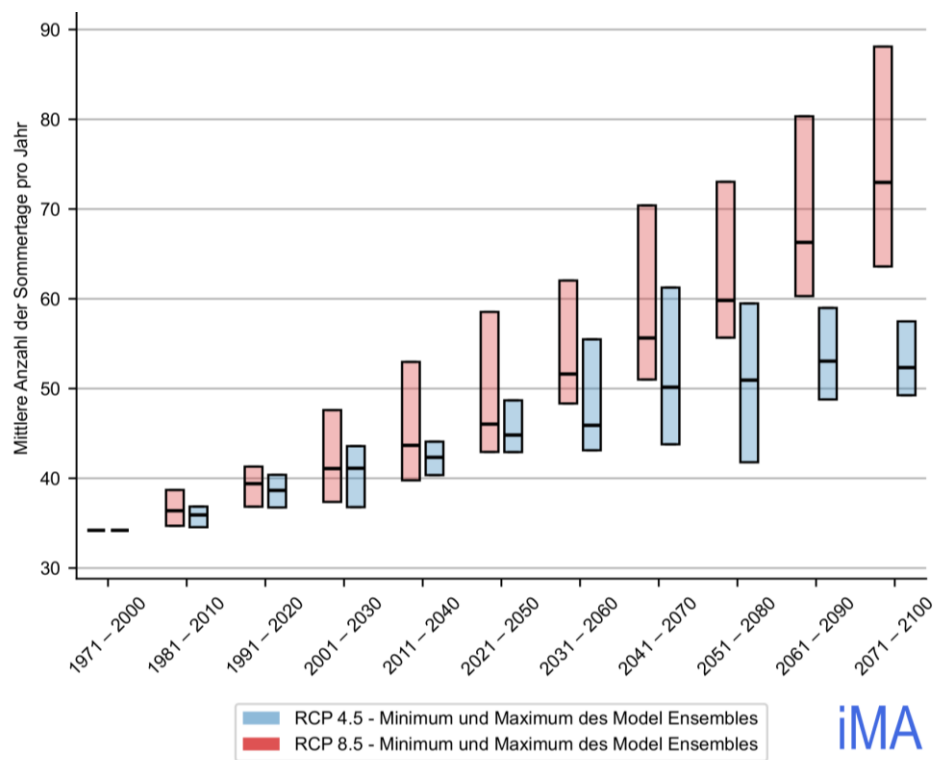
Über die zukünftige Anzahl an Tropennächten kann aufgrund ihres seltenen Vorkommens aus statistischer Sicht keine aussagekräftige Tendenz abgeleitet werden. Mit einer Erhöhung der Lufttemperatur werden diese jedoch analog zu den heißen Tagen ebenfalls häufiger auftreten.

<sup>7</sup> [www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html](http://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html)



Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

Abbildung 5-7: Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an heißen Tagen (HT) im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen Minimum und Maximum des Model Ensembles dar.



Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

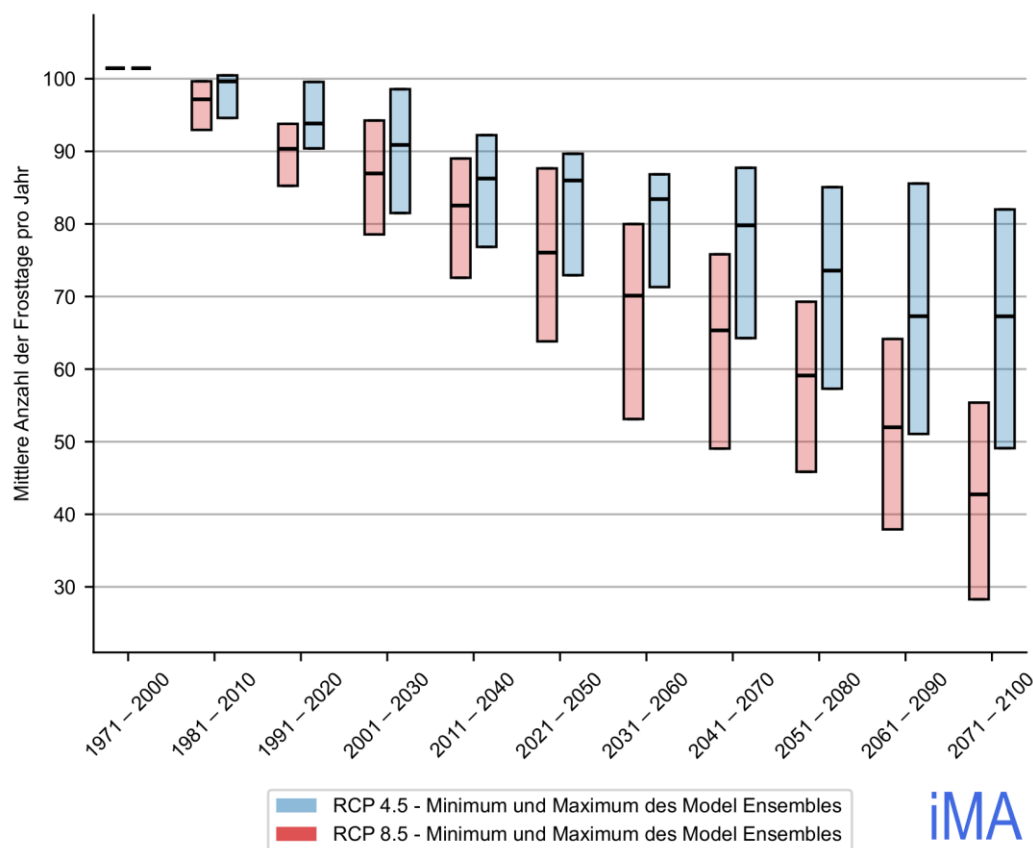
Abbildung 5-8: Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an Sommertagen (ST) im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen Minimum und Maximum des Model Ensembles dar.

### 5.3.2 Frost- und Eistage

In der Landwirtschaft (speziell im Weinbau) sind Spätfröste im April und Mai von Bedeutung, da diese zu Erfrierungen im Austriebs- und Blühstadium führen. Obwohl ein Rückgang der Frosthäufigkeit die Frostschäden reduzieren könnte, führen die milden Winter häufig schon zu einem verfrühten Austrieb der Pflanzen, so dass die kritische phänologische Phase\* in Monate mit erhöhter Frostrate fällt.

Die Anzahl an Frosttagen wird tendenziell abnehmen (Tabelle 5-2, Abbildung 5-9). Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird sich deren Anzahl um 19 Tage (RCP4.5) bzw. 32 Tage (RCP8.5) verringern. Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die Anzahl um 35 Tage (RCP4.5) bzw. um bis zu 60 Tage (RCP8.5) im Vergleich zum Zeitraum 1971 – 2000 auf dann lediglich 67 (RCP4.5) bzw. 42 (RCP8.5) Frosttage jährlich.

Die Anzahl der Eistage wird sich ähnlich zu den Frosttagen in Abhängigkeit zur maximalen Lufttemperatur ändern, sodass die Anzahl der Eistage um etwa 11 Tage (RCP4.5) bzw. 15 Tage (RCP8.5) bis Mitte und etwa 15 Tage (RCP4.5) bzw. 21 Tage (RCP8.5) bis Ende des 21. Jahrhunderts abnimmt (Tabelle 5-2).



Datengrundlage: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Klimaleitplanken 3.0)

Abbildung 5-9: Prognostizierte Entwicklung der Anzahl an Frosttagen (FT) im 30-jährigen Mittel bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber der Klimanormalperiode 1971 – 2000. Die Fehlerbalken stellen den Bereich zwischen dem Minimum und dem Maximum des Model Ensembles dar.

### 5.3.3 Hageltage

Hagel ist insbesondere für die Landwirtschaft von größerer Bedeutung, da Hagelschäden zu wirtschaftlichem Schaden durch Ertragsverluste führen können. Es ist jedoch schwierig, eine ortsspezifische Aussage über die Häufigkeit von Hageltagen<sup>8</sup> zu treffen, da diese räumlich sehr variabel sind und lediglich auf Beobachtungen beruhen. Allerdings gilt in Gebirgsregionen und in Südwestdeutschland: wo Gewitter im deutschen Vergleich häufiger auftreten, gibt es eine höhere Hagelwahrscheinlichkeit. Denn Hagel tritt meist in Verbindung mit Gewittern auf.<sup>9</sup>

Vom Deutschen Wetterdienst wurden die Hagelbeobachtungen von 10 Stationen für eine Statistik der mittleren jährlichen Anzahl an Hageltagen in Tabelle 5-3 zusammengetragen. Im Mittel gibt es in deutschen Orten 1 bis 2 Hageltage pro Jahr. Während die Küstengebiete und Inseln etwas unterhalb dieses Mittels liegen (z.B. Helgoland 0,7 Hageltage), kommen in gebirgigen Regionen und Südwestdeutschland bis zu 5 Hageltage wie am Feldberg vor.

Tabelle 5-3: Häufigkeit der Tage mit Hagel für den Zeitraum: 1981 – 2010. Inseln: kursiv, Berggipfel: GROSSBUCHSTABEN (Quelle: DWD<sup>10</sup>)

| Stationen              | Höhe über NN (m) | Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Hagel |
|------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| Hamburg-Fuhlsbüttel    | 11               | 1,3                                          |
| Potsdam                | 81               | 1,5                                          |
| Köln-Bonn              | 92               | 1,5                                          |
| Frankfurt-Flughafen    | 100              | 1,1                                          |
| Stuttgart-Echterdingen | 371              | 2,3                                          |
| München-Flughafen      | 446              | 1,5                                          |
| <i>Helgoland</i>       | 4                | 0,7                                          |
| <i>Kap Arkona</i>      | 42               | 0,9                                          |
| BROCKEN                | 1134             | 2,0                                          |
| WASSERKUPPE            | 921              | 2,0                                          |
| FELDBERG (Schwarzwald) | 1490             | 4,6                                          |
| ZUGSPITZE              | 2964             | 3,8                                          |

Für Crailsheim ist als Ort in der Region Heilbronn-Franken mit einer Hagelwahrscheinlichkeit von ca. 2,3 Hageltagen pro Jahr auszugehen (vergleichbar mit Stuttgart), wobei eine jahreszeitliche Variabilität zu berücksichtigen ist (vgl. Abbildung 5-10). Daher treten mit höherer Wahrscheinlichkeit Hagelereignisse in den Sommermonaten auf, wenn die Wahrscheinlichkeit für Gewitter und die Luftfeuchtigkeit hoch sind.

Eine Analyse der Münchner Rückversicherung geht von 0,5 bis 0,75 Tagen mit Hagel in der Region Crailsheim aus (Abbildung 5-11)<sup>11</sup>.

<sup>8</sup> Tage, an denen Hagel unabhängig von der Größe auftritt

<sup>9</sup> [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

<sup>10</sup> [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

<sup>11</sup> Diese Zahlen basieren auf einer Studie von Rädler et al. (2018). Die geringere Anzahl an Hageltagen ist unter anderem auf die Verwendung von Reanalysedaten mit einer räumlichen Auflösung von 0,75° und einer zeitlichen Auflösung von 6 Stunden zurückzuführen. Diese Auflösungen sind relativ grob im Vergleich zur räumlichen und zeitlichen Skala eines Gewitter- und Hagelereignisses.

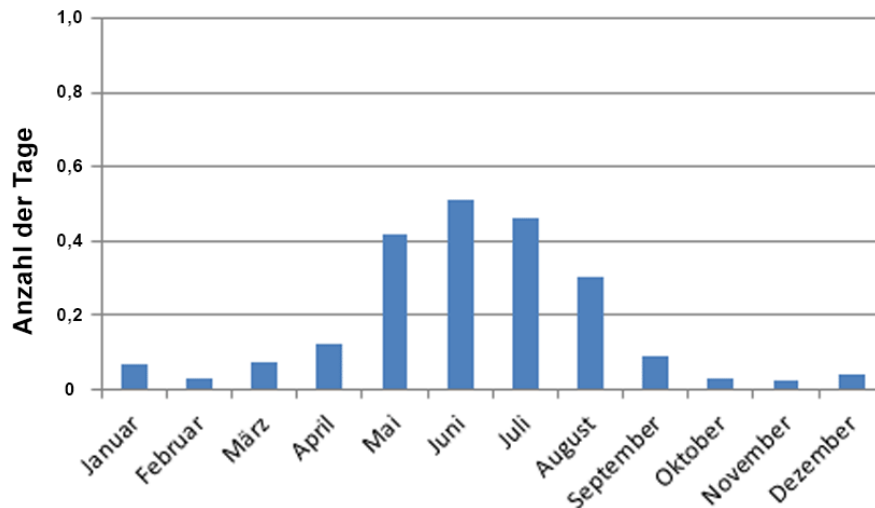


Abbildung 5-10: Mittlere Anzahl an Hageltagen pro Monat für die Klimanormalperiode 1981 – 2010. Als Datengrundlage wurden die oberen 10 Stationen ohne Inselstationen verwendet.<sup>12</sup>

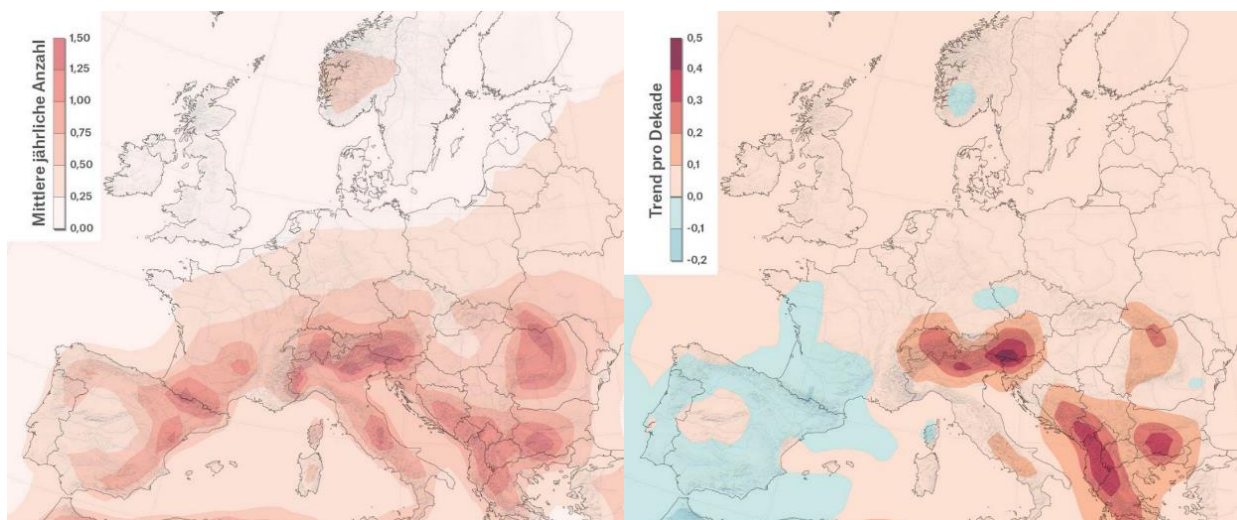


Abbildung 5-11: Mittlere jährliche Anzahl an Hagelereignissen (links) und der Trend pro Dekade in den 37 Jahren von 1979 – 2015 (rechts; Quelle: Münchner Rückversicherung 2019<sup>13</sup>).

## Auswirkungen des Klimawandels

Aufgrund höherer Temperaturen erwärmen sich Gewässer stärker, wodurch die Verdunstung zunimmt. Gleichzeitig nimmt aufgrund einer wärmeren Lufttemperatur der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zu. Dadurch wird bei Wolkenbildung und der Kondensation des Wasserdampfes lokal mehr Energie freigesetzt. Kunz, Sander & Kottmeier (2009) fanden heraus, dass die jährliche Anzahl an Gewittern in Baden-Württemberg zwischen 1974 und 2003 im Mittel nicht angestiegen ist, sehr wohl aber der Hagelschaden und die Tage mit Hagel in den letzten drei Dekaden. Auch das Hagelpotenzial, abgeleitet aus Stabilitätsmaßen und Großwetterlagen, ist in Baden-Württemberg angestiegen (Brasseur, Jacob & Schuck-Zöller (2017)). Die Münchner Rückversicherung weist keinen klaren Trend zu einer Zunahme (von etwa 0 bis 0,1 Hageltage pro Dekade) an Hageltagen pro Jahr im Raum Crailsheim aus (Abbildung 5-11). Andere Quellen erwarten eine leichte Zunahme

<sup>12</sup> [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hagel/hagel_node.html)

<sup>13</sup> [www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html](http://www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html)

der Anzahl an Hageltagen im 21. Jahrhundert im Raum Sinzig (Brasseur, Jacob & Schuck-Zöller (2017)).

## Schäden

Die normalisierten Schäden aufgrund von schweren Gewittern in Europa sind signifikant gestiegen. Dies liegt nicht nur an der zunehmenden Zahl an Hagelereignissen in Südwestdeutschland (vgl. Abbildung 5-11). Es gibt Hinweise auf eine höhere Schadenanfälligkeit moderner Gebäude in Zentraleuropa. In der Schweiz, wo die Baustandards ähnlich wie in Deutschland sind, lag der Anteil beschädigter Gebäude bei neueren Baujahren systematisch höher als bei älteren. Bei Hagelschlägen im Kanton Aargau erlitten etwa 8 % der Gebäude aus den 1940er Jahren Schäden, bei Gebäuden mit Baujahr ab 2000 waren es 15 %. Moderne Häuserfassaden sind bei schweren Hagelereignissen besonders schadenanfällig, da Hagelkörner häufig durch den Wind schräg auftreffen. So kann Hagel bei modernen Wärmedämmsystemen den oft dünnen Oberputz abschlagen und so das Gebäude durch Nässe beschädigen. Aufwändige Fassaden moderner Geschäftsgebäude sowie Solaranlagen können ebenfalls abhängig von der Hagelgröße zu erheblichen Einzelschäden führen. Abbildung 5-12 zeigt beispielhaft typische Schadensbilder in Abhängigkeit zur Hagelgröße.

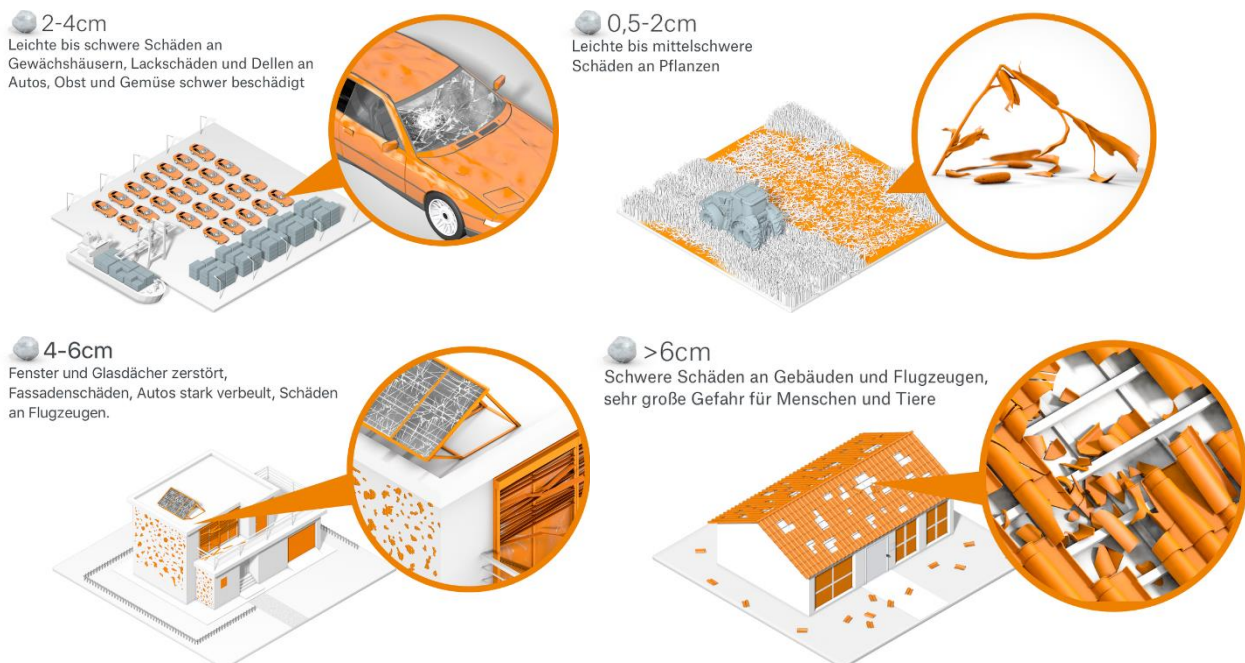
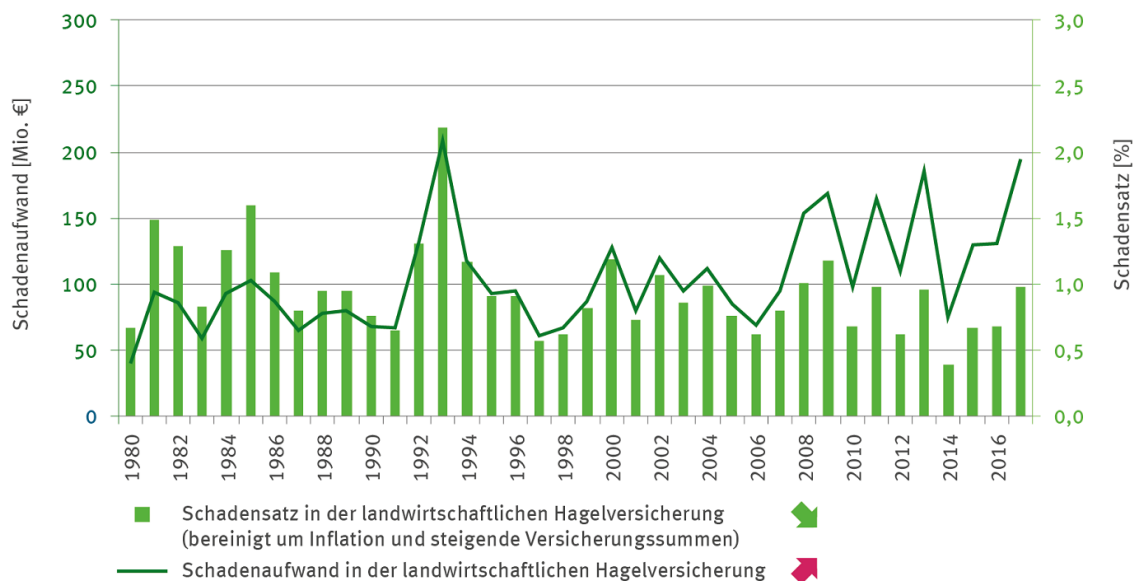


Abbildung 5-12: Verschiedene Hagelgrößen und Schadenbilder (Quelle: Münchner Rückversicherung 2019<sup>14</sup>).

In der Landwirtschaft entstehen durch Hagelereignisse direkte und indirekte Schäden. Neben dem Ernteausfall sind dies der Verlust der Marktpräsenz in einem Hageljahr, die mangelnde Auslastung vorhandener betrieblicher Infrastruktur oder auch ein erhöhter Ernte- und Sortieraufwand.

In Abbildung 5-13 sind Schadenaufwand und Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung abgebildet. Die bereinigte Zeitreihe des Schadensatzes deutet auf einen sinkenden Trend an Hagelereignissen hin, veranschaulicht allerdings auch die starke Variabilität von Hagelereignissen pro Jahr.

<sup>14</sup> [www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html](http://www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html)



Datenquelle: Institut für Agribusiness (Technische Ziffern Hagel)

Abbildung 5-13: Schadenaufwand und Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung (Quelle: UBA 2023<sup>15</sup>).

### Fazit Klimawandel

Das globale Klima erwärmt sich. Dies hat auch Auswirkungen auf das Lokalklima in Crailsheim. Die Jahresmitteltemperatur wird ansteigen, je nach Zukunftsszenario um bis zu 3,7 K. Entsprechend wird die Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen im Jahr ansteigen. Es werden gegen Ende des Jahrhunderts wahrscheinlich mehr als doppelt so viele Sommertage (73) und bis zu dreimal so viele heiße Tage (30) pro Jahr auftreten als noch im Zeitraum von 1971 bis 2000. Die Häufigkeit von Wärmebelastungen wird dementsprechend deutlich ansteigen.

Mit der Zunahme der Lufttemperatur nimmt die Anzahl an Frost- und Eistagen ab. Das Frostrisiko steigt hingegen an, da sich die Wachstumsperiode weiter ins Frühjahr verschiebt.

Die zukünftigen Änderungen des Niederschlags sind nicht eindeutig. Wahrscheinlich ist allerdings eine Zunahme von Starkregenereignissen.

Eine gesicherte Aussage zur Entwicklung von Hageltagen lässt sich aufgrund der geringen Datenlage nicht tätigen. Verschiedene Quellen gehen von einer geringen Zunahme an Hageltagen im Jahr aus.

<sup>15</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/lw-i-3-das-indikator#lw-i-3-hagelschaden-in-der-landwirtschaft>

## 6 Ergebnisse der Simulationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten meteorologischen Größen und Parameter beschrieben (vgl. Abbildung 2-1, S. 12).

### 6.1 Kaltluftströmung

Bei Tiefdruckwetterlagen (bewölkt, windig, regnerisch) herrschen in der Regel gute Austauschbedingungen. Die lokalen Strömungsverhältnisse werden im Wesentlichen durch das Gelände geprägt. In Tallagen treten z.B. Kanalisierungen der Strömung auf. Lufttemperaturunterschiede sind bei diesen Wetterlagen zwischen bebauten und unbebauten Flächen vergleichsweise gering.

Hochdruckwetterlagen können dagegen mit geringen übergeordneten Windgeschwindigkeiten und geringer Bewölkung verbunden sein. Bei diesen sogenannten autochthonen Wetterlagen stellt sich meist ein ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperatur ein, d.h. die Luft kann sich nachts stark abkühlen und am Tag stark aufheizen. Aufgrund des geringen großräumigen Luftaustausches beeinflussen die lokalen topographischen Verhältnisse (sowohl das Geländere Relief als auch die Realnutzung) signifikant die lokale Strömung.

In reliefiertem oder gegliedertem Gelände bilden sich unter autochthonen Bedingungen tagesperiodische Windsysteme aus. In den Tagstunden sind dies tal- und hangaufwärtsgerichtete, meist böige Winde, in den Nachtstunden dagegen eher turbulenzarme Kaltluftabflüsse. In Ebenen sind insbesondere nachts nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten vorhanden. Die nächtliche Inversion unterdrückt zusätzlich den Luftaustausch. Deshalb zählen Kaltluftabflüsse in gegliedertem Gelände zu den klimatischen Gunstfaktoren einer Region.

Durch die Lage Crailsheims in der Crailsheimer Bucht im Jagsttal treten entsprechende Höhenunterschiede innerhalb des Stadtgebiets auf. Diese ermöglichen die Entstehung von Kaltluftabflüssen, welche für die Belüftung von Siedlungsgebieten von Bedeutung sind. Kaltluftabflüsse transportieren in den Abend- und Nachtstunden kühlere und meist frischere Luft in die Siedungsbereiche, wodurch thermische und lufthygienische Belastungen spürbar reduziert werden.

Deshalb ist zur Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse der Erhalt und die Verbesserung dieser Strömungssysteme relevant.

#### 6.1.1 Entstehung von Kaltluftabflüssen

In klaren windschwachen Nächten ist die Energieabgabe der Boden- und Pflanzenoberflächen aufgrund der Wärmeausstrahlung größer als die atmosphärische Gegenstrahlung\*. Dieser Energieverlust verursacht eine Abkühlung der Boden- und Pflanzenoberfläche, so dass die Bodentemperatur niedriger als die Lufttemperatur ist. Der kühlere Boden kühlt daraufhin die bodennahen Luftschichten ab und es entsteht eine bodennahe Kaltluftschicht. Diese ist umso ausgeprägter, je negativer die Strahlungsbilanz\*, je geringer die Wärmezufuhr aus tieferen Bodenschichten an die Oberfläche und je schwächer der Luftaustausch mit der darüber liegenden Atmosphäre ist.

In ebenem Gelände bleibt die bodennahe Kaltluft an Ort und Stelle liegen. In geneigtem Gelände setzt sie sich infolge von horizontalen Dichteunterschieden (kalte Luft besitzt eine höhere Dichte als warme Luft) hangabwärts in Bewegung. Die Geschwindigkeit der Luftmassen ist letztlich von der Hangneigung und dem Dichteunterschied abhängig. Die Reibungskraft bremst die abfließende

Luft. Die beschriebenen Vorgänge sind in der Regel zeitlich nicht konstant, d.h. es kommt zu „pulssierenden“ Kaltluftabflüssen.

In Geländeeinschnitten fließen die Hangabwinde zusammen und es kann ein mehr oder weniger mächtiger Bergwind\* (Talabwind) entstehen. Die vertikale Mächtigkeit des Bergwinds und die Geschwindigkeit hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebiets, der Kaltluftproduktionsrate\*, dem Talgefälle und den Rauigkeiten, d.h. den Strömungshindernissen und der Bodenbeschaffenheit, im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Talwärts führende Einsenkungen des Geländes wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen beeinflussen einen Kaltluftabfluss.

In tiefer gelegenen konkaven Geländeformen wie z.B. in Tälern, Talkesseln, Schluchten und Mulden kann sich die Kaltluft sammeln und es kann sich ein Kaltluftsee ausbilden. In dieser stagnierenden Kaltluft können sich intensive Inversionen ausbilden, die den vertikalen Luftaustausch deutlich reduzieren.

Die Kaltluftentstehung und der Kaltluftabfluss hängen somit von folgenden Faktoren ab:

- meteorologische Verhältnisse,
- Flächennutzung,
- Geländeform und -exposition.

#### **6.1.2 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen**

Hangabwinde setzen ein, wenn sich der Erdboden eines Hanges deutlich abkühlt. Dies ist, abhängig von der Exposition des Hanges, in den Nachmittags- und Abendstunden der Fall. An nicht-besonnten Hängen setzen die Hangabwinde bereits vor Sonnenuntergang ein. Sie dauern die Nacht über an, sofern sie nicht von einem stärkeren Bergwind überlagert werden. Wenn der Hang am Morgen wieder besonnt wird, endet der Hangabwind.

Bergwinde setzen gegenüber den Hangabwinden später ein. Sie beginnen meist erst nach Sonnenuntergang. In den Morgenstunden dauern sie länger an.

#### **6.1.3 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen**

Kaltluftabflüsse treten bei windschwachen und gleichzeitig wolkenarmen Wetterlagen auf, da in diesen Fällen gute Ausstrahlungsbedingungen vorliegen und die bodennah gebildete Kaltluftschicht nicht durch Turbulenz zerstört wird. Dies entspricht der Ausbreitungsklasse\* I, die in Crailsheim laut LUBW (RW 3577500, HW 5445500) in etwa 11 % der Jahresstunden vorkommt (siehe Abbildung 6-1). Auch bei Ausbreitungsklasse II, die in etwa 22 % der Jahresstunden auftritt, können noch Kaltluftabflüsse auftreten, die aber stärker von den übergeordneten Windrichtungen beeinflusst werden.

Das Maximum von Kaltluftabflüssen wird im Spätsommer/Frühherbst beobachtet, da dann die größten Tagesgänge der Lufttemperatur erfolgen. In den Wintermonaten ist die Wahrscheinlichkeit, auch aufgrund der stabilen Nebellagen, am geringsten.

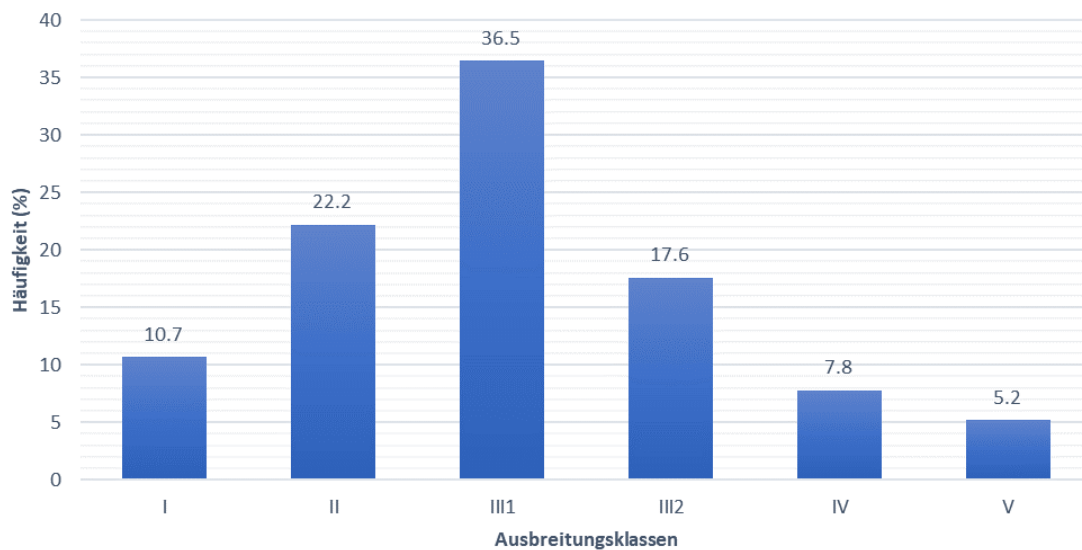


Abbildung 6-1: Häufigkeit der Ausbreitungsklasse (%) am Standort (RW 3577500, HW 5445500) bei Crailsheim (Daten der LUBW, erstellt durch metSoft GbR).

Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftabflüsse ist abhängig vom Weg, den die Kaltluft nimmt. Liegen entlang der Zugbahn der Kaltluft mehrere Kaltluftproduktionsflächen oder fließen Kaltluftströme in Tallagen zusammen, können sich schnell große Kaltluflhöhen ergeben.

Trifft die Kaltluft auf Bebauung, dringt diese bodennah in die Bebauungsschicht ein (vgl. Abbildung 6-2, links). Der größere Teil der Kaltluft überströmt jedoch die Bebauung und wird durch die gebäudeinduzierte Turbulenz in die Bebauung herabgemischt (vgl. Abbildung 6-2, rechts). Für die innerstädtische Belüftung ist deshalb die Überdachströmung die relevante Größe.

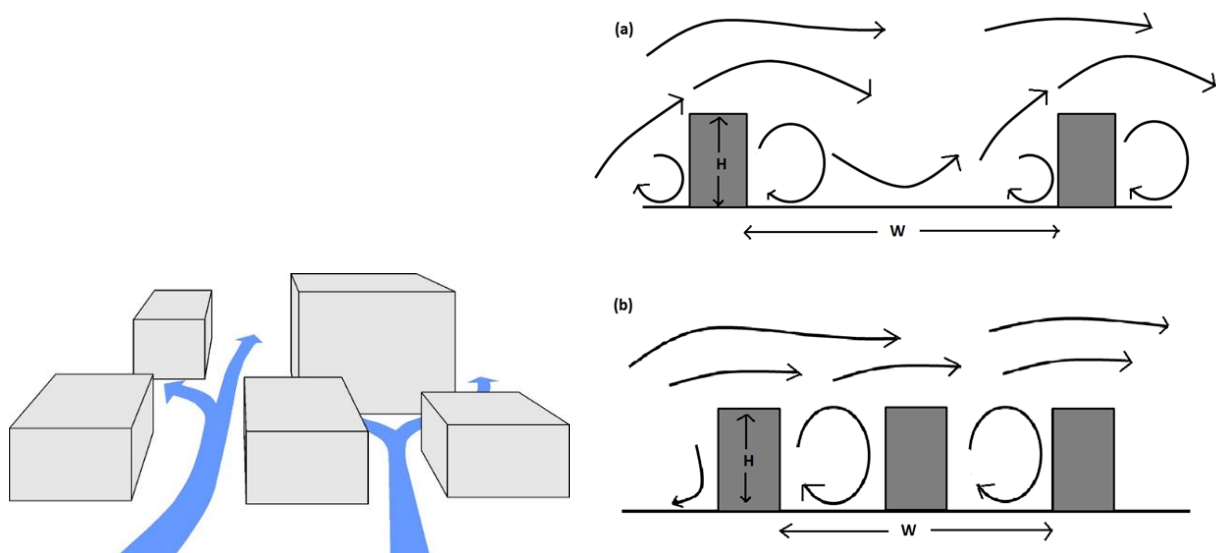


Abbildung 6-2: Bodennahe Belüftung in den peripheren Bereichen (links) und Herabmischen der Luft aus dem Überdachniveau in den Straßenraum (rechts).

#### 6.1.4 Ergebnisse der Modellierung

In Abbildung 6-3 bis Abbildung 6-8 sind die Strömungsverhältnisse in Bodennähe und im Dachniveau sowohl für den Abend als auch die Nacht dargestellt. Für eine bessere Übersicht sind vorrangig die Pfeile bei hoher Volumenstromdichte dargestellt (Algorithmus zur Pfeildarstellung siehe REKLBO, Schwab & Zachenbacher (2009)).

### **Kaltluftabfluss vom Crailsheimer Hardt**

In den Abendstunden entstehen markante Kaltluftabflüsse im Osten Crailsheims entlang des Crailsheimer Hardts, die in Richtung Westen in das Jagsttal abfließen. Diese Kaltluftabflüsse belüften verschiedene Wohnplätze (wie z. B. Wegses, Ofenbach), die östlichen Stadtviertel von Crailsheim von Beuerlbach im Nordosten, Goldbach, Westgartshauens, Wittau bis Jagstheim im Südosten. Schließlich erreichen sie große Gebiete der östlichen Kernstadt von Crailsheim sowie die Stadtteile Kreuzberg und Ingersheim. Die Bebauung im Gewerbegebiet in Ingersheim blockiert die aus Nord- und Südosten kommende Kaltluftströmung. Die Windgeschwindigkeiten dieser Kaltluftabflüsse liegen außerhalb der Bebauung zwischen 1 – 2 m/s.

### **Kaltluftabfluss von den Ellwanger Bergen und vom Reusenberg**

Onolzheim und Teile von Roßfeld werden durch Kaltluftabflüsse aus westlicher bis südwestlicher Richtung aus den Ellwanger Bergen belüftet. Bei Maulach fließen Kaltluftabflüsse von den Ellwanger Bergen und vom Reusenberg zusammen, strömen nach Nordwesten und belüften anschließend die Wohnplätze Heinkenbusch und Saurach.

Nördlich des Reusenbergs münden die dortigen nach Norden strömenden Hangabwinde in die aus dem Jagsttal fließende Kaltluftströmung und belüften aus südöstlicher Richtung Rüddern und Triensbach.

### **Kaltluftabfluss im Jagsttal**

Ab etwa 2 Stunden nach Sonnenuntergang bildet sich im Jagsttal ein Bergwind aus Süden aus, der das Stadtgebiet überströmt. Aufgrund der Rauigkeit (Bäume, Gebäude) und dem geringen Talgefälle setzt sich diese Kaltluftströmung nicht immer bis zum Boden hin durch. Im Dachniveau belüftet die Kaltluftströmung allerdings insbesondere das westliche Stadtgebiet mit den Stadtteilen Altenmünster, Türkei, Fliegerhorst, Sauerbrunnen, Hirtenwiesen und Roter Buck. Aber auch große Teile von Ingersheim, der Innenstadt und des Schießbergs werden durch die Strömung entlang des Jagsttals erreicht. Die Windgeschwindigkeiten in Bodennähe liegen meist unter 1 m/s. Im Stadtgebiet selbst reduziert sich die bodennahe Fließgeschwindigkeit durch die Auenlandschaft entlang der Jagst und die angrenzende Bebauung stark.

Da sich nördlich des Stadtgebiets von Crailsheim die Jagst tief in den Oberen Muschelkalk einschneidet, das Gelände allgemein wieder ansteigt, entkoppelt sich die Kaltluft aus dem Jagsttal und fließt im Überdachniveau nach Nordwesten ab. Dabei werden die Ortsteile Tiefenbach, Triensbach, Rüddern, Wollmershausen und Erkenbrechtshausen überströmt und belüftet. Bodennah bilden sich schwache Hangabwinde aus, welche z. B. zwischen dem geplanten Gewerbegebiet Haertle und dem Stadtviertel Roter Buck von Norden nach Süden abfließen.

### **Zeitliche Entwicklung**

Gegen Ende der Nacht verringert sich die Intensität der Kaltluftabflüsse. Vom Crailsheimer Hardt und den Ellwanger Bergen fließt weniger Kaltluft die Hänge hinab. Die Kaltluftströmung entlang des Jagsttals hingegen bleibt bis zum Ende der Nacht deutlich ausgeprägt, verlagert sich allerdings im Bereich der Kernstadt weiter nach Westen. Dadurch werden besonders die Ortsteile von Altenmünster bis Roter Buck und Roßfeld belüftet. Die Ortsteile östlich der Jagst werden weitestgehend durch bodennah abfließende Kaltluft belüftet.

### **Fazit Kaltluftströmung**

*Große Teile von Crailsheim werden von Süden her durch die Kaltluft entlang der Jagst belüftet, welche im Überdachniveau nördlich der Kernstadt nach Nordwesten zwischen Tiefenbach und Triensbach abfließt. Die östlichen Ortsteile der Kernstadt werden zudem vom Crailsheimer Hardt aus Osten belüftet. Die übrigen Ortsteile und Wohnplätze werden durch lokale Hangabwinde belüftet.*

*Im Nordwesten der Kernstadt dreht sich bodennah durch das Gelände die Fließrichtung, sodass das Gewerbegebiet Haertle und Teile von Roter Buck und Sauerbronnen auch von Osten bis Norden belüftet werden.*

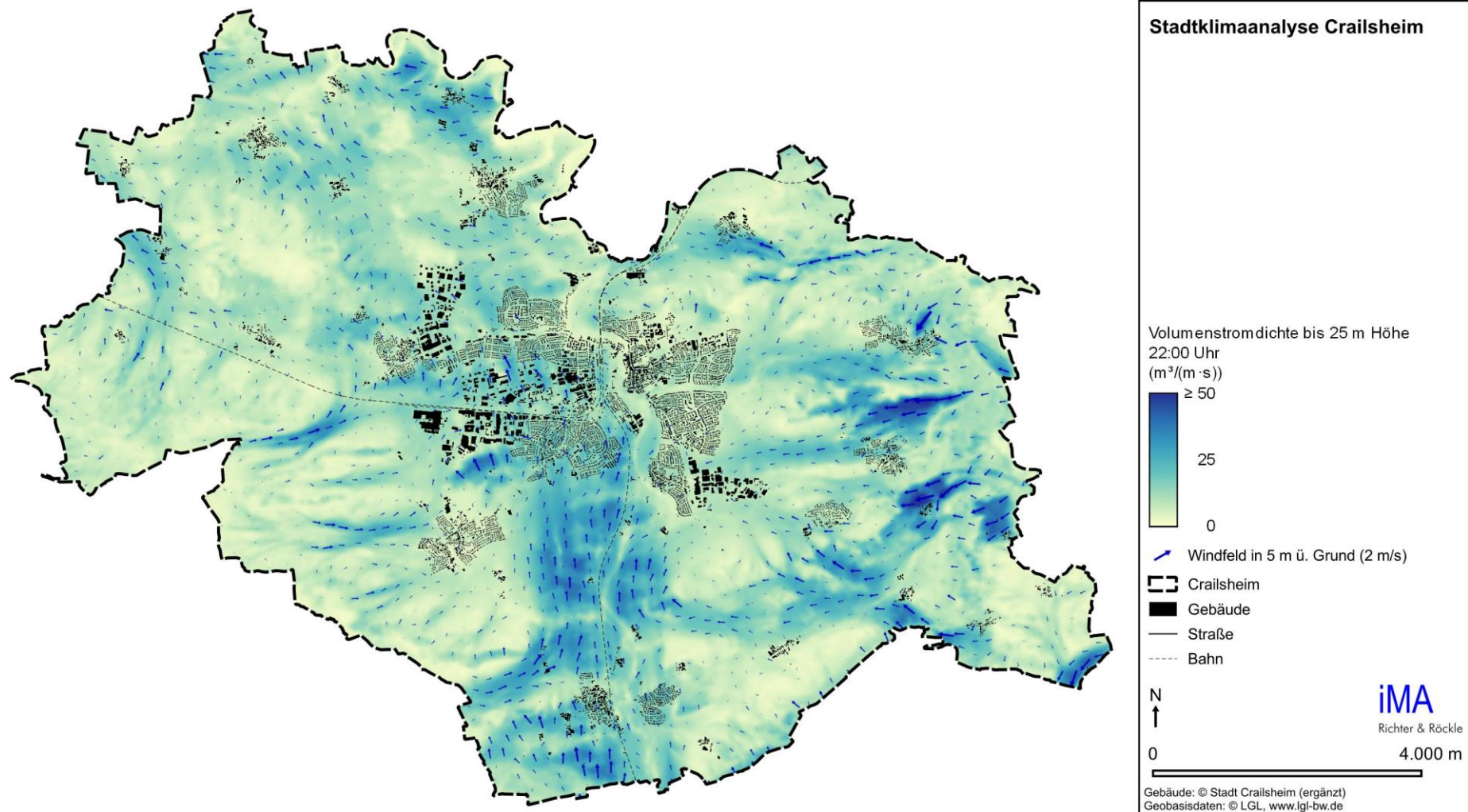


Abbildung 6-3: Abendliche Durchlüftung in Bodennähe (5 m ü. Grund) in Crailsheim. Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

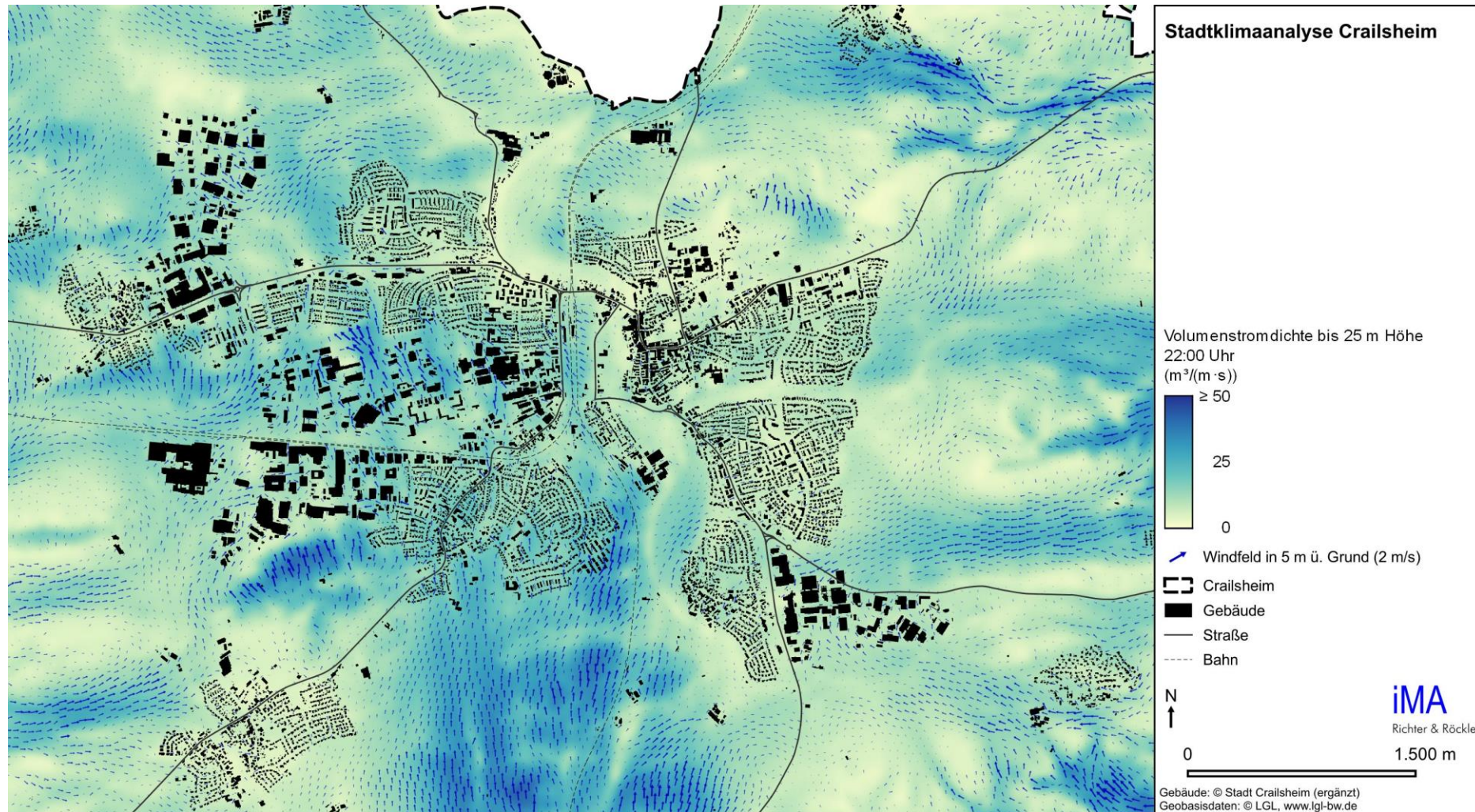


Abbildung 6-4: Detailansicht der abendlichen Durchlüftung in Bodennähe (5 m ü. Grund). Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

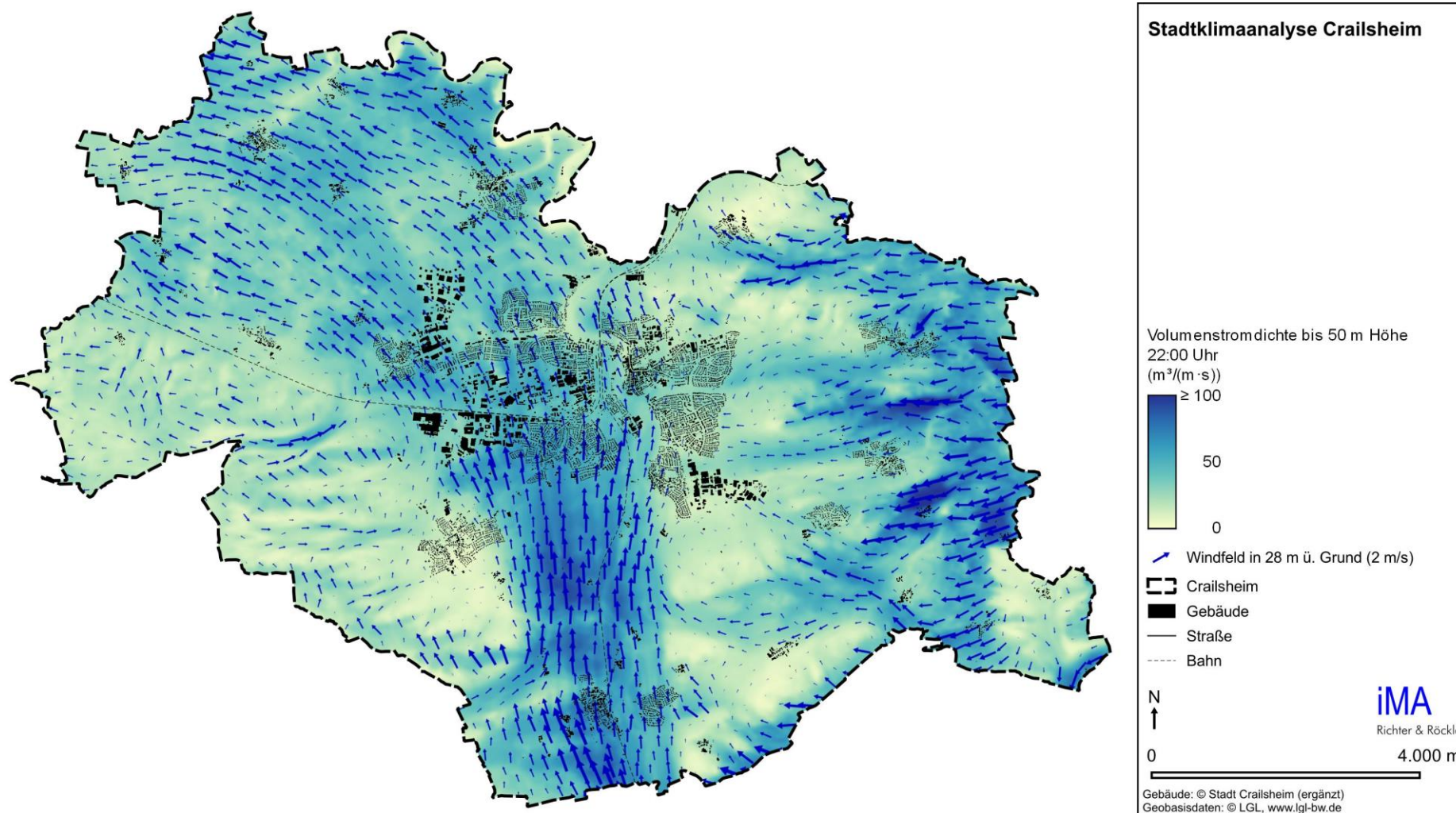


Abbildung 6-5: Abendliche Durchlüftung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Crailsheim. Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

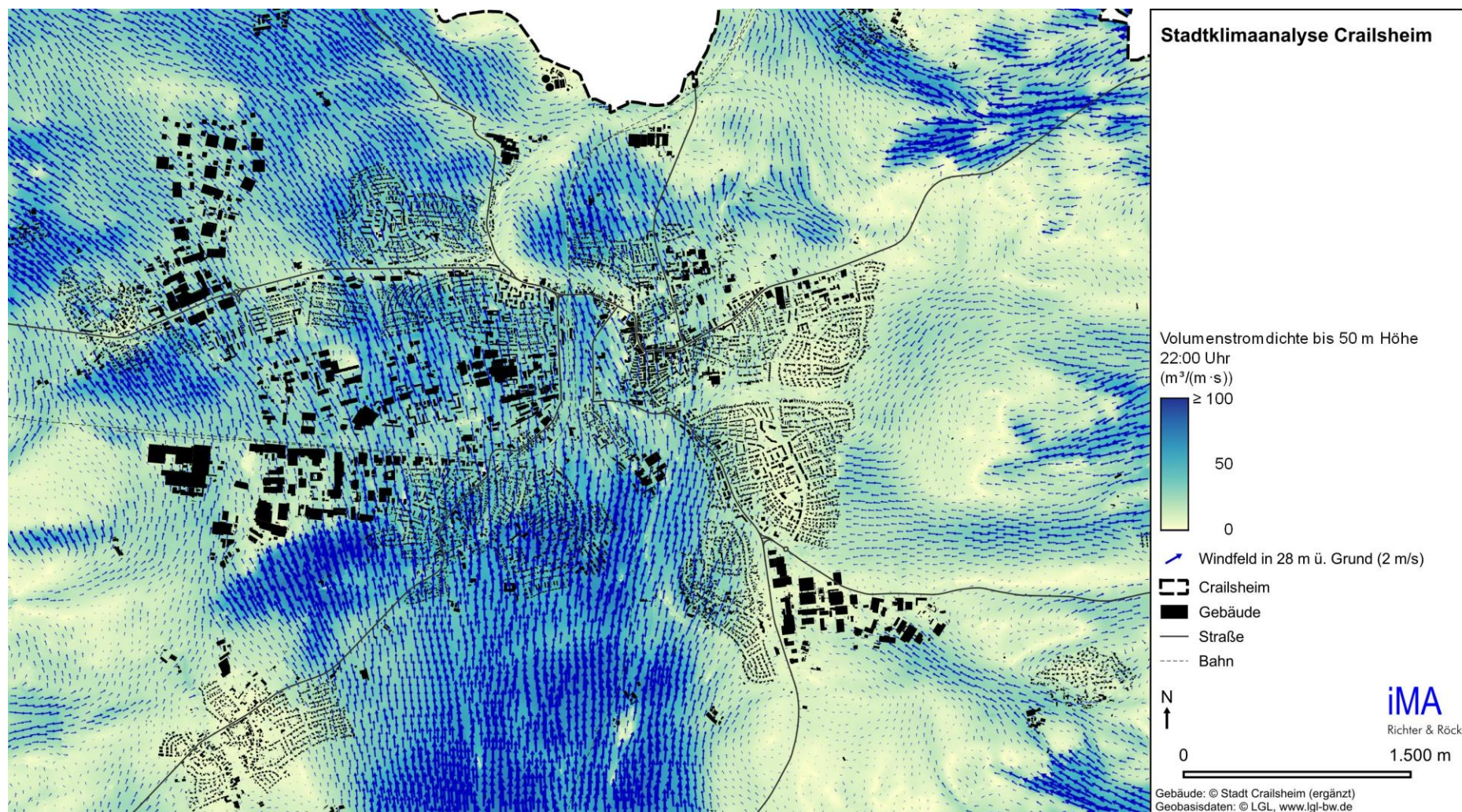


Abbildung 6-6: Detailansicht der abendlichen Durchlüftung im Dachniveau (28 m ü. Grund). Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

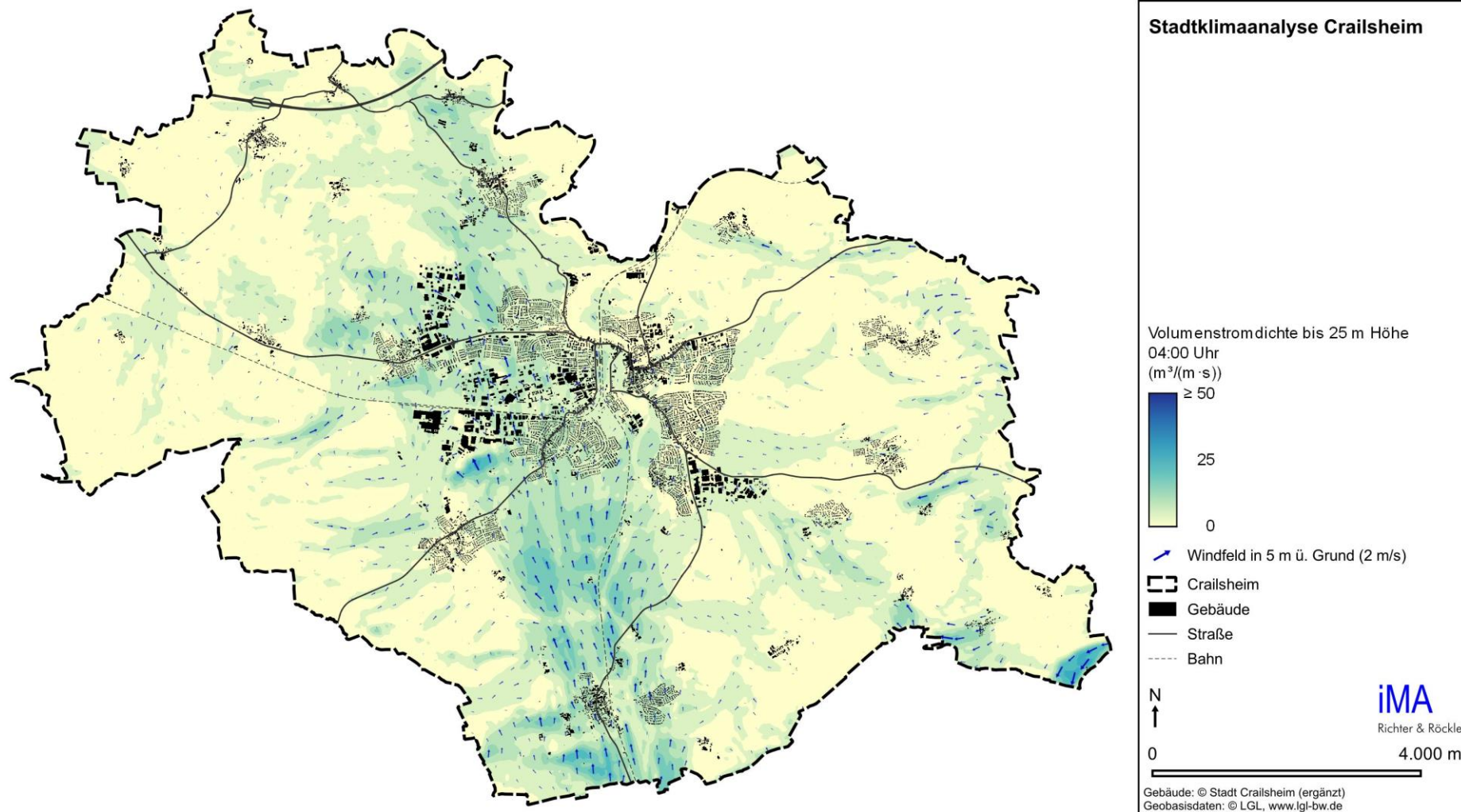


Abbildung 6-7: Nächtliche Durchlüftung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Crailsheim. Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

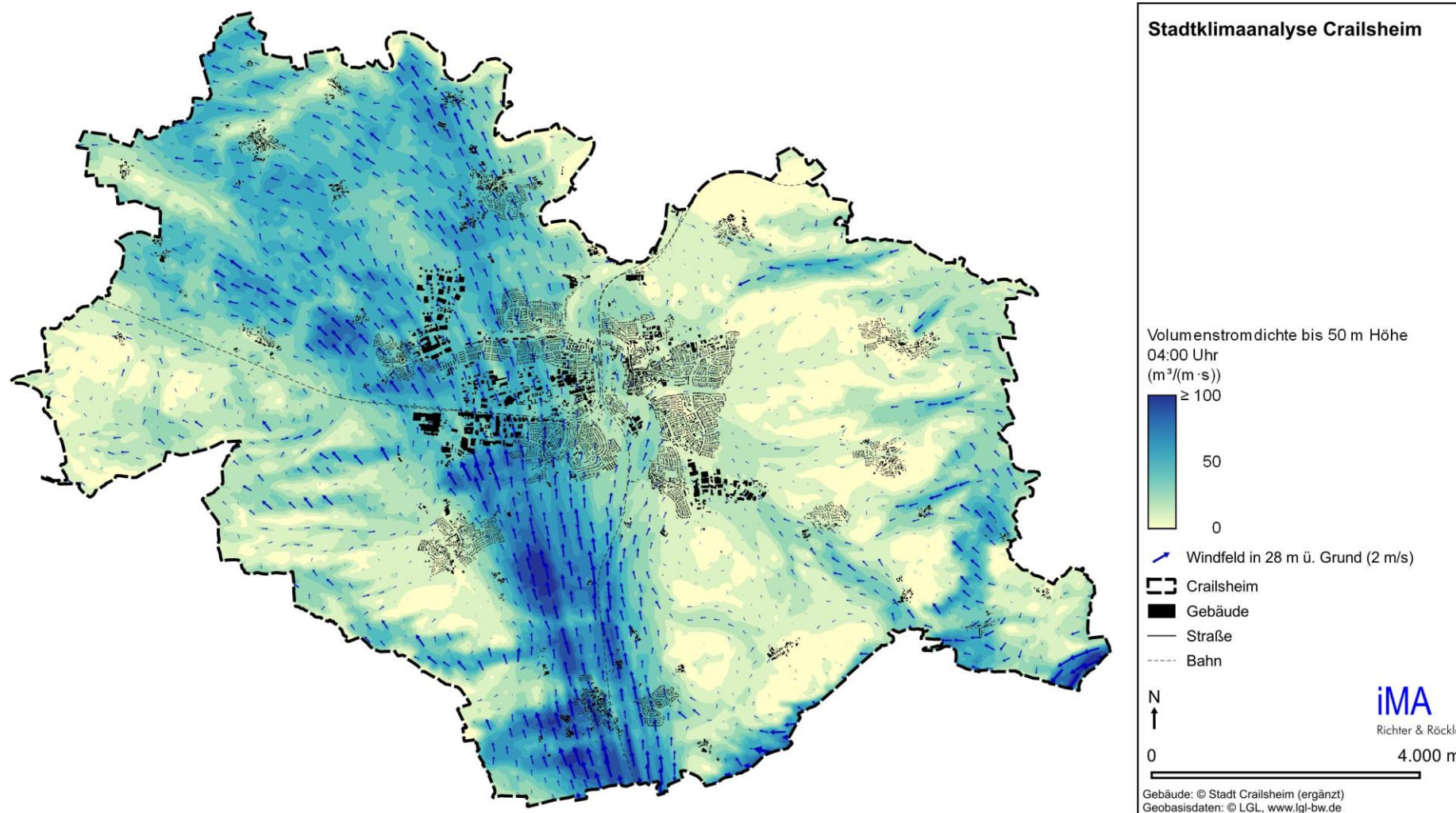


Abbildung 6-8: Nächtliche Durchlüftung im Dachniveau (28 m ü. Grund) in Crailsheim. Die Pfeile zeigen an, in welche Richtung der Wind weht.

## 6.2 Thermische und human-biometeorologische Verhältnisse

Für die Bewertung der human-biometeorologischen Verhältnisse tagsüber ist die Betrachtung der Lufttemperatur nur bedingt geeignet, da neben der Temperatur auch die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und die Strahlungsflüsse einen erheblichen Einfluss auf das thermische Befinden haben. Als Indikator für die thermische Belastung wird daher die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) betrachtet (siehe Kapitel 3.2.4).

Nachts korrelieren die PET und die Lufttemperatur stark, da vor allem der Einfluss der Sonneneinstrahlung entfällt. Deshalb wird nachts die Lufttemperatur oder genauer die Überwärmung des Stadtgebiets anhand der urbanen Wärmeinsel (UHI) betrachtet. Diese wird ermittelt aus dem Vergleich der Lufttemperatur zweier Simulationen, eine auf Basis der tatsächlichen Bebauung und Versiegelung und einer weiteren Simulation ohne Gebäude und versiegelte Flächen.

Zur Einschätzung der Häufigkeit von Wärmebelastungen wird die mittlere Anzahl an Sommertagen im Jahr herangezogen. Dazu werden Daten aus Klimamodellierungen und den Ergebnissen der regionalen Klimaanalyse für die Region Heilbronn-Franken herangezogen (iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG (2023)).

### 6.2.1 Human-biometeorologische Verhältnisse

In Abbildung 6-9 ist die PET zur Mittagszeit an einem heißen Sommertag dargestellt. Die thermische Belastung ist stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. Besonnene Bereiche wie beispielsweise die Freiflächen rund um Crailsheim weisen eine deutlich höhere thermische Belastung auf als die verschatteten Gebiete, wie der alte Friedhof, die Jagstau oder die Waldgebiete am Reusenberg, entlang der Ellwanger Berge oder dem Crailsheimer Hardt. Daher spielen schattenspendende Hindernisse wie Bäume aber auch Gebäude eine wesentliche Rolle.

In durch Bäume abgeschatteten Bereichen beträgt die PET weniger als 30 °C, so dass hier zwar „warme“ Bedingungen jedoch ohne starken Hitzestress vorzufinden sind (thermophysiologische Bewertungsskala siehe Tabelle 3-5). Ebenso sind Gebiete mit hohem Grünflächen- oder Gewässeranteil weniger stark hitzebelastet. Hier wird die Einstrahlung der Sonne in Verdunstungsenergie umgewandelt und die Oberflächen heizen sich im Vergleich zu versiegelten Flächen weniger stark auf.

Die höchsten Belastungen treten in besonnten, windschwachen und stark versiegelten Bereichen auf, wie sie in Industrie- und Gewerbegebieten vorkommen. Ähnlich hohe PET-Werte treten auch in versiegelten Innen- und Hinterhöfen auf, welche nicht ausreichend abgeschattet und schlecht durchlüftet sind. Auch auf größeren versiegelten und unverschatteten Plätzen, wie zum Teil der Schweinemarktplatz oder auf dem zentralen Busbahnhof an der Worthingtonstraße werden hohe PET-Werte erreicht.

Die mikroskalig berechneten PET-Werte mit expliziter Berücksichtigung der Bebauung und der Bäume ist in Abbildung 6-10 nochmals vergrößert dargestellt. Durch Bäume verschattete Bereiche wie der alte Friedhof, der Karlsberg oder die Jagstau weisen deutlich geringere PET-Werte auf. Besonders Straßenbäume eignen sich die PET im Verkehrsraum effektiv zu reduzieren wie beispielsweise entlang der Tiefenbacher Straße.

## **Innenstadt**

Die Crailsheimer Innenstadt weist zum einen Bereiche mit hoher PET auf. Dies sind insbesondere die nur gering verschatteten Plätze wie der Schweinemarktplatz. Zum anderen bieten der Stadtpark und der Ehrenfriedhof mit ihrem großen Baumbestand Bereiche mit reduzierter PET. Dazu zählen auch die Grünbereiche entlang der Jagst am westlichen Rand der Innenstadt. Entlang der Karlstraße zeigt sich der Einfluss durch die Gebäudeschatten. Während der nördliche Gehweg sonnenbeschienen ist und sehr hohe PET-Werte aufweist, finden sich an der Südseite der Straße innerhalb der Gebäudeschatten auch kühlere Bereiche.

## **Schießberg**

Trotz der größeren privaten Gartenflächen im Stadtteil Schießberg ist die PET im Wohngebiet zum Teil erhöht. Die breit angelegten Straßenzüge ohne Straßenbegleitgrün können sich tagsüber gut aufheizen und weisen durch die fehlende Verschattung entsprechend hohe PET-Werte auf. Im Kontrast dazu liegen die Grünanlagen am Rand des Ortsteils. Der Hauptfriedhof bietet mit seinem zum Teil dichten Baumbestand kühle Inseln für die Erholung an heißen Sommertagen. Auch das östlich der Blaufelder Straße gelegene Behörden- und Schulareal weist einen hohen Baumanteil mit größeren kühlen Bereichen auf.

## **Kreuzberg**

Der östliche Stadtteil Kreuzberg zeichnet sich durch dichte Bebauung mit Ein- und Mehrfamilienhäusern, teilweise als Reihenhäuser, aus. Der Grünanteil, insbesondere der Baumbestand ist in Kreuzberg gering. Dadurch erreicht die PET in weiten Teilen von Kreuzberg hohe bis sehr hohe Werte. Der Grünzug entlang des Trutenbachs, der den Stadtteil von Ost nach West durchquert, bildet eine kühle Zone mit geringen PET-Werten. Nennenswert ist zudem die Begrünung entlang des Pamiersring von der Lerchenstraße im Süden bis zur Schönebürgstraße im Norden.

## **Türkei**

Im Stadtteil Türkei werden in den eng bebauten Straßenbereichen und im südlichen Gewerbegebiet hohe PET-Werte erreicht. Im Übergangsbereich zu den Jagstauen hingegen liegt die PET bei deutlich unter 30 °C.

## **Fliegerhorst**

Die großen Gewerbeflächen im Stadtteil Fliegerhorst weisen in den eng bebauten Bereichen hohe bis sehr hohe PET-Werte auf. Auf den Freiflächen, welche teilweise unversiegelt sind, werden Werte ähnlich zu den Freiflächen im ländlichen Umfeld erreicht. Hier reduziert die Durchlüftung die Wärmebelastung. Durch fehlende Abschattung werden allerdings weiterhin hohe PET-Werte erreicht. Kühlere Bereiche befinden sich zwischen Burgbergstraße und Friedrich-Bergius-Straße im südlichen Teil sowie im Bereich der grünen Wälle im Übergangsbereich zum Stadtteil Sauerbrunnen.

## **Sauerbrunnen**

Die Reihenhaussiedlung an der westlichen Dieselstraße in Sauerbrunnen weist durch die dichte Bebauung nur kleine Grünflächen auf, die wiederum nur vereinzelt mit Bäumen verschattet werden, was hohe PET-Werte bedingt. Dies gilt in noch verstärkter Weise für das Neubaugebiet südlich der Haller Straße in Richtung Roßfeld. Nur wenige und sehr junge und dadurch kleine Bäume sind hier

zu finden, was sich negativ auf die Verschattung und somit auf die Wärmebelastung auswirkt. Im Bereich der Kirche Zur Allerheiligsten Dreifaltigkeit an der Kolpingstraße wirkt sich der bestehende Baumbestand positiv auf die PET aus. Gleiches gilt für den Bereich des Schulzentrums an der Breslauer Straße.

### **Roter Buck, Altenmünster, Ingersheim**

Die Stadtteile Roter Buck, Altenmünster und Ingersheim zeigen eine ähnliche Struktur wie Kreuzberg auf. Eng bebaute Bereiche mit kleinen privaten Gartenanlagen lassen meist kaum Raum für größere Baumpflanzungen. Entsprechend werden teilweise hohe PET-Werte erreicht. Bereiche mit hohem dichtem Baumbestand wie auf dem Gelände des Wolfgangstift in Roter Buck, südlich der Grundschule in Altenmünster oder im Bereich der Turn- und Festhalle in Ingersheim zeigen geringe PET-Werte, sind somit potenziell kühle Aufenthaltsräume.

Das südliche Gewerbegebiet in Ingersheim weist großflächig hohe PET-Werte auf. Der vorhandene Baumbestand ist überwiegend nur niedrig und schmal ausgeprägt und kann somit die PET nicht effektiv reduzieren.

### **Beuerlbach**

Beuerlbach ist nur locker bebaut und liegt weit entfernt von anderer Bebauung. Zudem weist der Ort eine gute Durchgrünung auf. Die PET ist daher in weiten Teilen nur gering.

### **Goldbach, Westgartshausen**

Goldbach und Westgartshausen sowie das zugehörige Wittau besitzen teilweise eng bebaute Straßenzüge. Entlang dieser ist die PET erhöht. Der hohe Grünanteil und die umliegenden Waldflächen bieten allerdings Bereiche mit reduzierter PET.

### **Jagstheim**

Jagstheim mit dem zugehörigen Burgberg auf der rechten Jagstseite zeigt ebenfalls hohe Werte der PET im eng bebauten Ortskern. Die mit Bäumen bestandenen Flächen am Ortsrand wie zum Beispiel der Friedhof an der Jagstheimer Hauptstraße bieten wiederum Bereiche mit verringerter PET.

### **Onolzheim**

In Onolzheim sticht ebenfalls der im Ortszentrum gelegene Friedhof mit seinem Baumbestand in der PET-Karte hervor. Zusätzlich weisen die Grünflächen entlang des Maulbachs, welcher durch die Ortschaft fließt, geringe PET-Werte auf. Hohe Werte werden wiederum in den dicht bebauten Neubaugebieten erreicht, wo ein nur junger Baumbestand angetroffen wird oder Bäume sogar in Gänze fehlen.

### **Roßfeld**

Das Wohngebiet von Roßfeld gestaltet sich vergleichbar mit denen der Ortschaften Onolzheim oder Jagstheim. Der alte Ortskern mit dichter Bebauung weist die höchsten PET-Werte auf, der verschattete Friedhof die geringsten Werte.

Das im Osten angrenzende Gewerbegebiet zeigt zum einen entlang der Haller Straße sehr hohe PET-Werte. Zum anderen werden die offenen Flächen gut durchlüftet, sodass die PET hier keine

sehr hohen Werte erreicht. Fehlende Verschattung bedeutet allerdings, dass im Gewerbegebiet keine geringen PET-Werte erreicht werden.

### **Tiefenbach, Triensbach**

Die Ortschaften Tiefenbach und Triensbach sowie die zugehörigen Wohnplätze zeigen wie die übrigen Ortschaften teilweise erhöhte PET-Werte entlang eng bebauter Straßenzüge. Allerdings ist die Durchgrünung höher als in Onolzheim, was zu stellenweise reduzierter PET führt.

### **Solarfeld südöstlich von Maulach**

Das Solarfeld südlich von Maulach erhöht zwar die Oberflächentemperatur um 2 K bis 10 K. Die Auswirkungen auf die Lufttemperatur liegen allerdings bei weniger als 1 K. Die PET erhöht sich im Mittel um etwa 3 K im Vergleich zum benachbarten Feld.

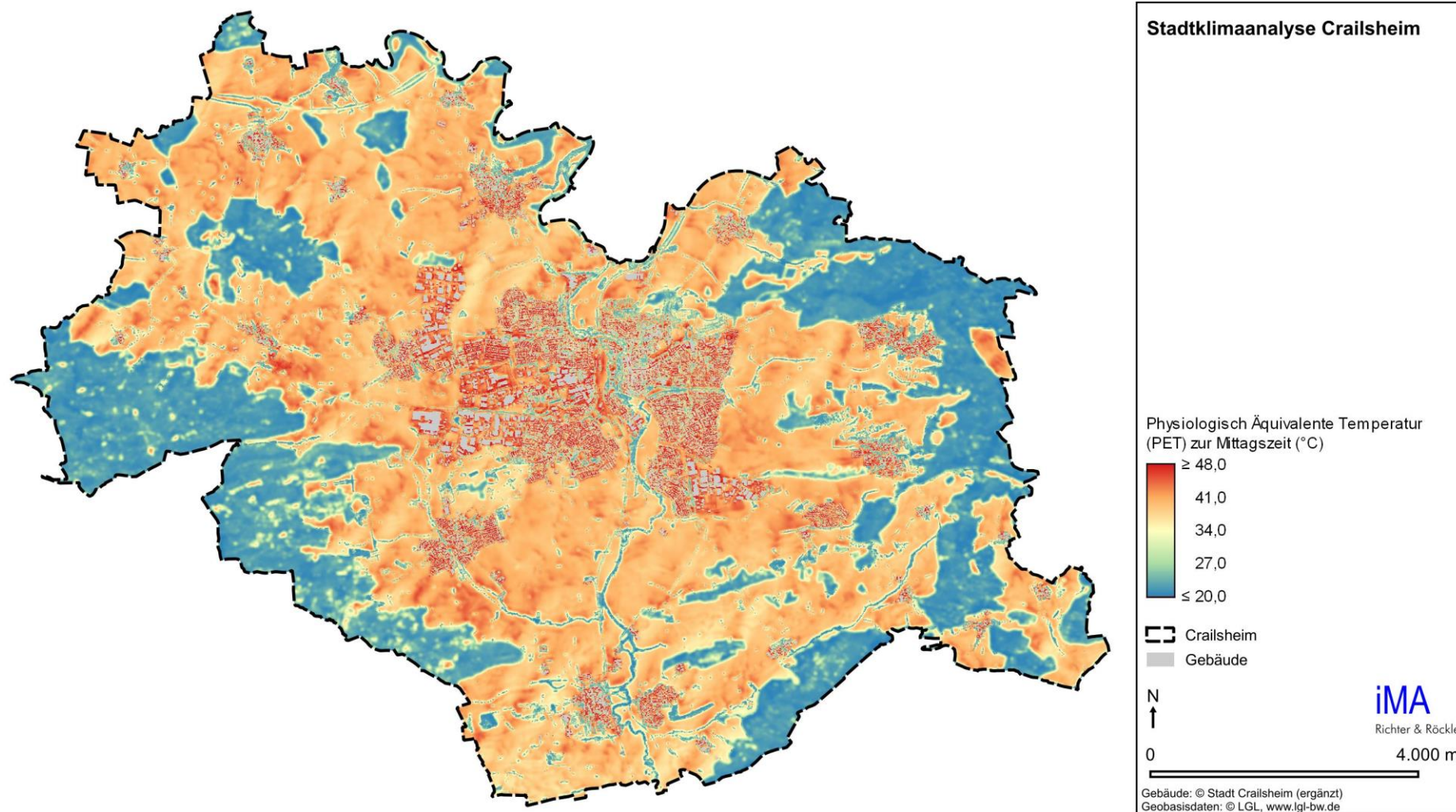


Abbildung 6-9: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).

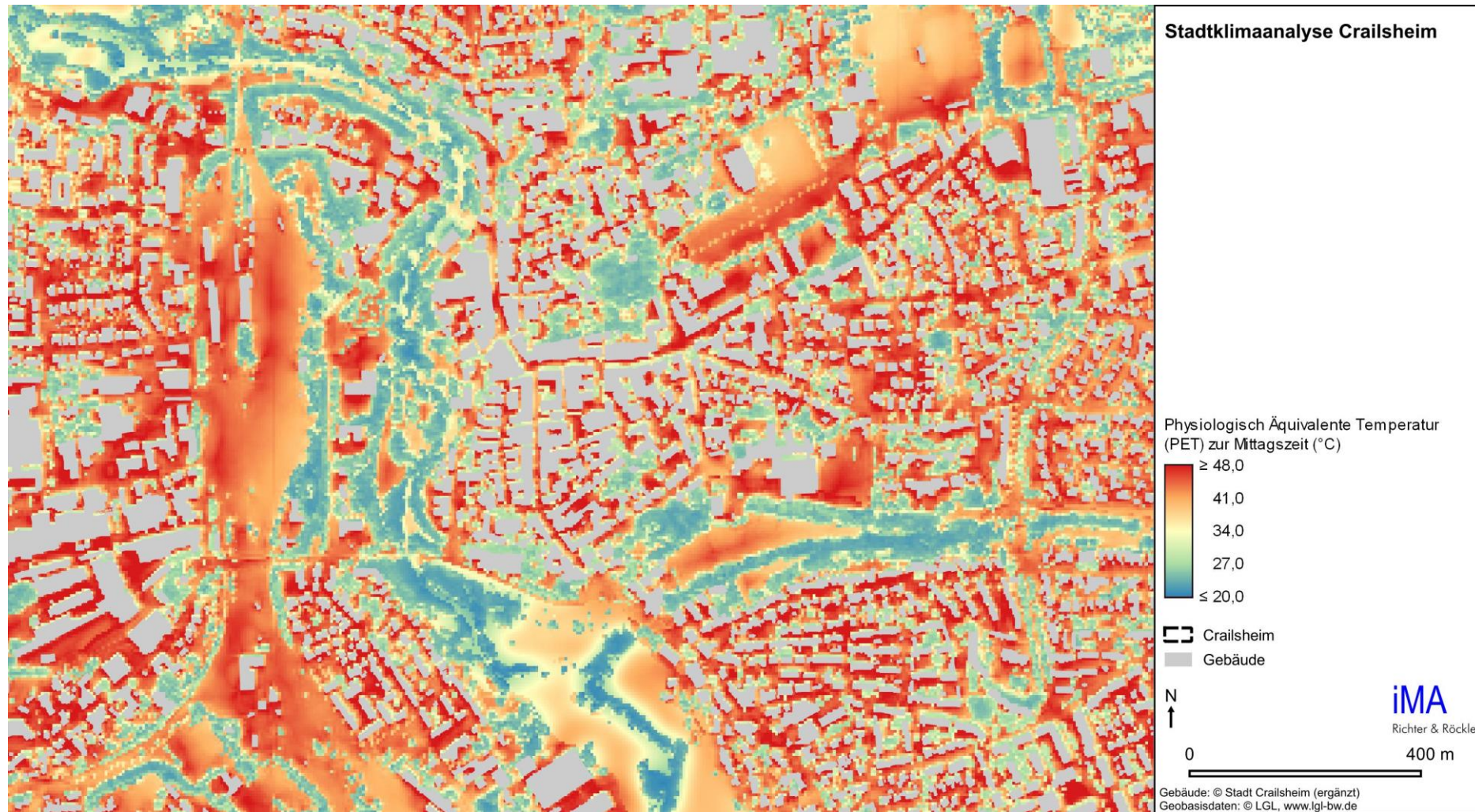


Abbildung 6-10: Vergrößerte Darstellung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET, in °C) zur Mittagszeit (2 m ü. Grund).

### 6.2.2 Urbane Wärmeinsel

Als urbane Wärmeinsel (urban heat island, UHI) wird die Überwärmung des Siedlungsbereichs gegenüber dem Umland bezeichnet. Die UHI ist insbesondere in der frühen Nacht stark ausgeprägt, während sie am Tage nicht oder nur schwach ausgebildet ist. Die Überwärmung des Siedlungsbereichs entsteht durch Unterschiede in der Energieumsetzung der unterschiedlichen Oberflächen zwischen Stadt und Umland. Die überwiegend versiegelten Flächen im Siedlungsgebiet wie Asphaltflächen, gepflasterte Wege und Plätze oder die Bebauung nehmen tagsüber mehr Energie durch die Sonneneinstrahlung auf als Vegetationsflächen. Diese gespeicherte Energie wird nach Sonnenuntergang in Form von Wärme an die Atmosphäre abgegeben. Das führt lokal zu höheren Lufttemperaturen im Siedlungsbereich als im Umland.

Neben den unterschiedlichen Oberflächen spielen weitere Aspekte bei der Entstehung der UHI eine Rolle. Ein wichtiger zusätzlicher Faktor ist die Abgabe anthropogener Wärme an die Umgebung, d.h. Abwärme aus Kfz-Verkehr, Produktionsverfahren oder aus der Innenraumkühlung (Abwärme durch Klimaanlage). Diese Wärme erhöht zusätzlich die Lufttemperatur. Auch spielt die Horizontüberhöhung (sky view factor, SVF) eine wichtige Rolle. Sie beschreibt die Sichtbarkeit des Himmelsgewölbes von einer Oberfläche aus und kann als Maß für die Wärmeabstrahlung herangezogen werden. Bei stark eingeschränkter Himmelssicht (geringer SVF) wie in Straßenschluchten oder in verschatteten Bereichen wird weniger Wärme in höhere Luftschichten abgestrahlt und es verbleibt mehr Wärme in den bodennahen Luftschichten. Außerdem trägt die verringerte Durchlüftung durch die dichte Bebauung zur Bildung der UHI bei (erwärmte Luft verbleibt im Stadtgebiet).

Zur Berechnung der UHI wurden die Ergebnisse der Simulation mit denen einer weiteren Simulation verglichen, in der die versiegelten und bebauten Flächen im Stadtgebiet durch Wald- und Feldflächen ersetzt wurden. Die Differenz der bodennahen Lufttemperatur zwischen dem Bestand und dieser Simulation wird als UHI ausgewiesen.

In Crailsheim ist die UHI in den Abendstunden besonders in den Industrie- und Gewerbegebieten Hardt und Flügelsau sowie in der Innenstadt mit bis zu 4,8 K ausgeprägt (Abbildung 6-11). Das Gewerbegebiet Roßfeld weist stellenweise, insbesondere im südlichen Bereich, ebenfalls eine Überwärmung von über 3,5 K auf. Besser durchlüftete und kleinere Gewerbegebiete, wie das Gewerbegebiet Südost, weisen eine geringere Überwärmung auf.

Neben Gewerbegebieten können auch größere Verkehrsflächen eine markante UHI aufweisen. So zeigt beispielsweise die Autobahn und der Autobahnrastplatz Reußenberg eine Überwärmung von über 2,5 K auf.

Gut durchlüftete und begrünte Stadtteile, wie der östliche und südliche Stadtrand, welche durch Kaltluftabflüsse aus Osten und dem Jagsttal belüftet werden, weisen eine geringe Überwärmung auf.

Im Laufe der Nacht kühlen sich auch die städtischen Oberflächen ab, wodurch sich die urbane Wärmeinsel auch aufgrund der, im Vergleich zu Großstädten, kleinen Ausdehnung der Stadt Crailsheim abschwächt. Versiegelte, stark überwärmte Flächen, wie z.B. die Bahnanlage am Hauptbahnhof oder die Gewerbegebiete weisen höhere Abkühlungsraten auf als das ländliche Umland.

### **Innenstadt**

Die zentral gelegene und dicht bebaute Innenstadt weist mit bis zu 4,8 K die höchsten Werte in der UHI in Crailsheim auf. Der hohe Versiegelungsgrad und die dichte Bebauung bewirken ein Aufheizen des Gebiets. Zusätzlich verringern die umgebenden Stadtteile die Durchlüftung der Innenstadt. Die Abkühlung in der Nacht wird somit eingeschränkt. Kühle Bereiche in Innenstadtnähe sind die Jagst mit den umliegenden Grünbereichen und der Grünzug entlang des Trutenbachs. Durch die zentrale Lage der Innenstadt sind die Windgeschwindigkeiten entlang der Jagst und des Trutenbachs im Bereich der Innenstadt allerdings stark reduziert, sodass die kühleren Luftmassen kaum ins Zentrum der Innenstadt gelangen.

### **Schießberg**

Schießberg weist innerhalb der Wohngebiete nur eine geringe Überwärmung von weniger als 2,5 K auf. Die südlichen Bereiche mit Nähe zur Innenstadt überwärmen sich stärker.

### **Kreuzberg**

Kreuzberg profitiert von den östlichen Kaltluftabflüssen und im Südwesten von der Strömung entlang der Jagstauen. Im Zentrum der Bebauung kann die Überwärmung zwar stellenweise über 3 K reichen, im Mittel liegt die UHI allerdings bei lediglich 2,0 K.

### **Türkei**

Der Ortsteil Türkei weist stellenweise eine Überwärmung von über 3,5 K auf. Der südliche Teil profitiert stärker von der Kaltluftströmung entlang der Jagst als der nördliche Teil in Richtung Bahnhofsgelände.

### **Fliegerhorst**

Durch die zentrale Lage und den großen Anteil stark versiegelter Gewerbeflächen im Ortsteil Fliegerhorst reicht die nächtliche Überwärmung in diesem Stadtteil stellenweise über 4 K.

### **Sauerbrunnen**

Die südöstlichen Teile von Sauerbrunnen mit Nähe zum stark überwärmten Gewerbegebiet zeigen teilweise eine starke Überwärmung von 3,5 K und mehr. Die übrigen Bereiche liegen größtenteils bei unter 2,5 K, was durch den höheren Grünflächenanteil gegenüber den Gewerbegebieten begründet ist.

Das dicht bebaute Neubaugebiet zwischen Willy-Brandt-Straße und Haller Straße zeigt im Gegensatz zu den älteren Wohngebieten eine deutlich höhere Überwärmung von überwiegend mehr als 3 K. Hier kommt der fehlende bzw. noch sehr junge Baumbestand zu tragen, welcher die teilweise breit angelegten Straßenzüge kaum abschattet.

### **Roter Buck**

Der Ortsteil Roter Buck zeigt eine Überwärmung im Ortszentrum von bis zu 3,5 K. Durch die Lage am nördlichen Stadtrand von Crailsheim nimmt die Überwärmung zum Siedlungsrand deutlich ab. Im Mittel liegt die Überwärmung bei 2,3 K.

### **Altenmünster**

Altenmünster profitiert durch die Lage im Süden der Stadt von den Kaltluftabflüssen aus dem Jagsttal. Große Teile des Stadtteils weisen daher eine nur geringe Überwärmung auf. Mit zunehmender Entfernung vom Siedlungsrand in Richtung Norden steigt die Überwärmung auf bis über 3,5 K südlich der Bahnschienen. Die mittlere UHI in Altenmünster liegt allerdings bei lediglich 2,0 K.

### **Ingersheim**

Ingersheim profitiert wie Altenmünster und Kreuzbach von den Kaltluftabflüssen entlang des Jagsttals und der Jagstauen. Dadurch wird die nächtliche Überwärmung effektiv begrenzt. Die mittlere UHI liegt mit 1,8 K deutlich unter dem Wert der Kernstadt.

### **Jagstheim, Onolzheim, Tiefenbach**

Die Ortschaften Jagstheim, Onolzheim und Tiefenbach werden durch verschiedene Kaltluftabflüsse belüftet. Dadurch wird die UHI in den Ortschaften begrenzt. Durch die dichte Bebauung der Ortskerne von Jagstheim, Onolzheim und Tiefenbach erreicht die UHI stellenweise Werte über 2,5 K. Im Mittel liegt die UHI bei 1,6 K in Onolzheim, bei 1,4 K in Tiefenbach und bei 1,3 K in Jagstheim.

### **Roßfeld**

Roßfeld weist überwiegend eine vergleichbare Verteilung der UHI wie Jagstheim, Onolzheim oder Tiefenbach auf. Hinzu kommt die Nähe zum östlich angrenzenden Gewerbegebiet, wodurch die UHI teilweise über 3 K im Ortskern reicht. Die mittlere UHI für Roßfeld liegt allerdings bei lediglich 1,5 K.

### **Beuerlbach, Goldbach, Westgartshausen**

Die Ortsteile Beuerlbach, Goldbach und Westgartshausen werden effektiv von den Kaltluftabflüssen aus den östlich angrenzenden Hochlagen belüftet. Zudem bedingt die Größe der Ortschaften, dass keine nennenswerte Überwärmung auftritt. Die UHI reicht kaum über 1,5 K.

### **Triensbach**

Triensbach weist eine ähnliche Struktur und Größe auf wie die östlichen Ortschaften von Crailsheim. Allerdings wird Triensbach hauptsächlich durch Kaltluftströme im Dachniveau überströmt. Diese bewirken zwar auch eine Begrenzung der Überwärmung. Der Effekt ist jedoch geringer als bei starker bodennaher Durchlüftung. Die UHI steigt daher stellenweise auf über 2 K im Ortskern. Die mittlere Überwärmung liegt hingegen bei lediglich 1,1 K.

### **Solarfeld südöstlich von Maulach**

Das Solarfeld südlich von Maulach heizt sich zwar tagsüber stärker auf als die umgebenden Landwirtschaftlichen Flächen, kühlt nach Sonnenuntergang aber schnell ab, sodass sich die Überwärmung im Vergleich zum Umland auf unter 1 K im Laufe der Nacht reduziert.

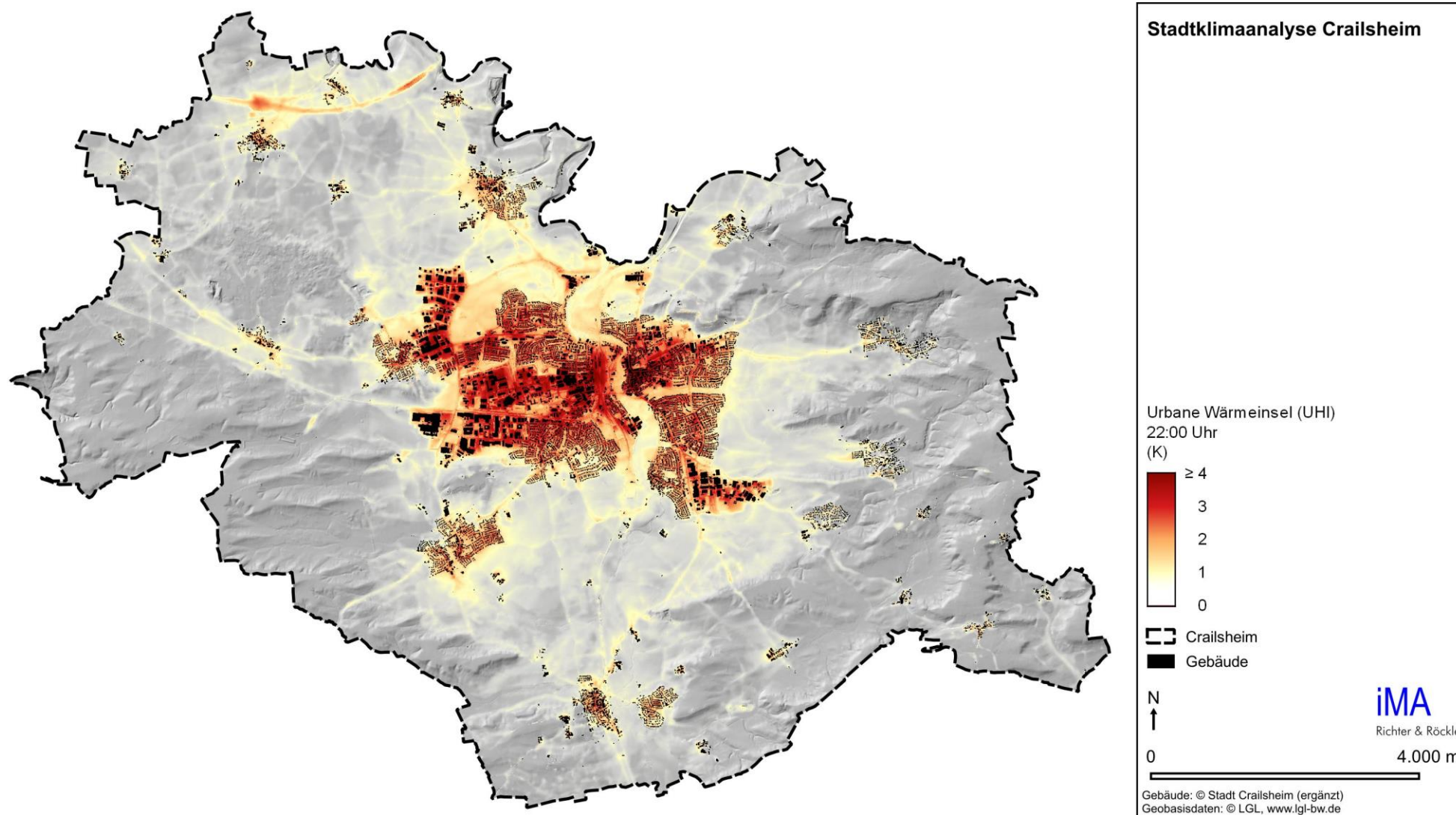


Abbildung 6-11: Abendliche urbane Wärmeinsel (UHI).

### 6.2.3 Häufigkeit von Sommertagen

Die Anzahl an Sommertagen im Jahr kann als Indikator für die Auftrittswahrscheinlichkeit von Wärmebelastungen herangezogen werden. Im Rahmen der regionalen Klimaanalyse für den Regionalverband Heilbronn-Franken wurden die mittlere Anzahl an Sommertagen für den Raum Heilbronn-Franken flächendeckend ermittelt. Die Berechnung basiert dabei auf EURO-CORDEX Modellsimulationen (siehe Kapitel 3.1.3), die mittels Downscaling-Verfahren räumlich verfeinert wurden (iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG (2023), siehe auch Kapitel 3.2.2).

Auf der Gemarkung von Crailsheim wurden im Mittel etwa 34 Sommertage pro Jahr im Zeitraum 1971 – 2000 berechnet. Dabei ergibt sich die in Abbildung 6-12 gezeigte räumliche Verteilung. Da die Anzahl an Sommertagen direkt abhängig ist von der Lufttemperatur (ein Sommertag ist definiert als ein Tag mit einer Tageshöchsttemperatur  $\geq 25\text{ °C}$ ), folgt die Verteilung den bereits in den vorigen Abschnitten ermittelten Verteilungen der PET und UHI.

Die Gewerbegebiete weisen bis zu 45 Sommertage pro Jahr auf und liegen somit mehr als 12 Tage über dem Mittel in Crailsheim. Die dicht bebaute Innenstadt verzeichnet im Schnitt 35 Sommertage.

Innerhalb der Waldgebiete herrschen durchschnittlich geringere Temperaturen, sodass hier an weniger Tagen im Jahr eine Tageshöchsttemperatur von  $25\text{ °C}$  erreicht wird, nämlich nur an ca. 21 bis ca. 33 Tagen im Jahr.

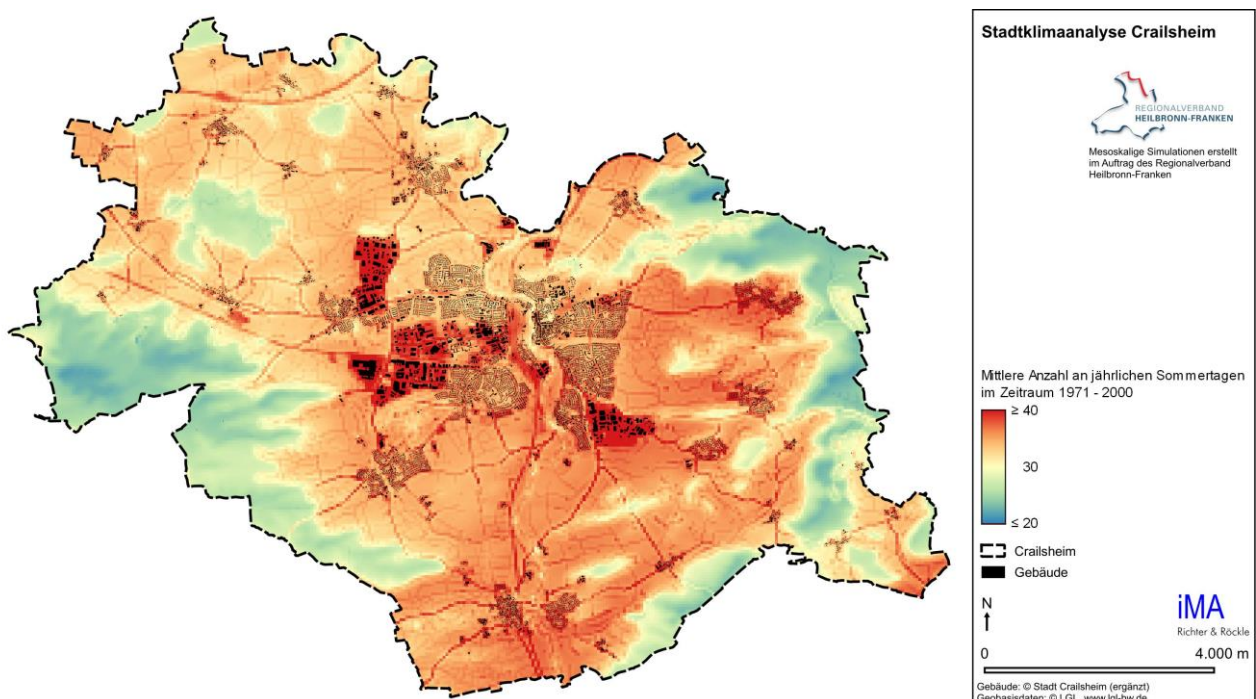


Abbildung 6-12: Verteilung der mittleren jährlichen Sommertage in Crailsheim.

### **Fazit Thermische Verhältnisse**

*Die thermischen Verhältnisse werden anhand der PET (Wärmebelastung am Tag), der UHI (Wärmebelastung in der Nacht) und der Anzahl an Sommertagen (Häufigkeit von Wärmebelastungen) beschrieben.*

*Am Tag treten hohe bis sehr hohe Wärmebelastungen besonders in dicht bebauten und vollversiegelten Bereichen auf. Dazu zählen die Gewerbegebiete, aber auch die dicht bebaute Innenstadt oder verdichtete Reihenhaussiedlungen. Gut durchgrünte Bereiche wie der Stadtpark oder die Friedhofsflächen erreichen durch ihren hohen Baumbestand und die damit verbundene Abschattung geringe PET-Werte und dienen als kühle Inseln am Tag. Fehlen großkronige Baumbestände in Neubausiedlungen, werden auch dort hohe PET-Werte erreicht.*

*In der Nacht weisen insbesondere die zentralen Ortsteile wie die Innenstadt und die innerstädtischen Gewerbegebiete Hardt und Flügelaue eine deutliche Überwärmung auf. Mit zunehmender Nähe zum Siedlungsrand reduziert sich die nächtliche Wärmebelastung. Besonders die östlichen und südlichen Siedlungsränder der Kernstadt profitieren von den jeweiligen Kaltluftabflüssen und zeigen eine geringe nächtliche Wärmebelastung. Die größeren umliegenden Ortschaften besitzen geringfügige Wärmebelastungen in den dicht bebauten Ortskernen.*

*Die Häufigkeit von Wärmebelastung ist besonders in den stark versiegelten Gewerbegebieten erhöht. Auch die dicht bebaute Innenstadt erfährt leicht überdurchschnittlich häufig Wärmebelastung im Vergleich zur Gesamtstadt. Hingegen tritt in den Waldgebieten nur unterdurchschnittlich häufig Wärmebelastung auf.*

## **6.3 Stadtgrün und Klimavielfalt**

Alle Formen des städtischen Grüns, von Parkanlagen über Kleingärten, Friedhöfen, Straßengrün oder Fassaden- und Dachbegrünung, bis hin zu Privatgärten oder landwirtschaftlichen Flächen werden als „städtisches Grün“ bezeichnet (BMUB (2015) S. 23 ff.). Grüne Infrastruktur erfüllt viele Funktionen. Sie dient

- als klimatische Ausgleichsfläche insbesondere auch während der Hitzeperioden,
- der Erholung und Freizeitgestaltung,
- dem Regenwasserrückhalt,
- der Verbesserung des Stadtklimas (Klimavielfalt),
- der Filterung von Luftschadstoffen,
- als Lebensraum für Tiere und Pflanzen,
- dem seelischen Wohlbefinden,
- der sozialen Interaktion,
- der Attraktivität einer Stadt.

Gleichzeitig wird die grüne Infrastruktur auch selbst vom Stadtklima und dem Klimawandel beeinflusst, etwa durch Trocken- und Hitzestress, verlängerter Vegetationsperiode und damit auch erhöhtem Spätfrostisiko. Dadurch entstehen zunehmend Schäden durch Trockenstress, Pilzkrankheiten und Schädlinge.

Wärmebelastung im Freien tritt insbesondere tagsüber in den Mittags- und Nachmittagsstunden von Mai bis Oktober auf. Um die persönliche Wärme- und Hitzebelastung zu verringern, sollten die

Stadtbewohner die Möglichkeit haben, tagsüber beschattete und begrünte Plätze aufsuchen zu können.

Auf Grünflächen mit einer Größe von mehr als 0,5 ha kann sich an heißen Sommertagen ein eigenes Kleinklima ausbilden. Ihr Erholungswert und ihre Aufenthaltsqualität können einen Beitrag zur Entlastung an heißen Sommertagen bewirken. Abbildung 6-13 (vergrößerte Darstellung für den Bereich der Kernstadt, siehe Abbildung 6-14) zeigt den Bestand an größeren öffentlich zugänglichen Grün- und Freiflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen in Crailsheim.

Die in Crailsheim anzutreffenden Flächen mit Stadtgrün lassen sich wie folgt gliedern:

### **Multifunktionale Parkanlagen**

Beispiele:

- begehbarer Bereich der Jagstau
- Hirtenwiesen, Sauerbrunnen
- Burgbergstraße
- Luise-Stirmling-Weg

Die großen multifunktionalen Parkanlagen in Crailsheim ab einer Fläche von ca. 5.000 m<sup>2</sup> bieten große innerstädtische Erholungsräume für Anwohner und Besucher. Sie sind von stadtweiter Bedeutung und für die Erholung und Regeneration in Hitzeperioden besonders wichtig. In Abhängigkeit der Gestaltung und Beschaffenheit der Flächen, wirken sie aufgrund ihrer Größe klimatisch günstig auf die angrenzenden Siedlungsbereiche. Als offene Grünflächen übernehmen sie auch die Funktion von Kaltluftentstehungsgebieten.



### **Kleine Park- und Grünanlagen, Spazierwege**

Beispiele:

- Grünanlage am Schlossplatz
- Grünanlage an der Kirchstraße in Altenmünster

Kleine Parks mit weniger als 5.000 m<sup>2</sup> Fläche oder nur geringer Breite haben meist keine oder nur geringe klimatische Wirkung auf die angrenzenden Siedlungsbereiche, wenn sie nicht an den Außenbereich anschließen. Diese können dennoch für die angrenzenden Anwohner eine wichtige Rolle für die Erholung im Stadtteil, insbesondere in Hitzeperioden, spielen.



## Verkehrsbegleitgrün

Beispiel: Blaufelder Straße (B 290)

Unter das Verkehrsbegleitgrün fallen das klassische Straßenbegleitgrün, Wegraine, Bahndämme und -böschungen. Aufgrund ihrer unmittelbaren Nähe zu Verkehrsachsen sind sie für die Erholung kaum nutzbar, außer an Fuß- und Radwegen. Verkehrsbegleitgrün reduziert die durch die Verkehrswege verursachte thermische Belastung, dient der Filterung und Versickerung von Oberflächenwasser und stellt als linienhafte Grünstruktur oft wichtige Elemente im Grünverbund dar.

## Friedhöfe

Beispiele:

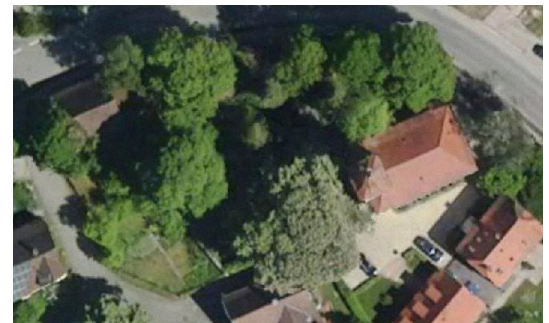
- Hauptfriedhof Crailsheim
- Ehrenfriedhof

Friedhöfe sind Orte der Stille und Erinnerung. Sie sind aber auch Orte der Begegnung, der naturnahen, ruhigen Erholung und der Biodiversität. Sie sollten als Potenzialräume betrachtet und behutsam entwickelt werden.



## Außenanlagen an öffentlichen Gebäuden

Grün- und Freiflächen an öffentlichen Gebäuden, wie z.B. der Johanneskirche oder an der Kirchstraße in Altenmünster können über das gesamte Stadtgebiet verteilte Freiräume bieten. Sie sind heute teilweise bereits wertvolle Grünflächen mit alten Baumbeständen und als solche stadtklimatisch und ökologisch von hoher Bedeutung.



## Freibäder und Badeplätze

Beispiele:

- Freibad Crailsheim
- Badestelle Degenbachsee

Freibäder und Badeplätze dienen der Erholung der städtischen Bevölkerung in der heißen Jahreszeit. Die zugehörigen Liegewiesen und Baumbestände übernehmen dabei eine wichtige erholungsrelevante Funktion ein und



sind stadtklimatisch sowie ökologisch wertvolle Freiflächen. Da Hitzeperioden mit dem Klimawandel zunehmen, wird auch die Nachfrage nach Freibädern steigen.

## Spielplätze

Beispiele:

- Spielplatz Lammgarten
- Regenbogenspielplatz an der Dr.-Bareilles-Straße
- Spielplatz am Hans-Neu-Weg
- Spielplatz an der Mozartstraße

Für Familien sind Kinderspielplätze besonders wichtige städtische Freiflächen, welche klimatische, ökologische und erholungsrelevante Funktionen übernehmen können. Auf ausreichende Verschattung und Verfügbarkeit von Aufenthaltsbereichen und Spielzonen ist zu achten.

*Anmerkung: Spielplätze wurden nicht in ihrer Gesamtheit analysiert.*



## Sportflächen

Beispiele:

- Schönebürgstadion
- VfR Altenmünster
- Sportanlage und Hartplatz Ingersheim
- Sportanlage Jagstheim

Sportplätze stellen zweckgebundene Grünflächen dar, welche sich tagsüber stark aufheizen können, nachts jedoch ausreichend abkühlen. Sie sind für die Erholung in Hitzeperioden nur eingeschränkt nutzbar.



## Kleingartenanlagen/Stadtgarten

Beispiel:

- Projekt „Essbare Stadt“

Kleingartenanlagen können der Öffentlichkeit als Naherholungsgrünflächen dienen, auch indem z.B. Gemeinschaftsgärten ermöglicht werden.

Das bereits seit mehreren Jahren erfolgreich durchgeführte Projekt „Essbare Stadt“ mit acht Hochbeeten zur Förderung der Nachhaltigkeit und Biodiversität ist ein Beispiel möglicher Stadtgärten. Zudem sind öffentliche, nicht verpachtete Streuobstbestände zur kostenfreien Aberntung in das Projekt integriert.



## Private Grün- und Freiflächen

Durch eine natur- und artenfreundliche Gestaltung privater Grünflächen kann jeder einen Beitrag zur Reduktion der thermischen Belastung des unmittelbaren Wohnumfeldes leisten und die natürliche Lebensgrundlage stärken. Insbesondere alte aber vitale Baumbestände sollten sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Grundstücken unter Schutz gestellt werden.

Schottergärten sind kontraproduktiv. Sie heizen sich wie versiegelte Flächen tagsüber stark auf und geben die Wärme abends wieder an die Umgebung ab. Sie tragen somit zu einer höheren nächtlichen Lufttemperatur und einem stärkeren urbanen Wärmeinseleffekt bei. Gleichzeitig ist die Biodiversität von Schottergärten stark reduziert

Grünflächen sowie Naherholungsgebiete müssen für die Menschen erreichbar sein, um als Erholungsorte wirken zu können. Daher ist die Entfernung dieser Gebiete zu den Wohngebieten entscheidend für die Bewertung der Klimavielfalt. Für die Bewertung der Klimavielfalt wurde die Entfernung auf dem fußläufigen Straßennetz zwischen den jeweiligen Wohngebieten und den nächstgelegenen innerstädtischen Grünflächen und Naherholungsgebieten ermittelt. Dies ist in Abbildung 6-13 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung für den Kernstadtbereich zeigt Abbildung 6-14). Eine Entfernung vom Siedlungsbereich zu diesen Flächen von weniger als 250 m (das entspricht bis zu 5 min Fußweg) wird als „sehr gute Klimavielfalt“ und von weniger als 500 m (bis zu 10 min Fußweg) als „Klimavielfalt vorhanden“ gewertet (vgl. Mayer (1989); Richter, Grunewald & Meinel (2016); Schumacher, Lehmann & Behnisch (2016)). Die Bestimmung der Klimavielfalt ist in Anhang A1.2.2 (Seite 99) näher beschrieben.

Für die Erreichbarkeit spielen neben der Distanz auch Barrieren zwischen Wohngebiet und Grünfläche bzw. Naherholungsgebiet eine Rolle. Barrieren können beispielsweise Bahnlinien, Flüsse oder Autobahnen sein. Eine explizite Berücksichtigung der Barrieren gestaltet sich oft aufgrund der Datengrundlage schwierig (Fußgängerüberwege/-unterführungen sind häufig unzureichend in den Datenbeständen erfasst).

Grundstücke mit einem großen Gartenanteil (und Baumbestand) bieten ihren Bewohnern in der Regel eine gute Erholungsmöglichkeit, sodass in Stadtbezirken mit hohem privatem Grünanteil nur ein geringer Bedarf an zusätzlichem Stadtgrün anzunehmen ist. Dies wurde in der Bedarfsanalyse berücksichtigt. Die Ergebnisse liefern ein gutes Bild über die Versorgung mit Grünflächen auf gesamtstädtischer Ebene (Abbildung 6-13, Abbildung 6-14).

Neben den innerstädtischen Grünanlagen dienen auch die stadtnahen Wälder als Erholungsgebiete für die Stadtbevölkerung (Ferrini, Konijnendijk & Fini (2019)). Beispiele hierfür sind die Waldflächen der Ellwanger Berge oder der Kapellwald bei Goldbach.

In der Stadt Crailsheim erreichen 68 % der Einwohner innerhalb von 500 m und 32 % der Einwohner innerhalb von 250 m öffentlich zugängliche Grünanlagen oder Naherholungsgebiete. Wird neben der Erreichbarkeit zusätzlich der Bedarf an öffentlichen Grünflächen berücksichtigt, ergibt sich, dass lediglich 18 % der Einwohner einen erhöhten Bedarf an zusätzlichen Grünanlagen haben.

Ein erhöhter Bedarf besteht insbesondere in Roter Buck und im nördlichen Altenmünster sowie vereinzelt in Kreuzberg und Ingersheim. In Jagstheim ergibt sich ebenfalls stellenweise ein erhöhter Bedarf an öffentlichen Grünflächen. Allerdings ist hier zu beachten, dass die Grünflächen, Streuobstwiesen und Gehölzflächen der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen um Jagstheim nicht in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Diese Flächen können gegebenenfalls auch von den Einwohnern von Jagstheim fußläufig erreicht werden. Da die allgemeine Nutzbarkeit und Zugänglichkeit der einzelnen Flächen häufig nicht eindeutig feststehen, wurden diese nicht explizit in der Analyse berücksichtigt.

Die Neubaugebiete zwischen Haller Straße und den Hirtenwiesen, welche sowohl tags als auch nachts teilweise sehr hohe Wärmebelastungen aufweisen, bieten eine gute Versorgung mit öffentlichen Grünflächen. An heißen Sommertagen können die Einwohner entsprechend nach kurzer Wegstrecke Parkanlagen erreichen.

#### **Fazit Klimavielfalt**

*Ein Großteil der Einwohner Crailsheims wird mit ausreichend öffentlichen Grünflächen versorgt. Ein erhöhter Bereich an zusätzlichen Grünflächen liegt in den Stadtteilen Altenmünster und Roter Buck vor. Stellenweise sollte auch die Versorgung im Stadtteil Kreuzberg und Ingersheim geprüft werden.*

*Jagstheim weist zwar eine Unterversorgung mit öffentlichen Grünflächen auf. Allerdings können die an die Ortschaft angrenzenden Freiflächen zum Teil auch als klimatische Erholungsgebiete aufgesucht werden.*

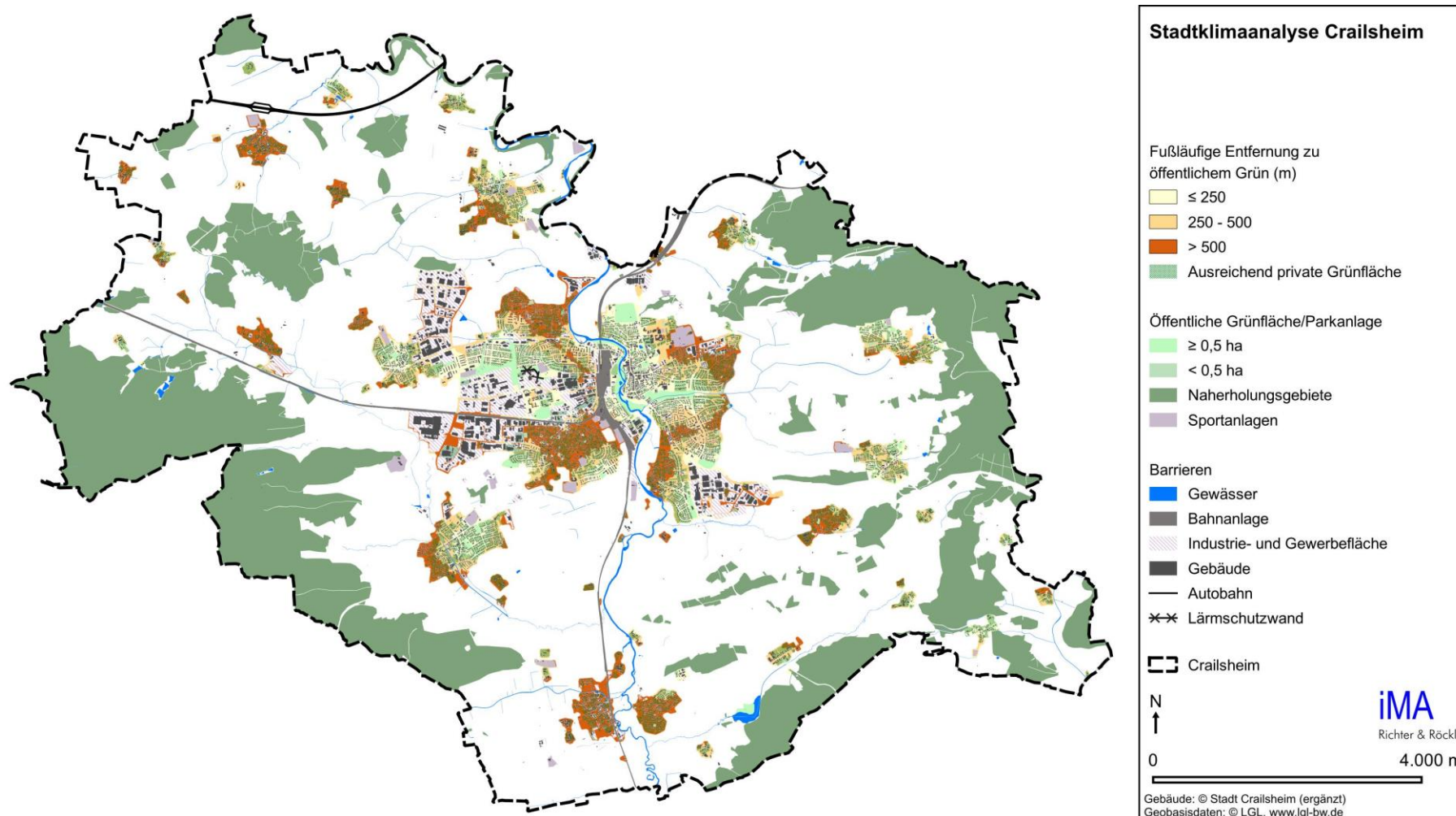


Abbildung 6-13: Versorgung der Siedlungsräume mit öffentlich zugänglichen Grünflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität unter Berücksichtigung von privaten Gartenanlagen.

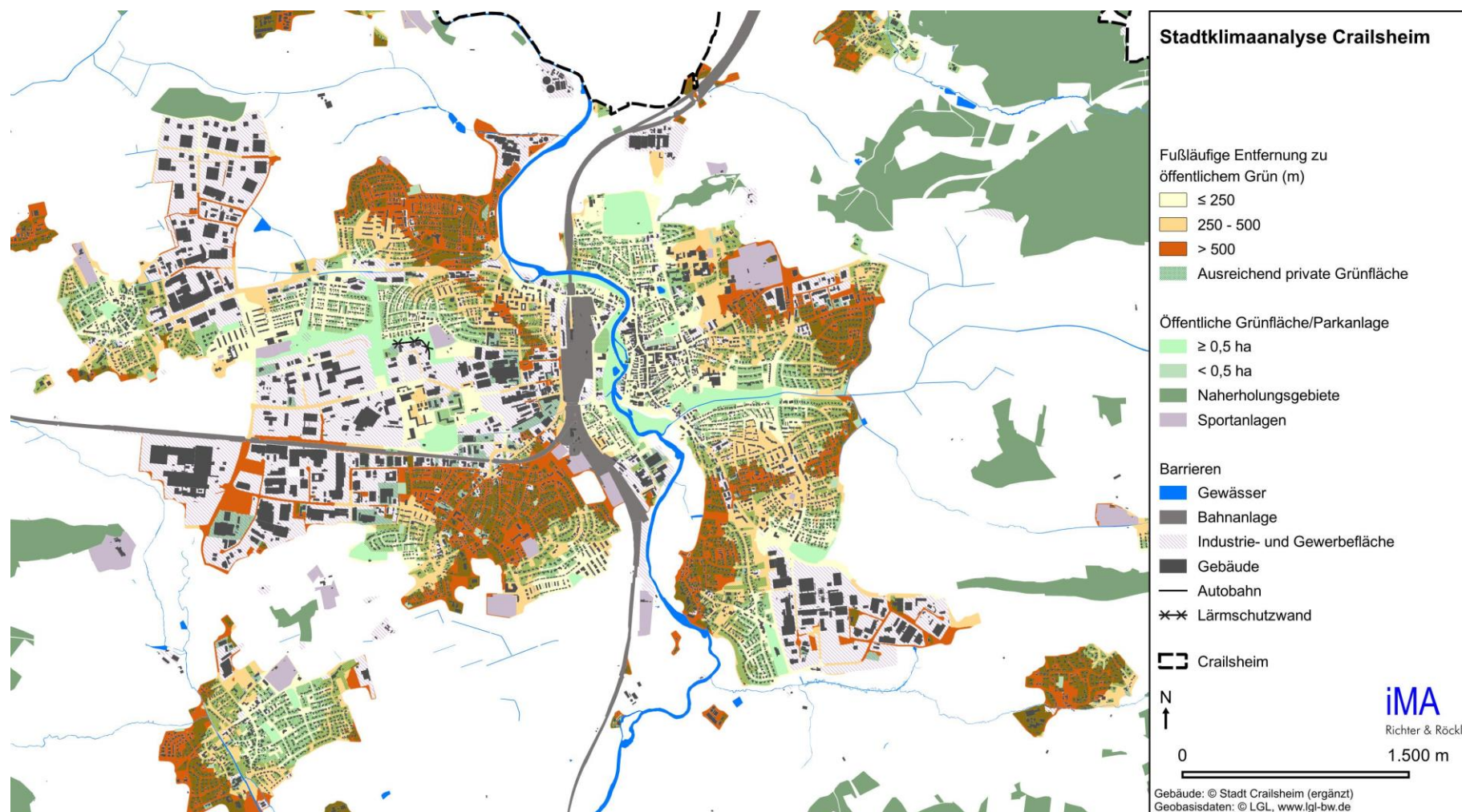


Abbildung 6-14: Vergrößerte Darstellung der Versorgung der Siedlungsräume mit öffentlich zugänglichen Grünflächen mit Erholungswert und Aufenthaltsqualität unter Berücksichtigung von privaten Gartenanlagen.

## 6.4 Empfindlichkeit

Zur Ermittlung der Empfindlichkeit der Siedlungsbereiche wird die Einwohnerdichte je Flurstück bestimmt. Abbildung 6-15 und Abbildung 6-16 zeigen die Einwohnerverteilung für ganz Crailsheim bzw. für die Kernstadt. Bereiche mit hoher Einwohnerdichte sind empfindlicher gegenüber Nutzungsänderungen.

Crailsheim weist mehrere Bereiche mit hoher Einwohnerdichte auf. Neben der Altstadt konzentrieren sich die Einwohner in Kreuzberg im Bereich Pamiersring/Lerchenstraße, in Roter Buck zwischen Beethovenstraße und Wolfgangstraße, in Altenmünster westlich der Gaildorfer Straße sowie in den Neubaugebieten zwischen Haller Straße und den Hirtenwiesen.

Roßfeld weist im Ortszentrum und südlich der Haller Straße teilweise eine erhöhte Einwohnerdichte auf. Ingersheim, Onolzheim und Jagstheim weisen eine vergleichbare Verteilung der Einwohnerdichte auf mit überwiegend mittlerer Einwohnerdichte. Auch Goldbach, Westgartshausen und Tiefenbach zeigen eine ähnliche Einwohnerdichteverteilung, allerdings im Schnitt weniger als in Onolzheim oder Ingersheim. Triensbach, Beuerlbach und die übrigen Wohnplätze zeigen eine überwiegend geringe Einwohnerdichte.

Besonders alte oder kranke Personen reagieren empfindlich auf Hitzestress und weisen dementsprechend hohe Mortalitäts- und Morbiditätsraten\* während Hitzewellen auf (Grize et al. (2005); Robine et al. (2008)). Abbildung 6-16 zeigt neben der Einwohnerdichte auch solche hitzesensiblen Einrichtungen, die in der Bestimmung der thermischen Empfindlichkeit berücksichtigt wurden. Dargestellt ist hier lediglich eine räumliche Auflistung der betrachteten Einrichtungen noch ohne Bewertung, ob tatsächlich Hitzestress vorliegt. Berücksichtigt wurden Senioren- und Pflegeeinrichtungen, das Klinikum Crailsheim, Kindertagesstätten und Schulen. Die Einrichtungen verteilen sich über das gesamte Siedlungsgebiet. Neben den in Abbildung 6-16 dargestellten Einrichtungen wurden auch die Schulen und Kindergärten in den umliegenden Ortsteilen Goldbach, Westgartshausen, Jagstheim, Tiefenbach, Triensbach und am Wohnplatz Ölhaus berücksichtigt.

Die bewertete Empfindlichkeit ist in Abbildung 6-17 dargestellt. Die Methodik zur Bewertung der Empfindlichkeit wurde an die Bevölkerungsverteilung der Stadt Crailsheim angepasst und ist in Anhang A1.2.3 (Seite 99) näher beschrieben.

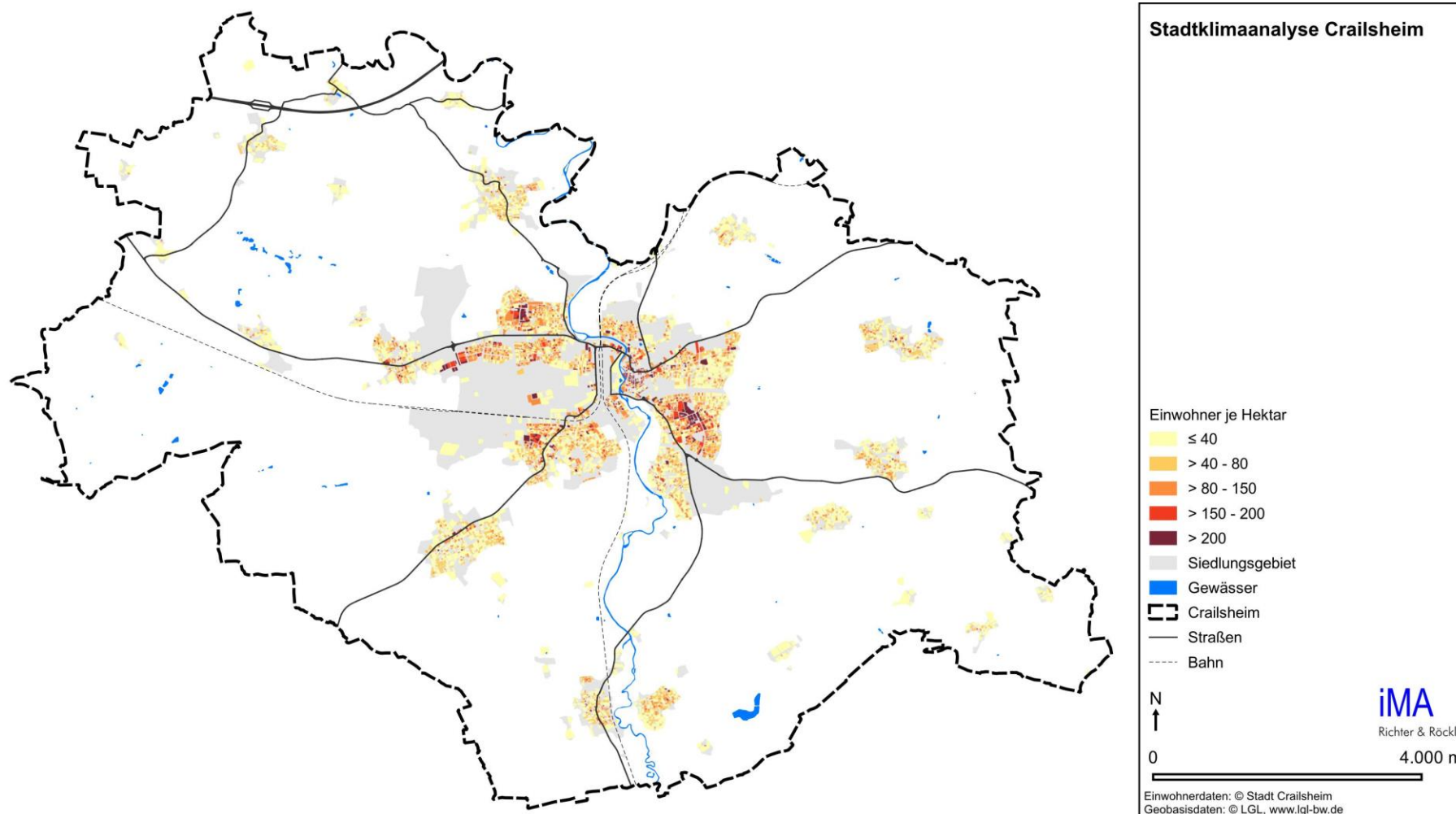


Abbildung 6-15: Einwohnerdichte je Flurstück in Crailsheim.

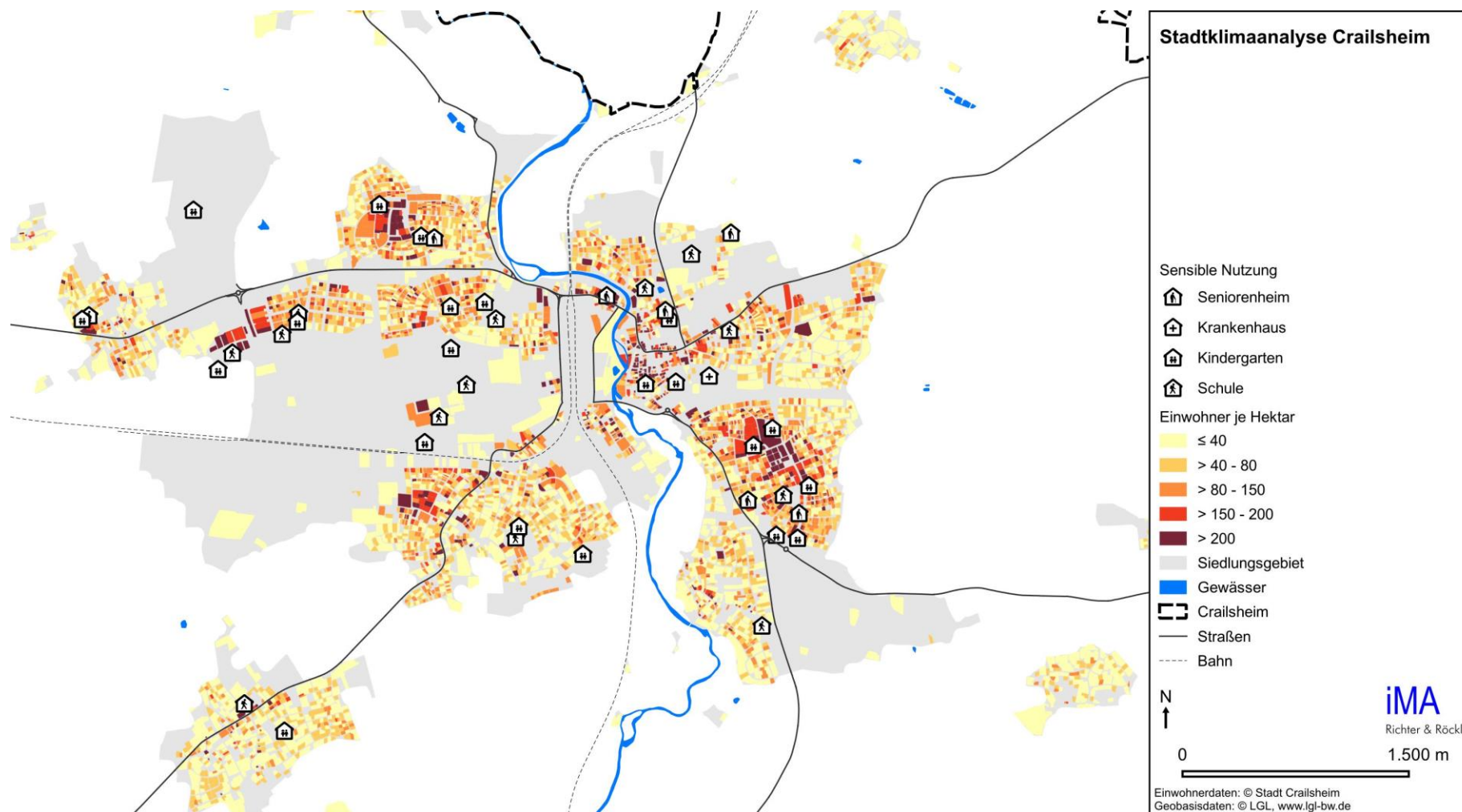


Abbildung 6-16: Vergrößerte Darstellung der Einwohnerdichte je Flurstück und der Standorte der sensiblen Nutzung in Crailsheim.

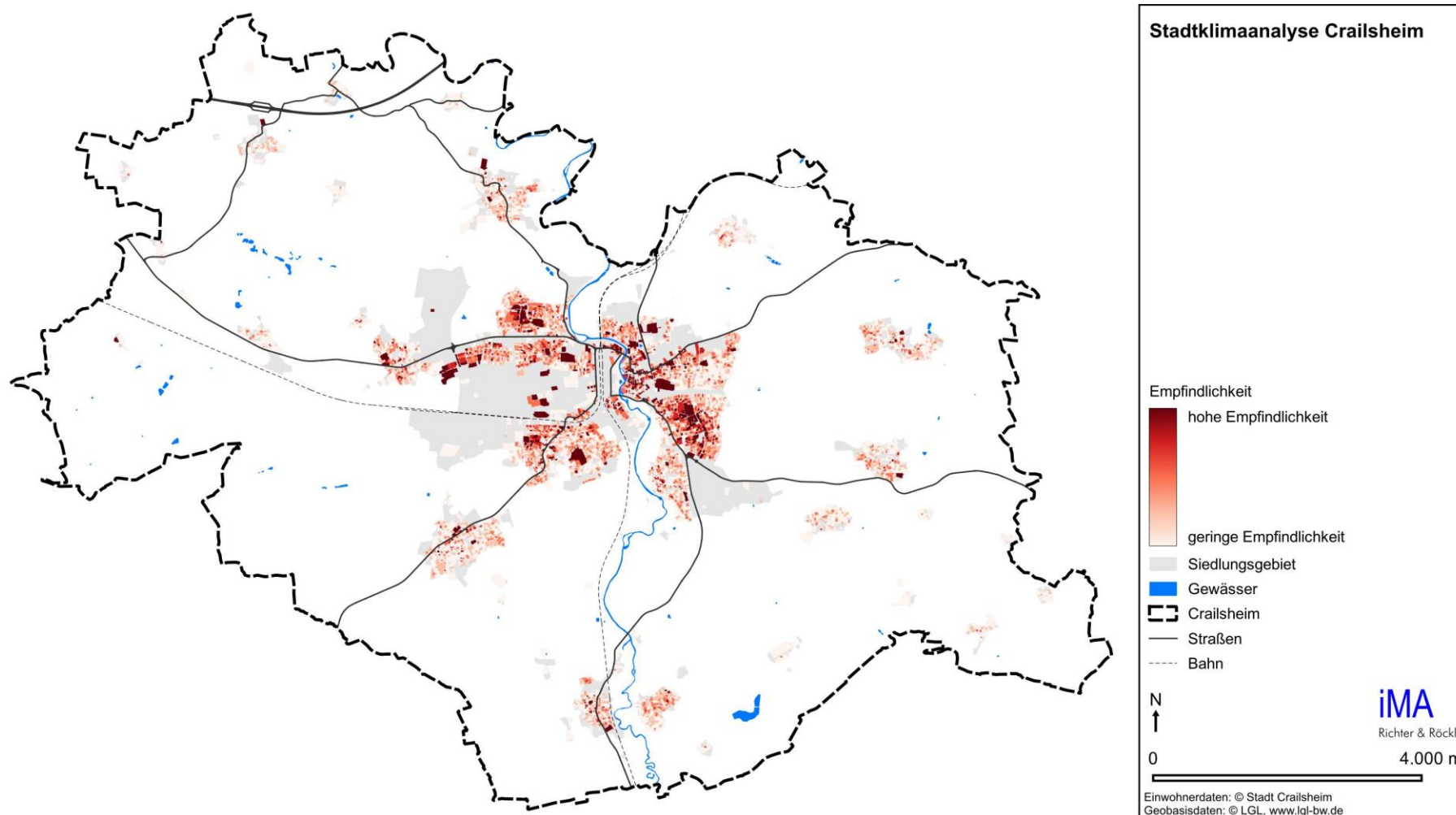


Abbildung 6-17: Aus der Einwohnerdichte und der klimasensiblen Nutzung abgeleitete Empfindlichkeit.

## 6.5 Betroffenheit

Aus der Überlagerung der Empfindlichkeit (Abbildung 6-17) mit der thermischen Belastung (Abbildung 6-18) ergibt sich die thermische Betroffenheit (Abbildung 6-19). Die Berechnung der thermischen Belastung und der thermischen Betroffenheit wird im Anhang A1.2.4 (Seite 100) detailliert beschrieben.

Die thermische Belastung (Abbildung 6-18) wird auf Grundlage der human-biometeorologischen Belastung tagsüber, der Stärke der nächtlichen urbanen Wärmeinsel und der Anzahl der jährlichen Sommertage bewertet.

Die thermische Belastung ist in den großflächigen Gewerbegebieten und im Bereich des Bahnhofs hoch bis sehr hoch. Durch die großflächige Versiegelung und den geringen Grünflächenanteil ergeben sich hier sowohl tags als auch nachts hohe Wärmebelastung. Zudem ist die Häufigkeit der Wärmebelastung in diesen Bereichen erhöht.

In den Wohngebieten der Kernstadt tritt überwiegend eine leicht erhöhte thermische Belastung auf. In den Neubaugebieten zwischen Haller Straße und den Hirtenwiesen ist die thermische Belastung, mit Ausnahme in den Grünanlagen, flächendeckend erhöht.

In Altenmünster bilden die Grünanlagen am Schulzentrum einen zentralen Bereich mit niedriger thermischer Belastung.

In Ingersheim tritt die grüne Freifläche inmitten des Ortsteils deutlich hervor mit einer geringen thermischen Belastung. Allerdings sind diese Flächen in privater Hand und nicht öffentlich zugänglich.

Der Grünzug entlang des Trutenbachs in Kreuzberg bietet ebenfalls eine geringe thermische Belastung während sich die Bereich entlang der Ellwanger Straße im südlichen Kreuzberg und die Gewerbeflächen im nördlichen Kreuzberg durch eine erhöhte thermische Belastung auszeichnen.

Die Jagstauen und der weitere Verlauf der Jagst nach Norden bieten innenstadt-nahe Bereiche mit niedriger thermischer Belastung. Auch der Alte Friedhof mit seinem ausgeprägten Baumbestand weist eine niedrige thermische Belastung auf. Der nur spärlich begrünte Festplatz hingegen weist eine mittlere bis hohe thermische Belastung auf.

Onolzheim und Jagstheim zeigen in den dicht bebauten Bereichen ebenfalls eine überdurchschnittliche Belastung während die Randbereiche überwiegend gering belastet sind. Der Grünzug entlang der Maulach und am Friedhof in Onolzheim sind thermisch nur gering belastet.

Vergleichbar gestaltet sich das Bild in den Ortsteilen Roßfeld, Tiefenbach, Goldbach und Westgartshausen. Triensbach und Beuerlbach zeigen überwiegend eine nur geringe thermische Belastung.

Da sich die Betroffenheit unter anderem aus der Einwohnerdichte ergibt, liegt diese nur innerhalb der bewohnten Siedlungsgebiete vor (Abbildung 6-19). Die höchste thermische Betroffenheit ergibt sich dort, wo die Empfindlichkeit und die thermische Belastung hoch ist bei gleichzeitig fehlender Klimavielfalt.

Eine hohe thermische Betroffenheit ergibt sich in der Innenstadt entlang der Lange Straße. Auch der Bereich des Krankenhauses weist teilweise eine sehr hohe thermische Betroffenheit auf.

In Kreuzberg ist der südliche Teil südlich des Trutenbachs höher betroffen als der nördliche Bereich. Eine hohe thermische Betroffenheit ergibt sich dabei vermehrt im Zentrum des Stadtteils, da in diesem Bereich sowohl die Empfindlichkeit sehr hoch ist als auch die thermische Belastung.

In Altenmünster weisen die Bereiche nordwestlich der Gaildorfer Straße eine hohe bis sehr hohe Betroffenheit auf, bedingt durch die hohe Empfindlichkeit der Bevölkerung.

In Roter Buck ist die thermische Betroffenheit im Ortszentrum ebenfalls sehr hoch, trotz mittlerer thermischer Belastung. Die Empfindlichkeit ist in diesem Bereich besonders hoch durch die hohe Einwohnerdichte und die Lage klimasensibler Einrichtungen.

Die Betroffenheit in den Neubaugebieten zwischen Haller Straße und den Hirtenwiesen ist trotz hoher thermischer Belastung überwiegend gering, was sich durch die geringe Einwohnerdichte ergibt. Bei Zunahme der Bevölkerung in diesem Bereich ist allerdings auch mit einer Zunahme der thermischen Betroffenheit zu rechnen.

Die übrigen Ortsteile und Ortschaften zeigen eine vergleichsweise geringe Betroffenheit auf. Dies liegt an der überwiegend geringen Einwohnerdichte, aber auch an den günstigeren thermischen Bedingungen im Vergleich zur Kernstadt.

#### **Fazit Belastung**

*Hohe thermische Belastungen ergeben sich in den großflächigen Gewerbegebieten, welche sich durch einen hohen Versiegelungsgrad und nur wenig Grünanteil auszeichnen. Größere Grünflächen wie die Jagstauen, der Grünzug entlang des Trutenbachs oder der Alte Friedhof zeigen eine deutlich reduzierte thermische Belastung und können sich positiv auf die Umgebung auswirken.*

#### **Fazit Betroffenheit**

*Hohe thermische Betroffenheit ergibt sich in Bereichen hoher thermischer Belastung und hoher Empfindlichkeit (hohe Einwohnerdichte oder klimasensible Nutzung). Hohe Betroffenheiten ergeben sich in Crailsheim in der Innenstadt, im südlichen Kreuzberg, im nordwestlichen Altenmünster und im Zentrum von Roter Buck. Diese Bereiche zeichnen sich durch eine mittlere thermische Belastung, aber eine hohe bis sehr hohe Empfindlichkeit aus. Eine Verbesserung der stadtklimatischen Situation in diesen Bereichen kommt einer hohen Anzahl an Einwohnern zugute.*

*Die Ortsteile außerhalb der Kernstadt zeigen eine überwiegend nur geringe thermische Betroffenheit.*

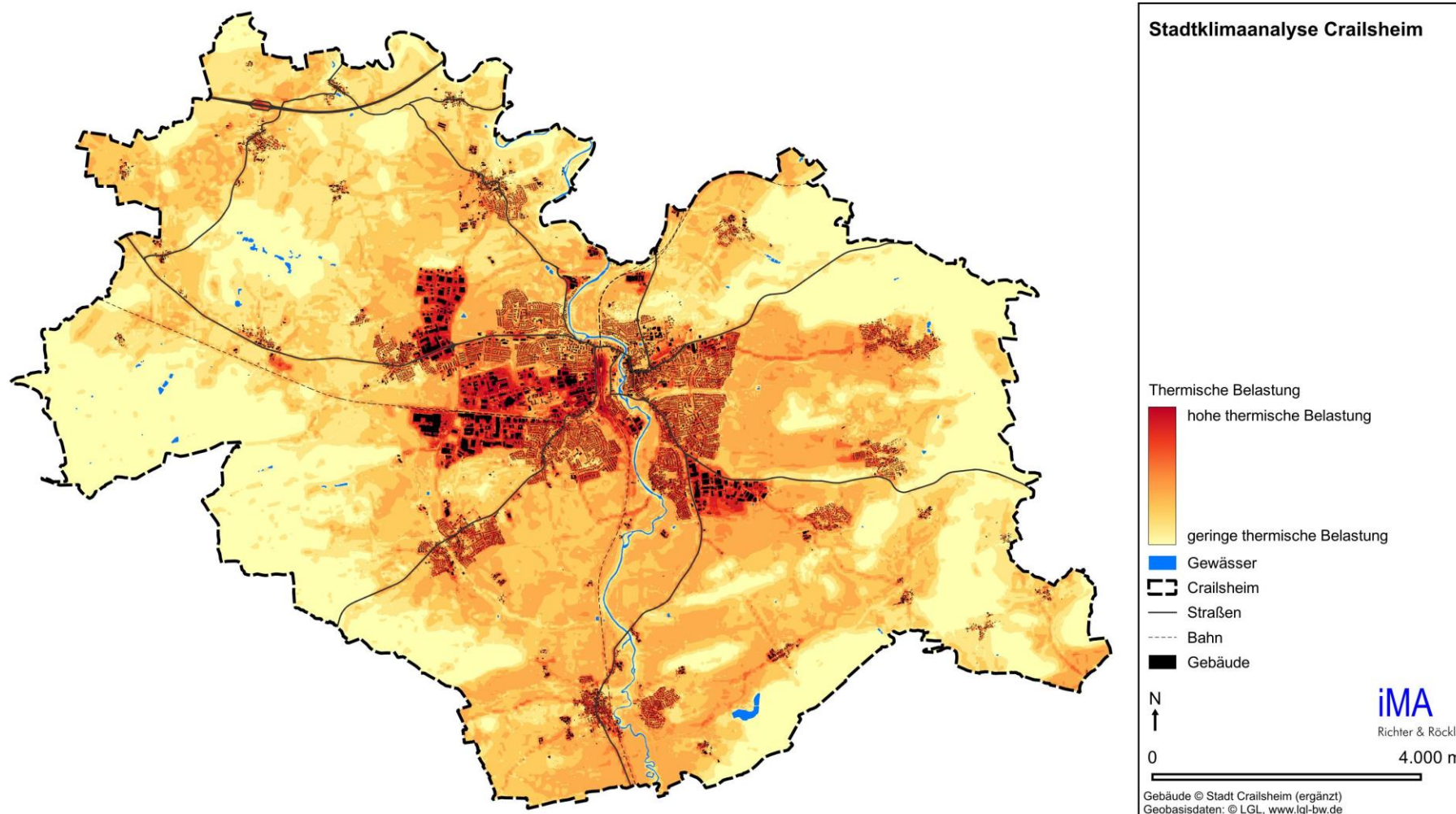


Abbildung 6-18: Thermische Belastung in Crailsheim. Eingangsdaten für die thermische Belastung sind die PET, die UHI und die Anzahl an Sommertagen.

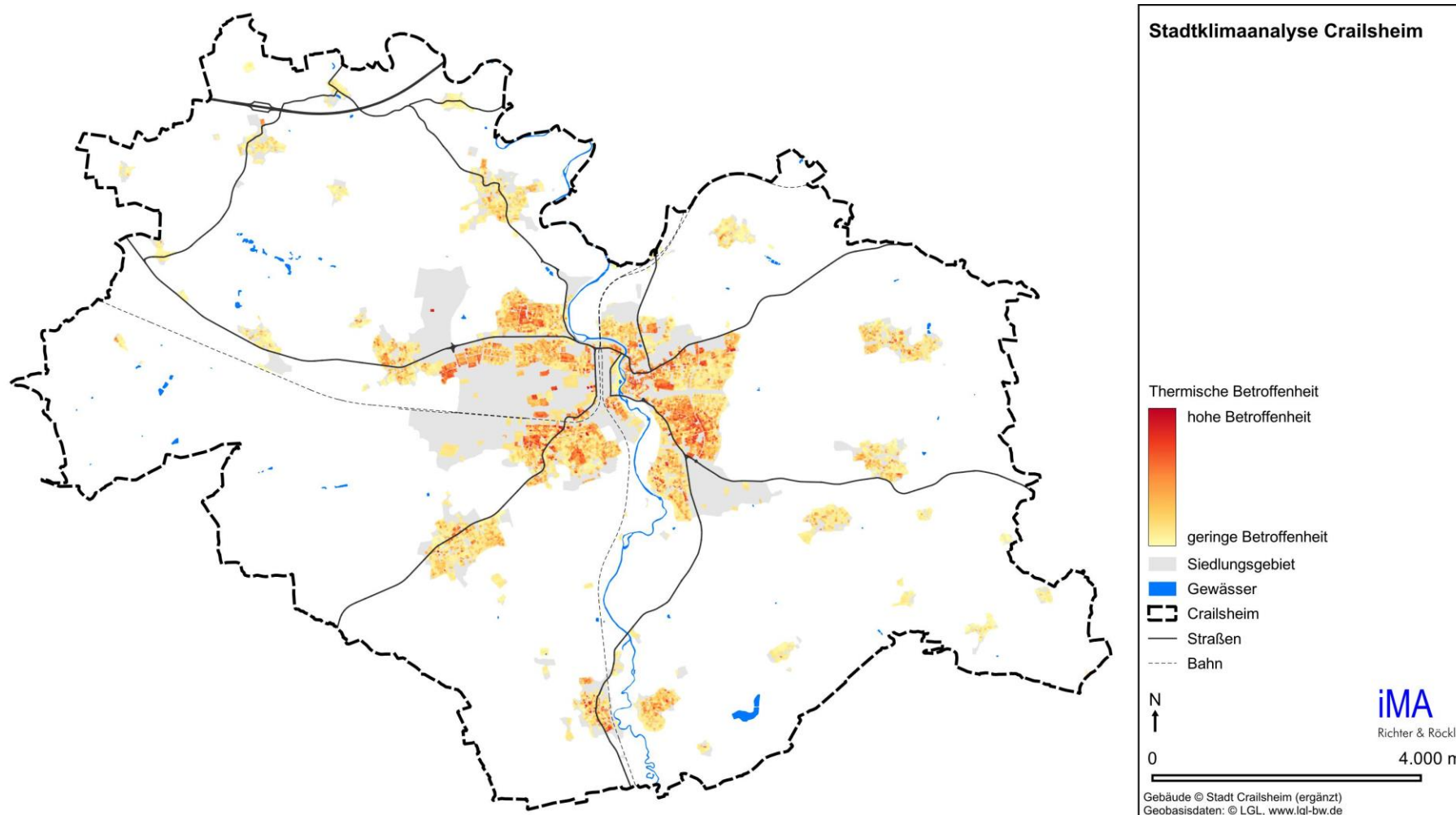


Abbildung 6-19: Thermische Betroffenheit (Vulnerabilität). Die thermische Betroffenheit ergibt sich aus der thermischen Belastung, der Klimavielfalt und der Empfindlichkeit.

## 7 Klimaanalysekarte

Die Klimaanalysekarte (Abbildung 7-1) zeigt eine flächendeckende detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse. Gemäß der Betrachtung einer autochthonen Wetterlage in der Klimaanalyse, zeigt die Klimaanalysekarte die lokalklimatischen Verhältnisse während einer entsprechenden windschwachen, austauscharmen Hochdruckwetterlage.

Die Klimaanalysekarte stellt die lokalklimatischen Verhältnisse ohne Bewertung dar. Dargestellt sind zum einen die abendliche Kaltluftströmung in Form der Volumenstromdichte und die Windverteilung sowie die thermische Belastung des Siedlungsgebiets.

**Kaltluftstau** kann an Siedlungsrändern oder riegelbildenden Vegetationsstrukturen auftreten. Durch den an Barrieren auftretenden Stau von Kaltluft kann sich ein Kaltluftsee ausbilden, dessen vertikale Mächtigkeit in etwa durch die Hindernishöhe (bei Siedlungsrändern die Gebäudehöhe) begrenzt wird. Das Frostrisiko ist in diesem Bereich erhöht, da sich die bodennahe Luft in Stagnationsbereichen stärker abkühlen kann als in Fließbereichen. Die Kaltluftstaubereiche wurden unter Berücksichtigung der bodennahen Strömung und der Lufttemperatur ausgewiesen.

In Bereichen mit geringer Rauigkeit (z.B. Wiesen, Ackerland) sind die möglichen bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten höher als in rauem Gelände (z.B. Siedlung, Wald). Hindernisse erhöhen die Turbulenz der Strömung und schwächen damit den mittleren Luftstrom. Potenziell sind folglich Wasser-, Acker- und Grünflächen mit niedriger Vegetation und damit geringer Rauigkeit gute **Kaltluftleitbahnen**. Aber auch breite langgestreckte Gleisanlagen oder breitere geradlinige Ausfallstraßen können Luftleitbahnen darstellen.

Die Bedeutung der Kaltluftleitbahnen hängt von den vorherrschenden Windrichtungen und der Durchlüftungsfunktion von thermisch belasteten Siedlungsbereichen ab. Kaltluftleitbahnen beschreiben Flächen, über die Kaltluftströmungen bodennah entlastend wirksam werden. Aber auch Kaltluftströmungen, die sich im Überdachniveau fortsetzen und in weiter stadteinwärts liegende Bereiche reichen, tragen zur Entlastung bei.

Bedeutende Kaltluftleitbahnen ergeben sich entlang der Jagstauen und entlang des Trutenbachs (Abbildung 7-1). Von den Jagstauen gelangt Kaltluft in die Siedlungsbereiche der Ortsteile Kreuzberg und Ingersheim. Diese können die thermische Belastung reduzieren, was sich in der geringen urbanen Wärmeinsel in diesen Bereichen widerspiegelt (vgl. Kapitel 6.2.2). Nach Nordwesten gelangt die Kaltluft weiter entlang der Bahntrassen und der umliegenden unbebauten Flächen in den Siedlungsbereich hinein bis zu den thermisch hoch belasteten Gewerbegebieten.

Die Grünanlagen zwischen dem Gewerbegebiet Hardt und den Neubaugebieten südlich der Haller Straße dienen teilweise ebenfalls als lokale Kaltluftleitbahn mit erhöhter bodennaher Windgeschwindigkeit. Die Luft durch- und überstreicht zwar zunächst das thermisch vorbelastete Gewerbegebiet, dennoch ermöglichen die Grünflächen eine teilweise Abkühlung der Luftmassen. Daher können die thermisch hoch belasteten Wohngebiete von dieser Strömung profitieren.

Kaltluftstaubereiche entstehen überwiegend an Siedlungsrändern, wenn ankommende Kaltluft nicht oder nur stark reduziert in den Siedlungsbereich eindringen kann. Solche Bereiche liegen am südöstlichen Siedlungsrand von Kreuzberg vor. Die dichte Bebauung in Kombination mit dichter Bepflanzung verringert das Eindringen der Kaltluft in den Siedlungsbereich.

### **Fazit Klimaanalysekarte**

*Die Jagstauen und der Grünzug entlang des Trutenbachs stellen belüftungsrelevante Kaltluftleitbahnen dar. Die umliegenden Wohngebiete profitieren direkt durch den Transport von Kaltluft entlang dieser Leitbahnen in den Siedlungsbereich. Zudem fungieren die unbebauten Flächen von den Jagstauen entlang der Bahntrasse zum Bahnhofsgelände als Kaltluftleitbahn und versorgen die Gewerbegebiete mit Kaltluft. Die Grünanlage zwischen Hirtenwiesen und Haller Straße stellt eine Kaltluftleitbahn dar, von der aus die Neubaugebiete versorgt werden und die thermische Betroffenheit reduzieren.*

*Kaltluftstaubereiche zeigen Bereiche an, in denen das Eindringen der Kaltluft in den Siedlungsbereich durch Bebauung oder Bepflanzung behindert wird. Solche Bereiche sind im Südosten von Kreuzberg anzutreffen.*

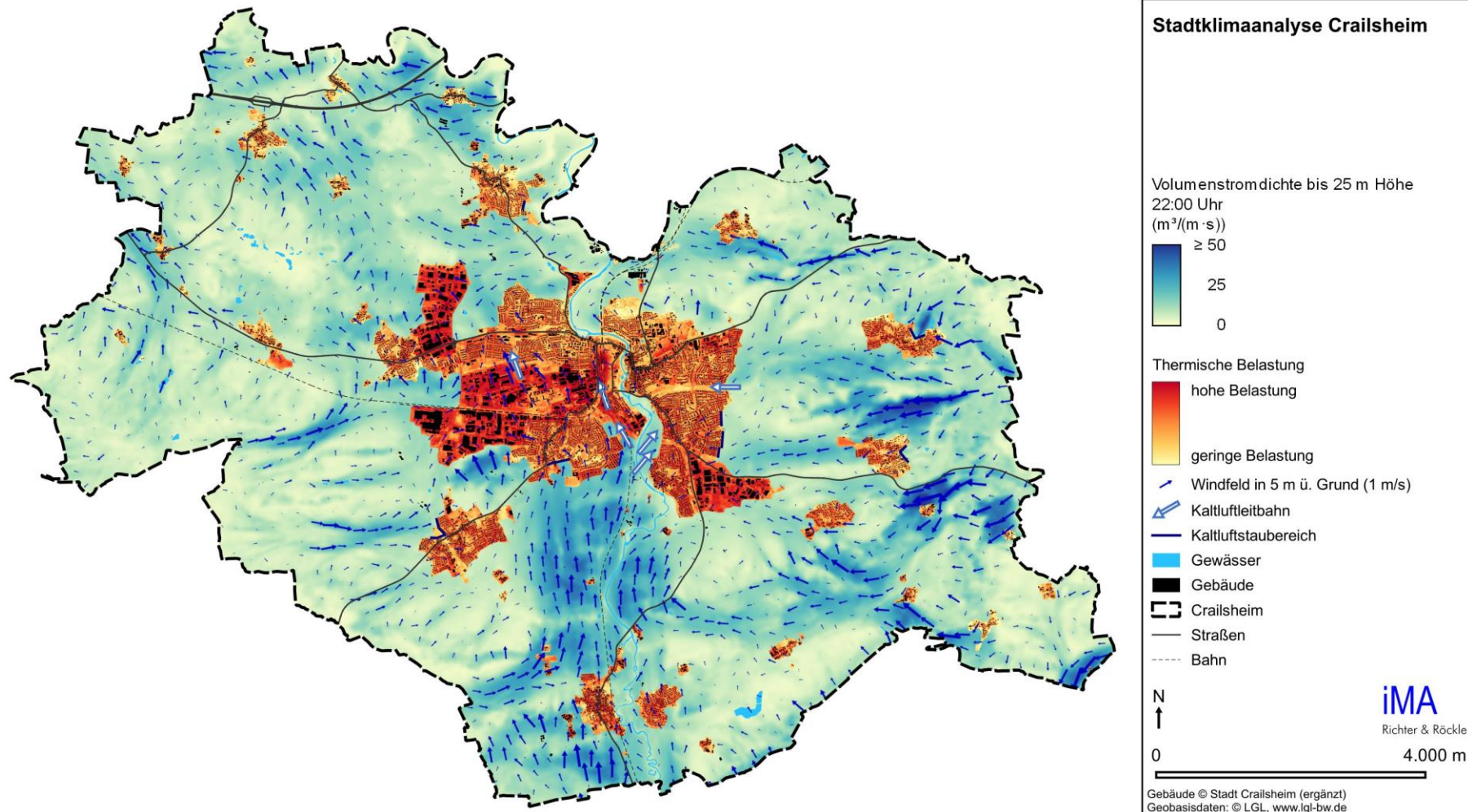


Abbildung 7-1: Klimaanalysekarte für Crailsheim.

## 8 Planungshinweiskarte und Handlungsstrategien für die Stadtplanung

### 8.1 Maßnahmenkatalog

Dieses Kapitel stellt Handlungsstrategien für die klimarelevanten Aspekte der Durchlüftung und der thermischen und der lufthygienischen Belastung zusammen. Die Strategien bzw. Empfehlungen beruhen auf den Modellergebnissen, der wissenschaftlichen Literatur, aber auch auf den Inhalten der Städtebaulichen Klimafibel (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart (2012)) oder der Regionalen Klimaanalyse der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO, Schwab & Zachenbacher (2009)).

Da es für lokalklimatische Größen keine Grenzwerte gibt und auch die Ziele (z.B. Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse, BauGB §34 Absatz 1 oder §136 Absatz 2 Punkt 1) nicht konkret formuliert sind, können Maßnahmen nicht zwingend gefordert werden. Vielmehr gilt ein Minimierungsgebot, d.h. unerwünschte Auswirkungen sind unter Beachtung anderer Anforderungen weitgehend zu reduzieren.

Bei den Handlungsstrategien handelt es sich um voneinander unabhängige Optionen. Diese können für unterschiedliche Zielsetzungen zueinander in Konflikt stehen. Zum Beispiel kann eine Begrünung des Straßenraumes mit Bäumen human-bioklimatisch positiv sein, da Wege im Schatten zurückgelegt werden können. Jedoch reduzieren Bäume den Luftaustausch im Straßenraum wodurch die Luftbelastung erhöht wird. Im Einzelfall ist daher die Wahl der Maßnahmen zu prüfen und abzuwägen, welche Ziele die größere Priorität haben.

Die folgenden Maßnahmen beziehen sich schwerpunktmäßig auf lokalplanerische Optimierungen.

#### Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Durchlüftung

Eine ausreichende Durchlüftung vermeidet oder reduziert die Akkumulation von thermischen und lufthygienischen Belastungen. Dies ist insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen (z.B. autochthonen Wetterlagen) relevant. Zum einen sind hier Kaltluftproduktionsflächen und Geländeneigungen, zum anderen möglichst hindernisarme Fließwege zu belasteten Bereichen erforderlich. Um das bodennahe Eindringen von Kaltluft in Siedlungsbereiche zu ermöglichen, sind Luftleitbahnen in Fließrichtung der Kaltluft hilfreich.

Folgende Punkte tragen zum Erhalt des Luftaustauschs bei oder verbessern diesen (vgl. hierzu auch Abbildung 8-1):

- M1. Luftschneisen sollten erhalten und bei Neugestaltungen der Bebauung mit eingeplant werden. Breite Luftschneisen erhöhen die Durchlüftung und sorgen für den Abtransport von Luftbelastung. Sie ermöglichen so den Austausch aufgeheizter Luft mit kühlerer Umgebungsluft.
- M2. Siedlungsränder sollten offen gestaltet sein. Dadurch wird eine möglichst hohe Eindringtiefe der Kalt- und Frischluft erreicht.
- M3. Bei geplanter Neugestaltung eines Gebiets sollten Neubauten möglichst so ausgeführt werden, dass sich Belüftungsachsen parallel zu der vorherrschenden Windrichtung ergeben. So kann eine maximale Eindringtiefe der vorhandenen Kaltluftströmung erreicht und eine gute Durchlüftung auch der angrenzenden Gebiete gesichert werden.

- M4. Die maximale Bauhöhe sollte die umliegenden Bauhöhen nicht übersteigen. Gebäude, die über die mittlere Bauhöhe hinausragen, beeinflussen die Überdachströmung, was Auswirkungen auf die Durchlüftung der Umgebung haben kann.
- M5. Luftbelastungen wie Luftschadstoffe oder Abwärme, die im Gebiet freigesetzt werden, werden durch die Kaltluftströmung in die angrenzenden Gebiete transportiert. Wird die Kaltluft in einem solchen Fall in Wohngebiete transportiert, sollten emissionsarme Betriebe angesiedelt und/oder emissionsarme Feuerungsanlagen verwendet werden, um eine hohe Luftqualität für die Anwohner zu sichern.

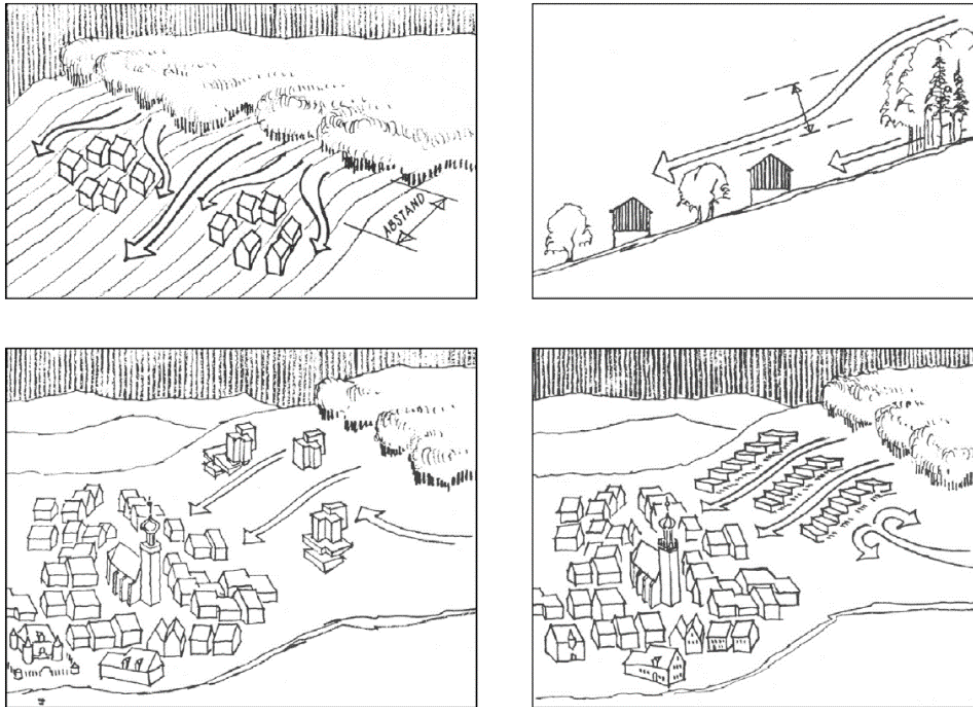


Abbildung 8-1: Empfehlungen zur Bebauung von Hanglagen aus der Städtebaulichen Klimafibel: Einhaltung eines möglichst großen Abstands von Waldrändern (oben links), Unterschreitung der Gebäudehöhe bezüglich der Höhe bestehender Hindernisse (oben rechts), bevorzugt punktförmige Bebauung (unten links) und Ausrichtung der Gebäude längs der Richtung von Hangabwinden unter Berücksichtigung anderer dominierender Windrichtungen (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart (2012)).

### Klimaangepasst bauen und sanieren

Neben der Gestaltung städtischer Gebiete spielt auch die bauliche Gestaltung der Gebäude selbst eine Rolle für das innerstädtische Lokalklima. Eine klimaangepasste Bauweise bzw. Sanierung von Bestandsbauten führt in erster Linie zu einer Verbesserung des Innenraumklimas des jeweiligen Gebäudes. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, da sich die Menschen überwiegend in Innenräumen aufhalten. Die Maßnahmen haben allerdings auch Einfluss auf das Außenklima, insbesondere bei großflächiger Umsetzung innerhalb ganzer Stadtquartiere oder Stadtviertel. Sie tragen somit nicht nur zur Verbesserung der Situation in den einzelnen Gebäuden, sondern auch in der näheren Umgebung bei.

Maßnahmen für klimaangepasstes Bauen und Sanieren sind:

- M6. Um die Wärmespeicherwirkung der Gebäude gering zu halten, sollten Neubauten nach aktuellem GEG-Standard (GEG (2023), Artikel 18a) errichtet werden. Solche Neubauten

haben in der Regel eine geringere Wärmespeicherwirkung als Bestandsgebäude. Die Gebäudeoberflächen können sich an sonnenreichen Tagen zwar stärker aufheizen, kühlen in den Nachtstunden aber schneller ab und belasten den nächtlichen Luftstrom dadurch weniger.

- M7. Eine Fassaden- oder Dachbegrünung kann helfen die Oberflächentemperaturen und somit die Lufttemperatur zu reduzieren (siehe Abbildung 8-2). Vorteile sind eine kühlere Fassaden- bzw. Dachoberfläche, zumindest solange die Vegetation die Möglichkeit der Verdunstung hat. Ausgetrocknete Begrünungen können die Temperatur nicht mehr senken und heizen sich ebenfalls auf, allerdings weniger stark als Ziegel-, Kies- oder Blechdächer. Weitere Vorteile sind die Retention von Niederschlag. Auch die Biodiversität wird gefördert. Der Effekt einer Fassaden- oder Dachbegrünung ist sehr lokal. Dachbegrünungen auf mehrgeschossigen Gebäuden können zwar für ein angenehmes Raumklima im Gebäude sorgen, der Effekt auf das Klima im Straßenraum auf Fußgängerniveau ist hingegen kaum spürbar. Die mögliche Vegetation und Retentionsfähigkeit steigt mit der Aufbaudicke an. Nachteile sind höhere Baukosten und Aufwand für die Pflege.
- M8. Eine Photovoltaik-Anlage kann in Kombination mit einer Dachbegrünung installiert werden. Die PV-Anlage schattet die Dachbegrünung ab und verringert die Verdunstung sowie den Wasserbedarf. Die dadurch kühlere Oberfläche trägt zu einer Effizienzsteigerung der PV-Anlage bei. Gleichzeitig isoliert die Dachbegrünung das Gebäude, wodurch Energie zur Heizung und Kühlung des Gebäudes eingespart werden kann. Somit stellen diese Maßnahmen eine Kombination von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel dar.
- M9. Helle Oberflächen (z.B. Gebäudefassaden) heizen sich weniger stark auf als dunkle Oberflächen, da sie mehr kurzweilige Sonnenstrahlung zurückstreuen. Dadurch kann die Aufheizung und die Wärmespeicherung im Plangebiet weiter reduziert werden und erhöhten Lufttemperaturen in der Nacht entgegengewirkt werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es aufgrund der höheren Rückstrahlung des Sonnenlichts zu einer höheren lokalen Wärmebelastung des Menschen, der sich tagsüber auf der Fläche aufhält, kommen kann. Helle Oberflächen haben zudem eine höhere Blendwirkung als dunkle Oberflächen. Verschattende Elemente wie Gebäude und laubwerfende Bäume sind daher eine wichtige Entlastung für die sich im Plangebiet aufhaltenden Personen.

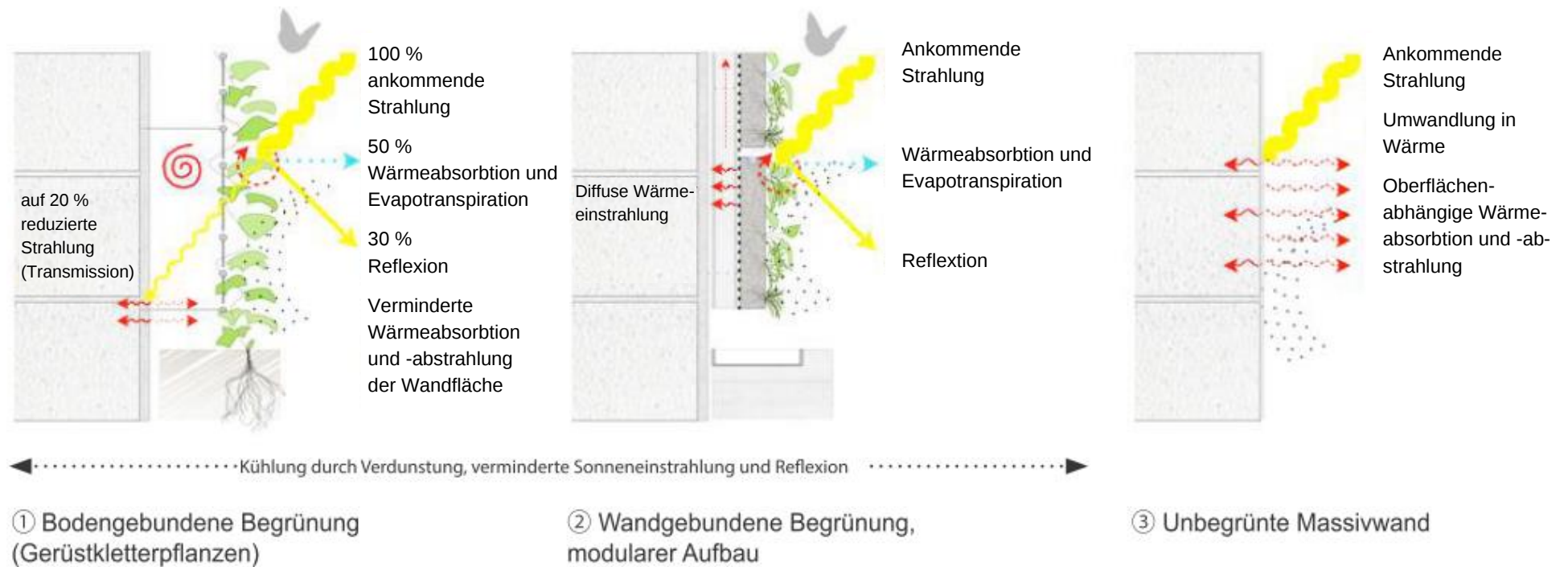


Abbildung 8-2 Einfluss der Fassadenbegrünung auf das Mikroklima. Erhöhte Lebensdauer der Fassade durch reduzierte Sonneneinstrahlung/UV-Belastung und Schlagregenschutz der Außenwand (© Nicole Pfoser, Dettmar, Pfoser & Sieber (2016)).

## Grün- und Freiraumentwicklung

Für die Reduktion von thermischen Belastungen sollte vorrangig die Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen betrachtet werden. Die zuvor genannten Handlungsstrategien zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Durchlüftung können sich darüber hinaus ebenso positiv auswirken (z.B. durch Kalt- und Frischluftzufuhr und Abtransport der Wärme). Eine höhere Windgeschwindigkeit hingegen kann die thermische Belastung des Menschen sowohl reduzieren (erhöhte Schweißverdunstung bei Hitzestress) als auch erhöhen (Auskühlung bei Kältestress).

Die hier betrachteten Handlungsstrategien beziehen sich hauptsächlich auf sommerliche Wärmebelastung. Hinsichtlich winterlicher Kältestresssituationen können Maßnahmen der REKLISO-Untersuchung (Parlow, Scherer & Fehrenbach (2006)) entnommen werden.

Generell sind Maßnahmen, die das innerstädtische Grünvolumen erhöhen und Schattenplätze schaffen, zielführend. Auch Entsiegelung, Wasserrückhaltung und Wasserspiele sind geeignete Maßnahmen, die Aufenthaltsqualität zu verbessern. Eine Erhöhung der Albedo kann die Aufheizung der Baumaterialien verringern und dadurch die urbane Wärmeinsel in den Abend- und Nachtstunden verringern. Für Mensch und Tier kann eine geringe Albedo in den Tagstunden durch die höhere Reflexion von kurzweiliger Strahlung zu einer erhöhten Wärmebelastung führen.

Folgende Punkte fokussieren sich auf die Reduktion der thermischen Belastung durch die Verbesserung der innerstädtischen Grün- und Freiflächen:

- M10. Freiflächen sollten möglichst begrünt werden. Grünflächen heizen sich tagsüber weniger stark auf als versiegelte Oberflächen. Dies führt in den Abend- und Nachtstunden zu kühleren Oberflächen und somit zu geringeren Lufttemperaturen. Wenig frequentierte Kfz-Stellflächen können beispielsweise mit Rasenpflaster o.ä. ausgeführt werden, um den Anteil an versiegelten Flächen weiter zu reduzieren. Auch die Verlagerung von Kfz-Stellflächen in begrünte Tiefgaragen oder Quartiersgaragen ermöglicht die Schaffung von mehr Grünflächen.
- M11. Um ein starkes Aufheizen von versiegelten Flächen an sonnigen Tagen vorzubeugen, können verschattende Elemente wie Bäume eingesetzt werden. Diese verringern durch ihren Schattenwurf ein übermäßiges Aufheizen und sorgen so in den frühen Nachtstunden zu niedrigeren Lufttemperaturen.
- M12. Baumbestand schützen und entwickeln (auch in Bebauungsplänen oder auf Baustellen; angepasste Baumartenwahl und offene Baumscheibe von min. 6 m<sup>2</sup> gemäß DIN 18916:2016-06 (2016)). Der Schutz des bestehenden Baumbestands ist von großer Bedeutung, da neu gepflanzte Bäume ihre Wirkung erst nach Jahrzehnten des Wachstums voll entfalten können.
- M13. Zur Reduzierung der thermischen Belastung sollten öffentliche Parkanlagen mit guter Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen (z.B. gut verschattet durch Baumbestand) zur Verfügung stehen. Parkanlagen mit kühlen Bereichen bieten den Stadtbewohnern eine Möglichkeit der Erholung an heißen Sommertagen, wenn ihnen keine ausreichenden privaten Grünflächen zur Verfügung stehen.
- M14. Die Erreichbarkeit von Ausgleichsräumen wie Parkanlagen kann die thermische Betroffenheit der Wohngebiete reduzieren. In stark hitzebelasteten Bereichen sollte daher die

Erreichbarkeit von bereits vorhandenen Ausgleichsräumen geprüft werden und gegebenenfalls zusätzliche Ausgleichsräume geschaffen werden.

- M15. Neben dem öffentlichen Raum bieten private Gebäude und Flächen große Potenziale. In Kooperation mit den privaten Grundstückseignern sollten grüne Gärten (statt Steingärten) angelegt werden. Die Potenziale der klimaangepassten Gestaltung von Gebäuden und Begrünung von Dächern und Fassaden sind groß und sollten auch im privaten und halböffentlichen Kontext genutzt werden.
- M16. Bereitstellung von Trinkwasserbrunnen. An heißen Tagen ist in stark frequentierten Fußgängerbereichen die Möglichkeit einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr sinnvoll.
- M17. Förderung der Biodiversität auf Verkehrsbegleit- oder Restflächen.
- M18. Fördern des Gärtnerns in verschiedenen Formen:
  - „Essbare Stadt“-Projekte (Pflanzung von Obst-/Nussbäumen im öffentlichen Raum oder Förderung von Gärtnern in Kindergärten oder an Schulen mit Hochbeeten, Beerensträuchern oder Obstbäumen),
  - Förderung von naturnahen Privatgärten und kommunalen Grünflächen (z.B. entlang von Straßen, Verkehrsinseln), da diese oftmals trocken- und hitzeresistenter sind und Nahrung für Insekten bieten.

### **Prinzip „Schwammstadt“**

Die Berücksichtigung des Schwammstadt-Prinzips wird durch die immer häufiger auftretenden kurzzeitigen Starkniederschläge und langanhaltenden Trockenphasen immer wichtiger. Um die Funktionalität des städtischen Grüns zu sichern, ist die Speicherung von Niederschlagswasser zur Versorgung der Vegetation elementar. Folgende Maßnahmen fördern die Umsetzung dieses Prinzips „Schwammstadt“:

- M19. Steigerung der Retention: Rückhalt eines Großteils des Niederschlagswassers im Gebiet, damit dieses für die Bewässerung zur Verfügung steht. Nur ausreichend feuchte Grünflächen können auch in Trockenperioden ihre kühlende Funktion durch Verdunstung erfüllen.
- M20. Wasserdurchlässige Gestaltung von befestigten Flächen, z.B. mittels Schotterrasen, wassergebundener Decke, Rasenpflaster, versickerungsfähige Pflaster, sodass Regenwasser oberflächlich versickern kann.

Die Wirkung einer einzelnen Anpassungsmaßnahme führt primär lokal zu einer Verbesserung des Klimas. Erst das Zusammenwirken von mehreren Maßnahmen bewirkt einen Rückgang der städtischen Wärmeinsel. Besonders effizient sind Verschattungsmaßnahmen sowie unversiegelte Flächen, die eine Umsetzung der eingehenden Sonnenenergie in Verdunstungswärme (latenter Wärmefluss\*) anstatt einer Erhöhung der Temperatur (fühlbarer Wärmefluss) bewirken.

Nicht zu unterschätzen sind die psychologischen Wirkungen innerstädtischer Grünbereiche, die evtl. lokalklimatisch kaum Bedeutung haben, aber die Aufenthaltsqualität positiv beeinflussen.

Klimaschutz- und Adaptationsmaßnahmen können einerseits konkurrieren (Solaranlage vs. Dachbegrünung) und sich andererseits auch ergänzen. In Tabelle 8-1 wird diese sich ergänzende Wirkung am Beispiel von städtischen Begrünungsmaßnahmen dargestellt.

*Tabelle 8-1: Wirkungskatalog von Begrünungsmaßnahmen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung.*

| Wirkungen bezüglich Klimaschutz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wirkungen bezüglich Klimaanpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Sonstige Wirkungen                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sauerstoffproduktion</li> <li>2. Kohlenstoffspeicherung</li> <li>3. Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz <ul style="list-style-type: none"> <li>- durch Photosynthese</li> <li>- durch Reduktion des Heizwärme- und Kühlbedarfs</li> <li>- durch Lebensdauererlängerung von Materialien durch Abschattung materialschädigender UV-Strahlung</li> </ul> </li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stadtbegrünung</li> <li>2. Grünflächen mit geringer Rauigkeit dienen als Luftleibahnen und tragen zur besseren Durchlüftung bei</li> <li>3. Reduktion des Energiebedarfs (Klimaanlage und Heizbedarf)</li> <li>4. Erhöhte Verdunstung = verringerte Aufheizung der künstlichen Materialien sowie geringer Anstieg der Lufttemperatur</li> <li>5. Kühlung durch Verschattung</li> <li>6. Verringerung der urbanen Wärmeinsel</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verringerte Schallreflexion</li> <li>2. Attraktiverer Lebensraum</li> <li>3. Verringerung der Luftbelastung durch verbesserte Durchlüftung und Reduktion des Energiebedarfs</li> </ol> |

## 8.2 Planungshinweiskarte

Während die Klimaanalysekarte eine weitgehend wertfreie Darstellung der klimatischen Verhältnisse repräsentiert, werden auf der Planungshinweiskarte zum einen die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatischen Ausgleichsfunktion und zum anderen die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung klassifiziert.

In Abbildung 8-3 werden die Siedlungsflächen im Hinblick auf die thermische Betroffenheit (Vulnerabilität) unter Berücksichtigung der thermischen Belastung und der Empfindlichkeit bewertet. Je dunkler die Farbe, desto höher ist dort die Betroffenheit. In den stark belasteten Bereichen ist anzustreben, die Wärmebelastung durch Bebauung und Versiegelung nicht weiter zu erhöhen und stattdessen Minderungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen. Dies kann in Form von Ausgleichsflächen erfolgen, die stärker begrünt werden. Aber auch eine Verringerung des Anteils der versiegelten Fläche z.B. durch Fassaden- und Dachbegrünung, Bäume sowie Pocket-Parks verringern die Wärmebelastung. Nachverdichtungen in diesen Bereichen sind eher kritisch zu sehen. Es wird empfohlen, diese Bereiche durch Schaffung von Ausgleichsflächen zu entlasten.

Die Freiflächen sind nach aufsteigender Relevanz für die nächtliche Durchlüftung von grün bis blau eingefärbt. Je blauer die Fläche, desto wichtiger ist diese für den Kaltluftzustrom der bewohnten Siedlungsflächen. Um ihre Funktion zu erhalten, sollten diese Flächen von geschlossener Bebauung freigehalten werden. Dies wäre primär die Aufgabe für die Flächennutzungsplanung. Zwar sind einzelne Bauwerke in diesen Bereichen möglich, sie sollten allerdings die Höhe der angrenzenden oder umliegenden Bebauung nicht übersteigen und keine Riegel quer zur Strömung darstellen. Planungen sind dort im Einzelfall abzuwägen.

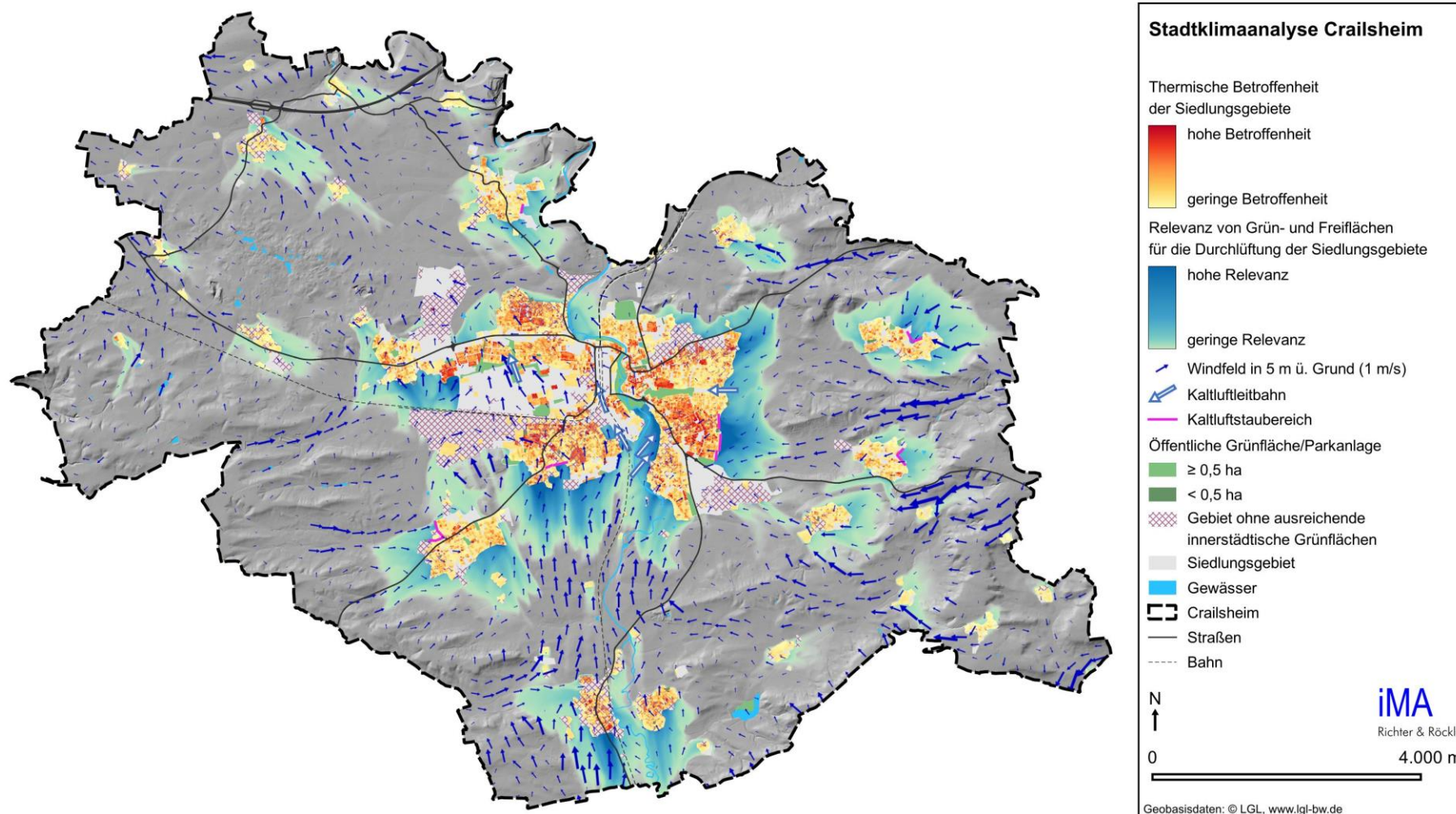


Abbildung 8-3: Planungshinweiskarte für Crailsheim.

### 8.3 Bewertung der einzelnen Stadt- und Ortsteile

#### Innenstadt

Im Bereich der Innenstadt ist die thermische Betroffenheit erhöht. Zudem wird der Bereich kaum durch bodennahe Kaltluft belüftet. Grünanlagen mit thermischer Ausgleichsfunktion liegen allerdings in fußläufiger Umgebung und bieten den ansässigen Bewohnern klimatische Ausgleichsräume. Aus klimatischer Sicht ist eine Nachverdichtung der Innenstadt wegen der hohen thermischen Betroffenheit kritisch zu sehen. Die vorhandenen Parkanlagen sollten geschützt und deren Erlebbarkeit durch die Bevölkerung erhalten oder ausgebaut werden (Maßnahme M14). Der hohen thermischen Belastung im Straßenraum kann durch Verschattungsmaßnahmen (z.B. Baumpflanzungen) entgegengewirkt werden (M11). Auch die Bereitstellung von Trinkwasserbrunnen kann zur Minderung der thermischen Belastung führen (M16)

#### Schießberg

Der Stadtteil Schießberg zeigt überwiegend geringe thermische Betroffenheiten. Der Hauptfriedhof kann als klimatische Ausgleichsfläche dienen und sorgt für eine gute Klimavielfalt im Stadtteil (M13). Mäßige Nachverdichtung ist in diesem Bereich möglich (M6 – M9). Die Nähe zur Jagst bietet ebenfalls Potential für weitere klimatische Rückzugsbereiche für die Bevölkerung, sofern das Flussufer durch Spazierwege erlebbar gestaltet wird (M14).

#### Kreuzberg

Kreuzberg zeigt sowohl Bereiche mit niedriger als auch mit hoher thermischer Betroffenheit. Die Bereiche entlang des Grünzugs am Trutenbach zeigt eine geringe thermische Betroffenheit. In diesen Bereichen ist auch eine ausreichende Klimavielfalt gegeben. Mäßige Nachverdichtung ist in diesem Bereich möglich (M6 – M9). Die Funktion des Grünzugs am Trutenbach als Kaltluftleitbahn ist dabei aber zu erhalten (M1, M3). Zudem sollte der Siedlungsrand so gestaltet sein, dass von Osten anströmende Kaltluft weiterhin in den Siedlungsraum eindringen kann (M2).

Etwa nördlich der Goldbacher Straße steigt die thermische Betroffenheit und die Versorgung mit Grünflächen nimmt ab (M14). Vom östlichen Siedlungsrand her wird dieser Teil von Kreuzbach belüftet. Entsprechend ist die Relevanz der östlich angrenzenden Freiflächen erhöht. Stadterweiterungen auf diesen Flächen können Auswirkungen auf die vorhandenen Wohngebiete haben (M2).

Im Süden von Kreuzberg erreicht Kaltluft von Westen und Osten den Siedlungsbereich. Im Westen dringt sie über die Jagstauen in den Siedlungsbereich ein, weshalb die Jagstauen als Kaltluftleitbahnen mit hoher Relevanz für die Durchlüftung ausgewiesen sind (M2). Die Kaltluftströmung östlich von Kreuzberg erreicht den Siedlungsbereich vermehrt im Dachniveau und kann so den thermisch belasteten Ortskern belüften. Entsprechend ist die Relevanz der Flächen hoch bis sehr hoch. Bodennah wird die Kaltluft durch die dichte Bebauung und Bepflanzung angestaut, was die bodennahe Durchlüftung reduziert.

Im südlichen Kreuzberg sollte von Nachverdichtung abgesehen werden. Entsiegelung oder Schaffung von gut begrüntem Parkanlagen kann die thermische Belastung und so die Betroffenheit reduzieren (M10 – M12, M14, M15). Bei Baumaßnahmen und Pflanzungen am Ortsrand sollte auf die Durchlässigkeit geachtet werden, damit die von Osten kommende Kaltluft in den Siedlungsbereich eindringen kann (M2, M4).

## **Türkei**

Der Stadtteil Türkei wird von Kaltluft aus den Jagstauen belüftet. Die unbebauten Flächen entlang der Bahntrasse dienen als Kaltluftleitbahn. Die direkt angrenzenden Parkanlagen entlang der Jagst dienen als klimatische Ausgleichsräume für die Bevölkerung. Bei Nachverdichtungen sollte auf den Erhalt der Kaltluftleitbahnen geachtet werden (M1 – M5).

## **Fliegerhorst**

Der überwiegend durch Gewerbe geprägte Stadtteil Fliegerhorst weist nur geringe Bevölkerungszahlen auf. Durch die teilweise starke Überwärmung des Gewerbegebiets ist die Betroffenheit zum Teil erhöht. Klimavielfalt ist teilweise vorhanden, in den Gewerbegebieten allerdings reduziert (M6, M10, M11, M14).

## **Sauerbrunnen**

Sauerbrunnen ist überwiegend gut mit innerstädtischen Grünflächen oder ausreichend privaten Gartenflächen versorgt. Der große Grünanteil spiegelt sich in der eher mittleren thermischen Betroffenheit wider trotz der Lage innerhalb der Kernstadt. Kaltluft erreicht den Stadtteil überwiegend über das Dachniveau (M4).

Die Neubaugebiete im Westen weisen zum Teil eine hohe thermische Betroffenheit auf. Die umgebenden Parkanlagen dienen der Bevölkerung als klimatische Ausgleichsräume und teilweise auch als Kaltluftleitbahn. Diese Luftleitbahn sollte erhalten bleiben und gefördert werden (M1). Zusätzliche vereinzelte Baumpflanzungen können zudem tagsüber die Aufenthaltsqualität durch Schattenwurf weiter erhöhen (M10, M12).

## **Roter Buck**

Der Stadtteil Roter Buck weist im Zentrum eine hohe Betroffenheit auf. Dies ist bedingt durch die hohe thermische Belastung und die gleichzeitig sehr hohe Empfindlichkeit. Der Stadtteil wird überwiegend durch die Überdachströmung belüftet (M4). Bodennah dringt nur vereinzelt Kaltluft in den Siedlungsbereich ein. Die angrenzenden Freiflächen besitzen daher nur eine geringe Belüftungsrelevanz.

Roter Buck weist nur geringe Grünflächen für die hohe Anzahl an Anwohnern auf. Entsprechend ist die Klimavielfalt in weiten Teilen des Stadtteils reduziert. Öffentlich zugängliche Grünanlagen mit Aufenthaltsqualität an heißen Sommertagen können helfen die thermische Belastung zu reduzieren (M12 – M16).

## **Altenmünster**

Die Ortschaft Altenmünster wird von der Kaltluftströmung entlang der Jagst von Süden her belüftet. Die Strömung kann bodennah weiträumig in den Siedlungsraum eindringen und sorgt so für eine geringe thermische Betroffenheit. Mit zunehmender Entfernung zum Siedlungsrand und größerer Nähe zu den Gewerbegebieten steigt die Betroffenheit an. So ist die Betroffenheit nordwestlich der Gaildorfer Straße erhöht. Gleichzeitig ist die Versorgung mit öffentlichen Grünflächen reduziert. Zur Verbesserung des Lokalklimas im nordwestlichen Altenmünster sollte die Schaffung von öffentlichen Grünflächen geprüft werden (M13 – M15).

Die Freiflächen südlich von Altenmünster transportieren Kaltluft in Richtung des Siedlungsraums. Diese Flächen besitzen daher eine hohe Relevanz für die Durchlüftung von Altenmünster und von

Crailsheim. Bei Baumaßnahmen in diesem Bereich sollte der Ortsrand möglichst offen gestaltet sein, um das bodennahe Eindringen der Kaltluft weiterhin zu ermöglichen (M2 – M4). Dichte Bebauung kann zu Kaltluftstaubereichen mit erhöhtem Frostrisiko in der kalten Jahreszeit führen.

### **Ingersheim**

Ingersheim profitiert durch die südliche Lage von der Kaltluftströmung entlang des Jagsttals. Über die Jagstauen, welche als Kaltluftleitbahn dienen, wird der Siedlungsbereich bodennah belüftet. Entsprechend ist die Betroffenheit in der Ortschaft überwiegend gering. Die Freiflächen in südlicher und westlicher Richtung entlang der Jagst besitzen dementsprechend eine zum Teil hohe Relevanz für die Durchlüftung der Ortschaft (M2).

### **Beuerlbach**

Der Ortsteil Beuerlbach wird von einer Kaltluftströmung entlang des Kühnbachs durch- und überströmt. Entsprechend besitzen die Freiflächen am südöstlichen Bereich eine gewisse Relevanz für die Belüftung der Siedlung. Beuerlbach weist allerdings eine gute Durchgrünung und somit eine geringe thermische Betroffenheit auf. Bei Siedlungserweiterungen im Südosten sollten Neubauten parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtet werden, um deren Stau effekt auf die Kaltluft zu reduzieren (M3).

### **Goldbach**

Goldbach wird überwiegend von Kaltluft aus den Höhenlagen des Kapellwalds belüftet. Durch die geringe thermische Empfindlichkeit und die geringe Bebauung ist die Betroffenheit überwiegend gering. Siedlungserweiterungen nach Nordosten sollten parallel zur Kaltluftströmungsrichtung ausgerichtet werden, um Stau effekt auf die Kaltluft zu reduzieren (M2, M3).

### **Jagstheim**

Die Ortschaft Jagstheim wird von kräftigen Kaltluftströmungen aus Süden entlang des Jagsttals belüftet. Diese überströmen die gesamte Ortschaft. Durch die stellenweise erhöhte Betroffenheit in Jagstheim besitzen die Kaltluftströme eine hohe Bedeutung für das Lokalklima. Daher werden den Flächen am südlichen Ortsrand eine hohe Relevanz für die Durchlüftung zugeschrieben (M2 – M4). Durch die geringere thermische Betroffenheit von Burgberg wird den Flächen südlich von Burgberg eine geringere Relevanz zugeschrieben.

Kaltluft erreicht den Siedlungsbereich ebenfalls entlang der Speltach. Die Kaltluftströmung ist allerdings schwächer ausgeprägt und belüftet hauptsächlich den nördlichen Teil von Jagstheim. Die westlich gelegenen Freiflächen besitzen daher nur eine geringe Relevanz für die Durchlüftung.

Die Ortschaft besitzt keine innerörtlichen öffentlichen Grünflächen, wodurch eine Unterversorgung mit öffentlichen Grünanlagen vorliegt (M14). Die teils privaten Grünflächen im Umfeld von Jagstheim können gegebenenfalls durch die Bevölkerung genutzt werden, wodurch der Bedarf an öffentlichen Grünflächen reduziert werden kann. Dies wurde nicht genauer untersucht.

### **Onolzheim**

Onolzheim wird zum Teil durch die Strömung aus dem Jagsttal belüftet. Zusätzlich treffen Kaltluftströmungen aus den südwestlich gelegenen Ellwanger Bergen auf die Ortschaft. Entsprechend besitzen die Freiflächen östlich und westlich des Ortes eine gewisse Relevanz für die Durchlüftung.

Durch die geringe thermische Betroffenheit des Siedlungsgebiets ist die Relevanz allerdings eingeschränkt. Siedlungserweiterungen sind in diesen Bereichen möglich, sofern die Kaltluft weiterhin in die Ortschaft eindringen kann. Der Ortsrand sollte daher offen gestaltet und Gebäude möglichst parallel zur Kaltluftströmungsrichtung ausgerichtet werden (M2 – M4).

### **Roßfeld**

Roßfeld wird überwiegend durch die Jagsttalströmung aus dem Dachniveau belüftet. Diese kann sich südlich der Ortschaft auch bodennah über den landwirtschaftlichen Freiflächen durchsetzen und so in die Ortschaft eindringen. Zusätzlich gelangen schwache Kaltluftströmungen von den Ellwanger Bergen aus Südwesten nach Roßfeld. Die thermische Betroffenheit wird durch die Belüftung trotz dichter Bebauung effektiv reduziert. Die Freiflächen südlich von Roßfeld besitzen daher eine hohe Relevanz für die Durchlüftung des Orts und sollten in ihrer Funktion erhalten bleiben (M1, M2). Die Kaltluft aus Südosten strömt vor Erreichen von Roßfeld über die Gewerbegebiete südlich der Bahntrasse. Um eine Belastung des Luftstroms zu vermeiden, sollten daher möglichst emissionsarme Betriebe im Gewerbegebiet angesiedelt werden (M5).

Der zentral gelegene Friedhof kann der Bevölkerung als klimatischer Ausgleichsraum dienen und hilft so an heißen Tagen die thermische Belastung zu reduzieren (M12).

### **Tiefenbach**

Tiefenbach wird großflächig im Dachniveau von der Kaltluftströmung aus dem Jagsttal belüftet. Bodennah gelangen schwache Kaltluftströme aus Nordost an die Siedlung, reichen aber größtenteils nur bis an den Siedlungsrand. Entsprechend wird den Freiflächen südlich von Tiefenbach eine mittlere Relevanz für die Durchlüftung zugeordnet. Die thermische Betroffenheit des Orts ist überwiegend gering.

### **Triensbach**

Triensbach wird von Südosten her von Kaltluft überströmt. Da Triensbach nur gering thermisch belastet ist und entsprechend nur eine geringe thermische Betroffenheit aufweist, besitzen die südöstlich gelegenen Freiflächen nur eine mittlere bis geringe Durchlüftungsrelevanz.

### **Westgartshausen**

Westgartshausen und das zugehörige Wittau werden durch Kaltluftabflüsse aus dem Crailsheimer Hardt im Osten belüftet. Die Siedlungsbereiche weisen durch die lockere Bebauungsstruktur und geringe Bevölkerungsdichte nur eine geringe thermische Belastung und Betroffenheit auf. Die Freiflächen östlich der Siedlungsbereiche sind daher überwiegend nur gering belüftungsrelevant für Westgartshausen und Wittau. Der große private Grünflächenanteil und die geringe Bevölkerungsdichte sorgen dafür, dass kaum Bedarf an öffentlichen Grünflächen besteht. Zudem stehen die Waldflächen wie der Pfarrholz in direkter Nähe zur Verfügung.

## 9 Schlusswort

Die Stadtklimaanalyse ist nur ein Baustein in einem anzustrebenden Gesamtkonzept, wie mit den Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene umzugehen ist.

Hilfreich ist hierfür die Erarbeitung von Leitbildern. Diese sollen die Ziele des Klimaschutzes und der Klimaanpassung mit den Anforderungen der Menschen an ihren Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum verknüpfen<sup>16</sup>.

Der Maßnahmenkatalog stellt überwiegend allgemein mögliche Maßnahmen zusammen, um das lokale Stadtklima zu schützen und zu verbessern. Die Konkretisierung der Maßnahmen erfordert jedoch die Zusammenarbeit verschiedener Akteure, insbesondere aus dem Bereich der Grün- und Stadtplanung.

Weiterführende Informationen und Hilfestellungen für Kommunen, auch zu Themenbereichen, die über die Stadtklimaanalyse hinausgehen, können auf den Seiten des Klimascout<sup>17</sup> nachgelesen werden.

Nicht zuletzt ist es wichtig die Bürgerschaft bei den anstehenden Anpassungsstrategien mitzunehmen. Förderungen für entsprechende Projekte stehen durch das Land Baden-Württemberg zur Verfügung.

Freiburg, den 16.12.2024



**Dr. Rainer Röckle**  
Geschäftsleitung  
Diplom-Meteorologe



**Dr. Christine Ketterer**  
Fachlich Verantwortliche Klima  
M.Sc. in Climate Sciences



**Dr. Tobias Gronemeier**  
Anerkannter Beratender Meteorologe (DMG)  
M.Sc. in Meteorologie



**Dr. Markus Hasel**  
Stellv. fachlich Verantwortlicher Klima  
Diplom-Meteorologe

*Dieser Bericht wurde nach den Anforderungen unseres Qualitätsmanagementsystems nach DIN 17025 erstellt. Der Bericht oder Teile daraus dürfen nur für das vorliegende Projekt vervielfältigt oder weitergegeben werden.*

<sup>16</sup> [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Kommunaler\\_Klimaschutz/Wissensportal/Klimaanpassung/LUBW\\_Leitfaden\\_Landschaftsplan\\_Klimaanpassung\\_2018.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Wissensportal/Klimaanpassung/LUBW_Leitfaden_Landschaftsplan_Klimaanpassung_2018.pdf)

<sup>17</sup> [http://www.klimascout.de/kommunen/index.php?title=Ma%C3%9Fnahmen\\_zur\\_Anpassung\\_an\\_den\\_Klimawandel](http://www.klimascout.de/kommunen/index.php?title=Ma%C3%9Fnahmen_zur_Anpassung_an_den_Klimawandel)

## 10 Literatur

- Basu, R.** (2009): High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health* (8)1: 40.
- BMUB** (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 100S.
- Brasseur, G., D. Jacob & S. Schuck-Zöller eds.** (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin.
- Christidis, N., G.S. Jones & P.A. Stott** (2015): Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change* (5)1: 46–50.
- Dettmar, J., N. Pfoser & S. Sieber** (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. TU Darmstadt, 100S.
- Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft e. V., Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, & klimafakten.de eds.** (2023): Was wir heute übers Klima wissen: Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind.
- DIN 18916:2016-06** (2016): Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten.
- Ferrini, F., C.C. Konijnendijk & A. Fini eds.** (2019): Routledge handbook of urban forestry. Routledge, London New York.
- Früh, B., P. Becker, T. Deutschländer, J.-D. Hessel, M. Kossmann, I. Mieskes, J. Namyslo, M. Roos, U. Sievers, T. Steigerwald, H. Turau & U. Wienert** (2011): Estimation of Climate-Change Impacts on the Urban Heat Load Using an Urban Climate Model and Regional Climate Projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (50)1: 167–184.
- Fuss, S., J.G. Canadell, G.P. Peters, M. Tavoni, R.M. Andrew, P. Ciais, R.B. Jackson, C.D. Jones, F. Kraxner, N. Nakicenovic, C. Le Quéré, M.R. Raupach, A. Sharifi, P. Smith & Y. Yamagata** (2014): Betting on negative emissions. *Nature Climate Change* (4)10: 850–853.
- GEG** (2023): Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor vom 20. Juli 2022. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2022 Teil I Nr. 28, ausgegeben am 28. Juli 2022.
- Grize, L., A. Huss, O. Thommen, C. Schindler & C. Braun-Fahrländer** (2005): Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly* (135)13–14: 200–205.
- Hewitt, C.D.** (2004): Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos, Transactions American Geophysical Union* (85)52: 566.
- iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG** (2023): Erstellung einer Klimaanalyse für den Regionalverband Heilbronn-Franken.
- IPCC ed.** (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC ed.** (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Kadasch, E., M. Sühling, T. Gronemeier & S. Raasch** (2021): Mesoscale nesting interface of the PALM model system 6.0. *Geoscientific Model Development* (14): 5435–5465.
- Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.)** (1988): Stadtklima und Luftreinhaltung - Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung.
- Köppen, W.** (1936): Das geographische System der Klimate. In: W. Köppen and R. Geiger (Eds), *Handbuch der Klimatologie*. Gebrüder Bornstraeger, Berlin, S. C1–C44.
- Koßmann, M., H. Noppel & B. Früh** (2014): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel. *Deutscher Wetterdienst*, Offenbach a. M., 70S.
- Kunz, M., J. Sander & Ch. Kottmeier** (2009): Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *International Journal of Climatology* (29)15: 2283–2297.
- Maronga, B., S. Banzhaf, C. Burmeister, T. Esch, R. Forkel, D. Fröhlich, V. Fuka, K.F. Gehrke, J. Geletič, S. Giersch, T. Gronemeier, G. Groß, W. Heldens, A. Hellsten, F. Hoffmann, A. Inagaki, E. Kadasch, F. Kanani-Sühling, K. Ketelsen, B.A. Khan, C. Knigge, H. Knoop, P. Krč, M. Kurppa, H. Maamari, A. Matzarakis, M. Mauder, M. Pallasch, D. Pavlik, J. Pfafferott, J. Resler, S. Rissmann, E. Russo, M. Salim, M. Schrempf, J. Schwenkel, G. Seckmeyer, S. Schubert, M. Sühling, R. von Tils, L. Vollmer, S. Ward, B. Witha, H. Wurps, J. Zeidler & S. Raasch** (2020): Overview of the PALM model system 6.0. *Geoscientific Model Development* (13)3: 1335–1372.
- Matzarakis, A. & H. Mayer** (1997): Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology* (41)1: 34–39.
- Mayer, H.** (1989): Workshop “Ideales Stadtklima” am 26. Oktober 1988 in München. *DMG Mitteilungen* 3: 52–54.
- Mayer, H., W. Beckröge & A. Matzarakis** (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. *UVP-report* (5): 265–268.
- Mayer, H. & P.R. Höppe** (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* (38)1: 43–49.
- Moss, R.H., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J.A. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, E. Lin, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J.F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P.J. Runci, R. Stouffer, D. VanVuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J.P. van Ypersele & M. Zurek** (2008): Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland.
- Murphy, J.M., D.M.H. Sexton, D.N. Barnett, G.S. Jones, M.J. Webb, M. Collins & D.A. Stainforth** (2004): Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature* (430)7001: 768–772.
- Parlow, E., D. Scherer & U. Fehrenbach** (2006): Regionale Klimaanalyse der Region Südlicher Oberrhein (REKLISO): Wissenschaftlicher Abschlussbericht.

- Rädler, A.T., P. Groenemeijer, E. Faust & R. Sausen** (2018): Detecting Severe Weather Trends Using an Additive Regressive Convective Hazard Model (AR-CHaMo). *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (57)3: 569–587.
- Richter, B., K. Grunewald & G. Meinel** (2016): Analyse von Wegedistanzen in Städten zur Verifizierung des Ökosystemleistungsindikators „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“. In: AGIT 2-2016, *Journal für Angewandte Geoinformatik*. Wichmann Verlag.
- Robine, J.-M., S.L.K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel & F.R. Herrmann** (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* (331)2: 171–178.
- Schär, C., P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger & C. Appenzeller** (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* (427)6972: 332–336.
- Schumacher, U., I. Lehmann & M. Behnisch** (2016): Modellansatz zur geotopographischen Analyse von Wohngebieten und urbaner grüner Infrastruktur. In: AGIT 2-2016, *Journal für Angewandte Geoinformatik*. Wichmann Verlag.
- Schwab, A. & D. Zachenbacher** (2009): Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO): Wissenschaftlicher Abschlussbericht.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1** (2015): Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1:2015-09.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2** (2022): Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2:2022-06.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5** (2003): Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5:2003-12.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10** (2010): Umweltmeteorologie - Human- biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 10:2010-03.
- van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith & S.K. Rose** (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* (109)1: 5.
- Wang, Y., L.R. Leung, J.L. McGREGOR, D.-K. Lee, W.-C. Wang, Y. Ding & F. Kimura** (2004): Regional Climate Modeling: Progress, Challenges, and Prospects. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II* (82)6: 1599–1628.
- Weischet, W. & W. Endlicher** (2018): Einführung in die allgemeine Klimatologie. Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin Stuttgart.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg & Amt für Umweltschutz Stuttgart** (2012): Städtebauliche Klimafibel. URL: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>.

**Zander, K.K., W.J.W. Botzen, E. Oppermann, T. Kjellström & S.T. Garnett (2015):** Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change* (5)7: 647–651.

## A1 Daten und Methodik

### A1.1 Aufbereitung der Eingangsdaten für FITNAH

Die im Flächennutzungsplan und in den ATKIS-Daten vorhandene Landnutzung wurde in folgende „klimatologische Nutzungskategorien“ überführt:

*Tabelle A1-1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung.*

| Bezeichnung                                   | Beschreibung                                                                                   |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wasser                                        | Still- und Fließgewässer                                                                       |
| Freiland                                      | Äcker, Wiesen, Weiden, Gärten, Grünflächen                                                     |
| Wald/Bäume                                    | Nadelbäume und Nadelwald, Laubbäume und Laubwald sowie Mischwald werden unterschieden          |
| Streuobstwiese                                | Streuobstwiesen, Obstplantagen und Baumschulen                                                 |
| Weinanbau                                     | Weinanbauflächen                                                                               |
| Gehölz                                        | Buschartige Gehölzflächen von geringer Höhe                                                    |
| Moor, Sumpf                                   | Moor, Sümpfe, feuchte Grünflächen                                                              |
| Hafenanlage/Schleuse                          | Hafenanlage/Schleuse                                                                           |
| naturnahe Flächen                             | Teilversiegelte Flächen mit Grün-/Baumanteil, z.B. Campingplätze, Parks                        |
| versiegelte Flächen                           | Parkplätze, Verkehrsflächen etc.                                                               |
| baulich geprägte Grünfläche (< 25 % Bebauung) | Grünfläche mit weniger als 25 % Bebauung                                                       |
| lockere Bebauung (> 25 % Bebauung)            | 25 – 50 % Bebauung                                                                             |
| mittlere Bebauung (> 50 % Bebauung)           | 50 – 75 % Bebauung                                                                             |
| dichte Bebauung (> 75 % Bebauung)             | 75 – 85 % Bebauung                                                                             |
| Zentrum (> 85 % Bebauung)                     | > 85 % Bebauung                                                                                |
| Mischgebiete                                  | Gebiete mit Gewerbe- und Wohnnutzungen                                                         |
| Gewerbe und Industrie                         | stark versiegelte Flächen mit Gebäuden; Wärmeemission von z.B. Kraftwerken wird berücksichtigt |
| Deponien, Halden, Tagebau/Bergbau             | verdichtete Böden mit geringem Vegetationsbestand.                                             |

### A1.2 Methodik

#### A1.2.1 Das prognostische Modell FITNAH

FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat-Sources) ist ein mathematisch-physikalisches Strömungsmodell. Das Modell FITNAH löst die dreidimensionalen Bewegungsgleichungen zur Berechnung der Strömung. Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur werden bodenspezifische Parameter (Bodenart, Feuchte usw.) durch ein implementiertes Bodenmodell berücksichtigt. Des Weiteren werden auch Turbulenzparameter, Lufttemperatur und Luftfeuchte berechnet. Das Modell simuliert abhängig vom Sonnenstand die Erwärmung bzw. die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luft.

Als so genanntes „nicht-hydrostatisches, prognostisches“ Modell beruht es auf einem voll-dynamischen Strömungskern auf Basis der Gleichungen für alle drei Windkomponenten (Navier-Stokes-Gleichungen für die Komponenten des Windvektors im 3D-Raum, x-, y- und z-Richtung) sowie auf

den Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie. Diese (miteinander gekoppelten) Gleichungen werden auf einem numerischen dreidimensionalen Gitter in kleinen Zeitschritten gelöst, so dass sich die vielfältigen nicht-linearen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Topographiebereichen, vergleichbar der Natur, sukzessive einstellen und der von der Natur erzielte Gleichgewichtszustand zwischen den unterschiedlichen strömungsbeeinflussenden Effekten realistisch berechnet wird.

Ein großer Vorteil des Modells FITNAH ist die Berücksichtigung der Landnutzung. Die Daten gehen, differenziert nach Bestands- bzw. Bebauungshöhen und ihren jeweiligen Flächenanteilen an jeder Rechenzelle ein.

Das Modell FITNAH ist vielfach validiert und von zahlreichen Fachbehörden als eines der leistungsfähigsten Instrumente zur Simulation meteorologischer Phänomene im Bereich der Umweltmeteorologie anerkannt.

### **A1.2.2 Berechnung der Klimavielfalt**

Die Klimavielfalt der Umgebung einer Wohnbebauung ergibt sich aus dem Bedarf nach einer städtischen, öffentlichen Grünfläche mit Aufenthaltsqualität sowie der Erreichbarkeit der Grünflächen. Der Bedarf nach einer städtischen Grünfläche berechnet sich aus der verfügbaren Freifläche (Flurstück abzüglich Gebäudegrundfläche) pro Einwohner. Wenn die verfügbare Freifläche pro Einwohner 100 m<sup>2</sup> unterschreitet liegt ein Bedarf nach weiteren (öffentlichen) Grünflächen vor.

Die Erreichbarkeit einer öffentlichen Grünfläche kann durch bauliche Maßnahmen (z.B., Mauern, Zäunen, Gebäuden, Gleisanlagen) oder natürliche Barrieren (Flüsse, Topographie) eingeschränkt sein. Deswegen wird die Erreichbarkeit der Grünflächen basierend auf dem Straßen- und Wegenetz berechnet und nicht über die Luftlinien-Distanz. Daneben wird angenommen, dass die Grünflächen von allen Seiten in einem regelmäßigen Abstand erreichbar und betretbar sind. Abschließend wird die Entfernung zur nächstgelegenen Grünfläche nach gängigen Literaturwerten klassifiziert und bewertet (Tabelle A1-2).

*Tabelle A1-2: Bewertung der Klimavielfalt – Entfernung zu einer Grünfläche mit mindestens 5.000 m<sup>2</sup>. Die Klassen wurden nach den gängigen Literaturwerten eingeteilt (z.B. Mayer (1989); Richter, Grunewald & Meinel (2016); Schumacher, Lehmann & Behnisch (2016)).*

| Distanz zu einer klimarelevanten Grünfläche           | Bewertung                         |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ≤ 250 m oder ausreichend private Grünfläche vorhanden | sehr gute Klimavielfalt vorhanden |
| > 250 m – 500 m                                       | Klimavielfalt vorhanden           |
| > 500 m                                               | keine Klimavielfalt vorhanden     |

### **A1.2.3 Berechnung der Empfindlichkeit**

Die Empfindlichkeit der Bevölkerung wird aus der Einwohnerdichte pro Hektar und dem Vorhandensein klimasensibler Nutzung berechnet. Die Bewertung der Einwohnerdichte erfolgt relativ durch Berechnung der Perzentile bezogen auf die Gesamtbevölkerung im Stadtgebiet Crailsheim (Tabelle A1-3). Die Tabelle zeigt beispielsweise, dass 38 % der Bevölkerung auf Flächen wohnen, deren Einwohnerdichte maximal 40 Einwohner je Hektar beträgt.

*Tabelle A1-3: Bewertung A1 und A2 der Empfindlichkeit auf Basis der Einwohnerdichte je Hektar und klimasensibler Nutzung.*

| Perzentil             | Einwohner pro ha | Bewertung                    |
|-----------------------|------------------|------------------------------|
| ≤ 38.                 | ≤ 40             | sehr geringe Empfindlichkeit |
| > 38. – 68.           | > 40 – 80        | geringe Empfindlichkeit      |
| > 68. – 88.           | > 80 – 150       | mittlere Empfindlichkeit     |
| > 88. – 94.           | > 150 – 200      | hohe Empfindlichkeit         |
| > 94.                 | > 200            | sehr hohe Empfindlichkeit    |
| Klimasensible Nutzung |                  | sehr hohe Empfindlichkeit    |

#### A1.2.4 Berechnung der Betroffenheit

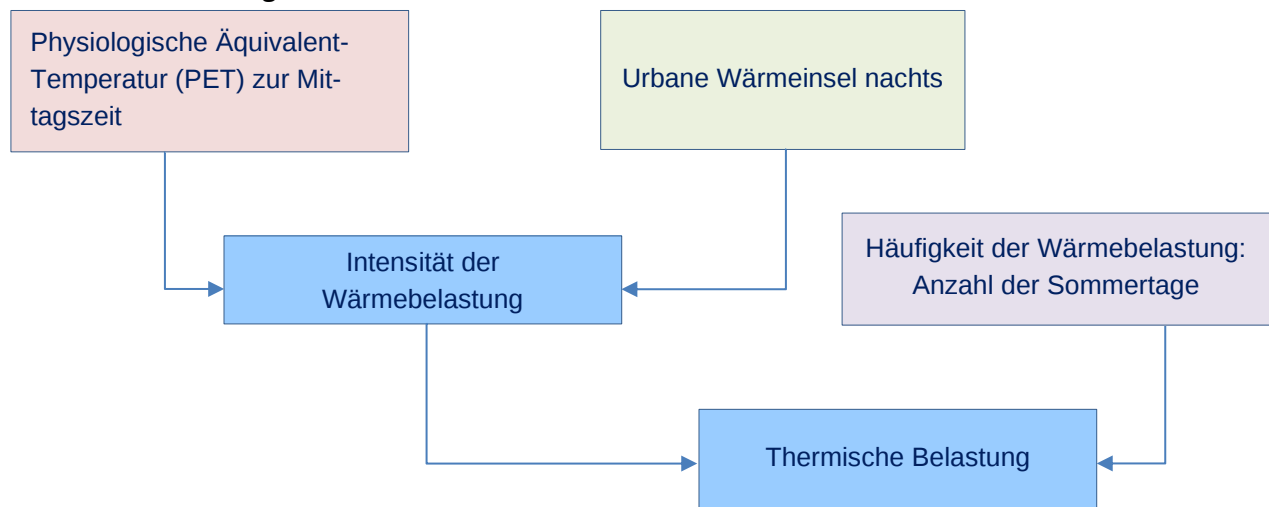


Abbildung A1-1: Ermittlung der thermischen Belastung.

Tabelle A1-4: Bewertung B1 der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) angelehnt an Matzarakis & Mayer (1997). Zur besseren Differenzierung der Hitzebelastung in der Stadt Crailsheim wurden die letzten zwei Klassen ergänzt.

| PET (°C)      | Thermische Sensitivität |
|---------------|-------------------------|
| ≤ 29,0        | leicht warm             |
| > 29,0 – 35,0 | warm                    |
| > 35,0 – 41,0 | heiß                    |
| > 41,0 – 44,0 | sehr heiß               |
| > 44,0        | extrem                  |

Tabelle A1-5: Bewertung B2 der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (UHI in °C).

| Perzentile  | UHI (K)     | Bewertung (B2)                     |
|-------------|-------------|------------------------------------|
| ≤ 85.       | ≤ 1,1       | keine bis sehr geringe Überwärmung |
| > 85. – 90. | > 1,4 – 1,6 | geringe Überwärmung                |
| > 90. – 95. | > 1,9 – 2,3 | mäßige Überwärmung                 |
| > 95. – 99. | > 2,5 – 3,2 | mittlere Überwärmung               |
| > 99.       | > 3,2       | starke Überwärmung                 |

Tabelle A1-6: Bewertung B3 der Anzahl an Sommertagen (Tage pro Jahr im Zeitraum 1971 – 2000).

| Perzentile  | Anzahl an Sommertagen | Bewertung (B3)                               |
|-------------|-----------------------|----------------------------------------------|
| ≤ 50.       | ≤ 33,5                | unterdurchschnittliche Anzahl an Sommertagen |
| > 50. – 80. | > 33,5 – 35,8         | überdurchschnittliche Anzahl an Sommertagen  |
| > 80. – 90. | > 35,8 – 36,7         | hohe Anzahl an Sommertagen                   |
| > 90. – 95. | > 36,7 – 37,7         | sehr hohe Anzahl an Sommertagen              |
| > 95.       | > 37,7                | extreme Anzahl an Sommertagen                |

Die Betroffenheit der Bevölkerung kann aus der Zusammenschau der Empfindlichkeit mit der thermischen Belastung ermittelt werden und ergibt sich somit aus folgenden Parametern und meteorologischen Größen:

### Empfindlichkeit A

A1 – Einwohnerdichte pro Hektar (Tabelle A1-3)

A2 – klimasensible Nutzungen (Tabelle A1-3)

### Bewertung thermische Belastung B

B1 – Wärmebelastung tagsüber (PET, Tabelle A1-4)

B2 – Wärmebelastung nachts (Urbane Wärmeinsel, Tabelle A1-5)

B3 – Häufigkeit der Wärmebelastung (Anzahl an Sommertagen, Tabelle A1-6)

B4 – Vorhandene Klimavielfalt (Entfernung zu öffentlichen Grünanlagen, Tabelle A1-2)

Während sich die Physiologisch Äquivalente Temperatur tagsüber – bedingt durch den großen Einfluss der solaren Strahlungsflüsse – stark von der Lufttemperatur unterscheidet, korreliert sie nachts signifikant mit der Lufttemperatur. Die nächtliche Wärmebelastung wurde anhand der Lufttemperatur in Form der urbanen Wärmeinsel bewertet.

Mitunter werden die Größen (hier beispielsweise die Belastungszahlen) standardisiert und verschnitten. Mit einer z-Standardisierung (oder auch z-Transformation) können in der Statistik Werte unterschiedlicher Maßeinheiten und Stichproben in eine gemeinsame Einheit überführt werden, um diese vergleichbar zu machen. Dazu wird die Abweichung vom Mittelwert durch die Standardabweichung dividiert. Da dieses Verfahren für schiefe Verteilungen, wie sie bei meteorologischen Größen vorliegt, zu einer Verschiebung der standardisierten Werte führen kann, wird hier auf eine andere Form der Bewertung gesetzt.

Die Bewertungszahl Z ergibt sich aus der Summe der jeweils gewichteten thermischen Bedingungen B. Diese Summe wird normiert multipliziert mit der normierten Empfindlichkeit A, die sich aus der Einwohnerdichte und ggf. den klimasensiblen Nutzungen ergibt.

$$Z = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4}{\max(B_1 + B_2 + B_3 + B_4)} \cdot A$$

Die thermische Betroffenheit entspricht der Bewertungszahl Z.

### A1.2.5 Identifikation der belüftungsrelevanten Strömungssysteme

Kalt- und Frischluftströmungen, die relevanten Kaltluftproduktionsgebiete und die Luftleitbahnen sind im planerischen Sinne dann von Bedeutung, wenn sie die Belüftung von Siedlungsgebieten (Wirkräume) bewirken. Je größer die Betroffenheit in diesen Siedlungsgebieten ist, desto wichtiger ist diese ausgleichende Funktion.

In Abbildung A1-2 ist eine idealisierte Situation skizziert. Die Grafik zeigt unterschiedlich belastete Wirkräume (hier charakterisiert durch die Bebauungsdichte) und einen Kaltluftstrom, der die Tal-lage von Westen her belüftet. In dieser idealisierten Darstellung ist ersichtlich, dass der Kaltluftstrom, der auf den belasteten Siedlungsraum trifft, eine höhere Ausgleichsrelevanz besitzt, als der identische Kaltluftstrom, der nur die mäßig belasteten Siedlungsgebiete oder das Umland belüftet.

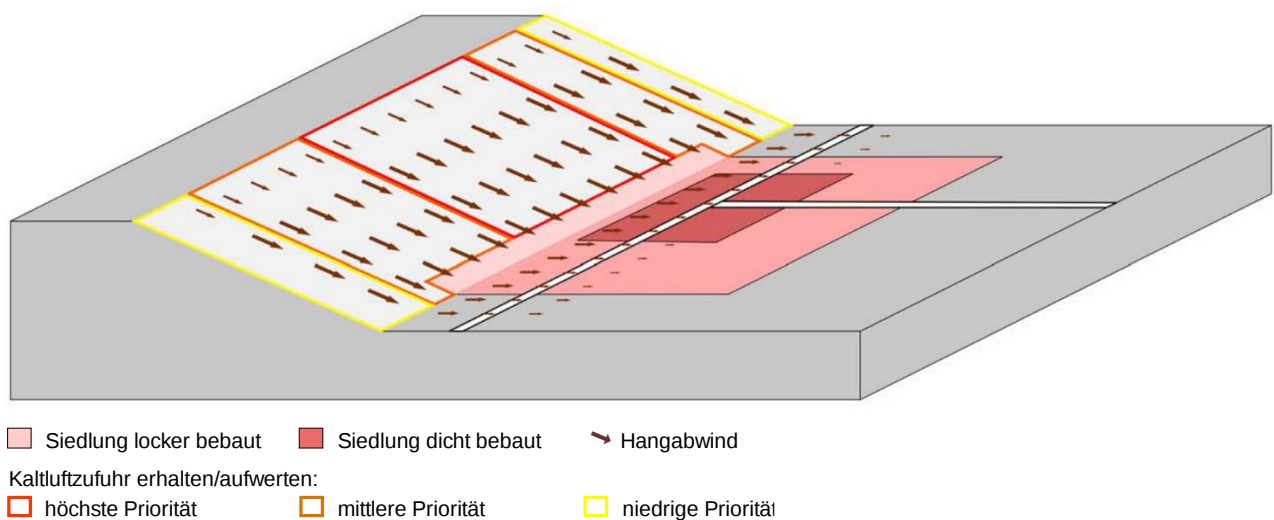


Abbildung A1-2: Skizze zur Veranschaulichung der Abgrenzung der relevanten Strömungssysteme (Schwab & Zachenbacher (2009)).

In der Realität sind sowohl die Kaltluftabflussverhältnisse wie auch die Belastungssituation deutlich heterogener. Die Kaltluft kann aus unterschiedlichen Bereichen dem Siedlungsgebiet zuströmen, sie kann unterschiedliche Intensitäten aufweisen und unterschiedlich belastete Siedlungsbereiche treffen. Die lokal sehr differenzierten Kaltluftabflüsse werden aus den FITNAH- und PALM-4U Simulationen entnommen.

Die Bewertung der Siedlungsbereiche geschieht anhand der thermischen Betroffenheit.

Um die Kaltluftströmungen zu detektieren, welche in den Wirkräumen zu einer Verbesserung der thermischen Situation beitragen, wurde im Rahmen der Stadtklimaanalyse ein automatisierter, allgemein gültiger, objektiver Algorithmus entwickelt.

In einem ersten Schritt wird ein numerisch-physikalisches Analysemodell auf die simulierten Kaltluftabflüsse angewandt. Mit diesem Modell kann die Identifikation und Abgrenzung der komplexen Kaltluftströmungssysteme unter Berücksichtigung der Distanz zum Zielort durchgeführt werden. Mit diesem Werkzeug ist eine erste Eingrenzung der für einen Wirkungsraum zu betrachtenden Bereiche möglich.

Im zweiten Schritt werden Vorwärtstrajektorien auf Basis der Kaltluftströmungsfelder berechnet. Den Windfeldern werden mit dem Verlauf der Vorwärtstrajektorien die thermische Betroffenheit derer Flächen zugeordnet, die sie überstreichen. Mithilfe dieser Methode wird auch die Eindringtiefe in Zusammenhang mit der vorherrschenden Betroffenheit analysiert. Entlang der Trajektorie wird die thermische Betroffenheit addiert, die die Strömung vom jeweiligen Punkt erreicht (siehe Abbildung A1-3).

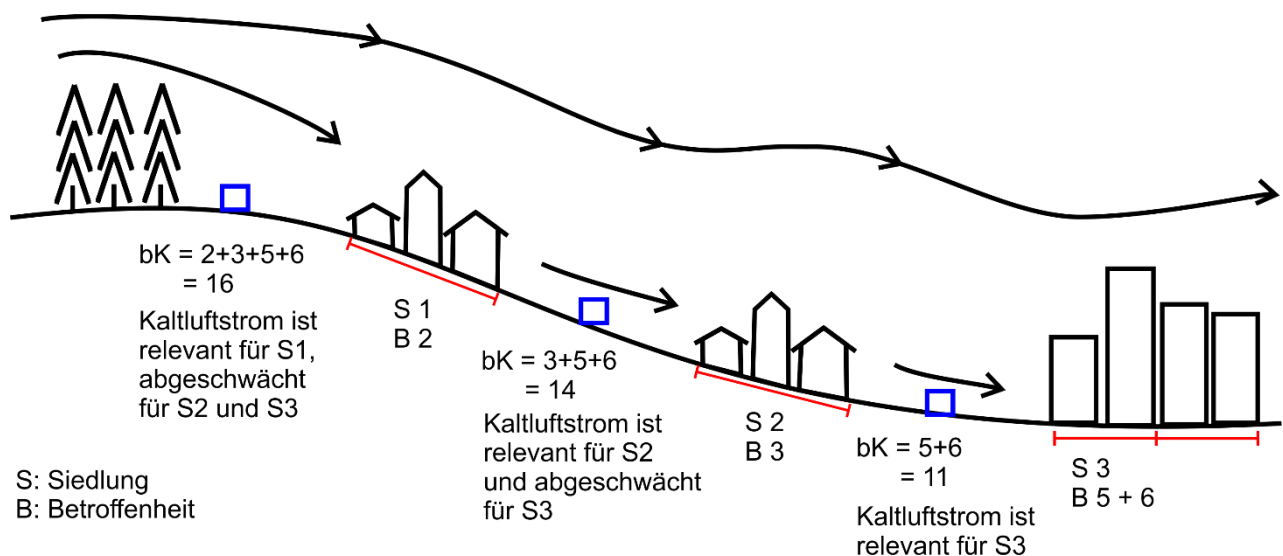


Abbildung A1-3: Bewertung der Kaltluftströmung (bK) durch Vorwärtstrajektorien.

Die Berechnung von Vorwärtstrajektorien zur Ermittlung der Bedeutung der Kaltluftströmung  $bK$  wird in Abbildung A1-3 dargestellt. Die blauen Kästchen markieren die Position eines Windpfeils, der bewertet werden soll. Die Betroffenheit der Siedlungen (S1 bis S3) wurde in der Stadtklimaanalyse Crailsheim je Flurstück ermittelt (rote Begrenzungen unterhalb der Siedlungen, z.B. Betroffenheitswert 2 in Siedlung S1). Die Bewertung richtet sich nach der möglichen Belüftungswirkung der Strömung. Eine Strömung, die mehrere oder stärker betroffene (empfindlichere) Siedlungsbereiche belüftet, erhält eine höhere Bewertungszahl. Die im oberen Hangbereich produzierte Kaltluft trägt dann zur Belüftung der nachfolgenden Siedlungsbereiche bei. Die Bewertungszahl ergibt sich als Summe der Betroffenheit der überstrichenen Siedlungen (hier  $2 + 3 + 5 + 6$ ).

### A1.3 Lokale Kaltluftleitbahnen

Hier handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Als Faustregel für die Breite der Luftleitbahn wird im Handbuch „Stadtklima und Luftreinhaltung“ (Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.) (1988)) eine Mindestbreite von der 10-fachen Höhe der Randbebauung genannt. Andere Quellen fordern eine Mindestbreite von 50 m und eine Mindestlänge in einer Richtung von 1000 m (Mayer, Beckröge & Matzarakis (1994)). Wichtige Merkmale sind außerdem ihre Ausrichtung durch vorhandene Strukturen und der Zusammenhang mit der Windrichtungsverteilung. Als Beispiele wären Grünflächen mit niedrigem Bewuchs, Wasserflächen, mehrgleisige Bahnanlagen und größere Straßenzüge zu nennen.

Die Kanalisierung der Luftströmungen ist in starkem Maße von den jeweiligen Strömungsrichtungen der Wetterlagen abhängig. Während windschwacher Hochdruckwetterlagen dienen die Luftleitbahnen als potenzielle Einströmschneisen für Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei nicht unterschieden, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. bei Grünanlagen).

## Glossar

Fachbegriffe, die im Glossar genauer erläutert werden, sind bei ihrer ersten Erwähnung im Text mit einem „\*“ gekennzeichnet.

| <b>Anthropogen</b>                   | Durch den Menschen verursachte Einflüsse.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|----|----------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Atmosphärische Gegenstrahlung</b> | Der Anteil der langwelligen Strahlung, der aus der Atmosphäre in Richtung der Erde gerichtet ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Atmosphärische Grenzschicht</b>   | Als atmosphärische Grenzschicht (auch planetare Grenzschicht) wird die Schicht bezeichnet, die vom Erdboden bis zu einer Obergrenze von ca. 500 m – 2000 m der Atmosphäre reicht, wobei die Höhe der Schicht von der Rauigkeit des Untergrundes, der vertikalen Temperaturschichtung und der Windgeschwindigkeit abhängt. Der Mittelwert der Höhe beträgt ca. 1000 m. In der atmosphärischen Grenzschicht findet ein Großteil des turbulenten vertikalen Austauschs von Wärme (Energie) und Wasserdampf zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre statt.                                                                                                                                                                                                                                                |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Ausbreitungsklasse</b>            | Die Ausbreitungsklasse nach Klug-Manier charakterisiert die thermische Schichtung der unteren Atmosphäre. Die thermische Schichtung bestimmt neben der Bodenrauigkeit die atmosphärische Turbulenz, die ein Maß für das "Verdünnungsvermögen" der Atmosphäre ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
|                                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Klasse</th><th>Beschreibung</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td><td>sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td></tr> <tr> <td>II</td><td>stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre</td></tr> <tr> <td>III<sub>1</sub></td><td>stabile bis →neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter</td></tr> <tr> <td>III<sub>2</sub></td><td>leicht labile atmosphärische Schichtung</td></tr> <tr> <td>IV</td><td>mäßig labile atmosphärische Schichtung</td></tr> <tr> <td>V</td><td>sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre</td></tr> </tbody> </table> | Klasse | Beschreibung | I | sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre | II | stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre | III <sub>1</sub> | stabile bis →neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter | III <sub>2</sub> | leicht labile atmosphärische Schichtung | IV | mäßig labile atmosphärische Schichtung | V | sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre |
| Klasse                               | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| I                                    | sehr stabile atmosphärische Schichtung, ausgeprägte Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| II                                   | stabile atmosphärische Schichtung, Inversion, geringes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| III <sub>1</sub>                     | stabile bis →neutrale atmosphärische Schichtung, zumeist windiges Wetter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| III <sub>2</sub>                     | leicht labile atmosphärische Schichtung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| IV                                   | mäßig labile atmosphärische Schichtung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| V                                    | sehr labile atmosphärische Schichtung, hohe Sonneneinstrahlung, starke vertikale Durchmischung der Atmosphäre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Autochthone Wetterlagen</b>       | Austauscharme Strahlungswetterlagen (Hochdruckgebiet), bei denen sich lokalklimatische Besonderheiten im Mikro- und →Mesoklima ausprägen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Belastungsraum</b>                | → Wirkungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Bergwind</b>                      | Talabwind: Nachts kühlt sich die Luft in Tälern stärker ab als über der Ebene. Die vergleichsweise schwere Kaltluft fließt zunächst die Hänge hinunter (Hangabwind), sammelt sich in den Geländeeinschnitten und Tälern und fließt schließlich als Bergwind talabwärts. Der Bergwind beginnt 2 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang und hält bis kurz nach Sonnenaufgang an.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Eistage</b>                       | Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt, d.h. es herrscht durchgehend Frost.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Frischlufft</b>                   | Herantransportierte Luft, die geringer durch Luftschadstoffe belastet ist als die vorhandene Luft.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Frosttage</b>                     | Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Minimum der Lufttemperatur < 0 °C beträgt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |
| <b>Geostrophischer Wind</b>          | Wind, der außerhalb der Reibung der Erdoberfläche weht und sich mit dem Luftdruckgradient und der Coriolis-Kraft (eine Scheinkraft hervorgerufen durch die Erdrotation) im Gleichgewicht befindet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |              |   |                                                                                                            |    |                                                                                           |                  |                                                                          |                  |                                         |    |                                        |   |                                                                                                               |

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hangwind</b>                                                         | Hangabwind/Hangaufwind sind Teil der Berg-/Talwindzirkulation. Sie setzen schon kurz nach Beginn der abendlichen Abkühlung bzw. nach Einsetzen der Sonneneinstrahlung am Morgen ein. Nach einigen Stunden Verzögerung treten Ausgleichsströmung zwischen Tal und Vorland als → Bergwind (nachts) bzw. → Talwind (tags) ein.                                                                                                      |
| <b>Heiße Tage</b>                                                       | Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$ beträgt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Human-Biometeorologie</b>                                            | Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit der Wirkung des Klimas, der Luftschadstoffe und der Strahlung auf den Menschen beschäftigt.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Kaltluft</b>                                                         | Unter lokaler Kaltluft versteht man bodennahe Luft, die kälter als die ihrer Umgebung ist. Kaltluft wird entweder vor Ort auf Grund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche gebildet oder durch kleinräumige Zirkulation transportiert. → Kaltluftentstehung und -abfluss hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab.                                           |
| <b>Kaltluftabfluss</b>                                                  | Unter Kaltluftabfluss versteht man den orographisch bedingten nächtlichen Abfluss von örtlich gebildeter → Kaltluft. Dabei wird genügend Gefälle vorausgesetzt. Dies trifft insbesondere an unbewaldeten und unbebauten Hängen auf.                                                                                                                                                                                              |
| <b>Kaltlufteinzugsgebiet</b>                                            | Das Kaltlufteinzugsgebiet umfasst nur diejenigen Kaltluftproduktionsgebiete, in denen → Kaltluft gebildet wird, die für einen bestimmten Standort oder eine Siedlung (→ Wirkungsraum) von Bedeutung sind (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003)).                                                                                                                                                                                  |
| <b>Kaltluftentstehung/<br/>Kaltluftbildung<br/>(Kaltluftproduktion)</b> | Bei windschwachen Strahlungswetterlagen infolge nächtlicher Ausstrahlung örtlich entstehende Kaltluft. Die durch Ausstrahlung abkühlende Erdoberfläche kühlt ihrerseits die darüber liegende bodennahe Luftschicht ab. Es bildet sich bodennahe Kaltluft. Die Kaltluftbildung ist abhängig von den physikalischen (z.B. Wärmeleitung) und topographischen (z.B. Bewuchs, Bebauung, Geländeform) Eigenschaften der Erdoberfläche. |
| <b>Kaltluftproduktionsrate</b>                                          | Bei wolkenarmen und windschwachen Wetterlagen führt die nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche zur → Kaltluftbildung. Die Stärke der Kaltluftbildung kann über das pro Sekunde abgekühlte Luftvolumen pro Grundfläche erfolgen.                                                                                                                                                                                               |
| <b>Klimatop</b>                                                         | Fläche mit einer einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaft werden in der Landschaftsökologie sowie in der Stadtklimatologie als Klimatop bezeichnet (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (2015)).                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Konvektion</b>                                                       | Vertikaler Luftaustausch; Aufsteigen erwärmter Luftmassen bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Latenter Wärmefluss</b>                                              | Umsetzung der Einstrahlung in die Verdunstung von Wasser, ohne eine Änderung der Lufttemperatur zu bewirken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>(Luft-) Leitbahn</b>                                                 | Parallel zur Windrichtung ausgerichtete Fläche von geringer → Rauigkeit, d.h. frei von flächiger Bebauung und hoher, dichter Vegetation (z.B. Wälder).                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Lufttemperatur</b>                                                   | Physikalisch betrachtet ist die Lufttemperatur ein Maß für den Wärmezustand eines Luftvolumens. Dieser wird bestimmt durch die mittlere kinetische Energie der ungeordneten Molekularbewegung in der Luft. Je größer die mittlere Geschwindigkeit aller Moleküle in einem Luftvolumen ist, umso höher ist auch seine Lufttemperatur.                                                                                             |

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Median</b>                             | Der Median oder Zentralwert bezeichnet einen Mittelwert. Der Median ist der mittlere Wert aus einer Liste an Werten, wenn diese der Größe nach sortiert werden. Der Median teilt demnach die Liste von Werten genau in der Mitte.                                                                                                                                                              |
| <b>Mesoklima</b>                          | Das Mesoklima (z.B. Stadt-, Gelände- und Regionalklima) erstreckt sich sub-regional bis lokal innerhalb der atmosphärischen → Grenzschicht und schließt Städte, Berge und Täler ein. Es wird von Relief, Klima, Oberflächenbedeckung und menschlichen Aktivitäten geprägt (Weischet & Endlicher (2018)).                                                                                       |
| <b>Mikroklima</b>                         | Atmosphärische Prozesse der bodennahen Luftschicht mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern. Der atmosphärische Zustand in diesem Bereich wird von den Eigenschaften der Oberfläche maßgebend geprägt, ist aber dennoch in das Großklima eingebettet. Die mikroklimatischen Phänomene sind bei → autochthonen Wetterlagen am stärksten ausgeprägt. |
| <b>Morbidität</b>                         | Häufigkeit der Erkrankungen innerhalb der Bevölkerung.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Mortalität</b>                         | Sterblichkeit, Sterberate der Bevölkerung.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Neutrale (Indifferente) Schichtung</b> | Eine neutrale oder indifferente Schichtung liegt vor, wenn ein Luftpaket bei Vertikalbewegungen stets die gleiche Temperatur wie die Umgebungsluft aufweist.                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Phänologische Phase</b>                | Die Phänologie befasst sich mit den Entwicklungserscheinungen der Natur, die aufgrund der Jahreszeitenwechsel auftreten. Die Phänologischen Phasen bezeichnen dabei die verschiedenen Phasen innerhalb eines Jahres, z.B. die Frühlingsphase, welche mit dem Austrieb der Pflanzen gekennzeichnet ist.                                                                                         |
| <b>Perzentil</b>                          | Ein Perzentil ist ein Wert auf einer Skala von Null bis Hundert, der den Prozentsatz an Datensatzwerten angibt, der gleich oder niedriger als er selbst ist. Das Perzentil wird oft genutzt, um die Extremwerte einer Verteilung abzuschätzen. So kann z.B. das 90. (10.) Perzentil verwendet werden, um die Schwelle für die oberen (unteren) Extremwerte zu bezeichnen                       |
| <b>PET</b>                                | Physiologisch Äquivalente Temperatur. Ein Index zur Beschreibung des thermischen Empfindens in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit sowie der Strahlungsflüsse unter Berücksichtigung der menschlichen Energiebilanz.                                                                                                                            |
| <b>Rauigkeit</b>                          | Ein Maß für die Rauigkeit ist der $z_0$ -Wert, der in Meter angegeben wird. Er beschreibt die Wirkung von Vegetation und Bebauung auf die bodennahe Strömungsreduktion.                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Sommertag</b>                          | Klimatologische Kenngröße: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$ beträgt.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Strahlungsantrieb</b>                  | Netto-Strahlungsflussdichte an der Tropopause, welche z.B. durch die veränderte Konzentration von Treibhausgasen zustande kommt.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Strahlungsbilanz</b>                   | Die Strahlungsbilanz ist die Differenz aus der Einstrahlung und Ausstrahlung auf eine Oberfläche. Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche wird dabei hauptsächlich von der solaren, kurzwelligen Einstrahlung und der terrestrischen, langwelligen Ausstrahlung bestimmt.                                                                                                                       |
| <b>Strömungssystem</b>                    | Stabil ausgebildete Kaltluftabflüsse und Flurwinde in der zweiten Nachthälfte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Urbane Wärmeinsel</b>                  | Siedlungsraum, der vor allem abends und nachts während → autochthonen Wetterlagen eine höhere Lufttemperatur aufweist als die ländliche Umgebung.                                                                                                                                                                                                                                              |

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Volumenstromdichte</b> | Die Kaltluft-Volumenstromdichte ist ein Maß für die Menge der abfließenden → Kaltluft. Sie wird angegeben in Kubikmeter pro Sekunde und Querschnitt der Breite 1 Meter über die gesamte betrachtete Luftschichtmächtigkeit.                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Vulnerabilität</b>     | Die Vulnerabilität bezeichnet die Verwundbarkeit oder Verletzbarkeit der Bevölkerung aufgrund von klimatischen Extremereignissen wie beispielsweise Hitzeperioden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Wahre Ortszeit</b>     | Die auf den Sonnenstand bezogene Zeit. Die Sonne steht um 12:00 Uhr wahrer Ortszeit im Zenit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Wärmebelastung</b>     | Wärmebelastung liegt vor, wenn der menschliche Organismus Probleme bekommt, die Kerntemperatur von 37 °C zu halten. Die Wärmebelastung wird anhand von Wärmehaushaltsmodellen des Menschen ermittelt. Dabei gehen neben physiologischen Größen die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Strahlungsströme und die Windgeschwindigkeit ein. Besondere Belastungssituationen ergeben sich insbesondere bei einer längeren Dauer der Wärmebelastung, z.B. in Hitzeperioden. |
| <b>Wirkungsraum</b>       | Raum, in den die → Kaltluft oder → Frischluft eindringt. Ist der Wirkungsraum bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet wird er auch als → Belastungsraum oder belasteter Wirkungsraum bezeichnet.                                                                                                                                                                                                                                                                 |