



**EISENACH**  
DIE WARTBURGSTADT



# Klimawirkungsanalyse der Stadt Eisenach

## Teil I – Stadtklimaanalyse



Stand: Dezember 2024

# Impressum

## Auftraggeberin:

EISENACH



Stadtverwaltung Eisenach  
Fachdienst 51 – Stadtentwicklung  
Markt 22  
99817 Eisenach  
E-Mail: klimaschutz@eisenach.de  
Internet: www.eisenach.de

Leitung:  
Dipl.-Ing. Kerstin Menge  
Dipl.-Ing. Andreas Diedrich

Bearbeitung:  
Anne Häring, M. Eng.

## Auftragnehmerin:

**INKEK** Institut  
für Klima- und  
Energiekonzepte

INKEK GmbH  
Schillerstraße 50  
34253 Lohfelden  
E-Mail: info@inkek.de  
Internet: www.inkek.de

Projektleitung:  
Dipl.-Ing. Sebastian Kupski



Weatherpark GmbH  
Meteorologische Forschung und Dienstleistungen  
Ingenieurbüro für Meteorologie  
Lindengasse 5/5  
A-1070 Wien  
E-Mail: info@weatherpark.com  
Internet: www.weatherpark.com

Qualitätssicherung: Prof. Dr. Lutz Katzschner

Die Erstellung des Gutachtens erfolgte nach Stand der Technik sowie nach bestem Wissen und Gewissen. Klimatische Analysen und Wetterbedingungen unterliegen einer entsprechenden Variabilität, das tatsächliche Eintreten kann naturgemäß nicht sicher prognostiziert werden.

## Förderinformation

### Klima-Invest

Richtlinie des Landes Thüringen zur Förderung  
von Klimaschutzmaßnahmen in Kommunen

### Finanzierung durch den:



Die Erstellung der Klimawirkungsanalyse wurde im Rahmen der Richtlinie des Freistaats Thüringen zur Förderung von Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungsmaßnahmen in Kommunen unter dem Förderkennzeichen 2022 KAM 0365 mit Mitteln des Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie, Naturschutz und Forsten gefördert.

Dieser Bericht darf nur unverkürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung, auch auszugsweise, bedarf der Genehmigung durch die Stadt Eisenach.

Bildnachweis Titelbild: Ulrike Huber, Kolbermoor

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildungsverzeichnis .....                                                                             | II  |
| Tabellenverzeichnis .....                                                                               | III |
| 1 Hintergrund .....                                                                                     | 1   |
| 2 Einleitung und Aufgabenstellung .....                                                                 | 2   |
| 2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen und Stand der Technik .....                                            | 4   |
| 2.2 Stadtklimatische Bewertung .....                                                                    | 7   |
| 3 Methodik .....                                                                                        | 9   |
| 3.1 Einführung Klimaanalysekarte .....                                                                  | 9   |
| 3.2 Erstellung von Klimaanalysekarten .....                                                             | 10  |
| 3.3 Vorgehensweise anhand von Themen .....                                                              | 12  |
| 3.4 Kaltluftmodellierung mit KLAM_21 .....                                                              | 13  |
| 3.5 Analysen zur Lufthygiene .....                                                                      | 16  |
| 4 Datengrundlage und Untersuchungsraum .....                                                            | 18  |
| 4.1 Datenbestand Klimaanalyse Eisenach .....                                                            | 18  |
| 4.2 Meteorologische Einordnung .....                                                                    | 19  |
| 4.2.1 Klimamessstation Eisenach .....                                                                   | 19  |
| 4.2.2 Allgemeines .....                                                                                 | 20  |
| 4.2.3 Windklima .....                                                                                   | 20  |
| 4.2.4 Hitze .....                                                                                       | 21  |
| 4.3 Intensivmesskampagne .....                                                                          | 24  |
| 4.3.1 Stationäre Messungen .....                                                                        | 24  |
| 4.3.2 Profilmessfahrt .....                                                                             | 27  |
| 4.3.3 Evaluation der Kontrollmesskampagne .....                                                         | 30  |
| 5 Klimaanalysekarte Bestand .....                                                                       | 31  |
| 5.1 Klimaanalysekarte anhand von Klimatopen .....                                                       | 31  |
| 5.2 Legende der Klimaanalysekarte der Stadt Eisenach .....                                              | 36  |
| 5.3 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – 2023 .....                                                       | 38  |
| 5.4 Klimaanalysekarte und lufthygienische Verhältnisse Stadt Eisenach .....                             | 39  |
| 6 Klimaanalysekarte Zukunft .....                                                                       | 40  |
| 6.1 Voraussichtliche Auswirkungen des projizierten Klimawandels .....                                   | 40  |
| 6.2 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – nahe Zukunft (2021-2050) .....                                   | 41  |
| 6.3 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – ferne Zukunft (2071-2100) .....                                  | 42  |
| 7 Vulnerabilitätsanalyse Eisenach .....                                                                 | 43  |
| 7.1 Verortung von sensibler Infrastruktur zur Identifizierung stadtklimatischer<br>Vulnerabilität ..... | 43  |

|     |                                                                                                      |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2 | Sozio-Demografische Betroffenheitsanalyse zur Identifizierung stadtklimatischer Vulnerabilität ..... | 45 |
| 8   | Planungshinweiskarte und Maßnahmenkatalog .....                                                      | 47 |
| 8.1 | Einführung und Methodik .....                                                                        | 47 |
| 8.2 | Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach .....                                                | 52 |
| 8.3 | Planungshinweiskarte Eisenach 2023 .....                                                             | 54 |
| 8.4 | Maßnahmenkatalog .....                                                                               | 55 |
| 9   | Beteiligungsprozess .....                                                                            | 56 |
| 10  | Fazit .....                                                                                          | 57 |
| 11  | Quellen .....                                                                                        | 58 |
| 12  | Anlagen .....                                                                                        | 60 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |                                                                                         |    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1:  | Blick aus Osten auf die Innenstadt und Wartburg.....                                    | 2  |
| Abbildung 2:  | Übersicht der Planungs- und Klimatebenen.....                                           | 5  |
| Abbildung 3:  | Thermischer Wirkungskomplex, bioklimatische Bedingungen im Außenraum.....               | 8  |
| Abbildung 4:  | Schematische Darstellung der Analysemethode in mod_GIS.....                             | 9  |
| Abbildung 5:  | Schematische Darstellung der städtischen Wärmeinsel.....                                | 10 |
| Abbildung 6:  | Funktionsanalyse und -synthese der unterschiedlichen Eingangsdatensätze .....           | 12 |
| Abbildung 7:  | Schematisches Vorgehen zur Erstellung der Klimaanalysekarte der Stadt Eisenach .....    | 13 |
| Abbildung 8:  | Kaltfluthöhe, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung.....                         | 14 |
| Abbildung 9:  | Kaltluftvolumenstrom, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung .....                | 15 |
| Abbildung 10: | Schadstoffverlauf in der Atmosphäre .....                                               | 16 |
| Abbildung 11: | Lufthygienische Verhältnisse Eisenach 2023 .....                                        | 17 |
| Abbildung 12: | Unterschiedliche Rasterweiten - links: Landnutzung, rechts: digitales Geländemodell.... | 18 |
| Abbildung 13: | Standort der Klimamessstation Eisenach des DWD .....                                    | 19 |
| Abbildung 14: | Verteilung des Jahresniederschlags für den Zeitraum 1989 - 2018 in Thüringen .....      | 20 |
| Abbildung 15: | Verteilung Volumenstromdichte von Kaltluftsystemen für den Zeitraum 1989-2018 ....      | 21 |
| Abbildung 16: | Windrose der Station Eisenach .....                                                     | 21 |
| Abbildung 17: | Entwicklung der Sommertage seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach. ....             | 22 |
| Abbildung 18: | Entwicklung der Hitzetage seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach .....              | 22 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 19: Entwicklung der Tropennächte seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach .....                                                        | 23 |
| Abbildung 20: Verteilung der Sonnenscheindauer für den Zeitraum 1989-2018 in Thüringen .....                                                       | 23 |
| Abbildung 21: Lage der Messstationen im Eisenacher Stadtgebiet .....                                                                               | 25 |
| Abbildung 22: Auswertung unterschiedlicher Tagesgänge, dargestellt durch die Lufttemperatur in °C<br>10.08. - 12.08.2023 (Daten: INKEK GmbH) ..... | 26 |
| Abbildung 23: Messfahrzeug der INKEK GmbH bei der Messkampagne im Sommer 2023.....                                                                 | 28 |
| Abbildung 24: Auswertung Temperaturmessfahrt am 11. August 2023 in den frühen Nachtstunden...                                                      | 29 |
| Abbildung 25: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023, Teil 1.....                                                                       | 36 |
| Abbildung 26: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023, Teil 2.....                                                                       | 37 |
| Abbildung 27: Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023 .....                                                                                          | 38 |
| Abbildung 28: Klimaanalysekarte und lufthygienische Verhältnisse Stadt Eisenach 2023 .....                                                         | 39 |
| Abbildung 29: Klimaanalysekarte nahe Zukunft (2021 - 2050) Stadt Eisenach .....                                                                    | 41 |
| Abbildung 30: Klimaanalysekarte ferne Zukunft (2071-2100) Stadt Eisenach.....                                                                      | 42 |
| Abbildung 31: Verortung empfindlicher Infrastruktur Stadt Eisenach 2023.....                                                                       | 44 |
| Abbildung 32: Soziodemographische Betroffenheit Stadt Eisenach 2023 .....                                                                          | 46 |
| Abbildung 33: Empfohlene Anwendungsreihenfolge bei der Verwendung von Stadtklimakarten .....                                                       | 47 |
| Abbildung 34: Exemplarische Darstellung unterschiedlicher Ausgleichsräume (beispielhafte Orte) .....                                               | 48 |
| Abbildung 35: Exemplarische Darstellung unterschiedlicher Lasträume (beispielhafte Orte).....                                                      | 48 |
| Abbildung 36: Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023 Teil 1 .....                                                                    | 52 |
| Abbildung 37: Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023 Teil 2 .....                                                                    | 53 |
| Abbildung 38: Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023 .....                                                                                       | 54 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET .....            | 8  |
| Tabelle 2: Eingangsdaten Klimaanalyse Eisenach .....                                         | 18 |
| Tabelle 3: Maßnahmenkatalog mit räumlichen Planungsempfehlungen und informellen Maßnahmen .. | 55 |

## 1 Hintergrund

Im Rahmen der Klimawirkungsanalyse der Stadt Eisenach wurde ein Klimagutachten für das gesamte Stadtgebiet erarbeitet. Damit steht eine Grundlage für eine nachhaltige klimaresiliente und klimaangepasste Stadtentwicklung und Bauleitplanung zur Verfügung.

Laut der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS Fortschrittsbericht, BMUV 2020) nimmt die Stadt- und Raumplanung eine „Schlüsselrolle im Bereich der Klimaanpassung“ ein. Da sich die zunehmende Hitzebelastung negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt, ist im Themenbereich „Stadtklima und Luftqualität“ ein großer Handlungsbedarf gegeben. Eine zusammenfassende und aktuelle Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels, auf die hier Bezug genommen wird, findet sich u. a. in „Klimawandel in Deutschland“ von Brasseur et al. (2023).

Die rechtliche Grundlage der Notwendigkeit stadtklimatischer Erhebungen im Planungsprozess, auch vor dem Hintergrund des projizierten globalen Klimawandels, stellt neben dem Raumordnungsrecht insbesondere das Baugesetzbuch (BauGB) dar. Gemäß § 1 Absatz 5 Satz 2 BauGB sollen Bauleitpläne u. a. dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, speziell auch in der Stadtentwicklung, zu fördern. Gemäß § 1 Absatz 6 Ziffer 7 BauGB sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen u. a. die Schutzgüter „Luft“ und „Klima“ zu berücksichtigen, entsprechend sollen Fachinformationen in Stadtklimakarten umgesetzt und durch daraus abgeleitete Planungshinweiskarten ergänzt werden.

Die Stadt Eisenach hat ein umfassendes Klimaschutzkonzept beschlossen, das unter anderem die Erstellung einer Stadtklimaanalyse mit den Schwerpunkten Hitzebelastung, Kaltluftentstehung und Frischluftschneisen vorsieht. Es ist beabsichtigt eine Klimaanalysekarte mit abgeleiteter Planungshinweiskarte nach VDI-Richtlinien erstellen zu lassen. Die Klimaanalysekarte soll aktuelle, hochauflösende Basisinformationen zur Beschreibung und Bewertung des Stadtklimas leisten. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Stadt in ihrer Klimaresilienz zu stärken sowie zu steigern, indem sie umfassend sowohl in der Ist-Situation als auch mit Hilfe von Zukunftsszenarien analysiert wird, um Grundlagen für die räumliche Interpretation zur Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen etc. zu erhalten, womit flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. Zudem sollen Aussagen zur Vulnerabilität und zur Klimaanpassung (Meso- und Mikroklima) in die Betrachtung integriert und Planungsempfehlungen daraus abgeleitet werden.

Eisenach hat ca. 40.000 Einwohnende auf einer Gesamtfläche von 103,85 km<sup>2</sup>. Das Oberzentrum liegt im Westen Thüringens und somit mittig in Deutschland und Europa. Das Stadtgebiet ist von 37,52 km<sup>2</sup> Waldflächen und 45,39 km<sup>2</sup> landwirtschaftlicher Nutzflächen geprägt. 7,44 km<sup>2</sup> entfallen auf bebaute Flächen, 6,10 km<sup>2</sup> auf Verkehrsflächen und 1,12 km<sup>2</sup> auf Gewerbe- und Industrieflächen. Die Höhe über Normalnull liegt in Eisenach auf 215 m (Markt) bis 410 m (Wartburg). Die Stadt ist von hügeliger und waldreicher Landschaft geprägt. Der Nationalpark Hainich liegt im Norden der Stadt, der Thüringer Wald im Südosten und das Werratal liegt westlich der Stadt (Stadt Eisenach 2024).

Die unbebauten Flächen und Waldstücke wirken als Frisch- und Kaltluftproduzenten. Die von den bewaldeten Hängen im südlichen Bereich des Stadtgebietes abfließende Kaltluft wird durch die Bachtäler

in die Innenstadt geleitet und trägt dort an heißen Tagen zur Abmilderung des lokalen Klimas bei. Ebenso erfolgt ein großräumiger Kaltluftabfluss von den nördlichen Wiesen- und Ackerflächen, der zudem vom regionalen Kaltluftstrom ergänzt wird.



*Abbildung 1: Blick aus Osten auf die Innenstadt und Wartburg, eingebettet in eine hügelige Landschaft.*

Basis für die Erstellung der Analyse bildet dabei die aktuelle Fassung der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1: 2015-09 (Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen).

Nach einer Einleitung zur Klimaanalyse wird die Aufgabenstellung erläutert (siehe Kapitel 2), anschließend wird die methodische Herangehensweise zur Anfertigung von Stadtklimaanalysen ausführlich erläutert (Kapitel 3). Daran schließt sich das Kapitel 4 an, das sowohl die Datengrundlage näher erläutert als auch die meteorologische Einordnung vornimmt und die Intensivmesskampagne beleuchtet, deren Messergebnisse Teil der Klimaanalysekarte sind. Das Kapitel 5 beinhaltet die eigentlichen stadtklimatischen Betrachtungen. Hier wird die Bestandssituation mit aktueller Bebauung (Stand 2022) dargestellt und erläutert. Als Ergebnis wird die Klimaanalysekarte 2023 (Bestand) vorgestellt. In Kapitel 6 wird das Klima der Zukunft analysiert sowie die entsprechende Klimaanalysekarte der nahen und fernen Zukunft vorgestellt. Kapitel 7 beinhaltet die Vulnerabilitätsanalyse, die sowohl die sensiblen Infrastrukturen als auch die sozio-demografische Betroffenheit fokussiert. In Kapitel 8 wird die Planungshinweiskarte betrachtet. Sie basiert auf der Klimaanalysekarte, den Auswirkungen des projizierten Klimawandels und der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung und enthält konkrete Planungsempfehlungen mit Verortung für Eisenach. Während der Erstellung der Stadtklimaanalyse für Eisenach fand ein Beteiligungsprozess statt, der in Kapitel 9 beschrieben wird. In Kapitel 10 erfolgt die Schlussbetrachtung.

## 2 Einleitung und Aufgabenstellung

Der ausgeprägte Hitzesommer im Jahr 2018 und die ebenfalls sehr heißen Folgejahre 2019 und 2020 zeigten durch die extrem langen und trockenen Hitzephasen die projizierten Auswirkungen des voranschreitenden Klimawandels auf. Auch der Sommer 2023 war zum 27. Mal in Folge in Deutschland zu warm (Bilanz Deutscher Wetterdienst (DWD) 30.08.2023). Insbesondere heiße Tage sind belastend für den menschlichen Körper und wirken sich somit direkt auf die Gesundheit aus. Aber auch bauliche Infrastrukturen können durch dauerhaft hohe Temperaturen beeinträchtigt werden und urbane Lebensqualität mindern.

Bereits im Jahr 1992 wurde ein klimaökologisches Gutachten angefertigt, welches auf ein temporäres Messnetz sowie computergestützte Simulationen aufbaute. Die räumlichen und klimatischen Rahmenbedingungen sind abgesehen von der Veränderung der Flächennutzung und Bebauung seither wenig verändert. Veränderungen gab es seitdem in der Bebauungsstruktur, in der Qualität der digitalen Daten sowie in den Möglichkeiten aktueller Simulationswerkzeuge. Durch die oben beschriebenen Hitzeereignisse, die im Zuge des projizierten Klimawandels an Intensität und Häufigkeit zunehmen werden, liefert die aktuelle Untersuchung einen wichtigen Beitrag zu einer klimasensiblen Stadtentwicklung.

Das Stadtklima setzt sich dabei aus zwei Komponenten zusammen, da es sowohl durch thermische (Überwärmung) als auch dynamische Aspekte (Belüftung) geprägt wird. Starken Einfluss hat dabei der Mensch, da durch seinen Eingriff in die Umwelt auch die klimatischen Bedingungen beeinflusst und verändert werden. Ausgehend von einem hohen Versiegelungsgrad der Oberflächen, dem teilweise sehr geringen Vegetationsanteil, der Wärmespeicherfähigkeit der verwendeten Materialien sowie dem eingeschränkten Luftaustausch aufgrund der hohen Bodenrauigkeit stellt der städtische Raum im Vergleich zum Umland eine veränderte klimatische Ausgangslage dar. Darüber hinaus wird das Stadtklima auch im Bezug zum Klimawandel betrachtet und bewertet (Kuttler et al. 2023).

Ziel dieser Untersuchung ist es, das Gebiet in der Ist-Situation sowie in der Zukunft detailreich zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation der Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen zu erhalten. Auf diese Weise sollen flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. In der generierten Klimaanalysekarte (KAK) können die klimatischen Wechselwirkungen der Klimatope (d. h. Gebiete ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung) sowie lokale als auch regionale dynamische Prozesse (z. B. Luftleitbahnen, Kalt- und Frischluftabflüsse) abgelesen werden. Geeignete Wetterlagen für stadtklimatische Untersuchungen laut DMG (Deutsche Meteorologische Gesellschaft) sind:

„Für das Erkennen von lokalklimatischen Einzelheiten geeignete Wetterlagen sind von hohem Luftdruck geprägt, bei denen nur geringe Windgeschwindigkeiten auftreten und nur geringe oder keine Bewölkung vorhanden ist. Die geringe Windgeschwindigkeit verhindert die Zufuhr von neuen Luftmassen: Innerhalb einer einheitlichen Luftmasse erreichen die lokalklimatischen Eigenheiten ihre größten Gegensätze. Geringe oder fehlende Bewölkung bewirkt einen sehr ausgeprägten Tagesgang nahezu aller Klimaelemente, z. B. Temperatur, Feuchte und Wind.“

## 2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen und Stand der Technik

Das Signal, welches von Klimaveränderungen ausgeht, wird sich in Stadtgebieten verstärkt auswirken. Die Zunahme an austauscharmen Strahlungswetterlagen vermehrt den Hitzestress vor allem innerhalb windschwacher Stadträume. Zu beachten ist somit, wie sich der Wärmeinseleffekt und die Belüftung auf die Lufthygiene und den thermischen Komfort auswirken.

Damit Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind und lebenswerte urbane Räume weiterhin ermöglicht werden, muss die Planung schon heute städtebauliche Prozesse so optimieren, dass die thermischen Belastungen auch unter extremen Hitzebedingungen sowohl im Freien als auch in den Innenräumen auf ein erträgliches Maß begrenzt bleiben. Praxistaugliche Planungsleitfäden werden auf den unterschiedlichen Ebenen in den Bundesländern entwickelt. Solche Konzepte beinhalten u. a., auf welche Weise in bestehenden städtischen Strukturen der Hitzestress für Menschen minimiert werden kann, sodass ihr thermischer Komfort nur in erträglichem Ausmaß beeinträchtigt wird.

Richtlinien werden vor dem Hintergrund einer stadtplanerischen Anwendung erstellt, um mit einheitlicher und standardisierter Untersuchungsmethodik und Ergebnisdarstellung zur Bewertung des Stadtklimas zu kommen (Baumüller und Katzschner 2023). Bei der Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene im Bereich der Stadtplanung ist es von größter Bedeutung, nicht nur auf die Darstellung der großräumigen, mittleren klimatischen Verhältnisse einzugehen. Zu empfehlen ist die differenzierte Betrachtung der einzelnen innerstädtischen Bereiche unter Berücksichtigung der großräumigen Einflüsse. Dies sollte anhand einer ausgeprägten windschwachen Strahlungswetterlage, welche die lokalklimatischen Belastungen am stärksten ausbildet, geschehen. So können gegenseitige Wechselwirkungen und Summationseffekte realitätsnah herausgearbeitet werden und in Planungshinweise für eine klimasensible Entwicklung übersetzt werden.

Das Mesoklima wird danach typischerweise der Stadtentwicklungsplanung und dem Flächennutzungsplan im Maßstab 1 : 25.000 bis 1 : 10.000 zugeordnet, während die verbindliche Bauleitplanung im Maßstab von 1 : 2.000 auf der mikroklimatischen Ebene bearbeitet werden muss (siehe Abbildung 2).

| PLANUNGSEBENE                                                      |  |                                             | KLIMAEBENE                                                                                                       | FACHBEITRAG KLIMA                                                                                 | ANPASSUNGSTRATEGIEN                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Regionalplan</b><br><b>M 1:100.000</b>                          |  | <b>MESO-KLIMA</b><br><br><b>MIKRO-KLIMA</b> | <b>REGIONALKLIMA</b><br>Thermisch und topografisch bedingte Prozesse<br><b>Modellauflösung 50 - 100m</b>         | Klimazone, Regionalklimaanalyse (Luftaustauschprozesse, Überwärmung)                              | Vorrang- und Vorbehaltsgebiete „Klima“ (Luftaustausch und Flächenverteilung)                                              |
| <b>Stadtentwicklung / Flächennutzungsplan</b><br><b>M 1:10.000</b> |  |                                             | <b>STADTKLIMA</b><br>Klimatope, Stadtstrukturtypen, „local climat zones“<br><b>Modellauflösung 10 - 20m</b>      | Wechselwirkung Oberfläche – Atmosphäre Stadtklimaanalyse (Wärmeinsel Stadt, Belüftungsstrukturen) | Festsetzungsempfehlung „Klima“ (Vernetzung von Grünflächen, Belüftungskorridore, Flächennutzung, Gebäudevolumen)          |
| <b>Bauleitplanung / Stadtteil, Bezirk</b><br><b>M 1:5.000</b>      |  |                                             | <b>FREIRAUMKLIMA</b><br>Versiegelung, Gebäudekomplex und Vegetationsverteilung<br><b>Modellauflösung 2 - 10m</b> | Stadtklimaanalyse (Lokaler Luftaustausch Thermische Wechselwirkungen)                             | Maß der baulichen Nutzung (Gebäudestruktur, Freiflächenverteilung, Vernetzung und Ausstattung von Grünflächen, Belüftung) |
| <b>Freiraumplanung Quartier</b><br><b>M 1:2.000</b>                |  |                                             | <b>LOKALKLIMA</b><br>Straßenraum- und Innenhofklima<br><b>Modellauflösung ≤ 2m</b>                               | Mikroklimaanalyse (Bioklima, Temperaturen, Strahlung, Wind)                                       | Freiraumgestaltung (Gebäudestellung, Oberflächen, Versiegelung sowie Vegetationsart und –verteilung)                      |
| <b>Objektplanung</b><br><b>M 1:1.000</b>                           |  |                                             | <b>GEBÄUDEKLIMA</b><br>Einzelne Bauwerke, Bäume, Materialien und Farben<br><b>Modellauflösung ≤ 1m</b>           | Mikroklimaanalyse (Bioklima, Strahlungsbilanzen und Gebäudeumströmung)                            | Auswirkung auf den Menschen (Schattenwurf, Oberflächen, Versiegelung)                                                     |

Abbildung 2: Übersicht der Planungs- und Klimaebenen

Stadtklimatologie erstreckt sich über die Bereiche Stadtplanung und Architektur, Gebäude- und Bauleitplanung sowie Quartiers- und Stadtentwicklungsplanung. Sie unterstützt den Anwendenden bei der Bewertung der thermischen und lufthygienischen Situation und der Auswirkung von Neubauf lächen, Innenentwicklungs- oder Konversionsmaßnahmen, Stadtrückbau sowie Einzelbaumaßnahmen. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen den städtischen Faktoren und der Atmosphäre.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) verfasst Richtlinien und standardisierte Verfahren zur Erstellung von Klimakartenanalysen, um sie vergleichbar zu machen. Hierzu existieren einschlägige VDI-Richtlinien der Reihe 3787.

Vorgehensweise nach VDI RL 3787 Blatt 1 (Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen: 2015-09):

„In der vorliegenden Richtlinie wird beschrieben, wie stadtklimatische Sachverhalte in Karten dargestellt, bewertet und über daraus abgeleitete Hinweiskarten für die Planung nutzbar gemacht werden können.

Diese Karten stellen eine wichtige Grundlage für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung auf kommunaler und regionaler Ebene dar und gewinnen im Zuge des Klimawandels und der Umweltgerechtigkeit zunehmend an Bedeutung.

Hinsichtlich der dargelegten Aspekte zur Human-Biometeorologie wird auf die Richtlinie VDI 3787 Blatt 2 (Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima) verwiesen, die wichtige, im Rahmen von

Bewertungen der Wärmebelastung zu berücksichtigenden Faktoren ausführlich beschreiben und zudem die Grundlage dieser Richtlinie darstellen.“

VDI 3787 Blatt 5 (Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft) schildert die Notwendigkeit, lokale Kaltluft in der Raumplanung zu berücksichtigen. Dies ergibt sich u. a. daraus, dass die Nutzung von Freiräumen in deutlicher Wechselwirkung mit Kaltluftentstehung und Kaltluftströmung steht. Des Weiteren gewinnt die lokale Kaltluft über die bisherige Evidenz hinaus durch den projizierten Klimawandel an Bedeutung.“

Zusammenfassend werden in den relevanten Richtlinien folgende stadtklimatische Fragestellungen aufgegriffen (Baumüller und Katzschner 2023):

- räumliche Ausprägung und Wirksamkeit des Luftmassenaustauschs (Be- und Entlüftung);
- räumlich zeitliche Ausprägung der thermischen und lufthygienischen Aspekte des Stadtklimas bzw. Auftreten von thermischen Belastungen (Besonnungs-, Verschattungsverhältnisse);
- räumliche Darstellung und Bewertung der Wirkungs- und Belastungsräume;
- energetische Optimierung durch Standortbestimmung aus der Stadtklimaanalyse mit Überwärmungsräumen und Kaltluftgebieten, Baudichte.

Die Aufgabe einer planungsbezogenen Stadtklimatologie ist die Verbesserung der lufthygienischen und thermischen Bedingungen (Katzschner 2004):

- Abbau von Wärmeinseln (Wärmeinsel als Indiz für den thermischen Komfort), Freiraumplanung;
- Optimierung der städtischen Belüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen), Stadtplanung und Stadtentwicklung für die Lufthygiene und den thermischen Komfort;
- Vermeidung von Luftstagnation bei Inversionswetterlagen, Vermeidung von Barrieren für den Luftaustausch;
- Erhaltung und Förderung von Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebieten für den Luftaustausch und somit zur Verbesserung der lufthygienischen Situation.

#### *Planungsrelevanz*

In diesem Fachgutachten werden Stadträume hinsichtlich heißer, sommerlicher Tage bewertet (VDI 2024). Grund hierfür ist der nachgewiesene Zusammenhang zwischen der thermischen Belastung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Diese Tatsache wird in Zukunft durch den Einfluss des Klimawandels auch die Morbidität (Krankheitshäufigkeit) und Mortalität (Sterberate) signifikant steigern (Schlegel und Mücke 2021) und somit die Planungsrelevanz „Stadtklima“ noch stärker erhöhen.

Die berücksichtigten Richtlinien haben nicht den Status von Verordnungen oder Grenzwerten, so dass die hier getroffenen Aussagen informellen Charakter haben. Ergebnisse und abgeleitete Planungshinweise beziehen sich auf einen konkreten Ort und sollen die lokalen klimatischen Bedingungen verbessern, wodurch sie einen wichtigen Teil der Abwägungen im Planverfahren für eine klimasensible Entwicklung darstellen.

Planungshinweise verfolgen eine Verbesserung der klimatischen Bedingungen vor Ort heute und im Zuge des Klimawandels. Eine verbindliche Einhaltung stadtklimatischer Parameter, vergleichbar mit Grenzwerten, kann nicht verlangt werden.

Planerisch gesetzliche Instrumente sind im Baugesetzbuch, im „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung“ (UVP) und in der „strategischen Umweltprüfung“ (SUP) zu finden. Die allgemeinen Belange des Klimas können mithilfe von Stadtklimakarten qualitativ bewertet und in die Planungswerke integriert werden.

## 2.2 Stadtklimatische Bewertung

Grundlage der analysierten Klimatope bzw. deren Abgrenzungen bildet der stadtklimatische Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur“ (physiological equivalent temperature = PET) (vgl. Höppe 1999) und die nächtliche Kaltluft.

Die biometeorologische Kenngröße PET beschreibt unter Berücksichtigung der thermophysiologischen Zusammenhänge das thermische Empfinden des Menschen (Brandenburg und Matzarakis, 2007) und ist somit eine physikalische Kenngröße für das Wohlbefinden, das vom thermischen Wirkungskomplex, bzw. den bioklimatischen Bedingungen im Außenraum abhängig ist (siehe Abbildung 3). Dabei liegt das Behaglichkeitsniveau des Menschen bei einem PET-Wert zwischen 18 – 24 °C. Neutralität herrscht dann, wenn so viel Wärme vom menschlichen Körper aufgenommen wird, wie selbstständig wieder abgegeben werden kann.

Die nächtliche Kaltluft kann gerade bei einem ausgeprägten Relief die nächtliche Wärmebelastung reduzieren. Als thermisch bedingtes Windsystem während austauscharmer Wetterlagen können Kaltluftabflüsse überwärmte Stadträume entlasten. Eine Bewertungsgröße stellt der Kaltluftvolumenstrom [in  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ] und dessen Belüftungsfunktion von Siedlungsbereichen dar (Katzschner und Kupski 2019).

Für die Bewertung werden die beiden Parameter für die Grün- und Freiräume, sowie für die Siedlungsräume zunächst getrennt voneinander in die Planungshinweiskategorien eingeordnet. Im Folgeschritt findet eine Verortung der Klimafunktionen (Kaltluftabfluss) und weiteren Wechselwirkungen statt.



Abbildung 3: Thermischer Wirkungskomplex, bioklimatische Bedingungen im Außenraum

Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, werden die PET-Werte (angegeben in °C) in Abhängigkeit des Stressniveaus des Menschen in die Kategorien der Tabelle 1 eingeordnet.

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010)

| PET (°C) | subjektives Empfinden | Stressniveau            |
|----------|-----------------------|-------------------------|
| > 42     | sehr heiß             | extremer Hitzestress    |
| 35 – 41  | heiß                  | starker Hitzestress     |
| 29 – 34  | sehr warm             | moderater Hitzestress   |
| 25 – 28  | warm                  | schwacher Hitzestress   |
| 18 – 24  | neutral               | kein thermischer Stress |
| 13 – 17  | kühl                  | schwacher Kältestress   |
| < 13     | kalt                  | Kältestress             |

### 3 Methodik

Im Folgenden werden die in diesem Gutachten dargestellten Karten und deren Erstellung erläutert. Das Vorgehen wurde ursprünglich an der Universität Kassel, Fachgebiet Umweltmeteorologie (unter Leitung von Prof. Dr. Katzschner) nach den genannten VDI-Richtlinien entwickelt. Seit 2013 wird das Modell *mod\_GIS* erfolgreich bei einer Vielzahl nationaler und internationaler Stadtklimaanalysen eingesetzt (siehe Abbildung 4). Das Modell wird fortlaufend in unterschiedlichen Forschungsprojekten weiterentwickelt und durch differenzierte Messkampagnen in der Genauigkeit der Aussagekraft verbessert.

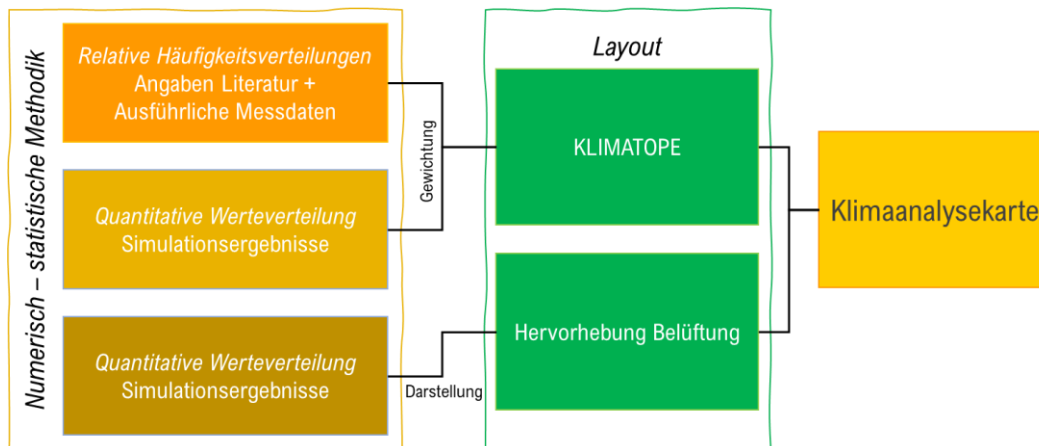


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Analysemethode in *mod\_GIS*

#### 3.1 Einführung Klimaaanalysekarte

Eine Klimaaanalysekarte (ehem. Klimafunktionskarte genannt) stellt ein klimaökologisches Gutachten dar, welches für eine bestimmte geografische Verortung angefertigt wird. In den VDI-Richtlinien (insbesondere VDI-RL 3787 Blatt 1) wird die Vorgehensweise zur Generierung einer Klimaaanalysekarte festgelegt. Grundlage ist stets die Analyse der Ist-Situation, also eine möglichst präzise Abbildung der realen Klimafunktionen im Untersuchungsraum. Für eine komplexe Abbildung des Bestands ist eine entsprechende Datenbasis Grundvoraussetzung. Aus klimaökologischen Gesichtspunkten sind Faktoren wie Relief und Fließgewässer ein erster Anhaltspunkt, um die natürlichen Bedingungen abzubilden. Analog hierzu spielen die anthropogenen Einflüsse eine entscheidende Rolle. Gerade in bebauten Gebieten hat die vom Menschen verursachte Veränderung der Erdoberfläche den größten und in den meisten Fällen auch negativsten Einfluss. Deshalb werden ebenso Daten bezüglich der Flächennutzung und Gebäudeinformationen benötigt. Je detaillierter die Eingangsdaten vorliegen, umso präziser und kleinteiliger können die Analysen ausfallen.

Neben den Geoinformationen ist das Wissen um klimarelevante Parameter von Bedeutung. Dabei ist die Lage eines verdichteten Stadtgebietes in Bezug auf Belüftung und regionale Windsysteme von besonderer Bedeutung. Aber auch lokale und kleinräumige Windzirkulationen entwickeln sich durch physikalische Prozesse und werden im Rahmen der Klimaaanalysekarte berechnet. Die räumliche Ausprägung der städtischen Wärmeinsel (UHI = Urban Heat Island) (siehe Abbildung 5) kann so bestimmt werden.

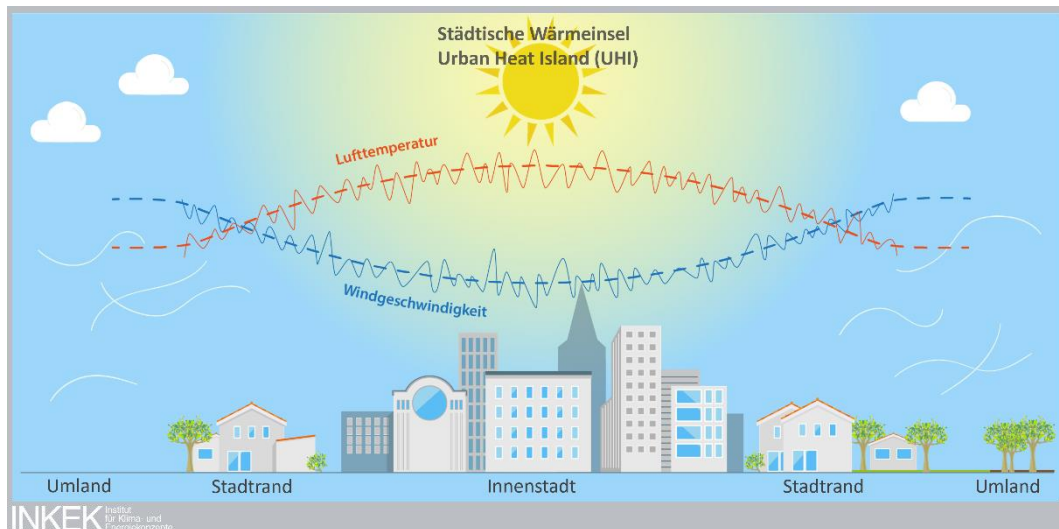


Abbildung 5: Schematische Darstellung der städtischen Wärmeinsel

### 3.2 Erstellung von Klimaanalysekarten

Bei der statistischen Verknüpfung verschiedenster Sachinformationen ist die Gewichtung bzw. die Einflussnahme der einzelnen Faktoren von großer Bedeutung. Da diese Faktoren aus klimatischen Gründen von Untersuchungsraum zu Untersuchungsraum unterschiedlich sind, besteht derzeit noch kein automatisiertes System zur Erstellung einer Klimaanalysekarte, eine Experteneinschätzung ist notwendig.

Klimatische Rahmenbedingungen sind sehr heterogen, was durch die geografische Lage, die absolute Höhe über dem Meeresspiegel des Untersuchungsgebietes oder durch eine kontinentale bzw. maritime Beeinflussung verursacht wird. Somit ist eine vorgeschaltete (regional-)klimatische Einordnung unumgänglich. Neben diesen übergeordneten Faktoren gibt es eine Vielzahl kleinräumiger Einflüsse. Auf einer kleineren Ebene können unterschiedliche Effekte wie Binnengewässer oder Tallagen die örtlichen klimatischen Verhältnisse stark prägen. Im weiteren Ablauf ist stets ein ausreichend großer Ausschnitt (der klimatische Wirkraum) als der abgegrenzte Untersuchungsraum zu betrachten.

Grundlegende klimaökologische Faktoren werden in Themen aufgearbeitet. Nach der Gruppierung der Themen in die beiden klimatischen Komponenten Dynamik und Thermik, die beide unterschiedlichen Einfluss auf die jeweiligen Ebenen des Stadtklimas haben, wird durch spezifische Funktionen und Algorithmen mit anschließender Generalisierung (Mesoklima) die Klimaanalysekarte aggregiert.

Die dynamische Komponente beinhaltet Luftbewegungen unterschiedlicher Skalierung, regionale Strömungen und lokale Windsysteme. Ein zusätzlich entscheidendes Thema der Dynamik ist die Einflussnahme der nächtlichen Kaltluft. Die entsprechenden Themenkarten wurden auf Grundlage des „Digitalen Geländemodells“ (DGM), der Oberflächenrauigkeit und von Windstatistiken angefertigt.

Das klimatische Wechselspiel beinhaltet neben der Belüftungssituation die thermischen Eigenschaften der Erdoberfläche. Da diese Komponente die Basis darstellt und dementsprechend flächendeckend kartiert sein muss, wurde als Grundlage das aktuelle digitale Landschaftsmodell der Region Eisenach verwendet. Dieser detaillierte Eingangsdatensatz wird um weitere Themen ergänzt, wobei der Oberflächen-

versiegelungsgrad Aufschluss über die Wärmespeicherkapazität und nächtliche Abkühlung gibt. In diesem Zusammenhang ist die Albedo (Rückstrahlvermögen) der Oberfläche eine zentrale Größe (Kupski 2017), da unterschiedliches Reflexions- und Absorptionsverhalten maßgeblich den Wärmehaushalt der städtischen Grenzschicht bestimmen (Oke 2006). In diesem Themenfeld ist der Effekt der Wärmeinsel Stadt besonders gut erkennbar, denn durch die Erwärmung der künstlichen Baumaterialien, gekoppelt mit der hohen Wärmespeicherleistung und der langsamen Abkühlrate, werden gerade in den Nachtstunden höhere Lufttemperaturen als im unbebauten Umland verursacht (Kuttler 2019, Scherer 2023).

### 3.3 Vorgehensweise anhand von Themen

Die in Kapitel 3.2 vorgestellten klimaökologischen Faktoren (Themen), die eine Klimaanalysekarte besonders aussagekräftig machen, sind allgemein in Abbildung 6 mit ihren Funktionen dargestellt:

| KLIMAÖKOLOGISCHE FAKTOREN (THEMEN)                                                                                                                                                                   |                                 | FUNKTIONSANALYSE                                                                                                                                                                                                                                                                  | FUNKTIONSSYNTHESE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Relieftypisierung</b><br>Herausarbeitung klimatisch relevanter topografischer Faktoren (z. B. Höhenrücken, Täler, Hangneigungen, Exposition, solare Einstrahlung)                                 | thermische + dynamische Analyse | <b>dynamische Komponente</b><br><br>Verknüpfung der dynamisch (und luft-hygienisch) relevanten Themen untereinander (Bestimmung z. B. der lokalen Belüftung sowie von Kalt- und /Frischlufteinstehungsgebieten, übergeordneten Luftleitbahnen und klimatischen Wechselwirkungen). | Klimaanalysekarten stellen die Verknüpfung der dynamischen und thermischen Themen in Bezug auf klimaökologische Potenziale, Defizite und Funktionen dar. Dadurch symbolisieren sie eine idealtypische Wiedergabe der real existierenden flächenbezogenen, klimaökologischen Situation als Ausgangsbasis für die klimaökologische Bewertung (Planungshinweiskarte). |
| <b>Kaltluftkategorisierung</b><br>Herausarbeitung der orografisch bedingten Schneisen und Abflussrichtungen (in Abhängigkeit der Relieftypisierung und der Strukturtypisierung/ Nutzungstypisierung) | dynamische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Strukturtypisierung</b><br>Herausarbeitung der nutzungsbedingten Oberflächenrauigkeit, differenziert nach klimatischer Relevanz (z. B. Barrierewirkung, Kanalisierung von Luftmassen)             | dynamische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Nutzungstypisierung</b><br>Herausarbeitung der thermischen Bedeutung unterschiedlicher Landnutzungen und Zusammenfassung mikroklimatisch ähnlicher Nutzungen                                      | thermische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Gebäudetypisierung</b><br>Herausarbeitung der gebäudeabhängigen Barrierewirkung und                                                                                                               | dynamische Analyse              | <b>thermische Komponente</b><br><br>Verknüpfung der thermischen Eigenschaften untereinander sowie mit den dynamischen Einflussfaktoren. (Bestimmung z. B. Kaltluftproduktion und des Abkühlungseinflusses, Überwärmungsbereiche der Siedlungsstrukturen sowie Summationseffekte). |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Herausarbeitung der gebäudeabhängigen thermischen Belastung durch die Wärmespeicherkapazität und Reflexion                                                                                           | thermische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Oberflächentypisierung</b><br>Herausarbeitung der versiegelten Bereiche und Generalisierung bestimmter Gebietstypen (Ergänzend zur Nutzungstypisierung)                                           | thermische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Vegetationstypisierung</b><br>Herausarbeitung der Grünflächen und Baumstandorte, kategorisiert nach klimatischer Relevanz (Ergänzend zur Nutzungstypisierung)                                     | thermische Analyse              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Abbildung 6: Funktionsanalyse und -synthese der unterschiedlichen Eingangsdatensätze

Das allgemeine Vorgehen aus Abbildung 6 zur Erstellung der Klimaanalysekarte wird in der Klimaanalyse Eisenachs durch die zur Verfügung stehenden Themen wie in Abbildung 7 umgesetzt.

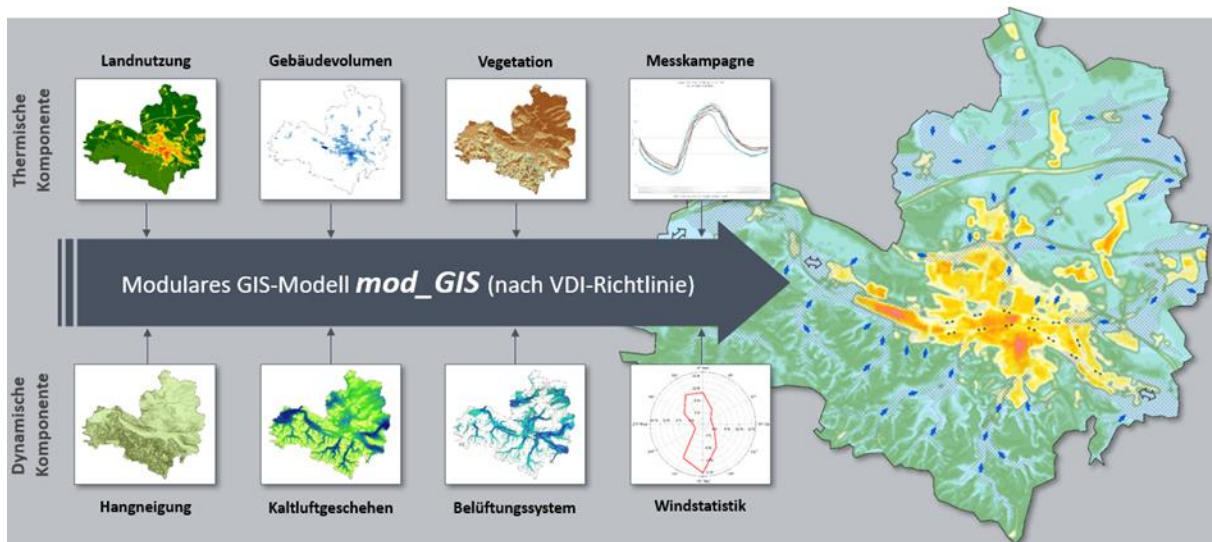


Abbildung 7: Schematisches Vorgehen zur Erstellung der Klimaanalysekarte der Stadt Eisenach

### 3.4 Kaltluftmodellierung mit KLAM\_21

KLAM\_21 ist ein 2-dimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell des Deutschen Wetterdienstes zur Berechnung von Kaltluftflüssen und -ansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten (DWD 2016).

Eingangsdaten: ATKIS® Basis-DLM Thüringen (Landnutzung).

Bearbeitung: Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine annähernd adiabatisch geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt eine geringe Bewölkung, angenommen (DWD 2016).

Für die Klimaanalyse der Stadt Eisenach wurde eine horizontale Auflösung von 10 m je Gitterzelle gewählt, um Aussagen zu den kleinräumigen klimatischen Wechselwirkungen, den teilweise scharf eingeschnittenen Tälern und den kaltluftproduzierenden Flächen treffen zu können.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse in Form der Kaltlufthöhe 180 Minuten nach Sonnenuntergang abgebildet. Die Kaltlufthöhe gibt flächendeckend die Höhe der Kaltluftschicht an. Diese ist abhängig von der Kaltluftproduktion der jeweiligen Fläche, sowie von den jeweiligen Kaltluftzuflüssen und Kaltluftabflüssen von benachbarten Flächen. Der Kaltluftvolumenstrom (Abbildung 9) ist das Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Kaltlufthöhe. Er gibt an, wie viel Kaltluft pro Zeiteinheit durch einen 1 m breiten Querschnitt (zur Flussrichtung, von der Erdoberfläche bis zur Kaltluftobergrenze) strömt. Der Kaltluftvolumenstrom bestimmt das Durchlüftungspotenzial in  $\text{m}^3/\text{ms}$ .

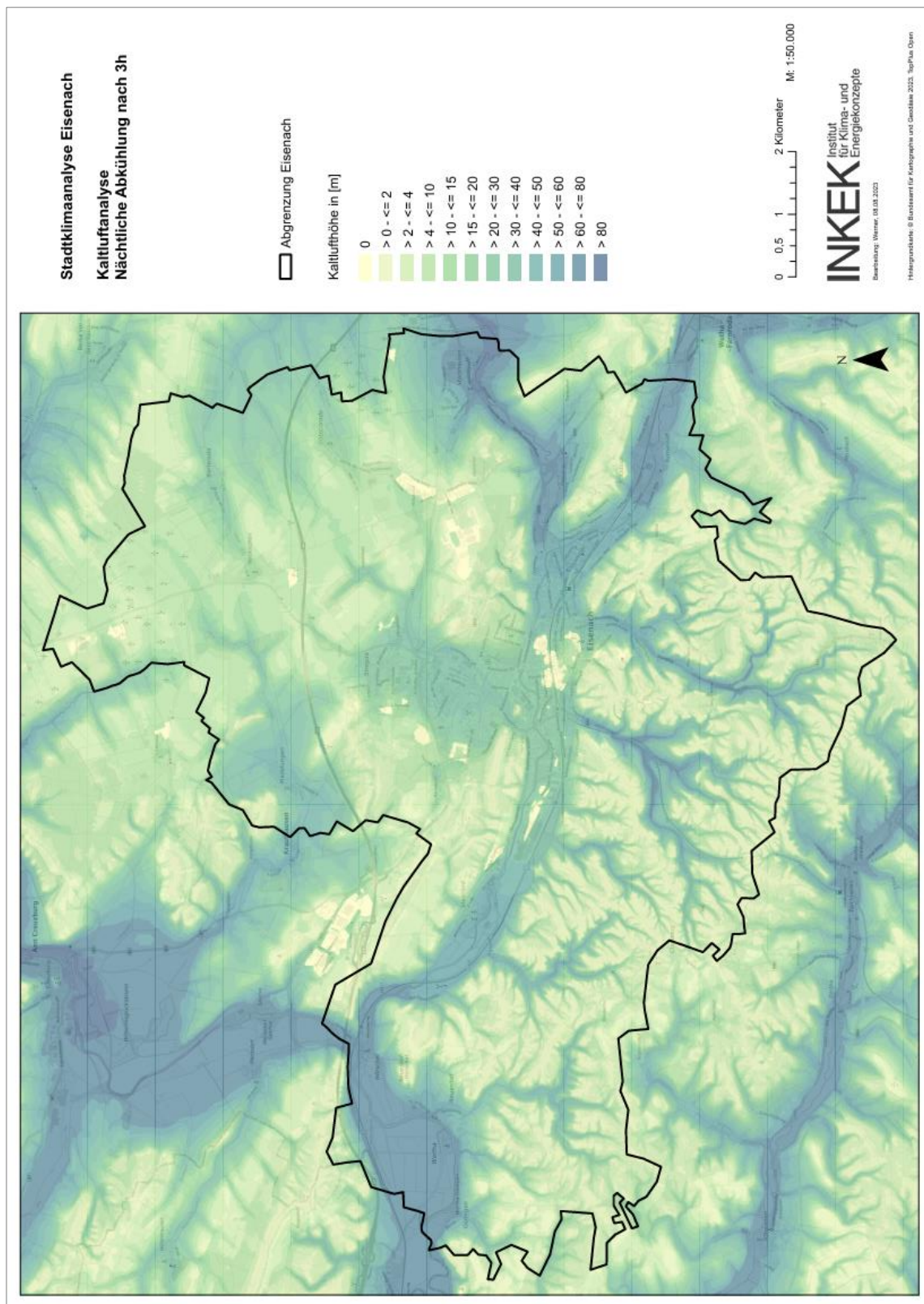


Abbildung 8: Kaltlufthöhe, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM\_21, ohne Maßstab (Original in Anhang)

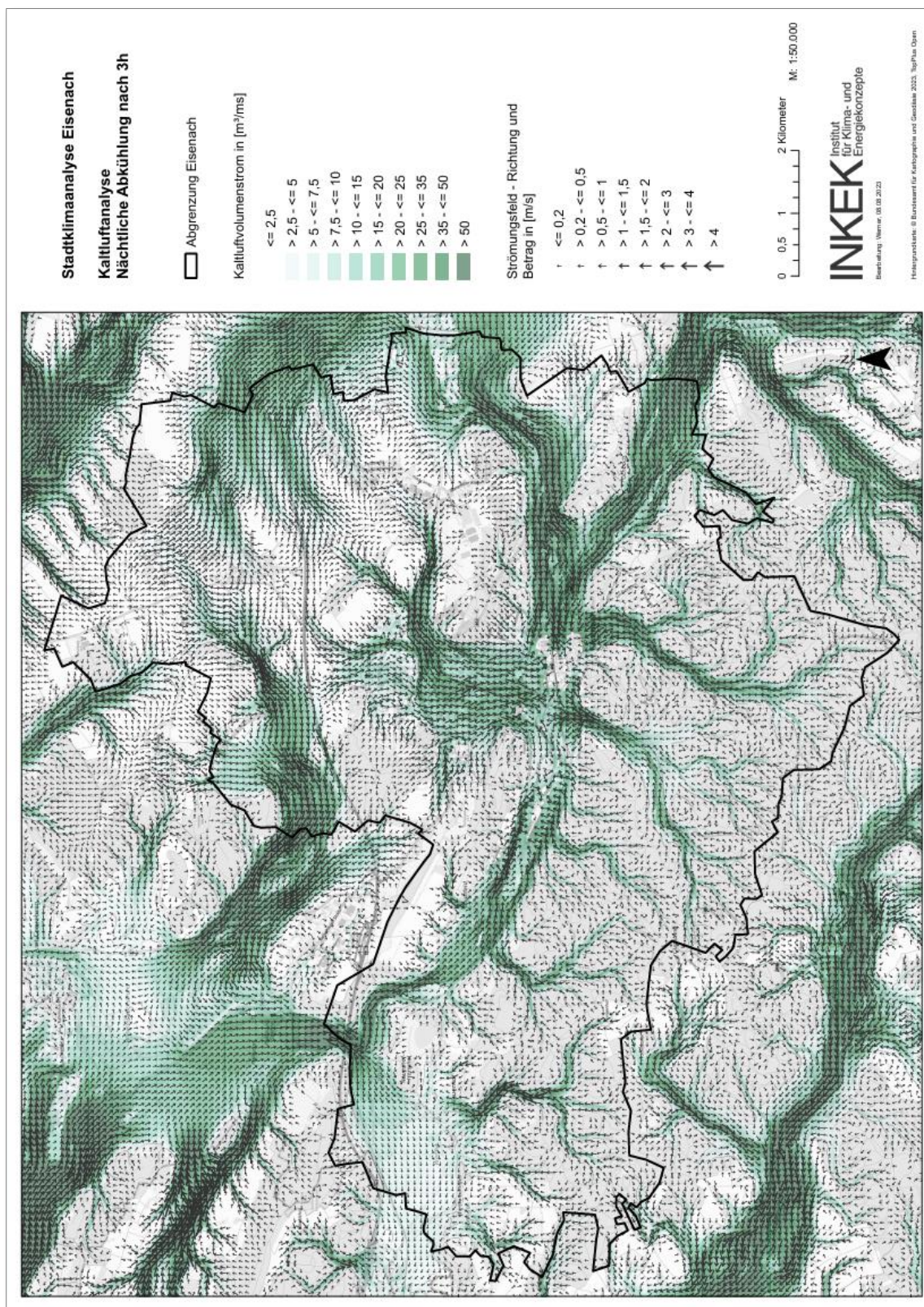


Abbildung 9: Kaltluftvolumenstrom, 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM\_21, ohne Maßstab (Original in Anhang)

### 3.5 Analysen zur Lufthygiene

Die lufthygienischen Verhältnisse der Stadt Eisenach werden anhand der Ausweisung von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen weiteren Darstellungsebene beschrieben. Grundlage bildet das Straßennetz mit den unterschiedlichen Straßenklassen (Bundesautobahn, Bundesstraße, Landstraße, Kreis-, Gemeinde- und sonstige Straßen) im Großraum Eisenach. Die Untersuchungsergebnisse (Abbildung 11) zeigen qualitativ die räumliche Verteilung der Luftschadstoffe (Immissionen) der Linienquellen (Straßen, bzw. Kfz-Verkehr) und sind zudem zusammengefasst in der Analysekarte „Klimaanalysekarte & lufthygienische Verhältnisse“ (siehe Abbildung 28, Kapitel 5.4) dargestellt.

Da es sich bei atmosphärischen Vorgängen nicht um scharf abgrenzbare Erscheinungen handelt, kann eine mit Grenzlinien versehene räumliche Untergliederung zu Fehlinterpretationen führen. Übergänge zwischen den ausgewiesenen Arealen sind fließend, und mit Einflüssen aus benachbarten Räumen ist generell zu rechnen. Mithilfe der Muster wird die Ausdehnung der unterschiedlichen Kategorien festgehalten.

Ausgangspunkt für die Betrachtung sowohl der emissionsseitigen als auch der immissionsseitigen Abgasbelastung von Straßen ist der spezifische Schadstoffausstoß von Kraftfahrzeugen, der sich mit dem jeweiligen Betriebszustand stark verändert. Auch bestehen große Unterschiede im Emissionsverhalten zwischen Diesel- und Ottomotoren bzw. Elektrofahrzeugen.

Zur Abschätzung der Schadstoffbelastung ist es notwendig die Kausalbeziehung Emission - Transmission - Immission (siehe Abbildung 10) modellhaft möglichst nachzubilden. Das Ergebnis liegt im mesoklimatischen Maßstab in einer horizontalen Auflösung von 50 m vor. Dabei gehen als Eingangsgrößen Angaben über den Verkehr (Verkehrsaufkommen, Fahrverhalten), die Meteorologie (Windströmung und Ausbreitungsbedingungen) und die geometrischen Randbedingungen (Bebauung) ein.

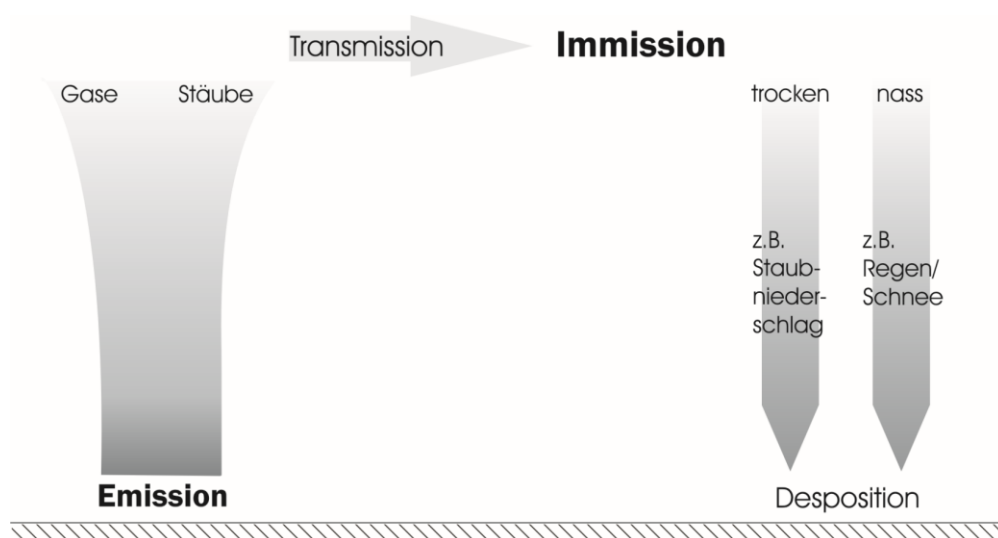


Abbildung 10: Schadstoffverlauf in der Atmosphäre (eigene Abbildung)

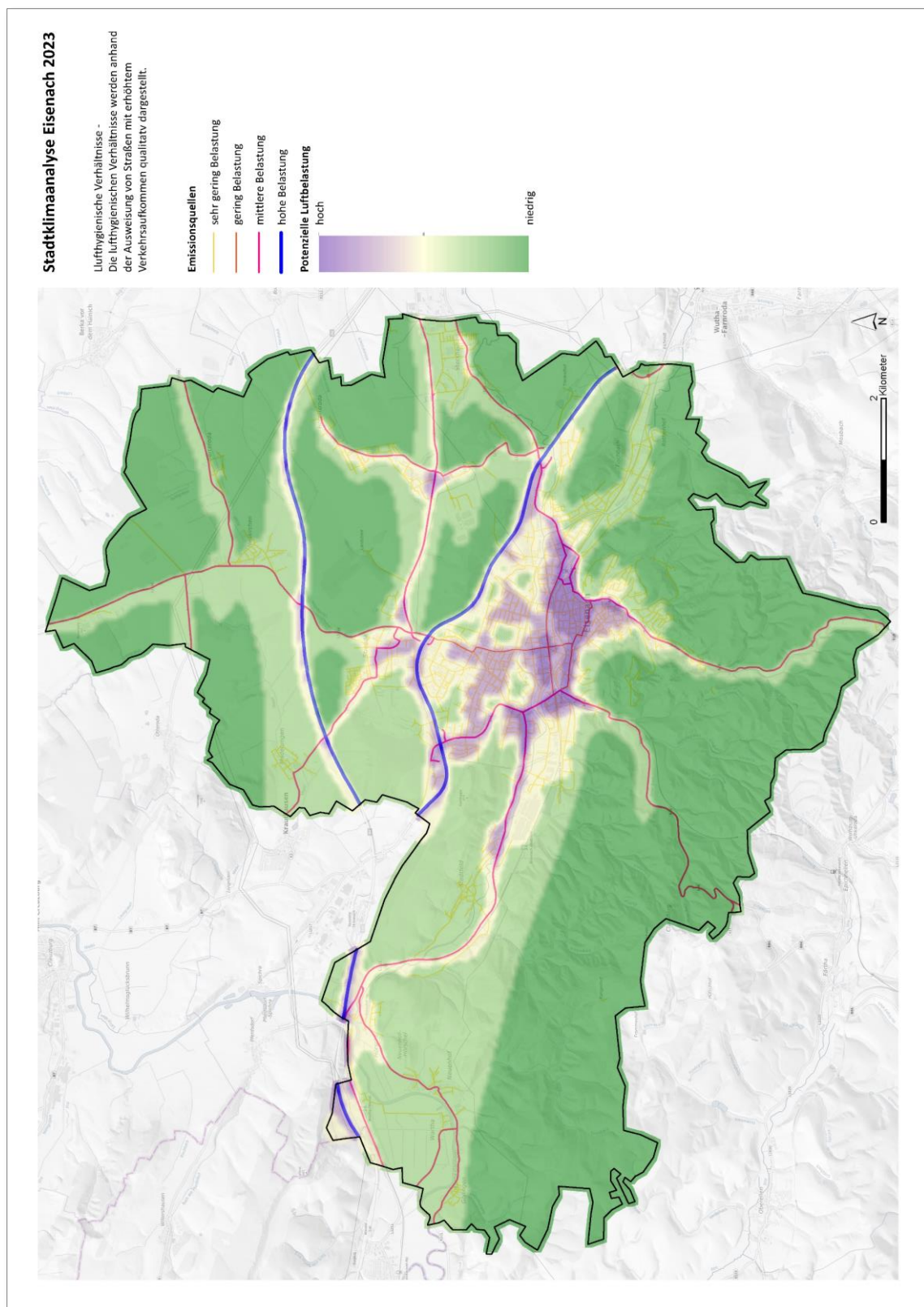


Abbildung 11: Lufthygienische Verhältnisse Eisenach 2023, ohne Maßstab (Original in Anhang)

## 4 Datengrundlage und Untersuchungsraum

Für die Erstellung der Klimastudie wurden unterschiedliche Geodaten und Klimadaten verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Regionalklima ausreichend beachtet wurde. Da eine Stadt in das regionale Klimageschehen eingebettet ist, musste der gesamte „Klimaraum“ (Bereich, der für die Untersuchung klimatisch relevant ist) abgedeckt werden.

### 4.1 Datenbestand Klimaanalyse Eisenach

Die digitalen Eingangsdaten sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Eingangsdaten Klimaanalyse Eisenach

| Nr. | Datensatz                                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | ATKIS® Basis-DLM Thüringen (Landnutzung) (Download 2023, Geoportal Thüringen)                                                 |
| 2   | Gebäudegrundrisse und Anzahl der Geschosse (aus: Liegenschaftskataster) (Download 2023 + Nachkartierung, Geoportal Thüringen) |
| 3   | DGM (Digitales Geländemodell) (Download 2023, Geoportal Thüringen)                                                            |
| 4   | Altersstruktur der Stadt Eisenach auf Ebene der Planungsräume (Stand: 31.12.2020)                                             |
| 5   | Planungsräume der Stadt Eisenach (Stand: 2024, editiert)                                                                      |
| 6   | Orthophotos (Download 2023, Geoportal Thüringen)                                                                              |
| 7   | TopPlusOpen (Hintergrundkarte) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2024)                                                 |

Bei der Nutzung digitaler Eingangsdaten ist die räumliche Auflösung von hoher Bedeutung. Je feiner (detaillierter) die Eingangsdaten vorliegen, desto genauer und flächenschärfer können die Ergebnisse generiert werden. Die Qualität der Ergebnisse ist demnach sehr stark von der Qualität und Aktualität der Eingangsdaten abhängig. In Abbildung 12 werden unterschiedliche Auflösungen von zwei Beispieldatensätzen dargestellt.

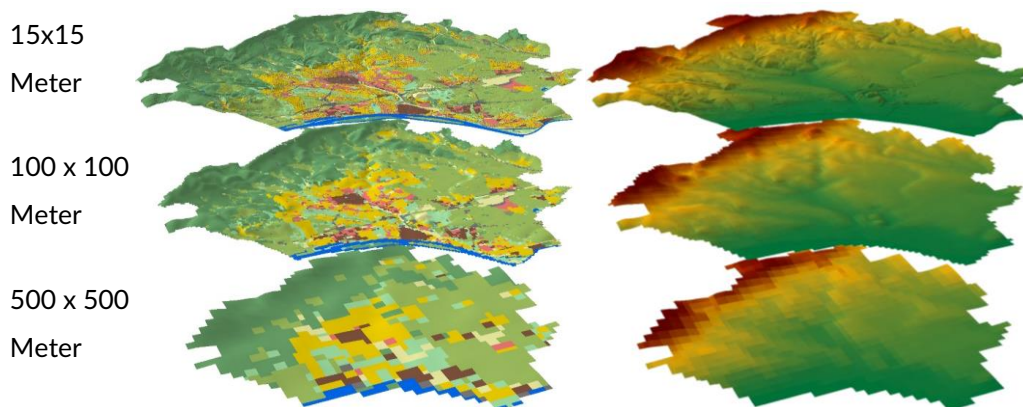


Abbildung 12: Unterschiedliche Rasterweiten - links: Landnutzung, rechts: digitales Geländemodell

Je feiner die Rasterweite (Auflösung) gewählt wird, desto mehr Rechenzeit muss allerdings aufgewendet werden. Demnach muss eine solche Rasterweite gewählt werden, die die lokalklimatischen Besonderheiten erfasst und gleichzeitig die praktische Umsetzbarkeit und spätere Anwendungsmöglichkeit gewährleistet. Die jeweilige Auflösung einer Klimaanalyse wird dabei von der Fragestellung bestimmt und sollte auf mesoklimatischer Ebene einer gesamtstädtischen Studie zwischen 10 - 25 m liegen, so dass die klimatischen Aspekte wie Wärmeinsel und Windfeld präzise abgebildet werden können (VDI 2024). Die vorliegende Klimaanalyse der Stadt Eisenach wurde auf 10 m horizontale Auflösung erstellt, was eine optimale Voraussetzung auf Ebene des Flächennutzungsplans darstellt.

## 4.2 Meteorologische Einordnung

Die städtische Wärmeinsel bezieht sich auf das Phänomen, bei dem städtische Gebiete im Vergleich zu umliegenden ländlichen Regionen höhere Temperaturen aufweisen. Dieser Temperaturunterschied resultiert aus dem verstärkten Einsatz von Beton und Asphalt, der Reduzierung von Grünflächen sowie industriellen Prozessen. Diese Faktoren führen zu einer erhöhten Absorption und Speicherung von Wärme in städtischen Gebieten, was zu einem lokalen Temperaturanstieg führt.

#### 4.2.1 Klimamessstation Eisenach

Der DWD betreibt die Klimamessstation Eisenach etwa 4 km nordöstlich des Stadtzentrums beim Wasserturm in Hötzelroda (siehe rote Markierung in Abbildung 13). Die Station befindet sich am Rande einer lockeren Siedlung. Sie ist von Feldern umgeben und somit von der Charakteristik her eigentlich eine ländliche Station. Sie gibt daher nicht die Eigenschaften des Stadtklimas von Eisenach wieder. Als Einordnung und Hinweisgeber für das lokale Klima ist sie aber durchaus geeignet.

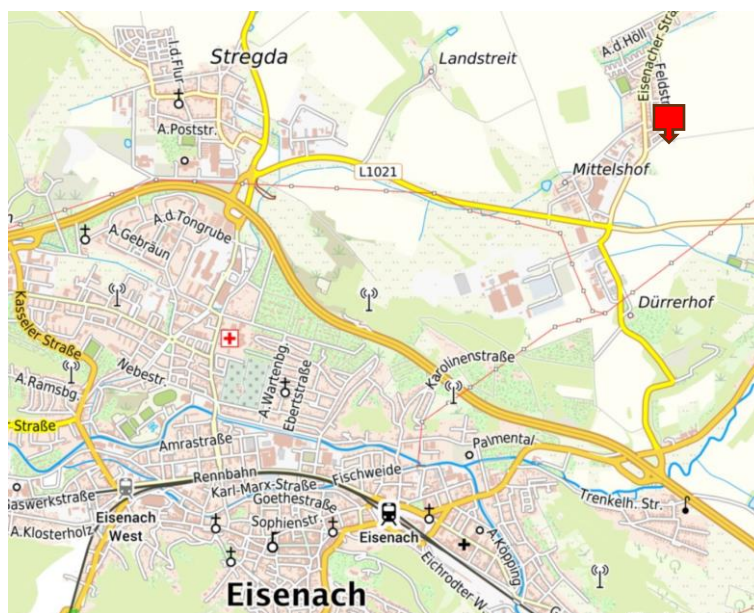


Abbildung 13: Standort der Klimamessstation Eisenach des DWD (rote Markierung)

#### 4.2.2 Allgemeines

Grundsätzlich ist das Klima in Eisenach gemäßigt-kontinental. Es ist geprägt von milden bis warmen Sommern, die in der Regel angenehm warm sind, mit durchschnittlichen Höchsttemperaturen im Juli und August um die 22 – 25 °C. Heiße Tage über 30 °C können vorkommen, sind aber eher selten (siehe Abbildung 18). Außerdem sind kühle bis kalte Winter typisch für Eisenach. Die Wintermonate sind kühl, mit durchschnittlichen Temperaturen im Bereich von 0 °C bis -2 °C. Schneefälle sind in der Region üblich, vor allem durch die Nähe zum Thüringer Wald. Eisenach hat relativ gleichmäßige Niederschläge über das Jahr hinweg, wobei die Monate Mai bis August tendenziell etwas feuchter sind. Der Jahresniederschlag beträgt im Schnitt etwa 700 – 800 mm und liegt damit zwischen dem relativ trockenen Nordosten (Erfurt) und dem deutlich feuchteren Thüringer Wald im Südosten (bis zu 1.500 mm). Dieser Sachverhalt ist auf Abbildung 14 zu sehen.

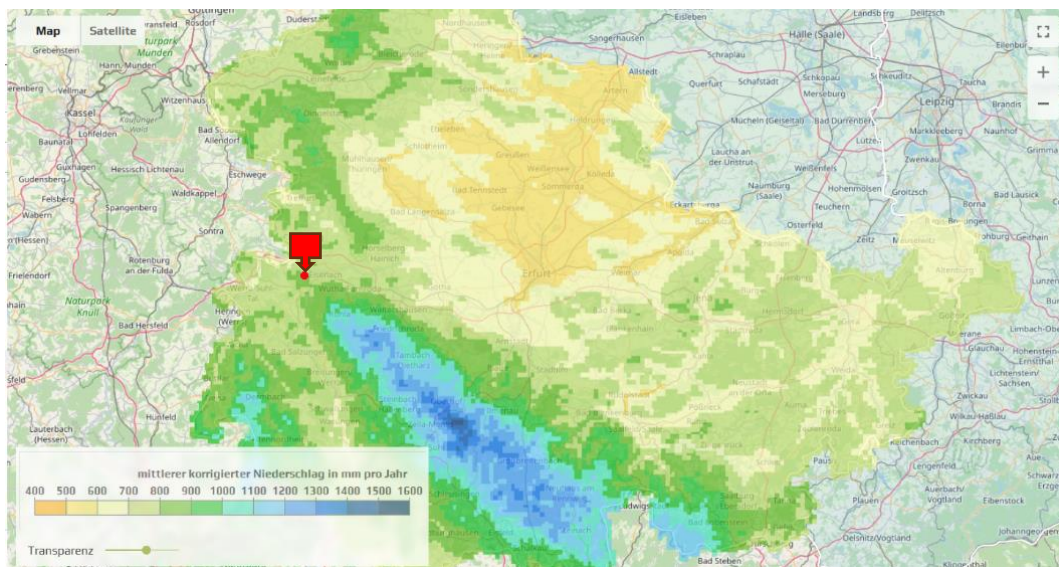


Abbildung 14: Verteilung des Jahresniederschlags für den Zeitraum 1989 - 2018 in Thüringen. Eisenach: Markierung.

Quelle: ReKIS für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

#### 4.2.3 Windklima

Die Region ist gelegentlich von mäßigen Winden geprägt, die aus westlicher Richtung kommen. Diese bringen oft maritime Einflüsse und mildern extreme Temperaturen. Abbildung 16 zeigt, dass Westwind in Eisenach dominant ist. Das liegt einerseits am großräumigen Windregime, in dem Westwinde in Zusammenhang mit Frontdurchgängen auftreten. Andererseits liegt es an der Ausrichtung des Tals, in dem sich Eisenach befindet. Das zweite Maximum im Osten tritt vor allem bei stabilen Hochdruckwetterlagen auf. In stabilen, warmen Sommernächten kommt es zur Ausprägung von Kaltluftsystemen (siehe Abbildung 15), die ebenfalls vor allem Ost-West ausgerichtet sind, aber auch aus den Seitentälern in die Stadt strömen. Einen ersten Hinweis darauf bietet die Karte der Volumenstromdichte aus der großräumigen Analyse für Thüringen. Im Detail wird dieses Thema bei der Erstellung der Klimaanalysekarte weiter unten im Bericht behandelt.

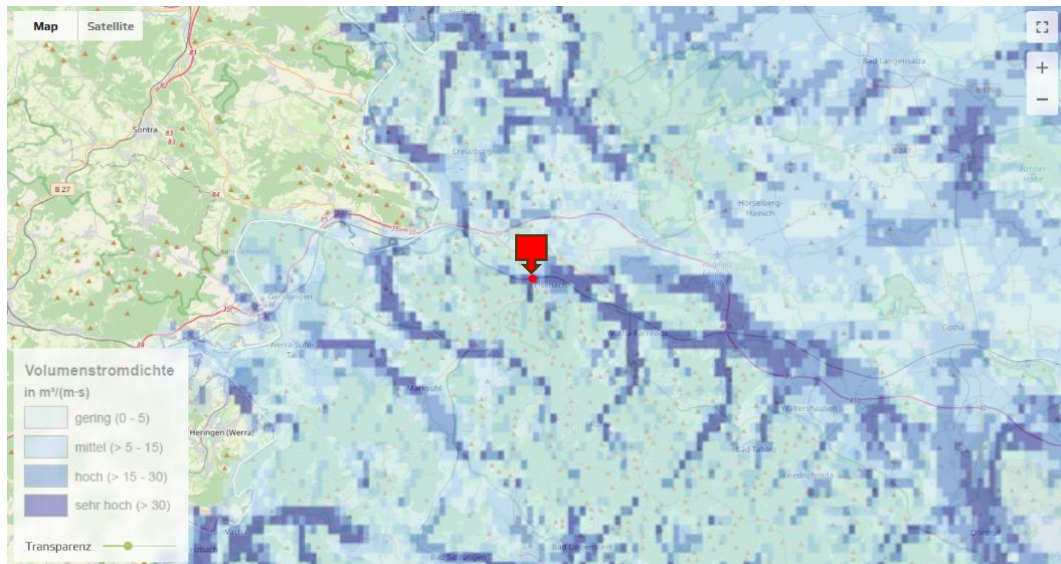


Abbildung 15: Verteilung der Volumenstromdichte von Kaltluftsystemen für den Zeitraum 1989-2018 in Thüringen. Eisenach: Markierung. Quelle: ReKIS für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

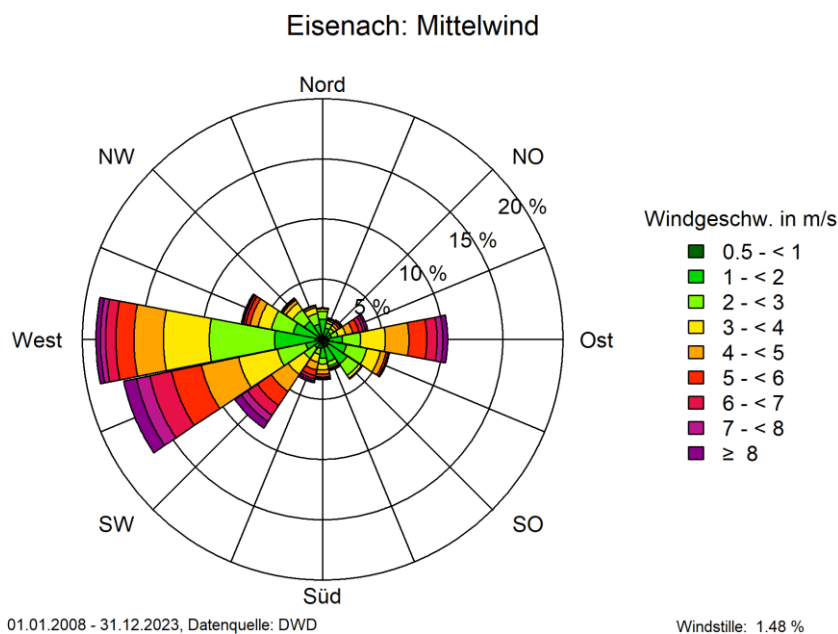


Abbildung 16: Windrose der Station Eisenach. Die Häufigkeiten der Windrichtungen (in % des Jahres) und mittleren Windgeschwindigkeiten (im m/s) ist an den farbigen Kästchen abzulesen

#### 4.2.4 Hitze

Eines der zentralen Themen der Stadtklimaanalyse ist die sommerliche Überwärmung. Als eine Folge des Klimawandels wird uns diese in Zukunft mehr und mehr beschäftigen, wenn es um die Anpassung an die unabwendbaren Folgen geht. Bisher war Hitze - im Vergleich zu anderen mitteleuropäischen Städten - in Eisenach ein untergeordnetes Thema. In Abbildung 17 ist die Entwicklung der Sommertage seit 2007 zu sehen.

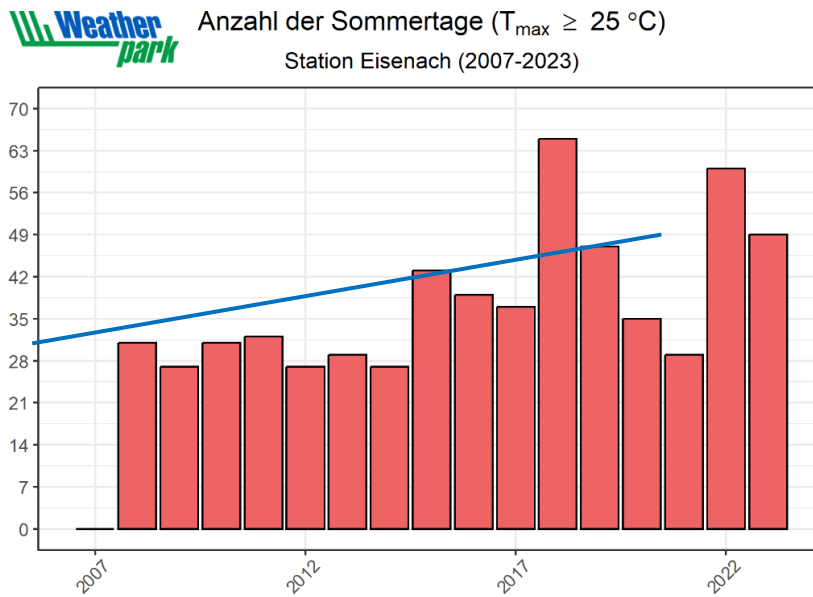


Abbildung 17: Entwicklung der Sommertage (max. Temperatur über  $25^\circ\text{C}$ ) seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach. Die blaue Linie ist die stark steigende Trendlinie.

Im Mittel gibt es derzeit rund 38 Sommertage an der ländlichen Station beim Wasserturm. Der Trend zeigt stark nach oben, sodass in zehn Jahren bereits mit mindestens 50 Hitzetagen pro Sommer zu rechnen. In der Innenstadt von Eisenach ist damit zu rechnen, dass die Werte bereits heute höher sind.

Bei den Hitzetagen ( $> 30^\circ\text{C}$ ) ist der Anstieg nicht so eindeutig. Ein Tag über  $30^\circ\text{C}$  ist im ländlichen Eisenach immer noch ein Extremereignis, das derzeit im Schnitt rund acht Mal pro Jahr auftritt (siehe Abbildung 18). In zehn Jahren werden es mindestens zehn pro Jahr sein. Wieder gilt, dass im Stadtzentrum diese Werte höher sein werden.

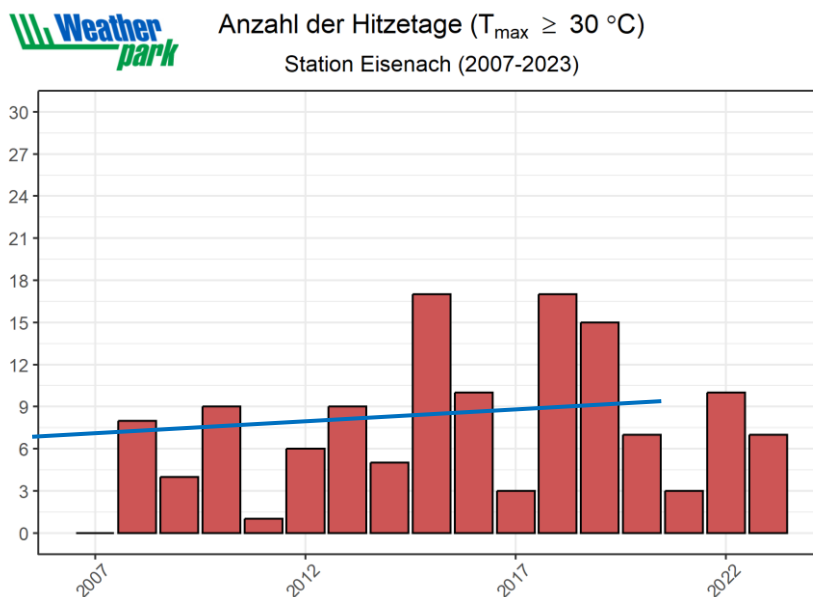


Abbildung 18: Entwicklung der Hitzetage (max. Temperatur über  $30^\circ\text{C}$ ) seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach. Die blaue Linie ist die leicht steigende Trendlinie.

Warme Nächte sind am Stadtrand aufgrund der schnell einsetzenden Kaltluftproduktion selten (1 – 2 pro Jahr, siehe Abbildung 19). Bei dieser Maßzahl ist der Unterschied zu den Verhältnissen im Stadtzentrum erfahrungsgemäß am größten. Die Unterschiede im Temperaturminimum kann in einer ungestörten Sommernacht 5 °C ausmachen. Die Anzahl der Nächte mit einem Minimum über 20 °C kann z. B. am Markt beim Rathaus durchaus 5 - 10 pro Jahr ausmachen.

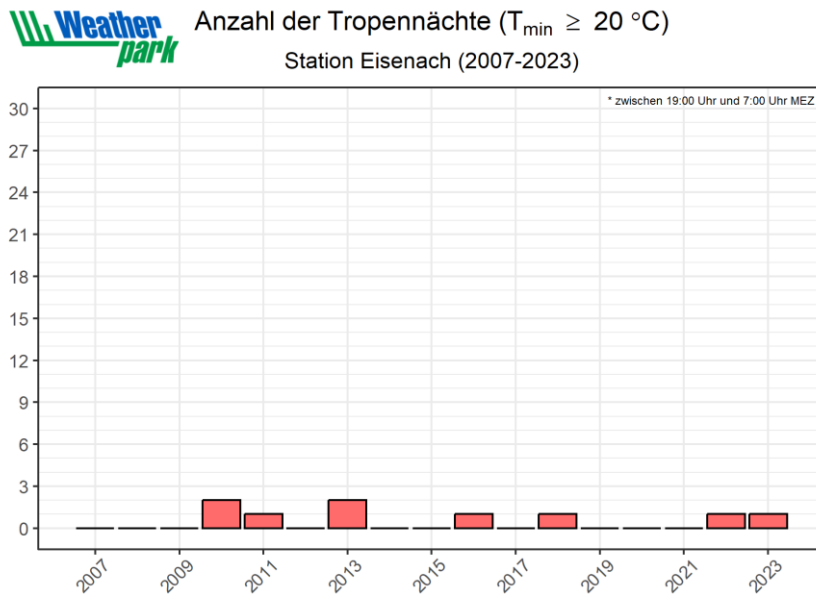


Abbildung 19: Entwicklung der Tropennächte (min. Temperatur über 20 °C) seit 2007 an der Klimamessstation Eisenach

Interessant ist auch ein Blick auf die jährliche Sonnenscheindauer, die auf einer ReKIS-Abbildung dargestellt ist (siehe Abbildung 20). Ähnlich wie beim Niederschlag liegt Eisenach dabei zwischen zwei lokalen Extremwerten: Im Thüringer Wald sind es nur rund 1.400 Stunden pro Jahr, im äußersten Osten von Thüringen sind es 1.700 Stunden pro Jahr, und in Eisenach 1.567 h/a. Somit ist das Potential für Überhitzung im Sommer mittelmäßig und mit einer Stadt in den östlichen Voralpen vergleichbar.

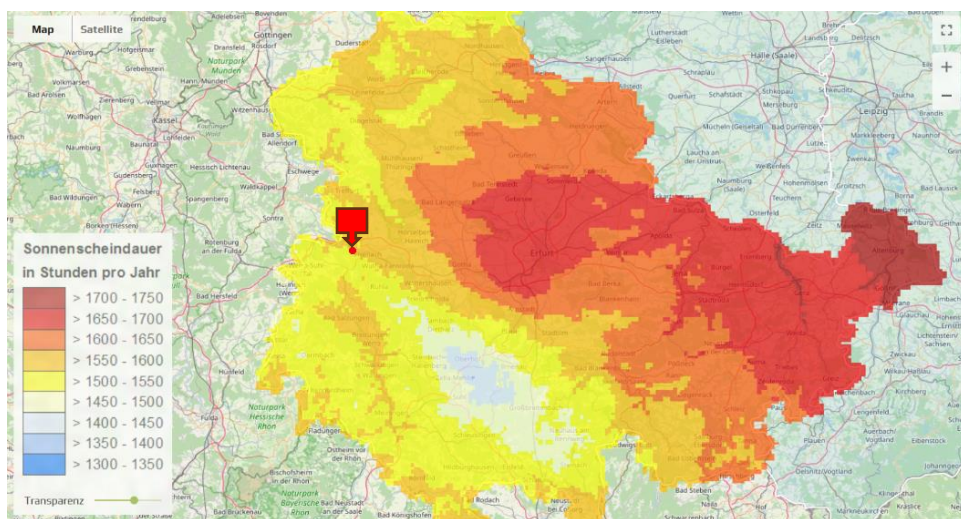


Abbildung 20: Verteilung der Sonnenscheindauer für den Zeitraum 1989-2018 in Thüringen. Eisenach: Markierung.

Quelle: ReKIS für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Eisenach ist aufgrund seiner geographischen Lage und der Topografie der Umgebung grundsätzlich begünstigt, was die Belastung durch Überwärmung und Hitze betrifft. Beachtet werden sollte aber, dass die in diesem Bericht ausgewertete Klimamessstation nicht in der Stadt, sondern auf einem Feld am Stadtrand steht. Die tatsächlichen städtischen Werte der hitzerelevanten Maßzahlen sind also durchwegs höher. Im Zuge des Klimawandels zeigt sich, dass vor allem die Anzahl der Sommertage derzeit rapide ansteigt, sodass in Zukunft Anpassungsmaßnahmen für Eisenach immer mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Empfehlenswert ist die Installation einer permanenten meteorologischen Messstation an einem repräsentativen Standort in der Innenstadt, sodass die Hitzeparameter direkt im Zentrum gemessen werden können. Also dort, wo sie für die Menschen in Eisenach relevant sind. Eine halbprofessionelle Station, deren Aufstellungsort sorgfältig nach stadtmeteorologischen Kriterien gewählt ist, würde den genannten Zweck gut erfüllen.

### 4.3 Intensivmesskampagne

Im August 2023 wurde eine Messkampagne im Stadtgebiet Eisenachs durchgeführt, welche zur Evaluierung und zur Kalibrierung der Modellergebnisse diente, sodass möglichst realistische Aussagen zu den klimaökologischen Funktionen und Wechselwirkungen generiert werden konnten.

Das Messprogramm bestand aus unterschiedlichen Aufbauten und umfasste alle relevanten Parameter, die in der angewandten Stadtklimatologie für die Erstellung von Klimaanalysekarten und Planungshinweiskarten von wesentlicher Bedeutung sind.

Die Messkampagne bestand aus stationären Messungen und einer zeitlich und räumlich hochaufgelösten Messfahrt bei geeigneter Wetterlage. Die angewandte Methodik folgt VDI 3785 Blatt 2 „Umweltmeteorologie: Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen“ und Berechnung der Indizes nach VDI 3787 Blatt 2 „Umweltmeteorologie: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima“.

#### 4.3.1 Stationäre Messungen

Während der räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Messkampagne im August 2023 wurden Temperaturfühler im Stadtgebiet betrieben, um die Lufttemperatur an unterschiedlichen Orten der Stadt zu erfassen. Dabei wurde darauf geachtet, Orte mit unterschiedlichen Landnutzungstypen zu untersuchen, um Aussagen für die Klimaanalysekarte wie die nächtlichen Auskühlungspotenziale nutzen zu können.

Die Verteilung der Messstandorte ist in der Karte in Abbildung 21 eingetragen.

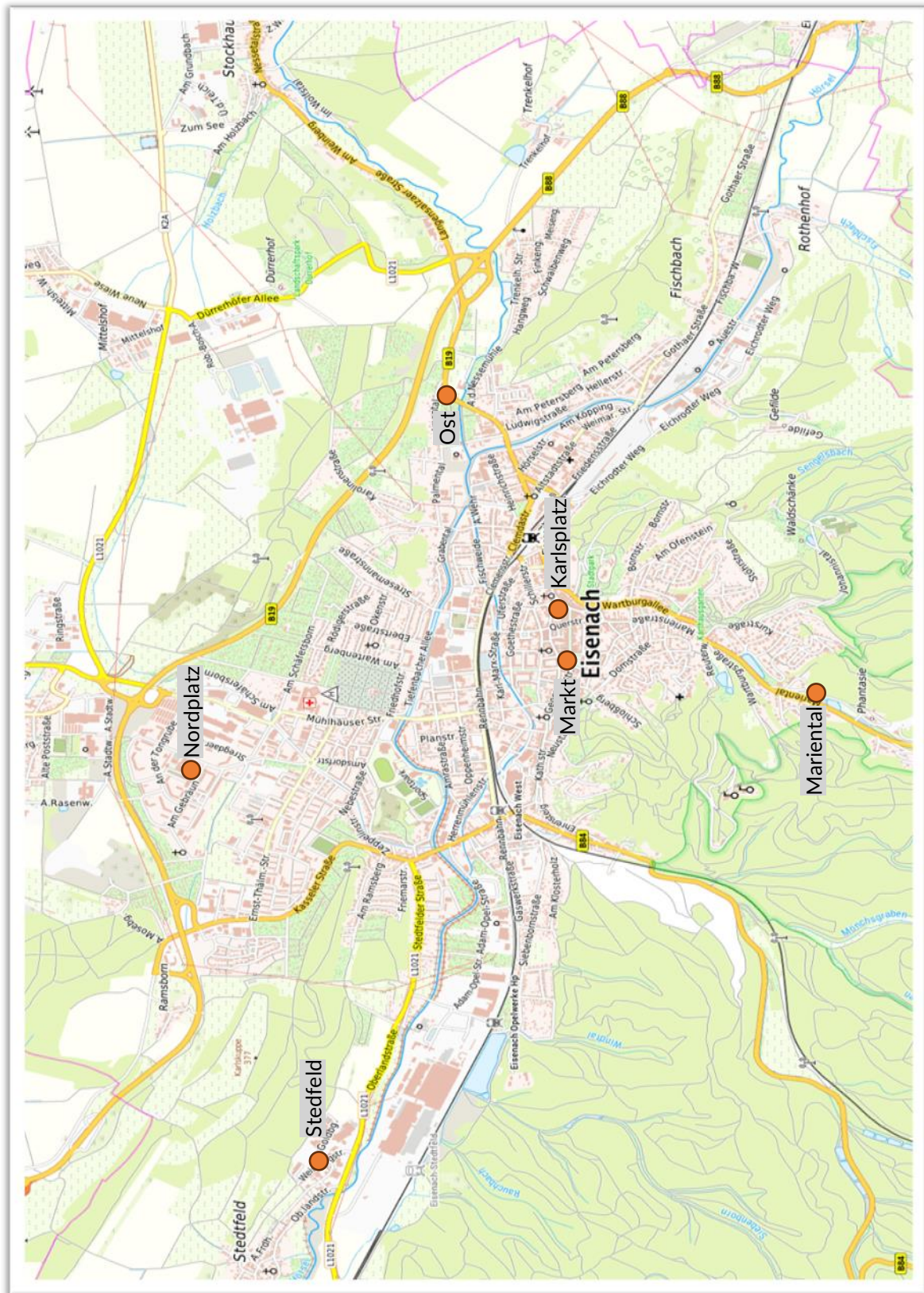


Abbildung 21: Lage der Messstationen im Eisenacher Stadtgebiet

### Auswertung

Die Messorte „Mariental“ und „Ost“ befanden sich im Süden, bzw. Osten der Stadt. Beide Orte weisen mit Abstand die niedrigsten nächtlichen Temperaturen auf (siehe Abbildung 22). Im Mariental kommt es durch das ausgeprägte Relief und der Ausrichtung des Talverlaufs schon vor Sonnenuntergang zur Abkühlung, im weiteren Abendverlauf tritt der Kaltluftabfluss ein und die kühle Luft „fließt“ entlang des Tals in Richtung Norden / Innenstadt. Im Osten der Stadt tritt die Abkühlung rasch nach Sonnenuntergang ein und wird ergänzt durch ein hohes regionales Kaltluftvolumen, so dass diese niedrigen Temperaturen eintreten. Neben der absoluten Temperatur ist auch die Auskühlung der Flächen aus stadtklimatischer und bioklimatischer Sicht relevant. In den bebauten und versiegelten Bereichen ist die Wärme „gefangen“. Das bedeutet, der Wärmeeintrag am Tag wird in den künstlichen Materialien (Beton, Asphalt) gespeichert und in den Nachtstunden an die Umgebungsluft abgegeben, so dass es zur Überwärmung der Stadt kommt. Eindrucksvoll zeigt sich dies im Bereich des Marktes und Karlsplatzes, wobei der Karlsplatz durch die Wiesenfläche und Bäume ein höheres Vegetationsvolumen aufweist.

Anhand der Messungen und der begleitenden Messfahrt (Kapitel 4.3.2) konnte eine Wärmeinselintensität von ca. 4 K für Eisenach festgestellt werden, die sehr gut mit den weiteren Erhebungen übereinstimmt.

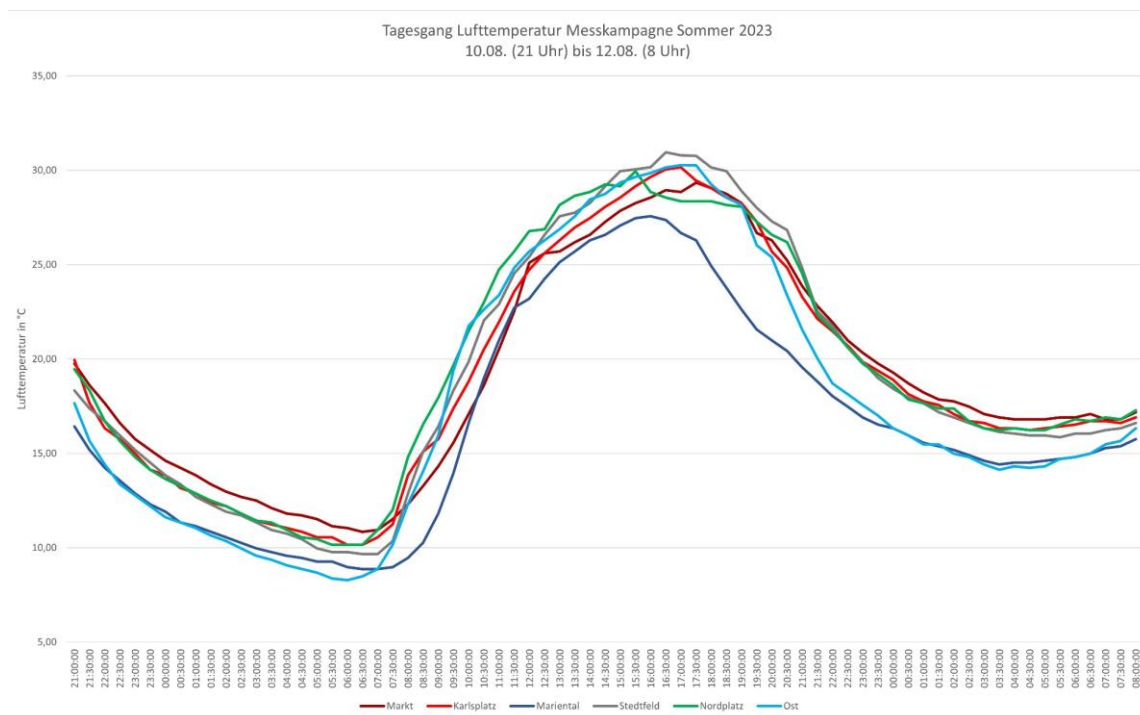


Abbildung 22: Auswertung unterschiedlicher Tagesgänge, dargestellt durch die Lufttemperatur in °C 10.08. - 12.08.2023 (Daten: INKEK GmbH)

### *Nächtliche Abkühlung*

Verschiedene Bodenoberflächenarten erwärmen sich bei windschwachem Wetter an wolkenlosen Sommertagen unterschiedlich. Dies hängt vom Absorptionsvermögen, aber auch von der Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und der Verdunstungsfähigkeit des Untergrundes ab.

Während beispielsweise Asphalt 80 % bis 90 % der einfallenden Strahlung absorbiert, beträgt dieser Anteil bei einer weißen Mauer nur 20 % bis 35 %. Ergebnisse von Temperaturmessungen schwanken zwischen weniger als 30 °C und fast 50 °C (Lorenz 1973).

Außer den Materialeigenschaften der Oberflächen ist für die Temperaturverhältnisse in einer Stadt die Gebäudeanordnung und Gebäudehöhe bzw. die Flächennutzung allgemein von Bedeutung.

Das Zusammenspiel der genannten Faktoren führt innerhalb der Stadt mit ihren unterschiedlichen Strukturen und Bebauungsdichten zu einem Mosaik verschiedenartiger thermischer Mikroklimata, die sich gegenüber dem Umland zu einer deutlich abgegrenzten Wärmeinsel bzw. einem Wärmearchipel zusammenfügen. Vor allem Grünflächen haben einen positiven Einfluss auf die thermischen Bedingungen am Tag als auch in den Nachtstunden und können einen großen Beitrag zur nächtlichen Abkühlung leisten. Dabei ist es entscheidend, in welchem stadtklimatischen Umfeld sich diese Flächen befinden, wie sie ausgestattet sind und welche Größe sie einnehmen. Das darüber beeinflusste Abkühlverhalten wurde an den Messorten untersucht.

#### **4.3.2 Profilmessfahrt**

Am 11. August 2023 zwischen 05:00 Uhr und 05:30 Uhr sowie zwischen 21:00 Uhr bis 21:30 Uhr fanden sogenannte Profilmessfahrten statt, anhand derer die Lufttemperatur in °C in 2 m Höhe entlang einer bestimmten Route ermittelt wurde. Dabei kam ein Messsystem der Firmen LUFFT und Campbell zum Einsatz, die auf einem Lasten-Pedelec montiert wurden (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23: Messfahrzeug der INKEK GmbH bei der Messkampagne im Sommer 2023

Die Route führte von Osten nach Westen durch das Stadtgebiet (siehe Abbildung 24). Hier sind die überwärmten Bereiche im verdichteten Stadtgebiet deutlich anhand der erhöhten Lufttemperatur abzulesen. Kühlere Bereiche wurden in den Freiflächen und Kaltluftkorridoren im Osten und im Westen der Stadt. Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse der Messfahrt kurz vor Sonnenaufgang, während der ausgeprägtesten Unterschiede der thermischen Bedingungen. Die Ergebnisse der Messfahrt in den Abendstunden zeigt eine vergleichbare räumliche Verteilung der Messwerte auf einem entsprechend höherem Niveau.

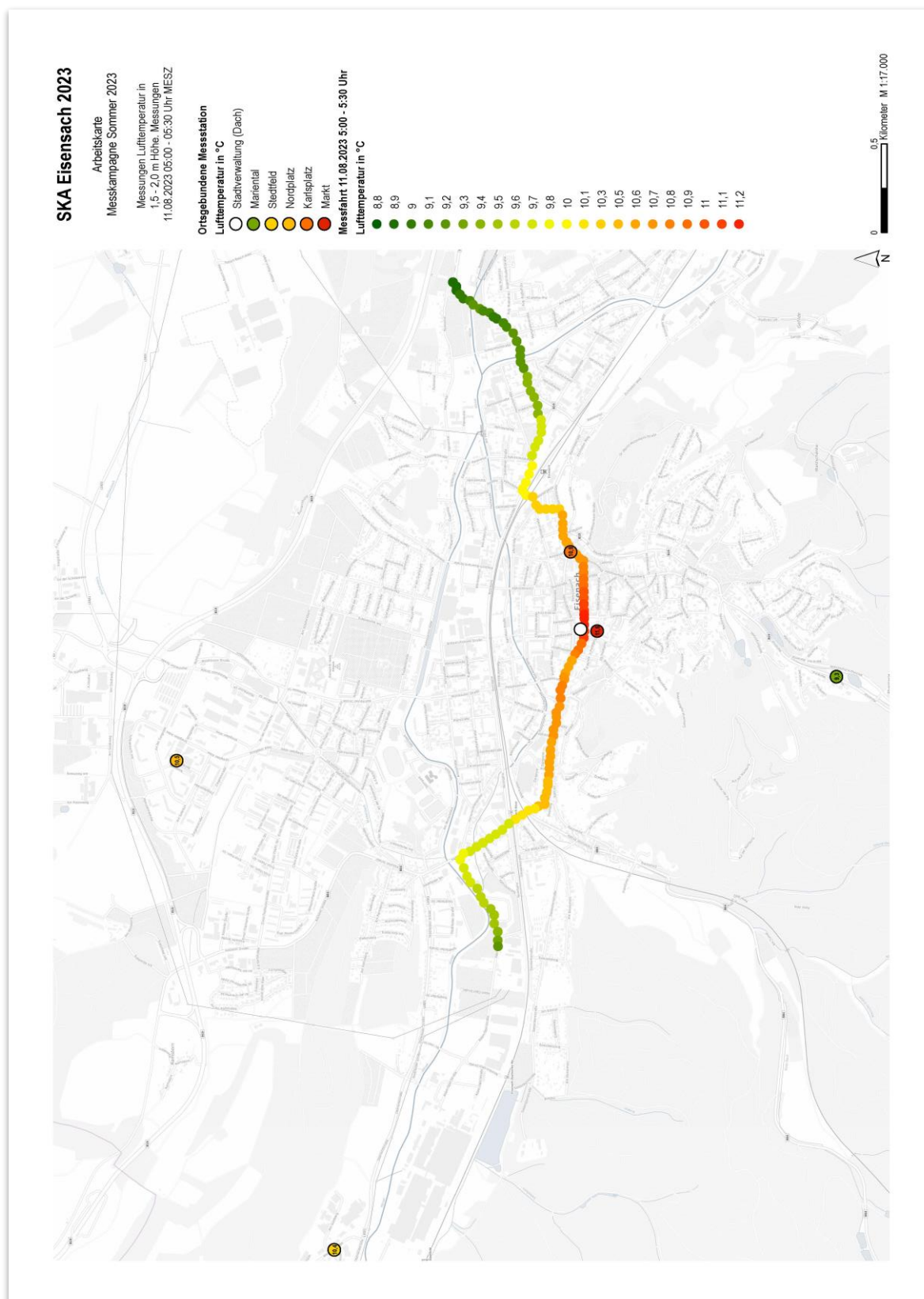


Abbildung 24: Auswertung Temperaturmessfahrt am 11. August 2023 in den frühen Nachtstunden  
 (Daten: INKEK GmbH)

#### 4.3.3 *Evaluation der Kontrollmesskampagne*

Die Kontrollmesskampagne diente zur Evaluierung und zur Kalibrierung der Modellergebnisse. Die generelle Vergleichbarkeit unter Beachtung der methodischen und maßstäblichen Unterschiede ist gegeben, da sich eine ideale Wetterlage zur Kontrollmesskampagne einstellte.

Dennoch kommt der Interpretation der Ergebnisse und der Zusammenführung der Daten eine besondere Bedeutung zu.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Analysen eine sehr hohe Übereinstimmung mit den Modellergebnissen. Dabei besitzen die ortsgebundenen Messungen im Rahmen der Messkampagne den Vorteil einer genauen Beschreibung der mikroklimatischen Bedingungen vor Ort, aber nur eine begrenzte Aussagekraft in der Fläche. Dies ist die Stärke der Modelle, die es erlauben eine flächendeckende räumliche Aussage zu generieren, dies jedoch unter den kleinräumigen Unsicherheiten bzw. Schwankungen im mikroklimatischen Maßstab.

Vor allem der nächtliche Abkühlungsprozess und die Kaltluftkorridore liefern wichtige Informationen, die die Genauigkeit und Aussagekraft der Klimaanalysekarte deutlich steigern konnten.

## 5 Klimaanalysekarte Bestand

Alle in der Klimaanalysekarte 2023 gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf die bis 2023 ausgewerteten Daten zu baulichen Entwicklungen, Klimawandelentwicklungen und möglicher Betroffenheit von vulnerablen Gruppen. Ziel des Kapitels ist die Modellierung des aktuellen Stadtklimas 2023 in seinem funktionellen Wirkgefüge. Die aktuelle Situation (Bestand) wird dazu hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse sowie möglicher Potenziale, Defizite, Konflikte, Klimawandel und Betroffenheiten analysiert.

Eine Klimaanalysekarte stellt dabei die Basis anhand der räumlichen Klimaeigenschaften einer Bezugsfläche dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Dargestellt werden darin die thermischen und dynamischen Verhältnisse. Eine Einordnung dieser Verhältnisse erfolgt durch die Legende.

### 5.1 Klimaanalysekarte anhand von Klimatopen

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die mikroklimatischen Bedingungen wenig unterschiedlich sind (VDI-RL 3787 Blatt 1).

Die Legende ist in sechs Klimatope unterteilt, welche farblich zugeordnet sind. Zusätzlich gibt es in dieser Legende eine kurze Beschreibung zur Einordnung der Funktionen. Die klimaökologische Wertigkeit ist an der linken Seite angedeutet und verläuft von sehr wertvoll (+) für die naturnahen Klimatope bis hin zu defizitär (-) für die Belastungsbereiche.

Eine wichtige Grundlage für die Charakterisierung der Klimatope ist der aufgeführte thermische Index PET (Höppe 1999). Er beschreibt und bewertet die Eigenschaften und die Wirkung der Klimatope im Tagesgang der Klimaanalysekarte auf den Menschen und vermittelt das Stressniveau (siehe Kapitel 2.2). Grundlage bilden die Untersuchungen über das thermische Empfinden aus verschiedenen Forschungsprojekten, z. B. im Rahmen der „klimazwei-Projekte“ (Katzschner et al. 2010). Die Wärmebelastung (engl. heat load) wird an der rechten Seite der Legende qualitativ dargestellt.

*Klimatopbeschreibung nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1:*

Im Folgenden werden die Klimatope laut VDI-Richtlinie 3787 aufgelistet, welche in der Klimaanalysekarte der Stadt Eisenach zum Teil nur implizit vorhanden, jedoch inhaltlich berücksichtigt sind. Das bedeutet, nicht alle hier erwähnten Klimatope sind in der Legende der Klimaanalysekarte Eisenach (Kapitel 5.2) enthalten, weil ihre Aussagekraft als separates Klimatop beschränkt ist. Ihre Funktionen sind aufgenommen und ähnlichen Klimatopen zugeordnet.

**Gewässerklima (implizit vorhanden)**

Aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser kommt es an den Oberflächen von Gewässern zu nur schwachen tagesperiodischen Temperaturschwankungen, das heißt Wasserflächen sind am Tag relativ kühl und nachts vergleichsweise warm. Sie können daher das lokale Klima stark beeinflussen. Jedoch bleibt ihr klimatischer Einfluss in der Regel lediglich auf das Gewässer selbst und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt.

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

**Freilandklima**

Freilandklimatope stellen sich überwiegend über unbewaldeten, vegetationsbestandenen Außenbereichen ein. Sie zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte und weitgehend unbeeinträchtigte Windströmungsbedingungen aus und wirken als Kaltluftentstehungsgebiete. Da in den Freilandbereichen selten Emittenten für Luftschadstoffe vorkommen und bei geeigneten Wetterlagen in den Nachtstunden Kaltluftmassen gebildet werden, können diese Bereiche eine sehr hohe Ausgleichsfunktion für die human-biometeorologisch und lufthygienisch belasteten, bebauten Bereiche besitzen.

**Waldklima**

Das Klima im Stammraum eines Waldes wird durch den Energieumsatz (verminderte Ein- und Ausstrahlung) bestimmt. Dichte und höher wachsende Baumvegetation führt zu gedämpften Tagesgängen von Lufttemperatur und -feuchte sowie zu niedrigen Windgeschwindigkeiten im Bestand. Das Kaltluftentstehungsgebiet befindet sich oberhalb des Kronenraums. Deshalb sind Waldgebiete auf geneigten Flächen hochrelevant für die Entstehung von Kaltluft / Frischluft und deren Dynamik. Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und human-biometeorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emissionen die Funktion als Frischluft- und Reinluftgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit keine Luftleitfunktion übernehmen.

### Klima innerstädtischer Grünflächen (implizit vorhanden)

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

Die Klimawirksamkeit von Grünflächen beschränkt sich je nach Größe, Relief und Rauigkeit auf die Fläche selbst (Mikroklimaeffekt), kann jedoch auch stadtklimatisch positive Fernwirkungen aufweisen.

Verschiedene Untersuchungen und Modellierungen haben gezeigt, dass mikroklimatische Kühlungseffekte in Abhängigkeit der Verdunstungsleistung und Beschattung auch bei geringer Flächengröße nachweisbar sind. Bei einer engen Vernetzung können kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen, u. a. indem sie den Luftaustausch fördern.

### Vorstadtklima

Das Klimatop ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grüneprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländeanteils. Dieser Klimatoptyp ist charakteristisch für die Vorstadtsiedlungen, Gartenstädte oder Ortsränder, die darüber hinaus oft im unmittelbaren Einflussbereich des Freilands stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Das Klima in den Vorstadtsiedlungen zeichnet sich durch eine leichte Dämpfung der Klimaelemente Lufttemperatur, -feuchte, Wind und Strahlung aus. Die Windgeschwindigkeit ist niedriger als im Freiland, aber höher als in der Innenstadt.

### Stadtrandklima

Das Stadtrandklima unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch eine dichtere Bebauung und einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Bebauung und einer relativ günstigen Durchgrünung. Hieraus resultiert eine schwache Ausprägung von Überwärmung, zu meist kann von einem ausreichenden Luftaustausch sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

### Stadtklima

Charakteristisch für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit hauptsächlich hohen Baukörpern und Straßenschluchten. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad, die ausgeprägten Oberflächenrauigkeiten und geringen Grünflächenanteile, ist der Stadtkörper während austauscharmer Strahlungsnächte deutlich überwärmt. Tagsüber treten hohe Strahlungstemperaturen auf, die zu Hitzestress führen. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die mit zeitweise ungünstigen human-biometeorologischen Verhältnissen und erhöhter Luftbelastung verbunden sind und das Stadtklima prägen.

### Innenstadtklima

Kennzeichnend für das Innenstadtklima sind ein sehr hoher Versiegelungsgrad, hohe Oberflächenrauigkeit sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, zum Teil mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. Aufgrund dieser Eigenschaften weist das Innenstadtklima die stärksten mikroklimatischen Veränderungen im Stadtgebiet auf. Hierzu zählt vor allem der starke Wärmeinseleffekt, bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen, die sich in den straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln. Human-biometeorologisch ist dies sehr ungünstig.

### Gewerbe- / Industrieklima (implizit vorhanden)

Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima maßgeblich. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen an Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und human-bioklimatischen Belastungssituationen. Zu diesen Flächen zählen auch häufig Sonderflächen wie militärisch genutzte Flächen usw.

### Gleisanlagen (implizit vorhanden)

Gleisanlagen sind durch einen extremen Tagesgang der Lufttemperatur geprägt. Geringe Strömungshindernisse sorgen dafür, dass diese nachts als potenzielle Kaltluftleitbahnen auftreten.

*Klimaphänomene nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1:***Luftleitbahn (Wirkrichtung)**

Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite stellt eine Luftleitbahn eine bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport dar. Luftleitbahnen, häufig auch als Ventilationsbahnen bezeichnet, sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzelnstehende Bäume), möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und größere Breite (möglichst in einem Längen- / Breitenverhältnis 20 : 1) gekennzeichnet. Sie ermöglichen den Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt. Die Wirksamkeit hängt von der Windverteilung ab, in Kombination mit der Ausrichtung der Luftleitbahn. Ferner können Luftleitbahnen vor allem bei Schwachwindlagen von großer Bedeutung für die klimatische Entlastung innerstädtischer Gebiete sein. Das Relief kann die Funktion als Luftleitbahn unterstützen. Effiziente Luftleitbahnen werden z. B. durch breite Flussauen gebildet. Breite, geradlinige Straßen oder Bahnanlagen können auch Luftleitbahnen darstellen. Luftleitbahnen können je nach Nutzung und Emissionseintrag lufthygienisch und thermisch beeinträchtigt sein.

**Kaltluftbahn**

Neben der Stärke des Abflusses ist es entscheidend, ob durch die Kaltluft unbelastete (= Frischluft) oder belastete Luftmassen herab transportiert werden. Kaltluft kann sich zudem an Hindernissen aufstauen und in Senken und Tälern ansammeln (Sammelgebiete). In der Regional- und Stadtplanung sind Entstehungsgebiete, Sammelgebiete und Abflüsse der Kaltluft zu berücksichtigen.

**Kaltluftbahn (reduziert)**

Bestandteil einer Kaltluftbahn, die durch ein bebautes Gebiet führt und dadurch eine reduzierte Wirkung hat. Durch ein entsprechendes hohes Kaltluftvolumen werden diese Bereiche durch- und überströmt.

**Kaltluftabflussrichtung**

Der Kaltluftabfluss ist ein thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem (Hangabwind). Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Diese, durch Temperatur- und Dichteunterschiede entstehenden, bodennahen Kaltluftabflüsse, initiieren und / oder verstärken das nächtliche Windsystem. Generell beeinflusst Kaltluft das lokale Klima signifikant. Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftabflüsse ist auf wenige Dekameter beschränkt.

**Durchlüftung / Durchlüftungsbahn**

Innerstädtische Luftbahn, die insbesondere bei windstärkeren Wetterlagen Durchlüftung ermöglicht. Korridore (Gleisanlagen, breite Straßen, Flussläufe etc.) die als zusätzliche Bahnen belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.

## 5.2 Legende der Klimaanalysekarte der Stadt Eisenach

Die Legende der Klimaanalysekarte (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26) beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung) als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas in Eisenach, welche in der Klimaanalysekarte (Abbildung 27) dargestellt wird.

**Klimatope (thermische und dynamische Komponente):**

| Kategorie                  | Name                                 | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klimatologische Wertigkeit | <b>Hohes Abkühlungspotenzial</b>     | <b>Hauptsächlich Kalt- und Frischluftentstehung</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Freilandklima</b> .<br>Hochaktive, vor allem kaltluft- und/oder frischluftproduzierende Flächen im Außenbereich. Größtenteils mit geringer Rauigkeit und/oder entsprechender Hangneigung. |
|                            | <b>Mittleres Abkühlungspotenzial</b> | <b>Hauptsächlich Frischluftentstehung</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Waldklima</b> .<br>Hochrelevante Flächen für Frischluft- und Kaltluftentstehung, hauptsächlich mit dichten Baumbestand.                                                                             |
|                            | <b>Abkühlungspotenzial</b>           | <b>Misch- und Übergangsklimate</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Klima innerstädtischer Grünflächen</b> . Flächen mit hohem Vegetationsanteil, die zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen.                                                                               |
|                            | <b>Geringe Überwärmung</b>           | <b>Schwache Ausprägung von Wärmeinsel</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Vorstadtklima</b> . Baulich geprägte Bereiche mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen, größtenteils ausreichende Belüftung.                                            |
|                            | <b>Moderate Überwärmung</b>          | <b>Ausgeprägte Wärmeinseln</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Stadtklima</b> . Dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad und wenig Vegetation in den Freiräumen. Durch Barrieren entstehen Belüftungsdefizite.                                                                |
|                            | <b>Starke Überwärmung</b>            | <b>Ausgeprägte Wärmeinseln mit hoher Belastung</b><br>Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: <b>Innenstadtklima</b> . Stark verdichtete Innenstadtbereiche/City, Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetationsanteil und fehlender Belüftung.                                        |

Wärmebelastung / heat load

Abbildung 25: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023, Teil 1

**Hervorhebung dynamische Komponente:**

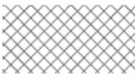
| Kategorie   | Name                                                                                                                           | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| großräumig  |  <b>Luftleitbahn<br/>(Wirkrichtung)</b>       | Luftleitbahn von unterschiedlichem thermischen und/oder lufthygienischen Niveau mit lokaler und regionaler Bedeutung. Bei Schwachwindlagen und windstarken Wetterlagen aktiv. Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite bevorzugte Fläche für den Luftmassenaustausch. Die Ausrichtung der Pfeilsymbole entsprechen der bevorzugten Fließrichtung. |
|             |  <b>Kaltluftbahn</b>                          | Thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem. Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Die bodennahen Kaltluftabflüsse werden durch Temperatur- und Dichteunterschiede initiiert.                                                                                                                                                        |
|             |  <b>Kaltluftbahn<br/>reduziert</b>            | Teil einer Kaltluftbahn mit reduzierter Wirkung im bodennahen Bereich. Durch die Mächtigkeit des Kaltluftabflusses Über- / Durchströmung partieller Siedlungsbereiche.                                                                                                                                                                                           |
| kleinräumig |  <b>Kaltluftabfluss-<br/>richtung</b>         | Die Ausrichtung des Pfeilsymbols entspricht der Abflussrichtung der bodennahen Kaltluft.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|             |  <b>Durchlüftung/<br/>Durchlüftungsbahn</b> | Innerstädtische Luftbahn, die insbesondere bei windstärkeren Wetterlagen Durchlüftung ermöglicht. Korridore (Gleisanlagen, breite Straßen, Flussläufe etc.) die als zusätzliche Bahnen belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.                                                                                                                       |

Abbildung 26: Legende der Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023, Teil 2

### 5.3 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – 2023

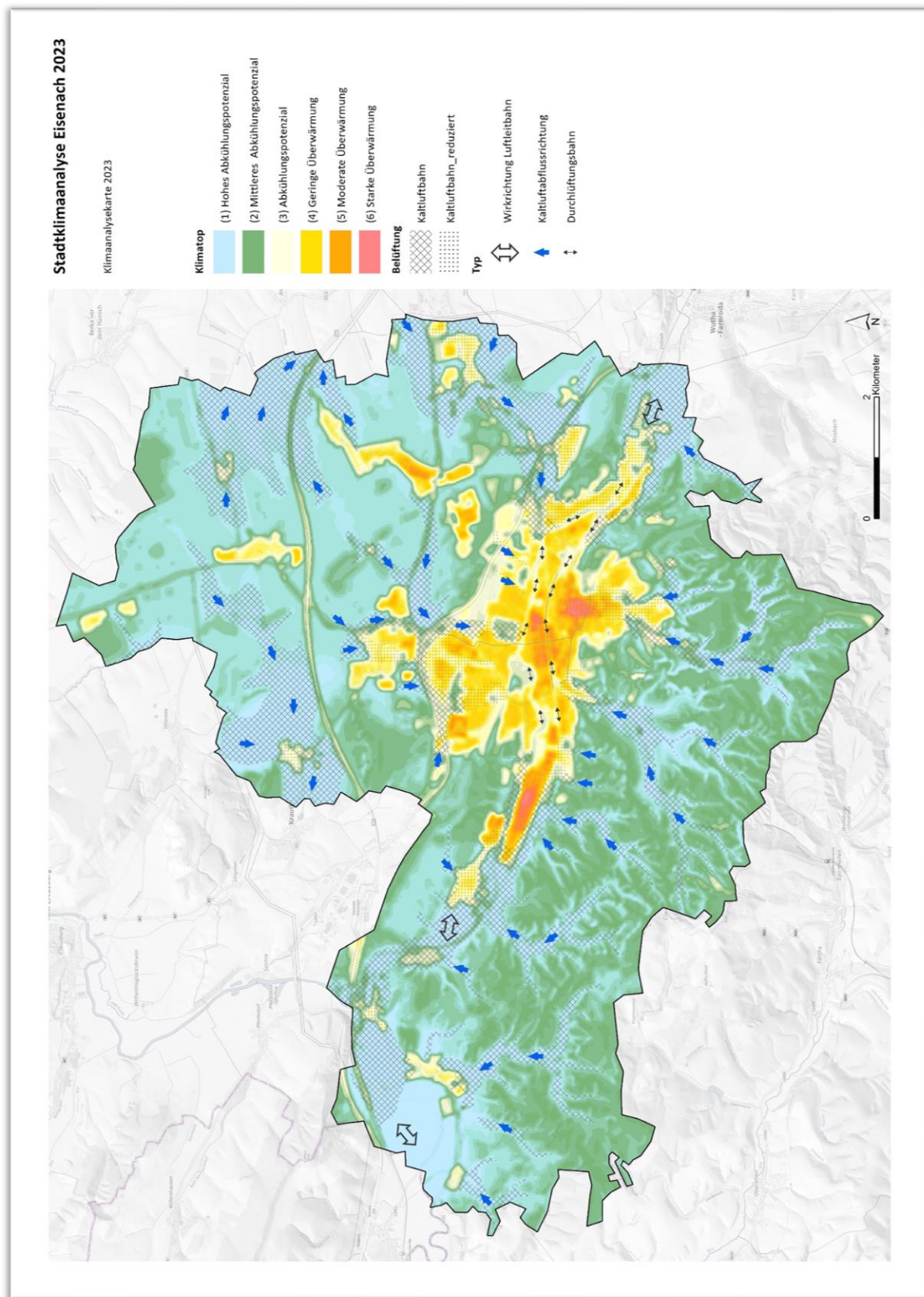


Abbildung 27: Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023, ohne Maßstab (Original in Anhang)

## 5.4 Klimaanalysekarte und lufthygienische Verhältnisse Stadt Eisenach

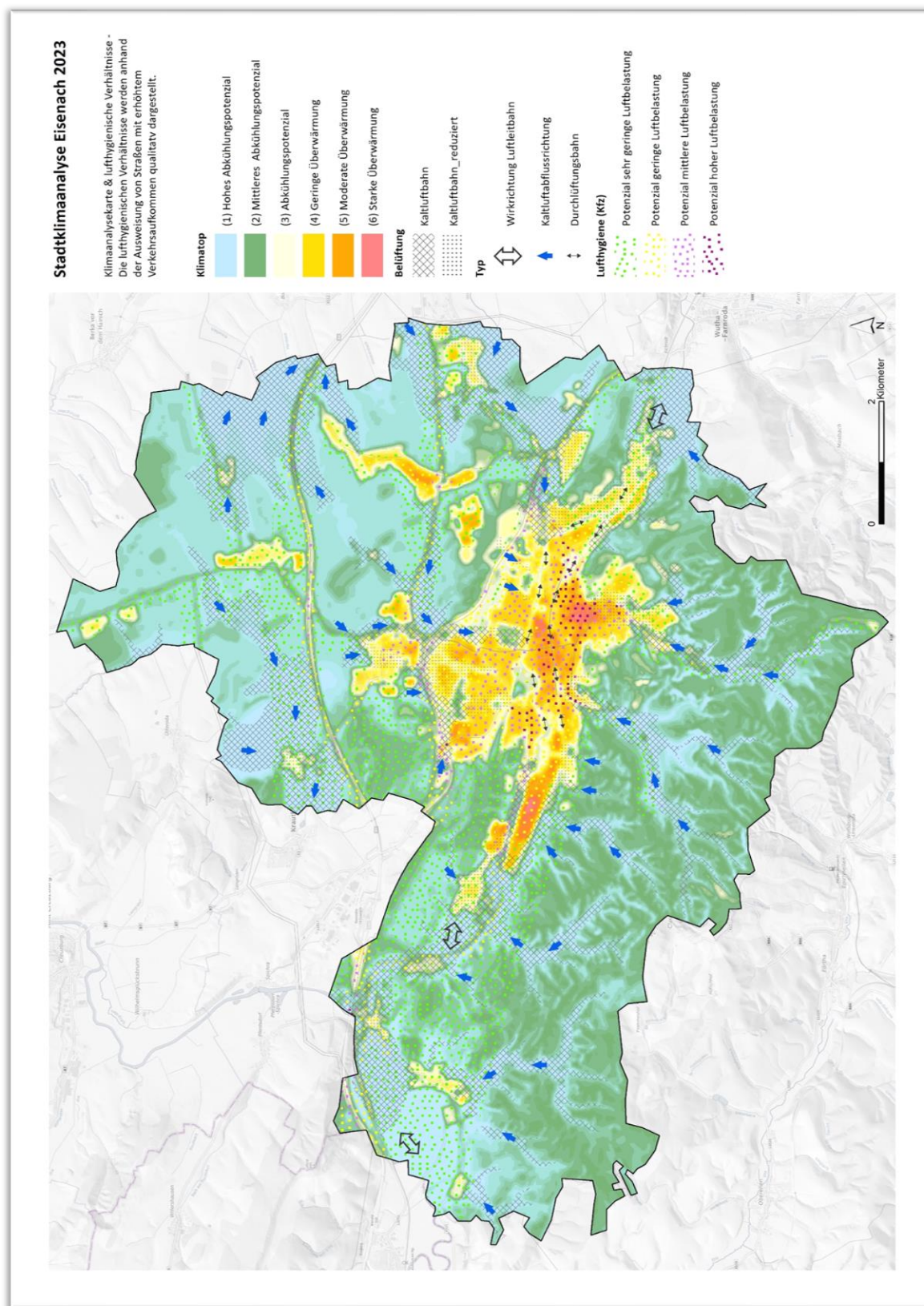


Abbildung 28. Klimaanalysekarte und lufthygienische Verhältnisse Stadt Eisenach 2023, ohne Maßstab  
(Original in Anhang)

## 6 Klimaanalysekarte Zukunft

Um für heutige Planungsprozesse und Entscheidungen eine klimabewusste und zukunftsfähige Ausrichtung zu realisieren, müssen Kenntnisse vorhanden sein, wie sich die klimatologischen Trends entwickeln und welche Auswirkungen diese auf den konkreten Betrachtungsraum haben werden.

Um diesen Trend der wahrscheinlich eintretenden Veränderungen zu veranschaulichen, wurde aufbauend auf der detaillierten Klimaanalysekarte 2023 (Bestand) ein Szenario für die nahe Zukunft (2021 - 2050) (Abbildung 29) sowie die ferne Zukunft (2071 - 2100) (Abbildung 30) entwickelt. Um eine inhaltliche Konsistenz zu gewährleisten, wurde für die Stadtklimaanalyse Eisenach auf die eingesetzten Zukunftsdaten aus dem ReKIS Projekt (Kompetenzzentrum Klima TLUBN) zurückgegriffen. Diese Daten beruhen auf dem Emissionsszenario RCP8.5 und stammen aus dem Mitteldeutschen Kernensemble (MDK), welches aus sieben Klimamodellen besteht. Nachzulesen ist dies auf der Homepage des Regionalen Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (ReKIS) ([rekis.hydro.tu-dresden.de/kommunal](http://rekis.hydro.tu-dresden.de/kommunal)).

### 6.1 Voraussichtliche Auswirkungen des projizierten Klimawandels

#### *Temperaturbezogene Auswirkungen des Klimawandels*

Im ganzen Stadtgebiet Eisenachs ist eindeutig mit einer Zunahme der Lufttemperatur sowie der Klimaindizes (Kenntage) zu rechnen. Dieser Trend bildet sich in der gesamten Region ab und führt generell bei dichter Bebauung und intensiver Versiegelung zu einer deutlichen Erwärmung, während locker bebaute Landnutzungsklassen bzw. Naturräume in Zukunft von etwas weniger starkem Temperaturanstieg betroffen sein werden.

- Temperaturentwicklung im Sommer (Lufttemperatur)

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 1961 – 1990 (Beobachtung) | 15,7 °C            |
| 2021 – 2050 (Simulation)  | 17,9 °C (+ 2,2 °C) |
| 2071 – 2100 (Simulation)  | 20,9 °C (+5,2 °C)  |

- Sommertage ( $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ ):

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 1961 – 1990 (Beobachtung) | 20 Tage            |
| 2021 – 2050 (Simulation)  | 48 Tage (+28 Tage) |
| 2071 – 2100 (Simulation)  | 84 Tage (+64 Tage) |

- Heiße Tage ( $T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ ):

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 1961 – 1990 (Beobachtung) | 1 Tag              |
| 2021 – 2050 (Simulation)  | 12 Tage (+11 Tage) |
| 2071 – 2100 (Simulation)  | 39 Tage (+38 Tage) |

## 6.2 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – nahe Zukunft (2021-2050)

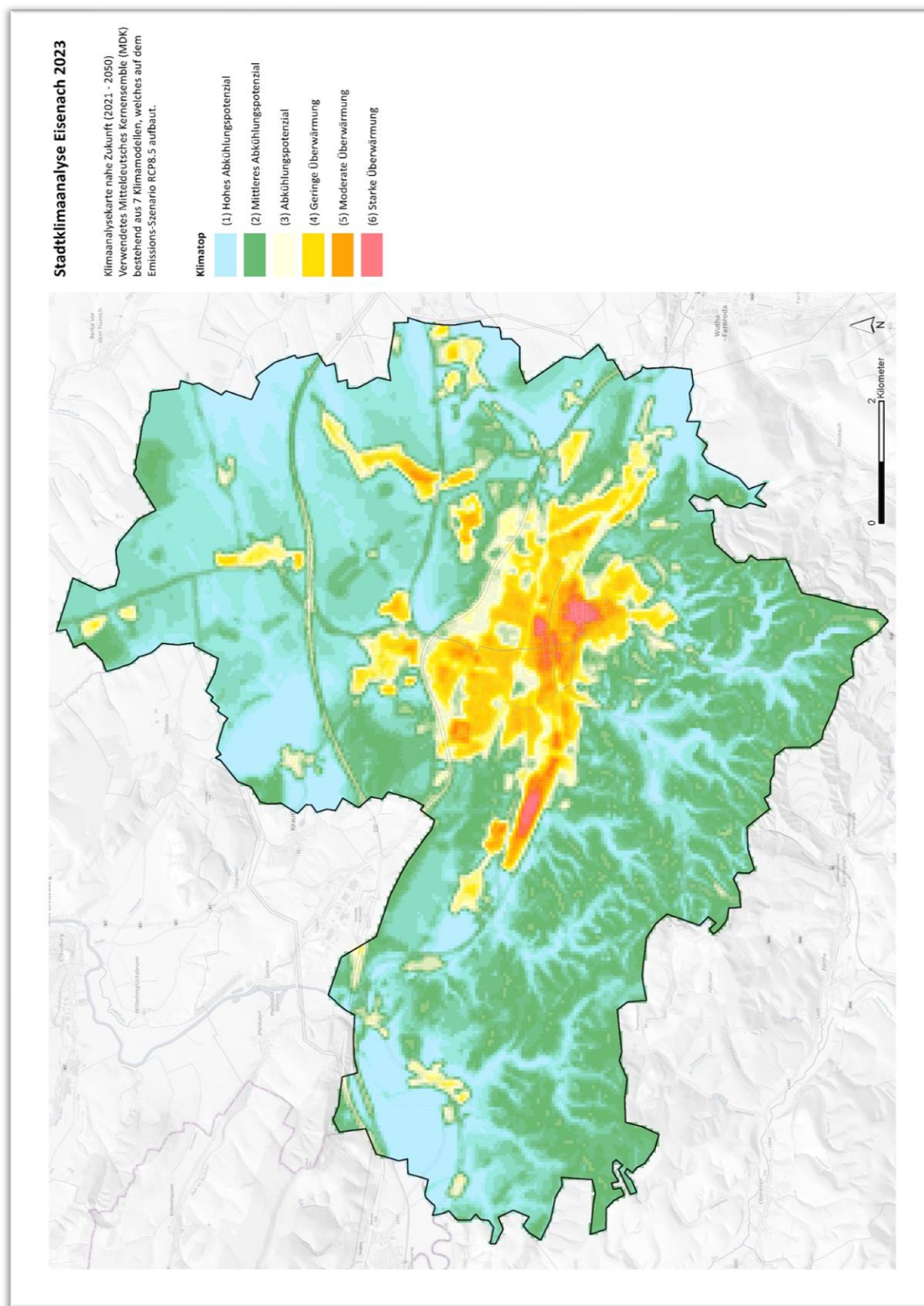


Abbildung 29: Klimaanalysekarte nahe Zukunft (2021 - 2050) Stadt Eisenach, ohne Maßstab (Original im Anhang)

### 6.3 Klimaanalysekarte Stadt Eisenach – ferne Zukunft (2071-2100)

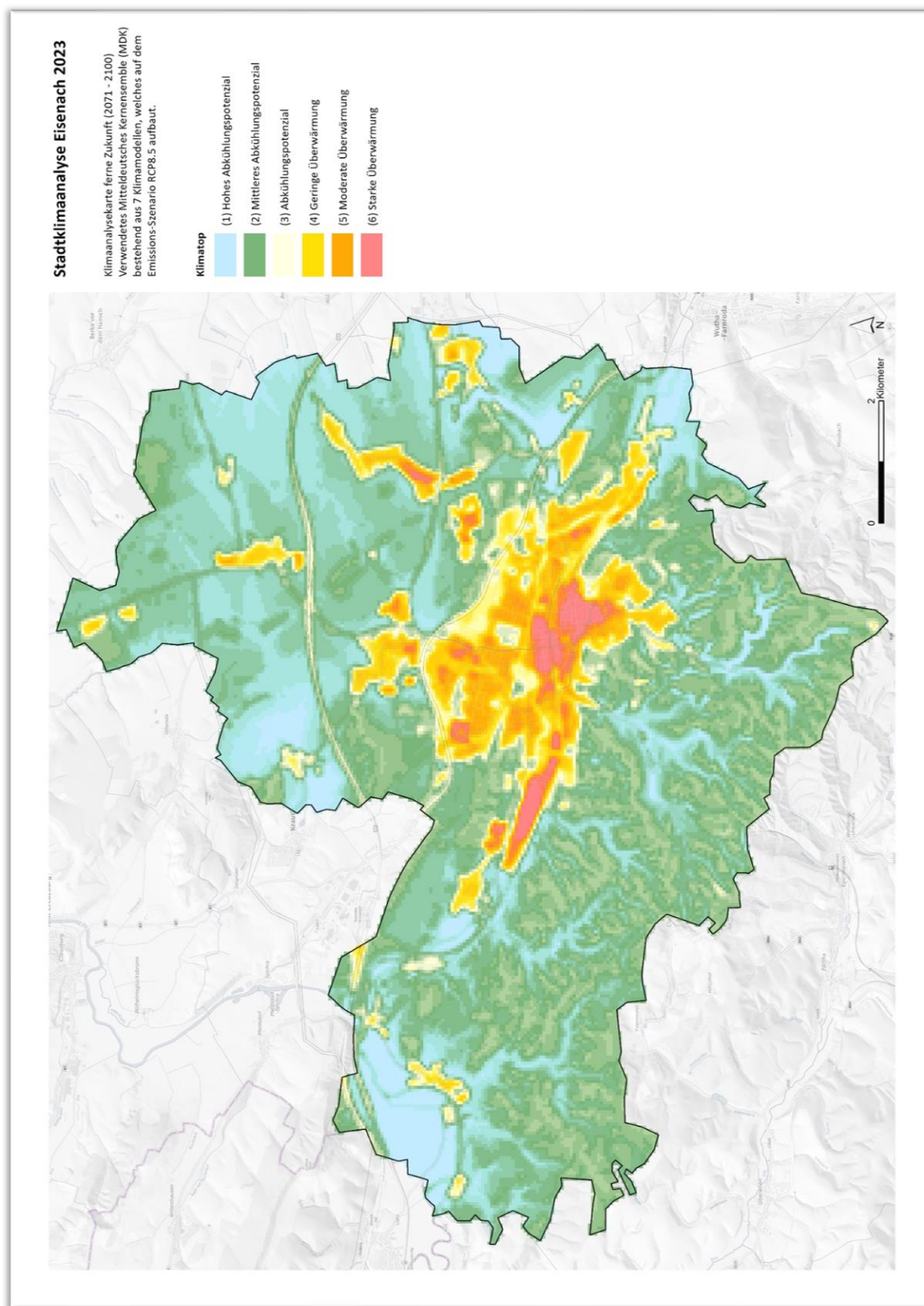


Abbildung 30. Klimaanalysekarte ferne Zukunft (2071-2100) Stadt Eisenach, ohne Maßstab (Original im Anhang)

## 7 Vulnerabilitätsanalyse Eisenach

Eine umfangreiche Betroffenheitsanalyse kann Handlungsbedarf lokalisieren und wurde im Rahmen der Stadtklimaanalyse durchgeführt, um des weiteren Eingang in die Planungshinweiskarte (Kapitel 8) zu finden. Dazu wurden zwei Kartenwerke auf Grundlage der zur Verfügung gestellten sozio-demografischen Daten und Daten zu hitzesensibler Infrastruktur. (1) die klimatische Empfindlichkeit gibt die potenzielle Empfindlichkeit der Bevölkerung und der sensiblen Infrastruktur hinsichtlich Hitze an und (2) die Betroffenheitskarte zeigt aufbauend auf (1) die reale Betroffenheit in Folge von Empfindlichkeit und Hitzebelastung.

### 7.1 Verortung von sensibler Infrastruktur zur Identifizierung stadtklimatischer Vulnerabilität

Als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen wurden bei diesem Analyseschritt Kleinkinder (0 – 6 Jahre) und ältere und hochaltrige Menschen (über 65 Jahre) gewählt, da diese besonders sensibel auf klimatische Extreme reagieren. Die zugrundeliegenden Daten (Stichtag 01.01.2024) wurden von der Stadt Eisenach bezogen auf die Planungsräume, bzw. Ortsteile zur Verfügung gestellt.

Als Indikator für die Einteilung in sechs Klassen (sehr geringe Empfindlichkeit bis sehr hohe Empfindlichkeit) wurde die Summe der vulnerablen Bevölkerungsgruppen mit der Einwohnerdichte verschnitten und anschließend kategorisiert.

Abbildung 31 zeigt die flächige Verteilung der Empfindlichkeit der Bevölkerung sowie die Verortung der sensiblen Infrastruktur im Eisenacher Stadtgebiet.

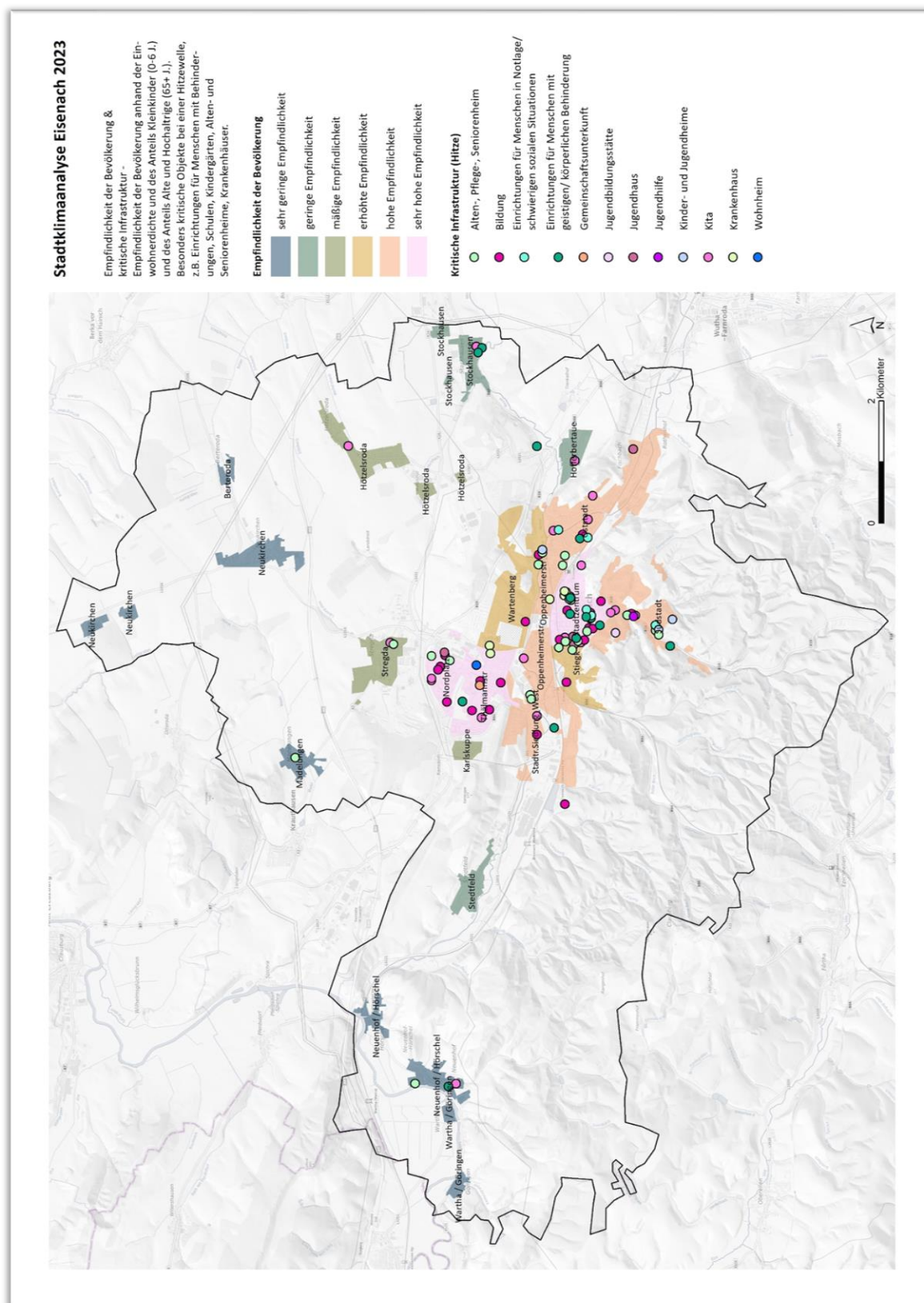


Abbildung 31: Verortung empfindlicher Infrastruktur Stadt Eisenach 2023, ohne Maßstab (Original im Anhang)

## 7.2 Sozio-Demografische Betroffenheitsanalyse zur Identifizierung stadtklimatischer Vulnerabilität

Die Empfindlichkeit der Bevölkerung bildet nur die altersbezogene und wohnumfeldbezogene Sensitivität ab. Das bedeutet, die unterschiedlichen Ausprägungen des Stadtklimas (Hitzebelastung) wurden noch nicht beachtet. Dies wird in der anschließende Betroffenheitsanalyse ausgeführt.

Dabei bildet die Klimaanalysekarte die Ausgangslage der folgenden Analyseschritte. Der klimatische Einfluss wird durch die Klimawirkung der Klimatope beschrieben. Das räumliche Vorkommen der Klimatope wird mit der Empfindlichkeit verschnitten.

Die beiden Indikatoren sind somit die Klimaanalysekarte 2023 und die Empfindlichkeit der Bevölkerung (basierend auf Einwohnerdaten Stichtag 01.01.2024, Kapitel 7.1).

Als Indikator für die Einteilung in fünf Klassen (sehr geringe, geringe, mittlere, hohe und sehr hohe Betroffenheit) wird der Wert der Empfindlichkeit mit der thermischen Belastung der Klimatope multipliziert und anschließend gruppiert. Somit konnte eine qualitative Klassifizierung vorgenommen werden.

Abbildung 32 zeigt die flächige Verteilung der Betroffenheit der Bevölkerung in Eisenacher Stadtgebiet. Eine sehr hohe Betroffenheit besteht, wenn eine hohe Empfindlichkeit und ein hoher Überwärmungsgrad gemeinsam auftreten. Dies sind vor allem die stark verdichteten Bereiche mit Wohnnutzung im Bereich des Stadtzentrums (Planungsraum I) sowie die Wohnsiedlungen im Gebiet Nordplatz (Planungsraum IV). Geringere Betroffenheiten bestehen in Gebieten, die entweder keine hohe Empfindlichkeit aufweisen, nur wenige Menschen der sensiblen Bevölkerungsgruppen verzeichnen, oder in Gebieten, die nur eine geringe thermische Belastung aufweisen wie in den nördlichen und westlichen Ortsteilen mit ausreichend Freifläche im Wohnumfeld.

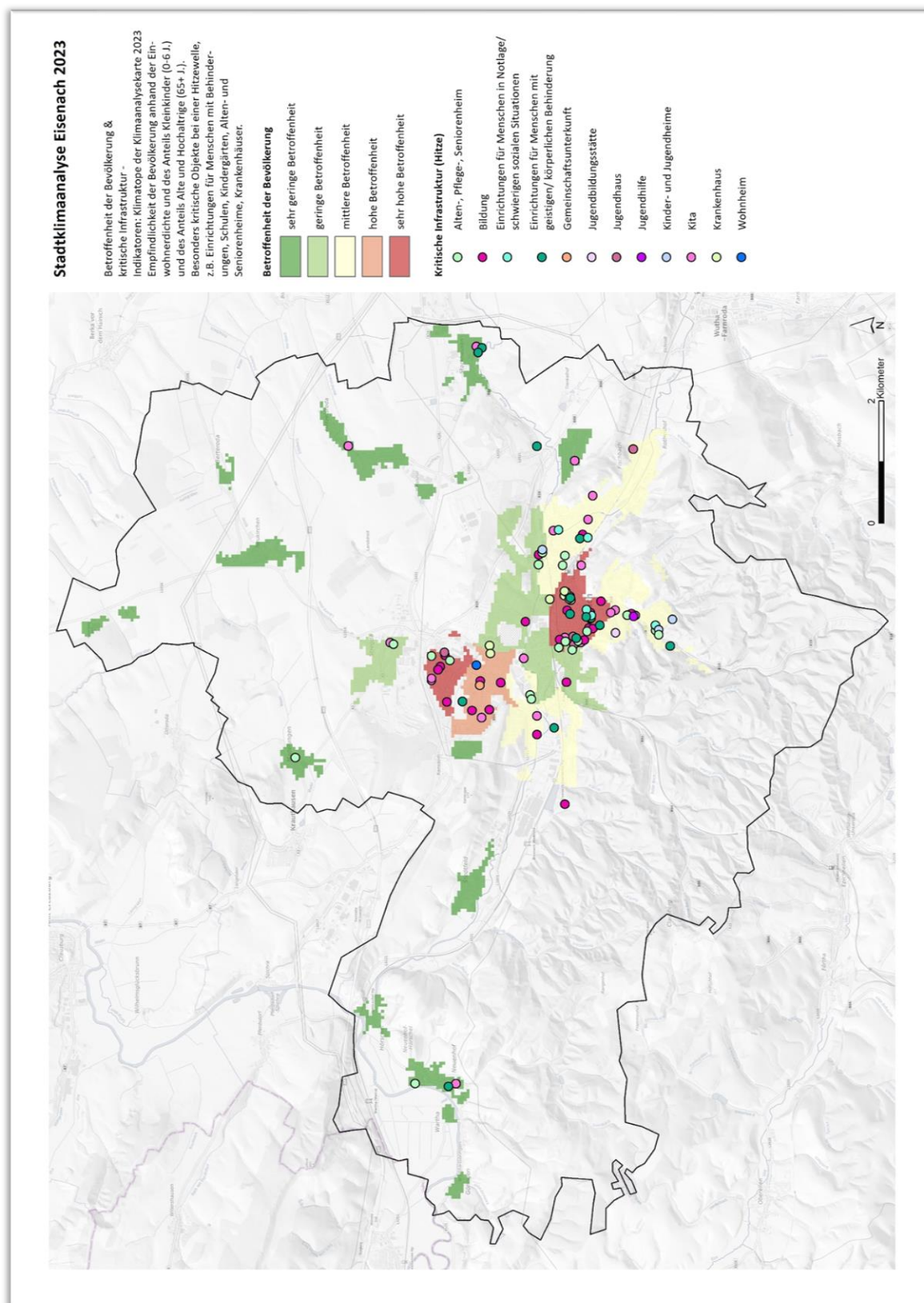


Abbildung 32: Soziodemographische Betroffenheit Stadt Eisenach 2023, ohne Maßstab (Original im Anhang)

## 8 Planungshinweiskarte und Maßnahmenkatalog

Die Auswertung und Weiterverarbeitung der bisher gewonnenen Analyseergebnisse in eine für die Flächennutzungs- und Bebauungsplanung nutzbare „Sprache“ fördert eine erfolgreiche Einbindung stadtklimatischer Anforderungen in Planungsprozesse. Die Planungshinweiskarte nach VDI- Richtlinie 3787 Blatt 1 stellt dafür ein geeignetes Instrument dar, das in einem abschließenden Schritt unter Berücksichtigung der aktuellen stadtklimatischen Gegebenheiten sowie der zukünftigen Klimaentwicklung und der Betroffenheit der Bevölkerung erstellt wird.

Die Planungshinweiskarte bildet im Anwendungsfall die erste Einordnung einer Fläche in Bezug auf die klimatische Situation. Detailliertere Informationen wie Wechselwirkungen und die Ausprägung der Klimatope sind der Klimaanalysekarte zu entnehmen. Bei detaillierten und bestimmten Parametern kann auf die Themenkarten der nächtlichen Kaltluft zurückgegriffen werden. Daraus ergibt sich folgende empfohlene Anwendungsreihenfolge der Klimakarten (siehe Abbildung 33):

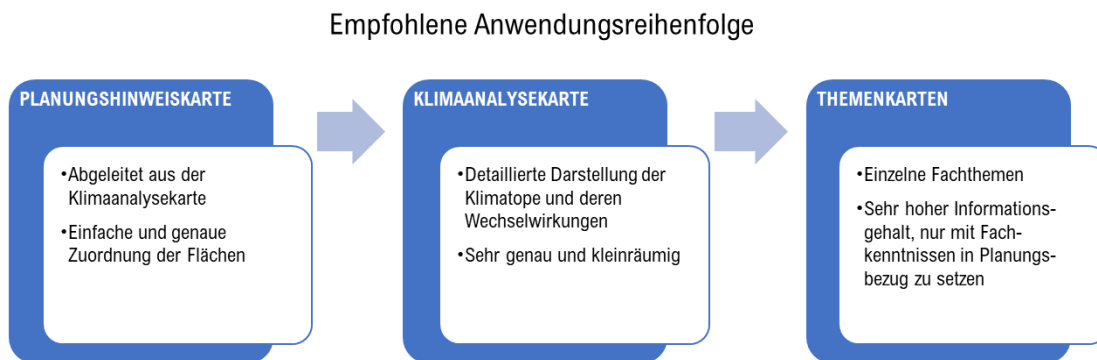


Abbildung 33: Empfohlene Anwendungsreihenfolge bei der Verwendung von Stadtklimakarten

### 8.1 Einführung und Methodik

Die Planungshinweiskarte (siehe Abbildung 38) fokussiert eine möglichst optimale Raumgliederung der relevanten Bereiche im Kontext von Planungsaufgaben unter Klimagesichtspunkten. „Die Erstellung einer klimatischen Planungshinweiskarte [...] beinhaltet immer einen Teil von Expertenwissen der Stadt- und Geländeklimatologie“ (VDI 3787 Blatt 1). Dabei werden die Klimatope der Klimaanalysekarte zusammengefasst, in Planungsbezug gesetzt und mit einer scharfen Abgrenzung dargestellt. Ergänzt werden die Informationen mit den Ergebnissen der zukünftigen klimatischen Entwicklung und der Betroffenheitsanalyse.

Die Umsetzung folgt den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 und sieht grundsätzlich zwei übergeordnete Hinweistypen vor: „Ausgleichsräume“ in Form von Grün- und Freiräumen sowie „Lasträume“ in Form von Siedlungsräumen (bebaute Gebiete).

Die bewertenden Stufen der Planungshinweiskarte beinhalten Hinweise bezüglich der klimatischen Empfindlichkeit von Flächen gegenüber nutzungsändernden Eingriffen oder Bebauungsänderungen. Abbildung 34 zeigt die typische Einordnung unterschiedlicher Flächennutzungen hinsichtlich ihrer Funktion als Ausgleichsräume.



Abbildung 34: Exemplarische Darstellung unterschiedlicher Ausgleichsräume (beispielhafte Orte)

Die Einteilung der Lasträume geschieht in insgesamt vier Kategorien, die entsprechend bewertet werden und für die die Planungshinweise nach VDI-Richtlinie gelten (siehe Abbildung 35).



Abbildung 35: Exemplarische Darstellung unterschiedlicher Lasträume (beispielhafte Orte)

*Beschreibung der Planungshinweiskategorien nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1:*

### **Ausgleichsräume, Grün- und Freiräume**

#### **Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung**

Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit direktem Bezug zum Siedlungsraum, wie innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems bzw. der lokalen oder regionalen Belüftung liegen.

Diese Gruppe umfasst des Weiteren nicht bebaute Täler, insbesondere deren Talsohlen und Geländeeinschnitte, in denen ein Kaltluftabfluss auftritt. Diese Gebiete sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt. Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen aus klimatisch-lufthygienischen Gründen für den Ballungsraum von großer Wichtigkeit.

Die genannten Flächentypen sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; das heißt bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern. Sollten trotz klimatischer Bedenken in solchen Gebieten Planungen in Erwägung gezogen werden, sind dafür klimatisch-lufthygienische Sondergutachten unbedingt notwendig.

#### **Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung**

Die auf diesen Freiflächen entstehende Kalt- und Frischluft fließt entweder nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete oder es liegt nur eine geringe Kaltluftproduktion aufgrund der Ausstattung vor.

Auf derartigen Flächen ist aus klimatischer Sicht eine maßvolle Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, möglich. Klimatisch bedeutsame lokale Gegebenheiten wie Talsohlen, Schneisen, Bachläufe usw. sind jedoch bei der Planung zu berücksichtigen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen, die Schaffung von Dach- und Fassadenbegrünungen und möglichst geringe Gebäudehöhen sowie windoffene Gebäudeanordnungen zu empfehlen.

#### **Ausgleichsraum mit geringer Bedeutung**

Diese Freiflächen haben entweder keine direkte Zuordnung zum Siedlungsraum, das heißt, dort entstehende Kalt- und Frischluft fließt nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete, oder es liegt nur eine geringe Kaltluftproduktion vor. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung ist die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen zu empfehlen.

Sie sind mit geringerer Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet. Auf derartigen Flächen ist aus klimatischer Sicht eine maßvolle Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, möglich.

**Lasträume, Siedlungsräume (bebaute Gebiete)****Bebautes Gebiet mit geringer Belastung und geringer klimarelevanter Funktion**

Bebaute Gebiete mit geringen klimatischen Funktionen, die aufgrund ihrer Lage keine hohen thermisch-lufthygienischen Belastungen aufweisen und benachbarte Siedlungsbereiche nicht wesentlich beeinträchtigen.

Es handelt es sich um bebaute, gut durchlüftete Kuppenlagen oder um bebaute Gebiete, deren thermisch-lufthygienische Emissionen nicht zu Verschlechterungen in nahegelegenen Siedlungsbereichen führen. Bei einer zusätzlichen Verdichtung ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Auswirkung zu erwarten.

Allerdings ist darauf zu achten, dass bestehende Belüftungsmöglichkeiten erhalten werden und zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen. Durch Dach- und Fassadenbegrünung und Beibehaltung von Grünflächen kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden.

**Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion**

Hierbei handelt es sich um bebaute Gebiete, die aufgrund ihrer Lage und ihrer Bebauungsart klimarelevante Funktionen übernehmen. Darunter fallen z. B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen oder Siedlungsränder, die nachts entsprechend abkühlen und relativ windoffen sind oder gut durchlüftete verdichtete Siedlungsbereiche (z. B. Kuppenlagen).

Diese Gebiete führen weder zu intensiver thermisch-lufthygienischer Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustauschs und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.

Damit sind z. B. Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken gemeint, wobei die in diesem Gebiet vorhandene Dimension der Bebauung beibehalten werden sollte. Solche relativ geringfügigen und der Umgebung angemessenen Nutzungsänderungen ziehen keine wesentlichen klimatisch-lufthygienischen Änderungen nach sich.

Allerdings ist bei Planungen von Baumaßnahmen in diesen ausgewiesenen Flächen eine Beurteilung eines klimatisch-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Erhaltung und Schaffung von Grün- und Ventilationsschneisen von Vorteil. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.

### Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion

Diese ausgewiesenen bebauten Bereiche übernehmen für sich und angrenzende Siedlungen bedeutende klimarelevante Funktionen, wobei Art und Dimension der vorhandenen Bebauung sehr unterschiedlich sein können.

Die genannten Gebiete weisen allesamt eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Weitere Bau und Versiegelungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Gebiete wird eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Betonung oder Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen. Bei nutzungsändernden Planungen in diesen ausgewiesenen Flächen sind klimatisch-lufthygienische Gutachten notwendig.

### Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen

Diese Ausweisung umfasst vornehmlich verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind; dazu zählen auch diejenigen bebauten Bereiche, in denen der Luftaustausch maßgeblich durch Bauwerke behindert ist.

Diese Gebiete sind unter Landeshauptstadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig.

Als Aufwertungs- oder Sanierungsmaßnahmen kommen infrage:

Erhöhungen des Vegetationsanteils, Verringerungen des Versiegelungsgrads und Verringerungen des Emissionsaufkommens, insbesondere des Verkehrs und der Feuerungsanlagen. Zudem wird eine Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen empfohlen; damit ist u. U. die Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke verbunden.

Bei allen Planungen innerhalb dieser Flächenausweisungen sind klimatisch-lufthygienische Gutachten notwendig.

## 8.2 Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach

Die Legende der Planungshinweiskarte Eisenachs mit zugeordneten Planungshinweisen unterteilt die zusammengefassten Klimatope der Klimaanalysekarte in Hinblick auf den Umgang der entsprechenden Flächen aus stadtklimatischer Sicht (siehe Abbildung 36 und Abbildung 37).

### Ausgleichsräume, Grün- und Freiflächen:

| schützen und vernetzen | Kategorie | Name                                          | Planungshinweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|-----------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |           | <b>Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung</b>     | <b>Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen.</b><br>Großflächige, klimaaktive Freiflächen mit direktem, positiv wirksamen Bezug zum Siedlungsraum. Hoher Einfluss für das aktive Kaltluftsystem, das die Siedlungsräume mit Kalt- und oder Frischluft versorgt. Hohe klimaökologische Wertigkeit.<br><i>Schützen und Funktionsfähigkeit aufrechterhalten, nach Möglichkeiten weitere Vernetzungen anstreben. Innerstädtische Potenzialflächen über Schneisen und Vegetationsflächen verbinden.</i>                                                                                                                  |
|                        |           | <b>Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung</b> | <b>Empfindlich gegenüber Nutzungsänderungen.</b><br>Flächen im indirekten und selten direkten Wirkungszusammenhang mit Siedlungsflächen. Hohe klimaökologische Wertigkeit der landwirtschaftlichen Flächen und Waldflächen im Einzugsgebiet der Kernstadt. Dadurch wichtige Ausgleichsfunktion zur thermischen Entlastung.<br><i>Schützen und Funktionsfähigkeit aufrechterhalten. Bei Planungen von Baumaßnahmen ist eine Beurteilung eines klimatisch-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Schaffung von Grün- und Ventilationsschneisen von Vorteil.</i> |
| schützen               |           | <b>Ausgleichsraum</b>                         | <b>Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen.</b><br>Flächen mit geringem klimatischen Einfluss auf Siedlungsgebiete. Von Siedlungsgebieten abgewandt oder wenig bedeutend für die Kalt- und Frischluftproduktion sowie den Transport.<br><i>Klimabewusste Entwicklungen sind unter Beachtung des „Bodenverbrauchs“/ Klimaschutz durchführbar. Eine möglichst geringe Gebäudehöhe sowie windoffene Gebäudeanordnungen sind zu empfehlen.</i>                                                                                                                                                                      |

Abbildung 36: Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023 (Ausgleichsräume, Grün- und Freiflächen), Teil 1

**Lasträume, Siedlungsflächen:**

|                                   | Kategorie | Name                                                                                | Planungshinweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| klimasensible Entwicklung möglich |           | <b>Bebautes Gebiet mit geringer Belastung und geringer klimarelevanter Funktion</b> | Gebiete im Siedlungs- oder Stadtgebiet mit <b>geringer klimatisch-lufthygienischen Empfindlichkeit</b> aufgrund ihrer Lage und der geringen thermischen Belastungen.<br>Diese Flächen haben keine nennenswerte klimatische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen und baulicher Nachverdichtung.<br><i>Entwicklungen können stadtklimatologische Auswirkungen haben, sofern ein Einfluss auf die Durchlüftung der Stadt oder die Abkühlung in der Nacht besteht, Siedlungsränder offenhalten. Nachverdichtungen im Sinne des Klimaschutzes sind stadtklimasensibel durchzuführen.</i> |
|                                   |           | <b>Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion</b>                                 | <b>Klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten</b> gegenüber Nutzungsintensivierung. Bestehende Belüftungsmöglichkeiten sollten erhalten und ausgebaut werden.<br><i>Bauliche Maßnahmen und Stadtentwicklungsaktivitäten auf diesen Flächen sollen klimasensibel unter Beachtung der Durchlüftung des Gebiets und des Einflusses auf das Stadtgebiet betrieben werden und durch ein stadtklimatisches Gutachten begleitet werden.</i>                                                                                                                                                            |
|                                   |           | <b>Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion</b>                     | <b>Erhebliche Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung</b> , Bautätigkeit oder weiterer Versiegelung. Diese Faktoren können zu erheblichen negativen Auswirkungen der klimatischen Situation führen und sollten stets durch Mikroklimauntersuchungen begleitet werden.<br><i>Für diese Gebiete wird eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Betonung oder Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen.</i>                                                                                                                                                                      |
| sanieren                          |           | <b>Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen</b>                                  | Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten <b>sanierungsbedürftig</b> . <i>Erhöhungen des Vegetationsanteils, Verringerungen des Versiegelungsgrads.</i><br><i>Zudem wird eine Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Ventilationsbahnen empfohlen, damit das lokale Belüftungssystem entlastend wirken kann.</i><br>Human-Biometeorologische Empfehlung: <i>Schaffung und Erhalt lokaler Gunsträume (Freiräume mit Vegetation und Schatten), vor allem in Hinblick auf „Auswirkungen des Klimawandels“ und bei unzureichender Belüftung.</i>                         |

Abbildung 37: Legende der Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023 (Lasträume, Siedlungsflächen), Teil 2

### 8.3 Planungshinweiskarte Eisenach 2023

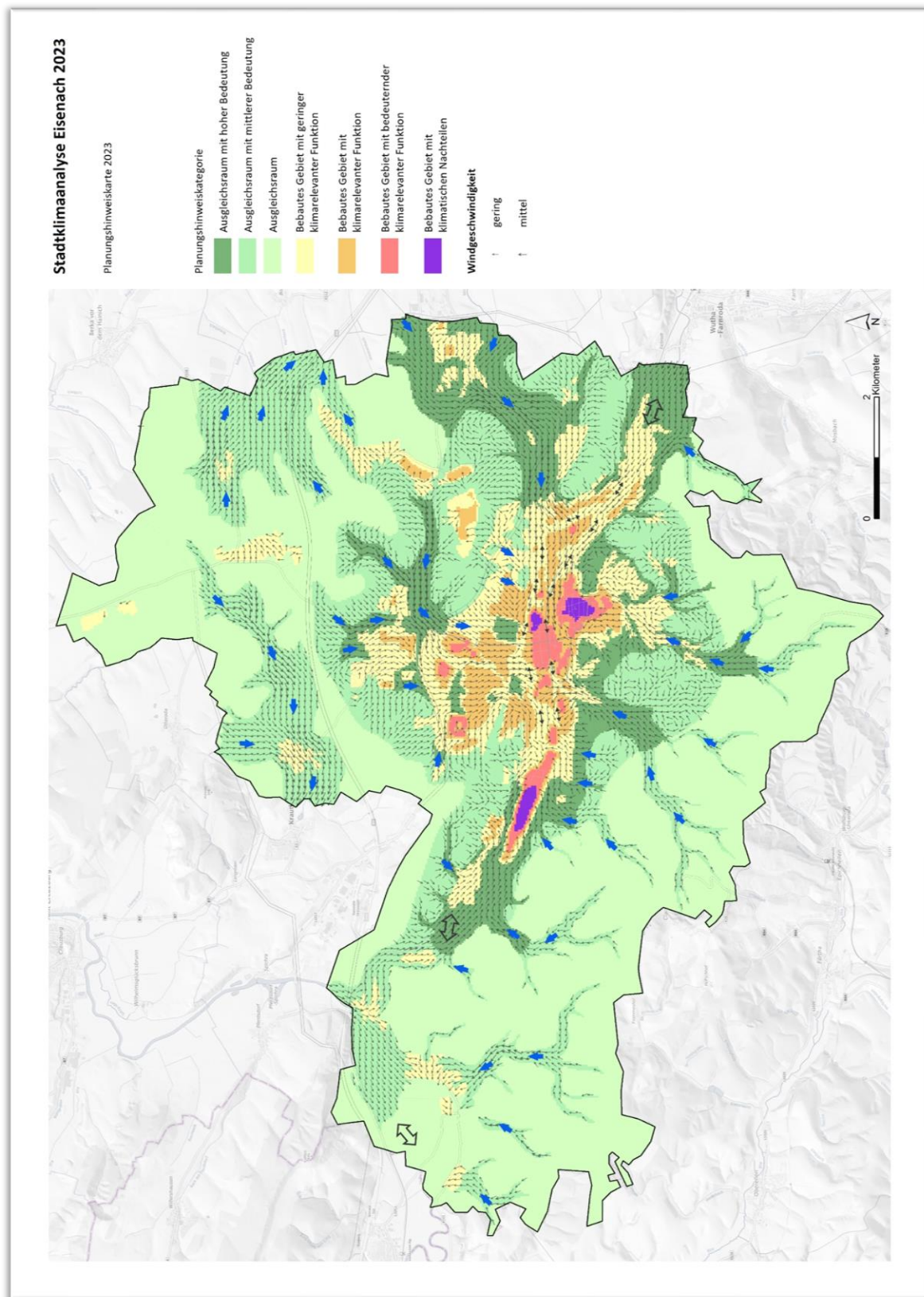


Abbildung 38: Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023, ohne Maßstab (Original im Anhang)

## 8.4 Maßnahmenkatalog

Tabelle 3: Maßnahmenkatalog mit räumlichen Planungsempfehlungen und informellen Maßnahmen

|                                | Nr. | Bezeichnung<br>Maßnahme                          | Beschreibung<br>Maßnahme                                                                                                                                                    | Ebene /<br>Wirkungsfeld                      | Instrument                                      |
|--------------------------------|-----|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Räumliche Planungsempfehlungen | 1   | Verbesserung der<br>Belüftungs-verhält-<br>nisse | Kaltluftkorridore sollen bei der zukünftigen baulichen Entwicklung erhalten und in ihrer Funktionsfähigkeit verbessert werden                                               | Mesoklima /<br>Gesamtstadt                   | Landschaftsplan,<br>Bebauungsplan,<br>Anordnung |
|                                |     |                                                  | Neue Durchlüftungswege durch Verbreiterung und Aktivierung von Durchlüftungswegen z. B. durch Freilegung von Bachläufen                                                     |                                              | Bebauungsplan,<br>Anordnung                     |
|                                | 2   | Hitze abbauen im<br>Außenraum                    | Verschattung zur Reduktion der bioklimatischen Belastung, mehr Vegetation und die Materialität und Farbgebung beachten.                                                     | Mikroklima /<br>lokal                        | Bebauungsplan,<br>Satzung                       |
|                                |     |                                                  | Dach- und Fassadenbegrünung                                                                                                                                                 |                                              | Anordnung                                       |
|                                |     |                                                  | Entsiegelung, z. B. Ersetzen von Asphalt durch durchlässiges Wegematerial                                                                                                   |                                              | Landschaftsplan                                 |
|                                |     |                                                  | Erhalt und Neuanlage von schattenspendender Grünstruktur, insb. großkronige Bäume                                                                                           |                                              | Landschaftsplan,<br>Bebauungsplan,<br>Anordnung |
|                                | 3   | Hitze abbauen im<br>Innenraum                    | Festsetzung der Gebäudeausrichtung im Bebauungsplan zur Nutzung der Durchlüftungswege zur passiven Gebäudekühlung                                                           | Mikroklima /<br>lokal                        | Bebauungsplan,<br>Satzung                       |
|                                |     |                                                  | Verwendung heller, hitzeresistenter Materialien (Dach- und Fassadenbegrünung, Reduzierung der Wärmespeicherkapazität durch Isolierung, Prüfung auf Leichtbaukonstruktionen) |                                              | Information und<br>Beratung,<br>Satzung         |
| Informelle Maßnahmen           | 4   | Kommunikation<br>und Information                 | Sensibilisierung der Öffentlichkeit über Vorteile von Klimaanpassungsmaßnahmen                                                                                              | Menschliche<br>Gesundheit                    | Information und<br>Beratung                     |
|                                |     |                                                  | Empfehlungen zum hitzeangepassten Verhalten über Informationsmaterialien und Hitzeaktionspläne                                                                              |                                              | Information und<br>Beratung                     |
|                                | 5   | Schulung/ Info-veranstaltung                     | Schulung in der Verwaltung, Umgang mit dem Anpassungskonzept (Inhalte), Fachtag, Informationsveranstaltung Öffentlichkeit + Politik                                         | Mesoklima /<br>Gesamtstadt und<br>Mikroklima | Information und<br>Beratung                     |

## 9 Beteiligungsprozess

Am 04. Juni 2024 fand im Rathaus der Stadt Eisenach ein Workshop mit Beteiligten aus der Stadtverwaltung sowie externen Fachleuten und Institutionen statt, in dem die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse (vor allem die Klimaanalysekarte und Planungshinweiskarte) vorgestellt und diskutiert wurden. Dies diente zur Weiterentwicklung der Planungshinweiskategorien bzw. des Maßnahmenkatalogs (siehe Tabelle 3).

### *Kurzprotokoll der Veranstaltung:*

**Frage zur Nutzung von langjährigen Messdaten:** Die relevanten Messstationen werden ausgewertet und die Daten fließen in die Stadtklimaanalyse ein. Dies bezieht sich vor allem auf die Simulationen, aber auch die allgemeine Beschreibung der meteorologischen Bedingungen in Kapitel 4.1.

**Diskussion zu PV-Anlagen und Windrädern:** Erstere relevant für Stadtklima, wenn sie im Kaltluftentstehungsgebiet sind, da sie die Kaltluftentstehung vermindern können. Relevant bei Neuplanungen von Anlagen.

**Thema Schulen und Kindergärten:** Thema außen liegender Sonnenschutz. Bei der Lüftung liegt der Fokus auf Temperaturreduzierung in den Räumen. Hinweis auf Nachtlüftungssystem.

**Thema Innenraumklima im Krankenhaus:** Vollklimatisierung ist kostenintensiv. Nicht-energetische Maßnahmen werden bei der bauphysikalischen Planung berücksichtigt.

**Einordnung von Effekten nach ihren Größenordnungen:** MIV und Züge, Bahndamm, Rennbahn: Die Rennbahn übernimmt die Funktion einer Durchlüftungsbahn, keine Konfrontation mit der Lufthygiene. Bahndämme und Lärmschutzwände stellen ein Hindernis für Kaltluftabflüsse dar.

**Szenario zukünftige Bebauung:** Welche bauliche Entwicklung kann abgebildet werden? Keine großen städtebaulichen Projekte geplant. Grünflächen werden erhalten. Daher nur Klimazukunft betrachten.

**Thema Lufthygiene:** In die KAK integrieren.

**Endbericht:** Erstellung plus Broschüre in einfacher Sprache.

### **Mehrwertgenerierung für den weiteren Prozess:**

- Hochwasserschutzbauten: Einfluss auf Kaltluft? Hinweis auf Themenkarte Kaltluft.
- Diskussion über Anpassungsmaßnahmen im Kleinen. Bsp. Karlsplatz. Abwägungsmaterie. Frage der Größenordnung. Mikroklimathema, weniger in der mesoklimatischen Stadtklimaanalyse.
- Thema: Kommunikation der Ergebnisse der SKA in die Entscheidungsprozesse der Stadt und in die Bevölkerung zur Akzeptanzsteigerung.
- Frage zur Bauphysik: „schwerere“ Gebäude, die langsamer abkühlen und erhitzen als „leichtere“ Gebäude wie Plattenbauten. Hinweis, dass das erst ein Thema der Detailplanung ist.
- Kälteinseln bzw. Cool Spots ausweisen als Folge der SKA.
- Hitzeaktionsplan: Vulnerable Gruppen werden adressiert, wo sie sich hinwenden können / sollen an heißen Tagen.
- Vorhaben: Ausweisen und Gestalten von kleinen Wohlfühloasen innerhalb der Stadt.

## 10 Fazit

Laut der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS, Fortschrittsbericht 2020) nimmt die Stadt- und Raumplanung eine „Schlüsselrolle im Bereich der Klimaanpassung“ ein. Da sich die steigende Hitzebelastung negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt, ist im Themenbereich „Stadtklima und Luftqualität“ ein großer Handlungsbedarf gegeben.

Ziel der vorliegenden Stadtklimaanalyse war es, die Stadt Eisenach sowohl in der Ist-Situation als auch in der Zukunft zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation zur Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen etc. zu erhalten, womit flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. Mit der Klimaanalysekarte für Eisenach werden die Wärmebelastung, das Kaltluftprozessgeschehen hinsichtlich Kaltluftentstehung und Kaltluftfluss sowie die Luftqualität zusammengeführt und präzisiert.

Die Ergebnisse der Klimaanalyse zeigen, dass vor allem die lokalen Kaltluftabflüsse eine hohe Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen haben. Kaltluftabflüsse von höher gelegenen bewaldeten Hängen im Süden der Stadt in Richtung Überwärmungsgebiete bringen während sommerlichen Hitzeepisoden nächtliche Abkühlung. Ebenso wirken die nördlichen Freiflächen, die zudem durch den regionalen Kaltluftabfluss eine sehr hohe Wirksamkeit haben. Die daraus resultierenden positiven Wechselwirkungen sind nur teilweise in Richtung Überwärmung gerichtet, so dass unterschiedliche Planungshinweise für Teilflächen gelten.

Die höchsten Belastungsklassen sind im verdichteten Stadtzentrum zu finden, dies zeigen sowohl die Simulationen als auch die Messungen. Für diese Bereiche sind vor allem mikroklimatische Anpassungsmaßnahmen wie Entsiegelung und die Schaffung von mehr Vegetation geeignete Mittel. Die Überwärmung in Gewerbe- und Industriegebieten hängt von der großflächigen Bebauung und Versiegelung ab und stellt besondere Anforderungen für gesunde Arbeitsverhältnisse dar.

Die in der Planungshinweiskarte enthaltenen Planungsempfehlungen sind Rahmenvorgaben, die der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung als Orientierung dienen sollen. Positiv wirksame Raumstrukturen sollen stabilisiert und belastete Räume aufgewertet werden. Die Hinweise und Empfehlungen leiten sich aus der Analyse der klimatischen Situation heute und in Zukunft sowie der Betroffenheit der Bevölkerung im Eisenacher Stadtgebiet ab.

Im Hinblick auf die städtebauliche Entwicklung sowie die zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen gewinnen diese Ergebnisse zunehmend an Bedeutung. Daraus können stadtklimatische Anforderungen in die städtischen Planungsprozesse einbezogen und Schlussfolgerungen für Planungstätigkeiten getroffen werden, etwa inwieweit z. B. eine klimafachliche Begleitung durch Mikroklimauntersuchungen erforderlich sind oder welche Flächen bezüglich des Schutzgutes Klima wie zu behandeln sind.

## 11 Quellen

*Baugesetzbuch (BauGB):*

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 20.12.2023 I Nr. 394.

*Baumüller, J.; Hoffmann, U.; Reuter, U. (1995):*

Städtebauliche Klimafibel, Hinweise für die Bauleitplanung Folge 2. Stuttgart: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.

*Baumüller, J. und Katzschner, L. (2023):*

Stadtklima und Klimaanpassung in der städtebaulichen Planung, DWD Promet, Heft 106, S. 115 - 125.

*BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2020):*

Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

*Brandenburg C. und Matzarakis, A., (2007):*

Das thermische Empfinden von Touristen und Einwohnern der Region Neusiedler See. In: Matzarakis, A., und Mayer, H. (Hrsg.), Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 16, 67 - 72.

*Brasseur, G., Jacob, D. und Schuck-Zöller, S. (Hrsg.) (2023):*

Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

*DWD (2016):*

Das Kaltluftabflussmodell KLAM\_21. Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung.

*GERICS (2021):*

Klimaausblick für Landkreise. Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg.

*Häckel H. (1985):*

Meteorologie. Ulmer, Stuttgart: UTB.

*Höppe, P. (1999):*

The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 43, 71 - 75.

*Katzschner, L. (2004):*

Beitrag der Stadtklimatologie zu den Zielen einer neuen Urbanität UVP Report, Nr. 1/2004, Hamm.

*Katzschner L. und Kupski, S. (2019):*

Bedeutung der Kaltluft und Ventilation in Städten. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 48 - 52. Online: [www.klimawarnsignal.uni-hamburg.de](http://www.klimawarnsignal.uni-hamburg.de). doi:10.25592/warnsignal.klima.die-staedte.07.

*Katzschner, L., Katzschner, A. und Kupski, S. (2010):*

Abschlussbericht des BMBF Verbundprojekts KLIMES. Teilvorhaben Planerische Bewertung der kleinräumigen Stadtklimaanalyse zur Umsetzung der Maßnahmen „Anpassung an Klimaextreme“. Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg [Hg.].

*Kupski S. (2017):*

Klimagerechte Materialien – Hitze Hotspot Stadt. Natürlich Technik: Mit neuen Materialien dem Klimawandel trotzen. In Garten + Landschaft 07/2017, Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, München.

*Kuttler, W. (2019):*

Stadtklima: Charakteristika, Nachweismöglichkeiten. In: Lozán, J.L., Breckle, S.-W., Graßl, H., Kuttler, W. und Matzarakis, A. [Hg.], Warnsignal Klima, Die Städte. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen GEO. S. 21 - 28.

Kuttler, W., Halbig, G. und Oßenbrügge, J. (2023):

Städte im Klimawandel. In: Brasseur, G.P., Jacob, D. und Schuck-Zöllner, S. [Hg.], Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Nature, 2. Aufl., S. 275 - 288. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8> (aufgerufen am: 05.06.2024).

Lorenz D. (1973):

Meteorologische Probleme bei der Stadtplanung; FBW Blätter, Folge 5, Stuttgart

Oke, T. R. (2006):

Boundary layer climates. London, New York: Routledge.

Regionalen Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (Re-KIS) (2024):

Rekis kommunal. Länderübergreifende Informationen zur Klimaanpassung. Online: <https://rekis.hydro.tu-dresden.de/kommunal/> ((zuletzt abgerufen am 12.11.2024).

Scherer, D. 2023:

Temperatur und Hitze in der Stadt, DWD Promet, Heft 106, S. 15 - 27.

Schlegel, I., und Mücke, H. (2021):

Einfluss des Klimawandels auf die Morbidität und Mortalität von Atemwegserkrankungen: Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Stadt Eisenach (2024):

Die Wartburgstadt in Fakten und Zahlen. Online: Kurzporträt: Wartburgstadt Eisenach (zuletzt abgerufen am 4.11.2024).

Umweltbundesamt (2017):

Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen – Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung, Dessau-Roßlau, 2017. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-fur-klimawirkungs> (zuletzt abgerufen am 28.01.2022).

VDI 2024:

VDI-Handlungsempfehlung Modellbasierte Bestimmung hitzegefährdeter Siedlungsräume. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2024a:

Richtlinie 3787 Blatt 7: Umweltmeteorologie – Klimaindikatoren (Entwurf). Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2023:

VDI-Richtlinie 3785 Blatt 2 Umweltmeteorologie: Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2015:

Richtlinie 3787 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2008:

Richtlinie 3787 Blatt 2 Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2003:

Richtlinie 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

## 12 Anlagen

Anlage 01: Themenkarte Kaltlufthöhe 2023

Anlage 02: Themenkarte Kaltluftvolumenstrom 2023

Anlage 03: Themenkarte Lufthygiene 2023

Anlage 04: Klimaanalysekarte Stadt Eisenach 2023

Anlage 05: Klimaanalysekarte und lufthygienische Verhältnisse Stadt Eisenach

Anlage 06: Klimaanalysekarte nahe Zukunft Stadt Eisenach

Anlage 07: Klimaanalysekarte ferne Zukunft Stadt Eisenach

Anlage 08: Empfindlichkeit der Bevölkerung

Anlage 09: Betroffenheit der Bevölkerung

Anlage 10: Planungshinweiskarte Stadt Eisenach 2023