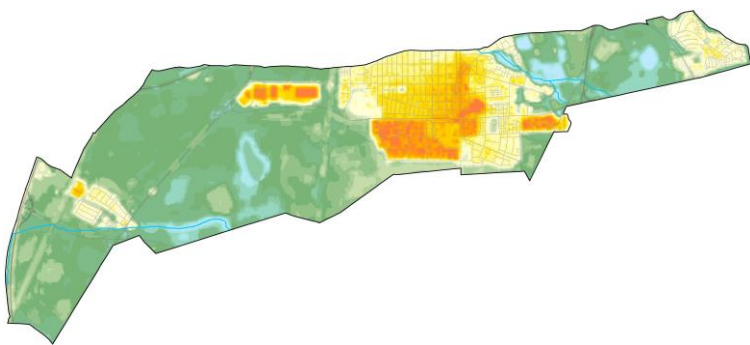




KLIMAANALYSE STADT NEU-ISENBURG

Klimaanalyse zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel für die Stadt Neu-Isenburg.

Klimaanalyse Stadt Neu-Isenburg

Auftraggeber: Magistrat der Stadt Neu-Isenburg
Fb 10.4 – Klimaschutz u. Energiewende
Hugenottenallee 53
D-63263 Neu-Isenburg



Auftragnehmer: INKEK GmbH
Institut für Klima- und Energiekonzepte
Schillerstraße 50
34253 Lohfelden



Bearbeitung: Dipl.-Ing. Sebastian Kupsi und B.Sc. Ursula Rachor

Qualitätssicherung: Prof. Dr. Lutz Katzschner

Sebastian Kupsi, Dipl.-Ing./ Stadtplaner-IngKH
(Geschäftsführer)

Gefördert mit Mitteln des Landes Hessen

Lohfelden 25.11.2021



Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die gewählte Formulierung alle Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichten Lesbarkeit und Verständlichkeit die männliche Form gewählt wurde.

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.

Inhalt

1. HINTERGRUND	6
2. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	7
2.1 ZIELE VON STADTKLIMAAANALYSEN	9
2.2 STADTKLIMATISCHER BEWERTUNGSINDEX	11
3. METHODIK	13
3.1 EINFÜHRUNG KLIMAAANALYSEKARTE	13
3.2 METHODIK ZUR ERSTELLUNG VON KLIMAAANALYSEKARTE	13
4. DATENGRUNDLAGE	16
4.1 DATENBESTAND KLIMAAANALYSE STADT NEU-ISENBURG	16
4.2 METEOROLOGISCHE EINORDNUNG	16
5. ÜBERSICHT DER THEMENKARTEN	18
5.1 GEBÄUDEVOLUMEN	21
5.2 KALTLUFTMODELLIERUNG MIT KLAM_21	23
6. KLIMAFUNKTIONSKARTE	25
6.1 KLIMATOPE	25
6.2 LEGENDE DER KLIMAFUNKTIONSKARTE	31
6.3 KLIMAAANALYSEKARTE	32
7. PLANUNGSHINWEISKARTE	33
7.1 BESCHREIBUNG DER RÄUMLICHEN PLANUNGSHINWEISE	33
7.2 LEGENDE DER PLANUNGSHINWEISKARTE	35
7.3 PLANUNGSHINWEISKARTE	36
8. SZENARIEN	37
8.1 SZENARIO 1 „BAULICHE ENTWICKLUNG“	37
8.2 SZENARIO 2 „BAULICHE ENTWICKLUNG UND AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS“	38
9. VULNERABILITÄTSANALYSE	40
10. DETAILUNTERSUCHUNG MIKROKLIMA	42
10.1 ENVI-MET	42
10.2 EINGANGSDATEN UND MODELL	42
10.3 ERGEBNISSE	45
10.4 FAZIT MIKROKLIMA	48
11. SCHLUSSBETRACHTUNG	49
12. LITERATUR	52
13. ANLAGE	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: mittlere Lufttemperaturen Frankfurt am Main	7
Abbildung 2: Schema "Thermischer Wirkungskomplex"	12
Abbildung 3: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.	14
Abbildung 4: Windrose DWD-Messstation Frankfurt Flughafen, langjähriges Mittel (1967-1982).	17
Abbildung 5: Schematische Darstellung der angewandten Methode.	20
Abbildung 6: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).	22
Abbildung 7: Kaltlufthöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab (Original in Anhang I).	24
Abbildung 8: Legende der Klimafunktionskarte Stadt Neu-Isenburg.	31
Abbildung 9: Klimaanalysekarte Stadt Neu-Isenburg 2020, ohne Maßstab (Original in Anhang II).	32
Abbildung 10: Legende der Planungshinweiskarte mit abgestimmten Planungshinweisen.	35
Abbildung 11: Planungshinweiskarte der Stadt Neu-Isenburg, ohne Maßstab (Original in Anhang II).	36
Abbildung 12: Stadtklimaanalyse Neu-Isenburg Szenario 1, ohne Maßstab (Original in Anhang III).	37
Abbildung 13: Temperaturänderung in den Jahreszeiten, aus: „Klimawandel in der Zukunft – Klimawandel in Hessen“, HLNUG 2018.	38
Abbildung 14: Stadtklimaanalyse Neu-Isenburg Szenario 2, ohne Maßstab (Original in Anhang III).	39
Abbildung 15: Wahlbezirke der Stadt Neu-Isenburg.	40
Abbildung 16: Verteilung vulnerabler Einwohner auf überwärmte Klimatope nach Wahlbezirk.	41
Abbildung 17: Lage des Untersuchungsgebietes auf Grundlage der Klimaanalysekarte.	42
Abbildung 18: Eingangsdaten Simulation BESTAND.	44
Abbildung 19: Eingangsdaten Simulation PLAN.	44
Abbildung 20: Tagesmittelwert PET BESTAND. Original im Anhang IV.	45
Abbildung 21: Tagesmittelwert PET PLAN. Original im Anhang IV.	45
Abbildung 22: Windfeld BESTAND. Original im Anhang IV.	46
Abbildung 23: Windfeld PLAN. Original im Anhang IV.	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010).	12
Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.	15
Tabelle 3: Digitale Eingangsdaten.	16

1. Hintergrund

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.

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 BauGB § 1 Absatz 5 Satz 2 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 BauGB § 1 Absatz 6 Ziffer 7 sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen u. a. die Schutzgüter „Luft“ und „Klima“ zu berücksichtigen, entsprechend sollen Fachinformationen in Stadtklimakarten umgesetzt werden und durch daraus abgeleitete Planungshinweiskarten ergänzt werden.

Die Stadt Neu-Isenburg liegt in direkter Nachbarschaft zu Offenbach und Frankfurt am Main im Bundesland Hessen. Damit befindet sie sich innerhalb eines stark verdichteten Ballungsraumes, der Frankfurter Flughafen befindet sich direkt angrenzend an das Stadtgebiet. Bedingt durch diese Faktoren herrscht hier insgesamt ein gesteigertes Verkehrsaufkommen, auch durch den Pendler-Verkehr nach Frankfurt und das insgesamt dichte Autobahnnetz. Somit liegt die Stadt inmitten ausgeprägter Überwärmungsgebiete. Neu-Isenburg besteht aus drei Stadtteilen, der Kernstadt, Zeppelinheim und Gravenbruch, die sich alle in einem geschlossenen Waldgebiet befinden. Insgesamt beträgt die Einwohnerzahl aktuell ca. 39.000.

Die Stadt Neu-Isenburg beabsichtigt, im Rahmen des integrierten Klimaschutzkonzeptes, eine Klimafunktionskarte für das gesamte Stadtgebiet inklusive Zeppelinheim und Gravenbruch erstellen zu lassen.

Ziel ist ein strategisches Konzept, das auf einer klimaökologischen Analyse aufbaut und sich an den Richtlinien „Förderung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten“ des Landes Hessen orientiert und wurde auf dieser Basis als förderwürdig eingestuft.

Basis für die Darstellung der Karten bilden dabei die aktuelle Fassung der VDI Richtlinie 3787 Blatt 1: 2015-09 (Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen) sowie die VDI Richtlinie 3787 Blatt 8: Gründruck (Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel).

2. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Sommer 2018 und auch der Sommer 2019 zeigten durch die extrem langen und trockenen Hitzeperioden die prognostizierten Auswirkungen des voranschreitenden Klimawandels auf. Ballungsräume wie Frankfurt und Umgebung konnten die Auswirkungen deutlich ablesbar feststellen (siehe Abbildung 1).

Lufttemperatur					
Frankfurt/Main, 01.01.1949 - 24.11.2020					
Mittel- und Extremwerte	extrem kalt		normal	extrem warm	
	Minimum	Datum	Mittel	Maximum	Datum
Jahresmittel (°C)	8,2	1963	10,5	12,5	2018
absolut niedrigstes und höchstes Monatsmittel (°C)	-8,0	Feb 1956	-	24,0	Jul 2006
absolute Minima und Maxima (°C)	-21,6	13. Jan 1968	-	40,1	25. Jul 2019
Jährliche Anzahl	Minimum	Datum	Mittel	Maximum	Datum
Sommertage (Tmax ≥ 25 °C)	18	1956	52,0	108	2018
Heiße Tage (Tmax ≥ 30 °C)	0	1956	13,2	43	2018
Jährliche Anzahl	Maximum	Datum	Mittel	Minimum	Datum
Frosttage (Tmin < 0 °C)	119	1963	69,8	35	2014
Eistage (Tmax < 0 °C)	54	1963	13,3	1	2015*
Hinweis: Alle Mittel beziehen sich auf den Zeitraum 01.01.1981 bis 31.12.2010 und alle Extrema auf den Zeitraum 01.01.1949 bis 24.11.2020. Ist ein Minimum oder Maximum mehrfach aufgetreten, wird nur das Datum für das letztmalige Auftreten genannt und mit * gekennzeichnet.					

Abbildung 1: mittlere Lufttemperaturen Frankfurt am Main, [Quelle: ©DWD, https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/hessen/frankfurt/_node.html] (Stand: 27.11.2020)]

Die angewandte Stadtklimatologie befasst sich seit geraumer Zeit mit Analysemethoden, die direkte Grundlagen für eine Vielzahl planerischer Fragestellungen hervorbringen. Das Stadtklima setzt sich dabei aus zwei Komponenten zusammen, da es sowohl durch thermische als auch dynamische Aspekte 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 Ausgangslage dar.

Der stadtklimatische Hintergrund im gesamten Rhein-Main-Gebiet stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Da in diesem Bereich durch die bereits beschriebene Topografie ein besonders sensibler Austausch von Luftmassen zu erwarten ist, muss auch der umliegende Bereich des Gemarkungsgebietes der Stadt Neu-Isenburg in klimatischen Betrachtungen berücksichtigt werden.

Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bereichen können nur so sinnvoll betrachtet und in Bezug gesetzt werden.

Abschließend steht der Stadt Neu-Isenburg eine Klimaanalyse zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (Planungshinweiskarte) zur Verfügung. Zudem stehen planungsrelevante Aufgaben, Maßnahmen und Empfehlungen für eine klimabewusste Entwicklung bereit. Dafür werden als Grundlage u.a. folgende Kartenwerke angefertigt:

Klimaanalysekarte (auch Klimafunktionskarte)

Ziel dieser Untersuchung ist es, das Stadtgebiet in der Ist-Situation 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 Klimafunktionskarte (KFK) können die klimatischen Wechselwirkungen der Klimatope (d. h. Gebiete ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung) sowie lokale und regionale dynamische Prozesse (z. B. Luftleitbahnen, Kalt- und Frischluftabflüsse) abgelesen werden.

Planungshinweiskarte

Um die Integration der Ergebnisse in die Planungsprozesse reibungslos zu gestalten, wurde aufbauend auf der KFK eine Planungshinweiskarte (PHK) abgeleitet, in der die analysierten und vielschichtigen Ergebnisse zusammengefasst sind. Durch die vereinfachte Darstellung ist es möglich, schnell und eindeutig eine Einschätzung der klimatischen Bedeutung einer Fläche zu erhalten. Auf Basis eines Katalogs mit Planungsempfehlungen können fundierte und lokal abgestimmte Maßnahmen direkt den Flächen zugeordnet 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

Das Signal, welches von Klimaveränderungen ausgeht, wird sich in Ballungsräumen und innerstädtischen Gebieten 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. Die Hitzewellen im Juni und August 2003, im Juli/August 2015 sowie im Sommer 2018 und 2019 sind dafür eindrucksvolle Beispiele.

Damit Wohlbefinden, Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind und lebenswerte urbane Räume weiterhin ermöglicht werden, muss die Stadtplanung schon heute städtebauliche Planungen so optimieren, dass die thermischen Belastungen auch unter extremen Hitzebedingungen sowohl im Freien als auch in den Innenräumen auf ein erträgliches Maß begrenzt bleiben.

Richtlinien werden vor dem Hintergrund einer stadtplanerischen Anwendung erstellt, um mit einheitlicher Untersuchungsmethodik zur Ergebnisdarstellung und zur Bewertung des Stadtklimas zu kommen. Bei der Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene im Bereich der Stadtplanung ist es von größter Bedeutung, nicht auf die Darstellung der großräumigen mittleren klimatischen Verhältnisse einzugehen, sondern die differenzierte Betrachtung der einzelnen innerstädtischen Kleinklimate, einschließlich ihrer gegenseitigen Wechselwirkungen, heranzuziehen. Das Mesoklima wird danach typischerweise dem Stadtentwicklungsplan und dem Flächennutzungsplan im Maßstab 1:25.000 bis 1:10.000 zugeordnet, während die Bauleitplanung im Maßstab von 1:2.000 bis 1:5.000 im mikroklimatischen Bereich bearbeitet werden muss.

Klimaanalysen und Stadtklimakarten werden vor dem Hintergrund der Stadtentwicklungsprozesse erarbeitet, die sich durch den Wandel wachsender oder auch schrumpfender Städte ergeben. Damit verbunden ist die Tendenz, innerstädtisches Wohnen wieder attraktiver zu machen und die verdichtete Stadt gegenüber der Ausbreitung des Stadtraumes in das Umland vorzuziehen. Stadtplanungsziele und Planungsebenen sind mit den klimatischen Bewertungsmethoden in ihrer räumlichen, zeitlichen und quantitativen Beschreibung und Festlegung zusammenzuführen. Überall dort, wo dies bereits geschehen ist, wie in den Regionalplänen als Flächen für schützenswerte Klimafunktionen oder in den Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplänen als Überwärmungsbereiche, Frischluftversorgung und Luftleitbahnen, werden die Funktionen mit Planungsmaßnahmen belegt.

Stadtklimatologie erstreckt sich über die Bereiche Stadtplanung und Architektur, Gebäude- und Bauleitplanung sowie Quartiers- und Stadtentwicklungsplanung. Sie unterstützt den Anwender bei der Bewertung der thermischen und lufthygienischen Situation und der Auswirkung von Flächen, Verdichtungen, Konversionsmaßnahmen,

Stadtrückbau und Einzelbaumaßnahmen. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen den städtischen Faktoren und der Atmosphäre. Die Ergebnisse werden in Abhängigkeit von der Stadtplanungsebene, als Karten in unterschiedlicher räumlicher Auflösung, dargestellt. Festlegungen von Untersuchungsmethoden und die Bewertung der Ergebnisse für den thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplex sind abhängig von der Planungsebene und den hier verfügbaren Daten.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat sich zur Aufgabe gestellt, Richtlinien zu verfassen und Verfahren zur Erstellung von Klimakarten einheitlich zu regeln, um sie vergleichbar zu machen. Hierzu existieren einschlägige VDI Richtlinien:

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 Richtlinien VDI 3785 Blatt 1 (Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima) und 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.“

In Richtlinie 3785 Blatt 1 geht es demnach um die „planungsrelevante Stadtklimatologie“, während es in Richtlinie 3787 Blatt 1 um die „Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“ geht. Zusammenfassend werden in den beiden Richtlinien folgende stadtklimatisch relevanten Fragestellungen dargestellt, wie sie auch in den EU Guidelines zum 5. Rahmenprogramm entwickelt wurden:

- 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.

Auf Grundlage dieser Erhebungen erfolgt die räumliche Festlegung in einer verbindlichen Planung. Festlegungen können dabei sein: das Freihalten von Kalt- bzw. Frischluftentstehungsflächen (Hanglagen) und von Luftleitbahnen, Gebäudeausrichtung/ -höhe und Bebauungsdichte.

Solche Festlegungen können gemäß § 1a Baugesetzbuch (BauGB) in der Bauleitplanung erfolgen. Darüber hinaus sind aufgrund der Stadtklimaanalysen Darstellungen freizuhaltender Flächen im Flächennutzungsplan möglich. Ebenso kann überprüft werden, ob Festsetzungen in der Regionalplanung erfolgt sind. Klimabelange werden dort in der Planung regionaler Grünzüge berücksichtigt.

Planerisch gesetzliche Instrumente sind im „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung“ (UVPG) 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 Stadtklimatischer Bewertungsindex

Grundlage der analysierten Klimatope (siehe 6.1 Klimatope), bzw. deren Abgrenzungen, bildet der stadtklimatische Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur“ (PET) (vgl. Höppe 1999).

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 abhängig ist (siehe Abbildung 2). Dabei liegt das Behaglichkeitsniveau des Menschen bei einem PET-

Wert von 24°C. Neutralität herrscht dann, wenn so viel Wärme vom menschlichen Körper aufgenommen wird, wie selbstständig wieder abgegeben werden kann.

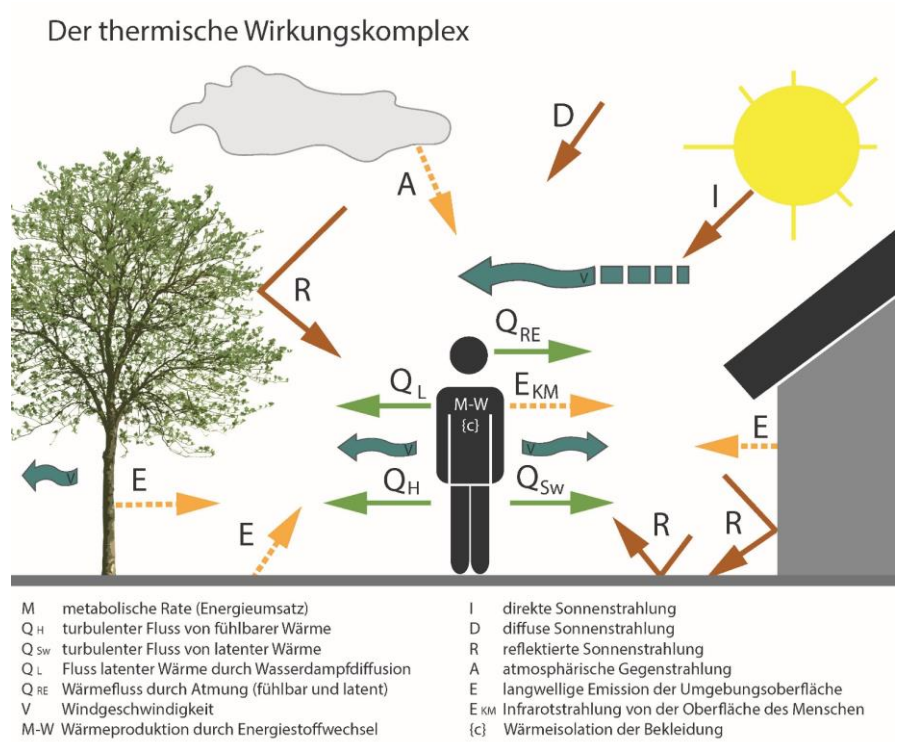


Abbildung 2: Schema "Thermischer Wirkungskomplex". Dargestellt sind die unterschiedlichen Parameter, die sich auf den Wärmehaushalt des Menschen auswirken. Durch planerische Eingriffe können diese Bedingungen beeinflusst werden (nach dem Klima-Michel-Modell, DWD).

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

Dabei kommen dem Wohlbefinden und der menschlichen Gesundheit eine besondere Bedeutung zu. Thermische Belastung in Form von Hitze belastet den Organismus, erhöht den Hitzestress und ist auch für eine Erhöhung der Morbiditäts- und Mortalitätsraten, insbesondere von älteren Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen, verantwortlich.

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 verwendeten Karten und deren Erstellung erläutert.

3.1 Einführung Klimaanalysekarte

Eine Klimaanalysekarte 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 Klimafunktionskarte festgelegt. Hauptsächlich werden diese Gutachten für Ballungsräume und größere Städte erstellt. Die Anwendung der VDI Richtlinien macht eine Vergleichbarkeit zwischen Städten möglich. Grundlage ist stets die Analyse der Ist-Situation, also eine möglichst präzise Abbildung der realen Klimafunktionen im Untersuchungsraum. Diese Analyse der Ist-Situation wurde zudem messtechnisch erfasst und validiert. Die Analyse des planungsrechtlichen bzw. zukünftig erreichbaren Zustandes erfolgt in einem weiteren Schritt. Für eine komplexe Abbildung der Ist-Situation ist eine entsprechende Datenbasis Grundvoraussetzung. Aus klimaökologischen Gesichtspunkten sind Faktoren wie Höheninformationen und Fließgewässer ein erster Anhaltspunkt, um die natürlichen Bedingungen abzubilden. Analog hierzu spielen die anthropogenen Einflüsse eine entscheidende Rolle. Gerade in den Städten 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 können im Rahmen einer Klimaanalysekarte berechnet werden. Weitere Klimaparameter lassen sich durch die geografische Lage des Untersuchungsraumes ableiten.

3.2 Methodik zur Erstellung von Klimaanalysekarte

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 Klimafunktionskarte (Lohmeyer 2008), siehe Abbildung 3.

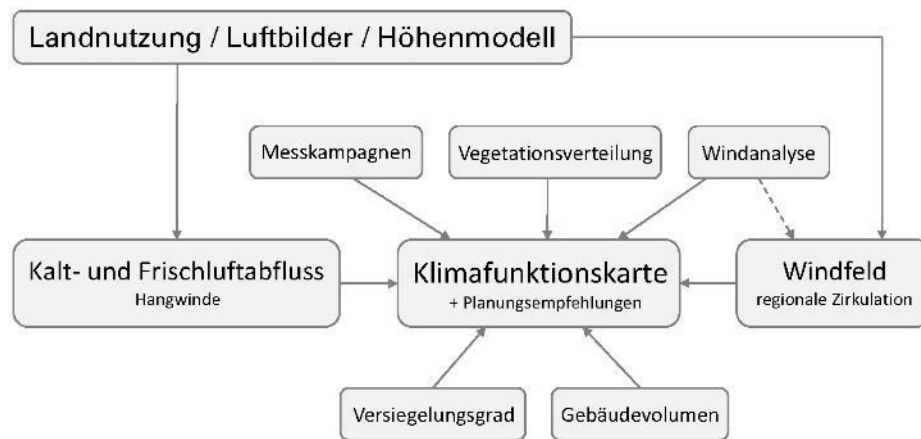


Abbildung 3: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.

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. Neben diesen übergeordneten Faktoren gibt es eine Vielzahl kleinräumiger Einflüsse. Auf einer kleineren Skala können unterschiedliche Effekte, wie Binnengewässer oder Tallagen, die örtlichen klimatischen Verhältnisse stark prägen. Somit ist eine vorgeschaltete klimatische Einschätzung unumgänglich, wobei entsprechend ein größerer Ausschnitt als der abgegrenzte Untersuchungsraum zu betrachten ist.

Nach der Gruppierung von Themenkarten in die beiden klimatischen Komponenten Dynamik und Thermik, die beide unterschiedlichen Einfluss auf die jeweiligen Ebenen des Stadtklimas haben, wird durch geeignete Funktionen und Algorithmen mit anschließender Generalisierung das Produkt in Form der Klimafunktionskarte aggregiert.

Die dynamische Komponente beinhaltet Luftbewegungen unterschiedlicher Skalierung wie Frisch- und Kaltluftabflüsse, regionale Strömungen und synoptische Winde. Eine zusätzliche, entscheidende Themenkarte der Dynamik ist die Einflussnahme der Hangwinde. Diese Strömungen entstehen durch das Berg-Tal-Windsystem, das tagesperiodisch auftritt und gerade bei einem ausgeprägten Relief an Mächtigkeit gewinnen kann (Häckel 1985). Die entsprechende Themenkarte wurde auf Grundlage des Digitalen Geländemodells (DGM) angefertigt. Weitere Kriterien wie Rauigkeitslängen der Erdoberfläche (städtische Porosität) wurden ebenfalls in diese Rechenschritte integriert, um das Belüftungssystem realgetreu darzustellen.

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 die aktuelle Realnutzungskartierung verwendet, um eine Kategorisierung vornehmen zu können. Dieser detaillierte Eingangsdatensatz wird um weitere Themenkarten ergänzt, wobei der Oberflächenversiegelungsgrad Aufschluss über die Wärmespeicherkapazität gibt und Freiflächen mit niedriger Oberflächenrauigkeit Kaltluftentstehungsflächen darstellen. In diesem Zusammenhang ist die Albedo der

Oberfläche eine zentrale Größe (Kupski 2017), da unterschiedliche 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 (Hupfer, Kuttler 1998; Baumüller 1995 et. al).

Tabelle 2 fasst zusammen, welche Instrumente auf der jeweiligen Maßstabseben zu welcher Klimaanalyse führen. Die VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 stellt dazu fest:

„Bei den in dieser Richtlinie beschriebenen Klimaanalyse- und Lufthygienekarten handelt es sich nicht um die amtlichen Festlegungskarten, sondern um thematische Fachkarten, deren Inhalte entscheidend für die praktische Raumanalyse und sachgerechte Durchführung von Planungsprozessen sind“ (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.

Instrumente und Pläne		Maßstab, räumliche Auflösung der Karten	Fachbeiträge Klimaanalyse (Lufthygiene und Human- Biometeorologie)
Raumordnungs- planung	Regionalplan	1 : 50.000 bis 1 : 100.000, ≥ 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: flächendeckende Immissionsschutzkarten, thermische Belastungsräume (Überwärmungs- räume), Luftleitbahnen, Kaltluftentstehungsflächen, Planungshinweiskarte
Bauleitplanung	Vorbereitende Bauleitplanung: Flächennutzungs- plan	1 : 5.000 bis 1 : 25.000, 25 m bis 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: gebietsbezogene Immissionskarten, Luftaustausch, thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume), Planungshinweiskarte
	Verbindliche Bauleitplanung: Bebauungsplan, Baugenehmigungs- verfahren	≤ (1 : 1.000), 2 m bis 10 m	Mikroklima Klimaanalysekarten: lokale Immissionsberechnungen an Hot Spots, Nachbarschaftsbetrachtungen, Luftaustausch, human- biometeorologische Eignungsunter- suchungen an Hot Spots Planungshinweiskarte

4. Datengrundlage

Für eine Klimaanalyse sind die regionalen Klimaverhältnisse wichtig. Von planerischer Bedeutung sind:

- thermische Verhältnisse (Wärmeinsel Stadt) und die
- Belüftungssituation im Sinne der horizontalen Durchmischung.

Daraus ergibt sich im Zusammenhang mit der Klimafunktionskarte die planerische Bewertung (Planungshinweiskarte) von einzelnen Flächen.

4.1 Datenbestand Klimaanalyse Stadt Neu-Isenburg

Die digitalen Eingangsdaten sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Digitale Eingangsdaten.

Nr.	Datensatz
1	ATKIS® Basis-DLM (Landnutzung)
2	Gebäudegrundrisse und Gebäudehöhen (LOD1)
3	DGM (Digitales Geländemodell)
4	Orthofotos
5	WebAtlasDe

4.2 Meteorologische Einordnung

Die Stadt Neu-Isenburg und das Rhein-Main-Gebiet gehören zur warmgemäßigten Klimazone. Die Lage der Stadt Neu-Isenburg führt zu einem typischen Lokalklima, das je nach Wetterlage mehr oder weniger zur Geltung kommt. Dies führt zu einer Anreicherung der Luft mit Schadstoffen im Winter und im Sommer zur Hitzebelastung.

Städte weisen im Allgemeinen höhere Temperaturen als ihre Umgebung auf. Ursache ist neben der Wärmeabgabe der Gebäude die durch die Luftverschmutzung entstehende Dunstglocke über dem Stadtgebiet, die die langwellige Ausstrahlung herabsetzt. Je ausgeprägter diese innerstädtische Wärmeinsel sich ausbildet, desto mehr ist die Durchlüftung dieses Stadtquartiers eingeschränkt. Abbildung 4 zeigt die Windverteilung an einer repräsentativen Messstation Frankfurter Flughafen.

Lage und Regionalklima:

Die Lage im Rhein-Main-Becken am südlichen Taunushang führt zu geringen Jahresniederschlägen sowie häufig windschwachen und austauscharmen Wetterlagen. Ausgeprägte hochsommerliche Strahlungswetterlagen mit hohen Mittel- und Extremtemperaturen werden durch den Effekt der Wärmeinsel noch intensiviert. Die Regionalwinde vom Taunus und aus der Wetterau sorgen bei ausreichendem regionalem Antrieb für Belüftung.

Aus lufthygienischer Sicht sind für den Ballungsraum vor allem die oft niedrigen Windgeschwindigkeiten und im Zusammenhang damit die Häufigkeit von Zeiten mit ungünstigem Luftaustausch (austauscharme Wetterlagen) charakteristisch. Die Regionalwinde vom Taunus und aus der Wetterau mit einer vertikalen Mächtigkeit von bis zu 300 Meter sorgen bei ausreichendem regionalem Antrieb für Belüftung und weisen die in Abbildung 4 dominanten Windrichtungen auf, welche auch im Tagesgang auftreten.

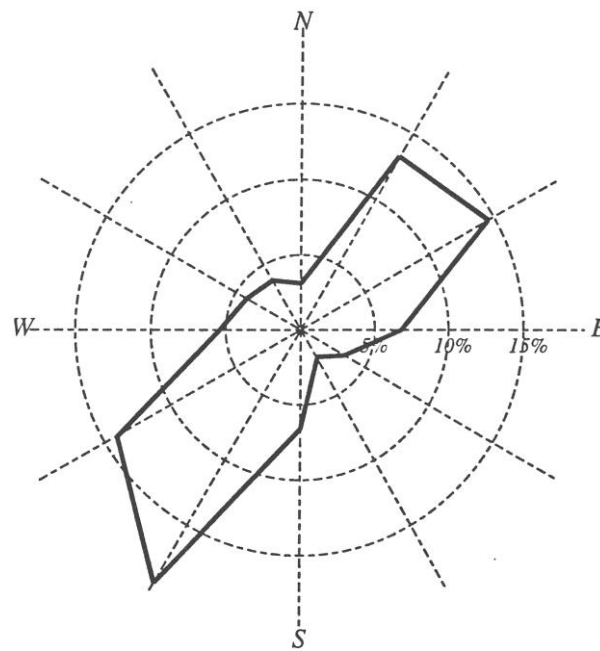


Abbildung 4: Windrose DWD-Messstation Frankfurt Flughafen, langjähriges Mittel (1967-1982).

5. Übersicht der Themenkarten

Die in Kapitel 3.2 erwähnten Themenkarten, die eine Klimafunktionskarte besonders aussagekräftig machen, sind:

Relieftypisierung

- Herausarbeitung klimatisch relevanter topografischer Faktoren (z. B. Höhenrücken, Täler, Hangneigungen, Exposition) und daraus ableitend Luftleitpotenzialbestimmung auf Basis des digitalen Höhenmodells von Luftbildern und topografischen Karten als wichtiges Ausgangsprodukt für die thermische und dynamische Analyse.

Strukturtypisierung

- Herausarbeitung der v.a. nutzungsbedingten Oberflächenrauigkeit, differenziert nach klimatischer Relevanz (z. B. potenzielle Barrierewirkung bzw. Kanalisierung von Luftmassen), auf Basis der Nutzungsartflächen, topografischen Karten sowie Luftbildern als wichtiges Ausgangsprodukt für die dynamische Analyse.

Gebäudevolumen

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen Barrierewirkung und der daraus resultierenden Minderung des Belüftungspotenzials auf Basis der Gebäudefläche und –höhe.
- Berechnung und Generalisierung des Volumens als Ausgangsprodukt für die dynamische Analyse.

Abflussbahnen und Abflussrichtungen

- Herausarbeitung der orografisch bedingten Schneisen, die in Abhängigkeit von der Relieftypisierung, der Gebäudevolumina und der Strukturtypisierung berechnet werden konnten und als ergänzender Faktor für die dynamische Analyse eingesetzt werden.

Nutzungstypisierung

- Herausarbeitung der thermischen Bedeutung unterschiedlicher Oberflächennutzungen und Zusammenfassung mikroklimatisch ähnlicher Nutzungen (z. B. potenzielles Kaltluftentstehungsgebiet, potenzielles Überwärmungsgebiet) auf Basis der Realnutzungskartierung, der Gebäudekartierung sowie der Luftbilder als wichtiges Ausgangsprodukt für die thermische Analyse.

Gebäudemasse

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen, thermischen Belastung durch die Wärmespeicherkapazität und Reflexion.
- Ableitung des physikalischen Verhaltens auf Grundlage der Gebäudekartierung (sowohl gesamtstädtisch als auch mikroklimatisch) als Ausgangsprodukt für die thermische Analyse.

Versiegelung der Oberflächen

- Herausarbeitung der versiegelten Bereiche und Generalisierung bestimmter Gebietstypen. Zweidimensionale Betrachtung auf Grundlage der Realnutzungskartierung, der Gebäudekartierung sowie der Nutzungsartflächen als Ausgangsprodukt der thermischen Analyse.

Funktionsanalyse

- Die Analyse erfolgt zunächst zweigleisig, unterteilt nach dynamischen und thermischen Aspekten. Anschließend wird die gegenseitige Einflussnahme im Sinne einer Wirkungsanalyse untersucht und entsprechend eingearbeitet.

Dynamische Analyse

- Verknüpfung der dynamisch (und lufthygienisch) relevanten Erhebungsebenen untereinander (und damit Bestimmung z. B. der spezifischen Aktivität von Kalt-/Frischluftentstehungsgebieten).

Thermische Analyse

- Verknüpfung der thermischen (und lufthygienischen) Nutzungseigenschaften untereinander sowie mit den dynamischen Einflussfaktoren des Reliefs und der Strömungsstruktur (Bestimmung z. B. des Auftretens von Kaltluftseen und des Abkühlungseinflusses auf Überwärmungsbereiche).

Funktionssynthese

- Klimafunktionskarten stellen die Verknüpfung der dynamischen und thermischen Themenebenen in Bezug auf klimaökologische Potenziale, Defizite und Funktionen dar und symbolisieren damit eine idealtypische Wiedergabe der real existierenden flächenbezogenen, klimaökologischen Situation als Ausgangsbasis für die klimaökologische Bewertung.

Bewertung von Einzelaspekten/-kriterien

- Auf Basis der Funktionsanalyse bzw. der Klimafunktionskarte sowie unter der Annahme von planerischen Fragestellungen der Bauleitplanung, erfolgt eine Bewertung sowohl der klimaökologischen Potenziale als auch der Defizitbereiche.
- Hierzu werden insgesamt sechs einzelne Bewertungskriterien herangezogen, separat betrachtet und bewertet. Diese dienen als Ausgangsbasis für die zusammenfassende Gesamtbewertung. Schematische Darstellung siehe Abbildung 5.

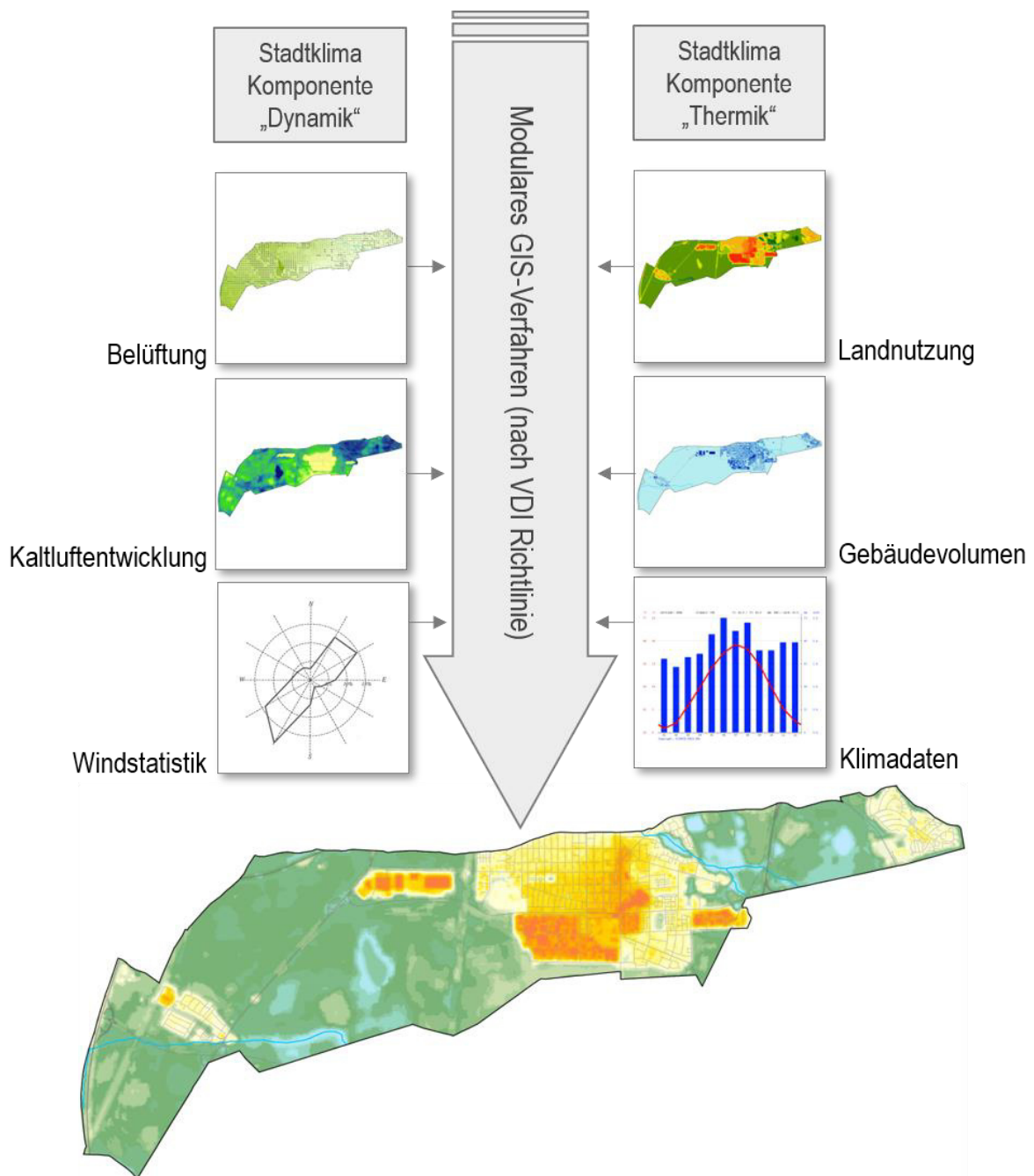


Abbildung 5: Schematische Darstellung der angewandten Methode.

5.1 Gebäudevolumen

Entsprechend des physikalischen Grundgesetzes der Energieerhaltung wird kurzwellige Sonnenstrahlung beim Auftreffen auf ein Objekt unter anderem in Wärmeenergie umgewandelt. Das Objekt wird erwärmt, speichert die Energie und gibt einen Teil dieser aufgenommenen Energie als langwellige Wärmestrahlung an die umgebende Atmosphäre ab. Dieser Prozess unterstützt die Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffekts, da es zu einer verstärkten Speicherung von Energie in der bebauten Substanz, gefolgt von einer zeitlich verzögerten Abgabe (in der Nacht) kommen kann, wodurch sich die nächtliche Abkühlung des städtischen Raumes vermindert. Um sowohl die Speicherkapazität der eintreffenden Wärmestrahlungen als auch die Barrierewirkung der Bauwerke zu berücksichtigen, wurde die Themenkarte „Gebäudevolumen“ angefertigt.

Eingangsdaten: Blockmodell (LOD1).

Bearbeitung: Nachdem das Blockmodell angefertigt wurde, konnte das mittlere Gebäudevolumen flächendeckend für das Stadtgebiet berechnet werden.

Hierbei wurde auf Basis eines Datensatzes mit 10 Meter horizontaler Auflösung je eine Höhe, berechnet aus einer abhängigen Gebäudehöhe der Nachbarschaft, zugeordnet, um den daraus resultierenden, dreidimensionalen Raum zu erfassen.

Um im stadtklimatischen Maßstab diese Informationen weiterverarbeiten zu können, wurden die Ergebnisse auf eine 10 Meter Auflösung aggregiert. Das Ergebnis zeigt die statistische Verteilung von Kubikmeter Bauvolumen pro Quadratmeter Flächeneinheit (siehe Themenkarte „Gebäudevolumen“, Abbildung 6). Diese Informationen fließen hauptsächlich in die Betrachtung der Wärmespeicherung ein, teilweise werden Parameter von der dynamischen Berechnung der Bodenrauigkeit genutzt.

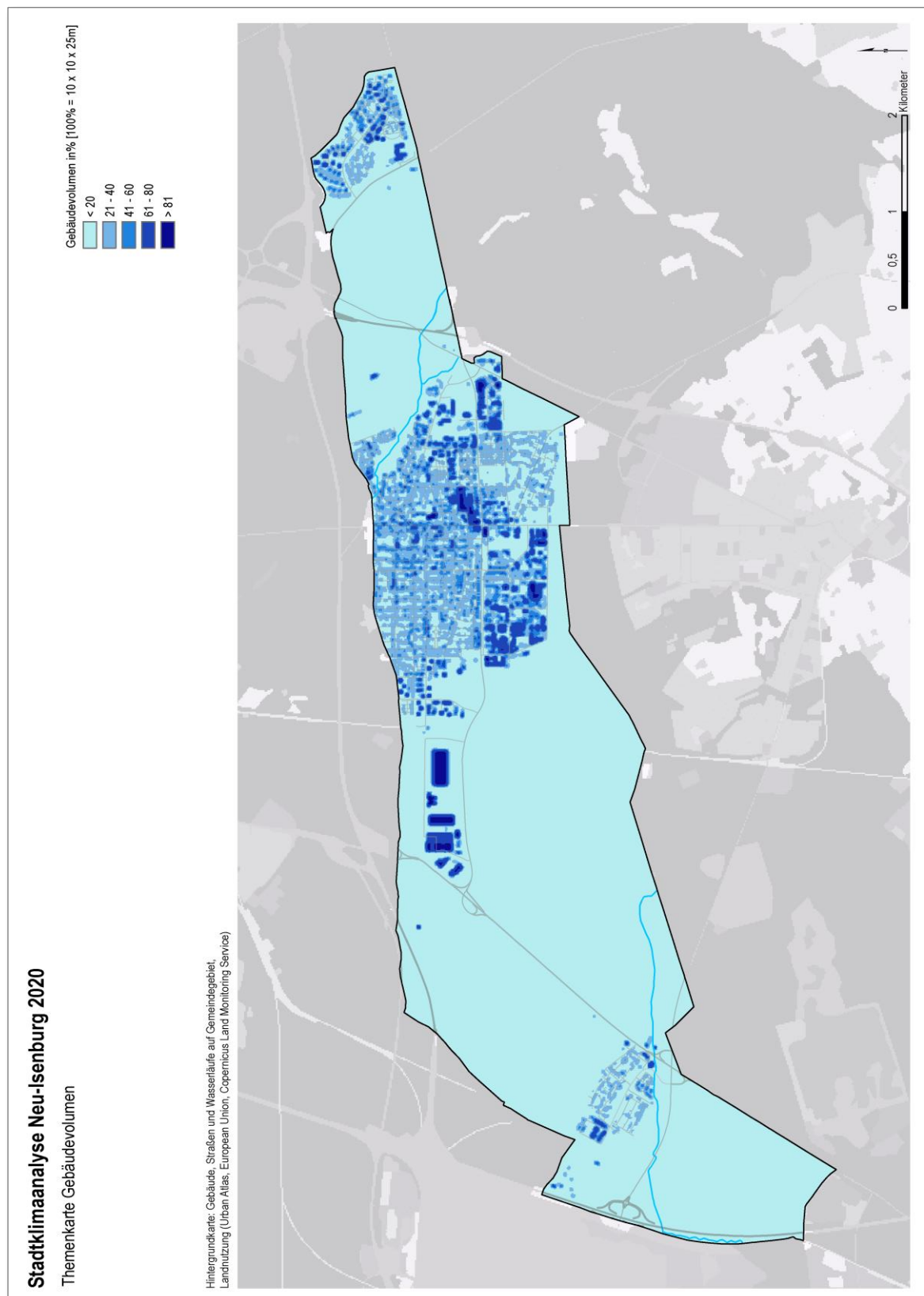


Abbildung 6: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

5.2 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 (Landnutzung) und DGM.

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 Neu-Isenburg wurde eine sehr feine horizontale Auflösung von 10 Meter je Gitterzelle gewählt, um möglichst genaue Aussagen zu den teilweise sehr kleinräumigen klimatischen Wechselwirkungen der kaltluftproduzierenden Flächen treffen zu können.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse in Form der Kaltlufthöhe vier Stunden nach Sonnenuntergang abgebildet.

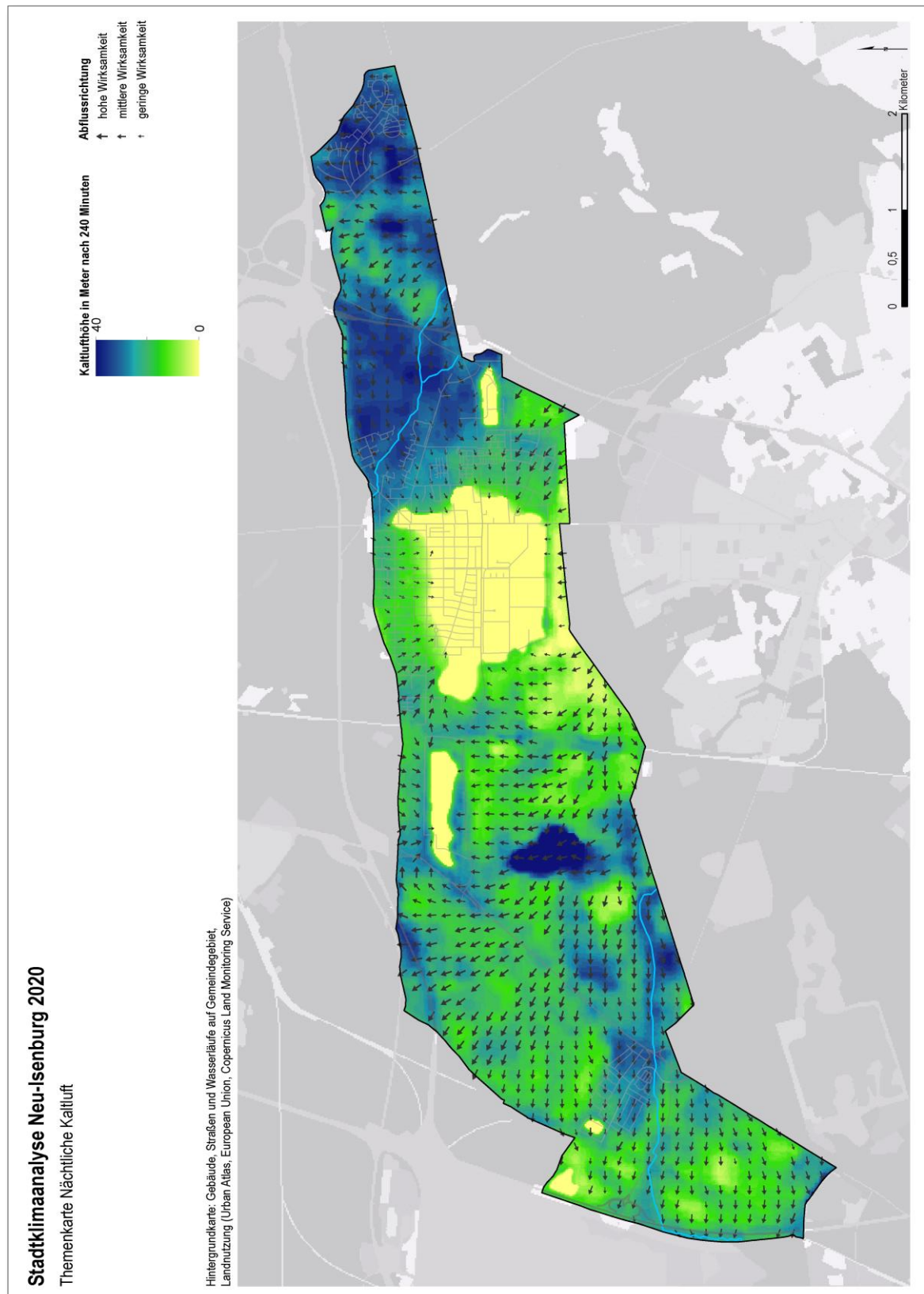


Abbildung 7: Kaltlufthöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

6. Klimafunktionskarte

Eine Klimaanalysekarte stellt die räumlichen Klimaeigenschaften einer Bezugsfläche dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Dargestellt werden darin die thermischen und dynamischen Verhältnisse.

6.1 Klimatope

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, die auf dem Kartenwerk erscheint, 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 der Klimafunktionskarte auf den Menschen und vermittelt das Stressniveau (siehe Kap. 2.2). Grundlage bilden die Untersuchungen über das thermische Empfinden aus verschiedenen Forschungsprojekten, z.B. im Rahmen der „klimazwei-Projekte“ (Katzschner et al., 2010).

Klimatopbeschreibung nach VDI RL 3787 Blatt 1:

Im Folgenden ist die Auflistung nach Richtlinie dargestellt, bei der KFK Stadt Neu-Isenburg zum Teil nur implizit vorhanden, jedoch inhaltlich berücksichtigt.

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.

Hinweise für die Planung: Undurchlässige Strukturen (z. B. geschlossene Bebauung oder dichte Hecken bis hin zu Waldflächen) sollten am Uferrand und den angrenzenden Bereichen vermieden werden.

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.

Hinweise für die Planung: Aufforstungs- und Siedlungsmöglichkeiten entsprechend den lokalklimatischen Verhältnissen, jedoch zudem Bedeutung der Flächen für den großräumigen Luftaustausch beachten (z. B. in Stadtrandlage). Erhaltung des Kaltluftentstehungspotenzials.

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/Frischlufte 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.

Hinweise für die Planung: Erhalten und ausbauen soweit lokalklimatisch verträglich (siehe Hindernisse für den Kaltluftabfluss).

Klima innerstädtischer Grünflächen

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.

Hinweise für die Planung: Erhalten und möglichst vernetzen, offene Randbebauung erhalten oder anstreben (zur Förderung des Luftaustauschs).

Vorstadtklima (implizit vorhanden)

Das Klimatop ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grüne geprägte 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.

Hinweise für die Planung: Weitere Versiegelung vermeiden, Arrondierung möglich. Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

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 nur schwache Ausprägung von Überwärmung, zumeist kann von einem ausreichenden Luftaustausch sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

Hinweise für die Planung: Besonders in diesen Klimatopen ist die Grünflächenvernetzung zum Freiland zu erhalten oder zu schaffen. Hohe, geschlossene Bauformen und verriegelnde Bebauung zum Umland vermeiden. Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

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.

Hinweise für die Planung: Entsiegelung, Blockentkernung und -Begrünung, Fassaden-, Dachbegrünungen anstreben, hohe Verkehrsdichte in engen Straßenschluchten vermeiden, Verkehrsberuhigung und emissionsarme Energieversorgung anstreben.

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.

Hinweise für die Planung: Siehe Stadtklima, Vorrang für emissionsarme Energieversorgung

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.

Hinweise für die Planung: Dach- und Fassadenbegrünung anstreben. Begrünung von Parkplätzen, Flächenbegrünung, Grünvernetzung, Entsiegelung, durchgängige Belüftungsstrukturen erhalten/schaffen, Beschränkung auf emissionsarme Betriebe, emissionsarme Energieversorgung, z. B. Fernwärme.

Gleisanlagen (implizit vorhanden)

Extremer Lufttemperaturtagesgang, trocken, nachts mögliche Kaltluftleitbahnen, geringe Strömungshindernisse.

Hinweise für die Planung: Von Emittenten und bei Umnutzung von erhöhter Rauigkeit freihalten. Flächenbegrünung vorsehen zum Erhalt der hochwertigen Funktion.

Klimaphänomene nach VDI RL 3787 Blatt 1:

Kaltluftbahn/ 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.

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.

Luftleitbahn

Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite stellt eine Luftleitbahn eine bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport dar. Luftleitbahnen, häufig auch als Ventilationsbahn bezeichnet, sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzeln stehende 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.

Durchlüftungsbahn

Als Durchlüftungsbahnen werden klimarelevante Luftleitbahnen mit unterschiedlichem thermischem und/oder lufthygienischem Niveau bezeichnet, auf denen bei austauscharmen und/oder austauschreichen Wetterlagen lufthygienisch belastete oder unbelastete Luftmassen mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften in das Zielgebiet, hier die Stadt, transportiert werden.

6.2 Legende der Klimafunktionskarte

Die Legende der Klimafunktionskarte beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung), als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas in der Stadt Neu-Isenburg.

Klimatope (thermische und dynamische Komponente):

	Kategorie	Name	Beschreibung
Klimakologische Wertigkeit +		Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Freilandklima . Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich; Größtenteils mit geringer Rauigkeit und/oder mit entsprechender Hangneigung und Kaltluftabfluss.
		Frischlufentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Waldklima . Flächen ohne Emissionsquellen; Hauptsächlich mit dichtem Baumbestand und hoher Filterwirkung. Potenzielle Kaltluftbildung oberhalb des Kronenraums.
		Misch- und Übergangsklimate	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Klima innerstädtischer Grünflächen . Flächen mit sehr hohem Vegetationsanteil, geringe und diskontinuierliche Emissionen; Pufferbereiche zwischen unterschiedlichen Klimatopen.
		Überwärmungspotential	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Vorstadtklima . Baulich geprägte Bereiche mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen; Größtenteils ausreichende Belüftung.
		Moderate Überwärmung	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Stadtklima . Dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad und wenig Vegetation in den Freiräumen; Belüftungsdefizite.
-		Starke Überwärmung (nicht in der Analysekarte vorhanden)	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft: Innenstadtklima . Stark verdichtete Innenstadtbereiche/City, Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetationsanteil und fehlender Belüftung.

Hervorhebung der dynamischen Komponente:

Kategorie	Name	Beschreibung
↑	Kaltluftabflussrichtung mit hoher Wirksamkeit	Abflussbereich des thermischen, während der Nacht induzierten Windsystems (Kaltluftabfluss). Die Ausrichtung des Pfeils beschreibt die Abflussrichtung, die Größe symbolisiert die berechnete Wirksamkeit (Geschwindigkeit und Kaltluftvolumen).
↑	Wirkrichtung Luftleitbahn mit mittlerer Wirksamkeit	Abflussbereich des thermischen, während der Nacht induzierten Windsystems (Kaltluftabfluss). Die Ausrichtung des Pfeils beschreibt die Abflussrichtung, die Größe symbolisiert die berechnete Wirksamkeit (Geschwindigkeit und Kaltluftvolumen).
↑	Kaltluftabflussbahn mit geringer Wirksamkeit	Abflussbereich des thermischen, während der Nacht induzierten Windsystems (Kaltluftabfluss). Die Ausrichtung des Pfeils beschreibt die Abflussrichtung, die Größe symbolisiert die berechnete Wirksamkeit (Geschwindigkeit und Kaltluftvolumen).
↕	Durchlüftung/ Durchlüftungsbahn	Ventilationsbahnen wie Gleisanlagen, breite Straßen, Flussläufe etc. die belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.

Abbildung 8: Legende der Klimafunktionskarte Stadt Neu-Isenburg.

6.3 Klimaanalysekarte

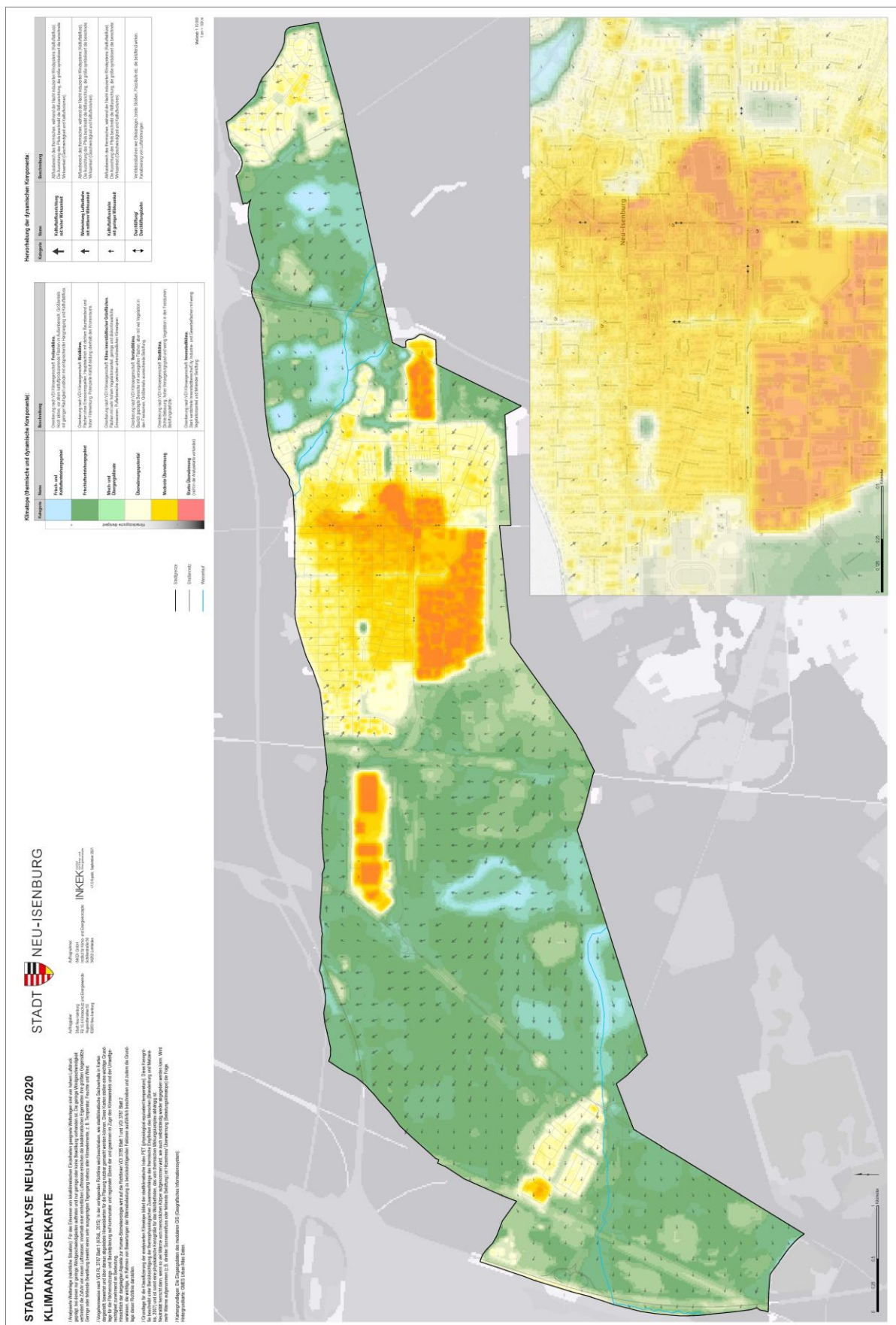


Abbildung 9: Klimaanalysekarte Stadt Neu-Isenburg 2020, ohne Maßstab (Original in Anhang II).

7. Planungshinweiskarte

Die Bewertung der im Analyseprozess gewonnenen Erkenntnisse in einer für die Regional-, Flächennutzungs- und Bauleitplanung verständlichen „Sprache“, fördert eine erfolgreiche Einbindung stadtklimatischer Anforderungen in Planungsprozesse.

Die bewertenden Stufen der PHK beinhalten Hinweise bezüglich der klimatischen Empfindlichkeit von Flächen gegenüber nutzungsändernden Eingriffen oder Bebauungsänderungen.

7.1 Beschreibung der räumlichen Planungshinweise

Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung

Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit direktem Bezug zum Siedlungsraum, wie innerstädtische und siedlungsnahen 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

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.**

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 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 stadtklimatischen 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.

7.2 Legende der Planungshinweiskarte

Die Legende der Planungshinweiskarte mit zugeordneten Planungshinweisen unterteilt die zusammengefassten Klimatope der Klimafunktionskarte in Hinblick auf den Umgang der entsprechenden Flächen aus stadtklimatischer Sicht.

Kategorie	Name	Planungshinweise
schützen	Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen. Diese Flächen stellen ein hohes Ausgleichspotenzial der städtischen Klimatope mit direkten Wirkzusammenhang dar. Hohe klimaökologische Wertigkeit (Kaltluftproduktion und/oder -abfluss, Belüftung allgemein, thermische Entlastung). Weitere Bebauung und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu klimatischen Beeinträchtigungen der verdichteten Bereiche. Das selbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern (Bodenraugkeit, Querbebauung). <i>Schützen und Funktionsfähigkeit aufrechterhalten, nach Möglichkeiten weitere Vernetzungen anstreben. Innerstädtische Potentialflächen über Schneiden und Vegetationsflächen verbinden.</i>
	Ausgleichsraum	Empfindlich gegenüber Nutzungsänderungen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen zu empfehlen. Vor allem der umgebende Wald trägt zur Verbesserung der thermischen Bedingungen bei. Weitere naturnahe Ausgleichsräume mit Abstand zu urbanen Bereichen haben positive Wirkung. Klimabewusste Entwicklungen sind unter Beachtung des „Bodenverbrauchs“ / Klimaschutz durchführbar. Eine möglichst geringe Gebäudehöhe sowie windoffene Gebäudeformen sind zu empfehlen. In Bereichen der Belüftungsflächen (Pfeilsymbole) wird ein klimatisches Gutachten empfohlen (Ausrichtung beachten).
sanieren	Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion	Geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierung. Bestehende Belüftungsmöglichkeiten erhalten (Pfeilsymbolik beachten) und sicher stellen, dass zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsraum nach sich ziehen. Durch Dach- und Fassadenbegrünung sowie Beibehaltung/ Ausbau von Grünflächen wird einer thermischen Belastung vorgebeugt. Allgemein Vegetationsanteil beachten und Siedlungsrande offenhalten; Vernetzungspotentiale der Ausgleichsräume durch vertiefte Stadtklimabetrachtung prüfen.
	Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion	Diese 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. Human-Biometeorologische Empfehlung: Schaffung und Erhalt lokaler Gunsträume (Freiräume mit Vegetation und Schatten), vor allem in Hinblick auf „Auswirkungen des Klimawandels“ und bei unzureichender Belüftung.

Abbildung 10: Legende der Planungshinweiskarte mit abgestimmten Planungshinweisen.

7.3 Planungshinweiskarte

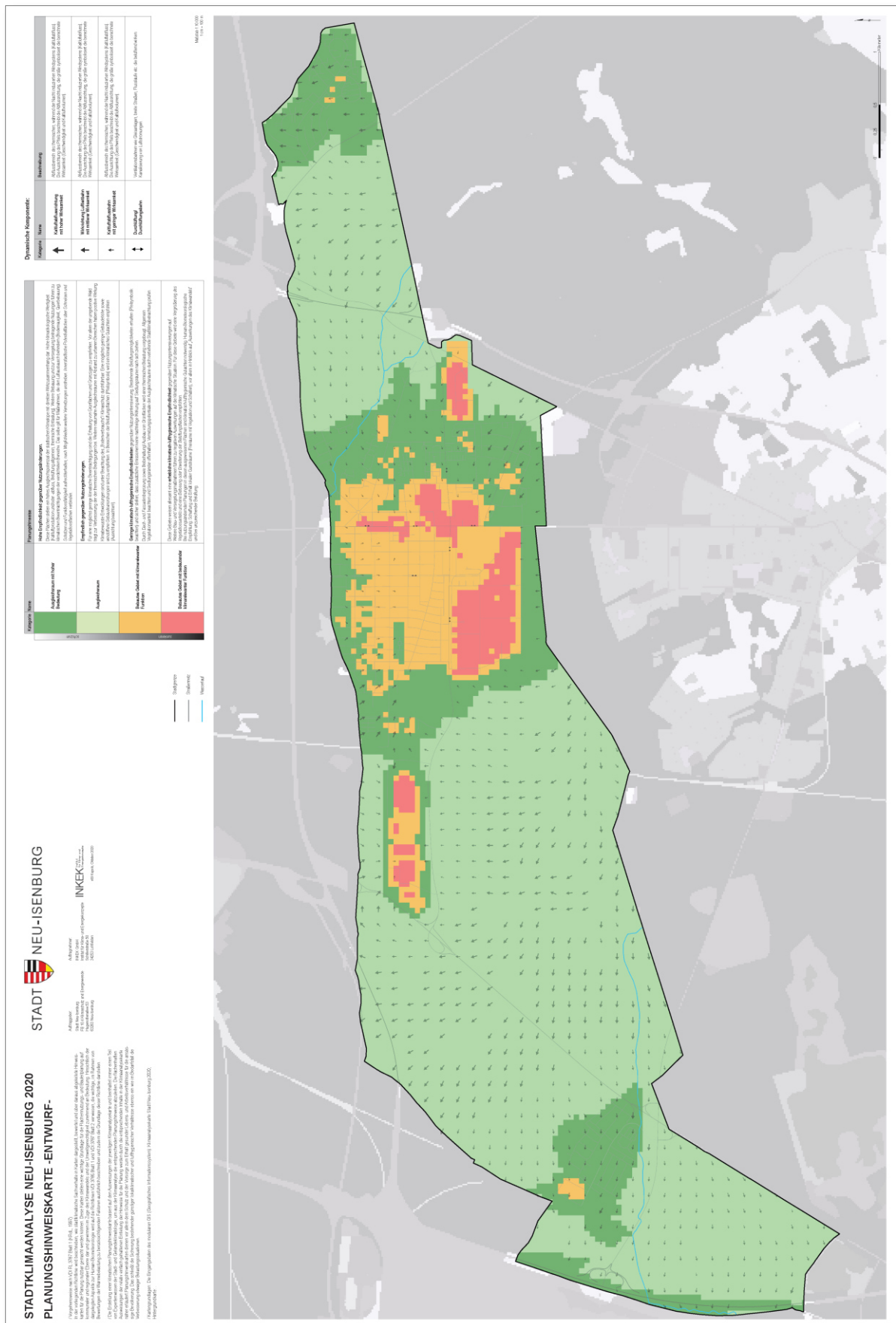


Abbildung 11: Planungshinweiskarte der Stadt Neu-Isenburg, ohne Maßstab (Original in Anhang II).

8. Szenarien

Für die Stadt Neu-Isenburg wurden zwei Szenarien entwickelt, um in den heutigen Planungsprozessen eine klimabewusste und zukunftsfähige Ausrichtung realisieren zu können. Im ersten Szenario (Szenario 1) wird die zukünftige bauliche Entwicklung als Eingangsdatensatz integriert. Im zweiten Szenario werden mögliche Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf das Stadtklima dargestellt.

8.1 Szenario 1 „Bauliche Entwicklung“

In Zusammenarbeit mit der Stadt Neu-Isenburg (Fachbereich Klimaschutz und Energiewende und Fachbereich Stadtplanung und Bauberatung) wurde das Szenario „Bauliche Entwicklung“ angefertigt. Dabei wurden bestehende Vorhaben (Gehespitz-Gelände, Stadtquartier Süd) und allgemeine Flächenveränderungen / Umstrukturierung der Gewerbegebiete Süd, Ost und Kalbskopf integriert sowie eine allgemeine Annahme der Innenentwicklung im Stadtgebiet.

Inhalt des Szenarios bildet somit die zukünftige Stadtentwicklung und deren Auswirkung auf die Klimatope. Die geplanten Vorhaben wurden hinsichtlich Ihrer Nutzungsintensität in das Modell übertragen. Da teilweise die genauen Gebäudekubaturen noch nicht zur Verfügung stehen, musste auf pauschale Flächenwerte zurückgegriffen werden, was technisch bedingt zu einer Auflösung (Rastergröße) von 25 m führt.

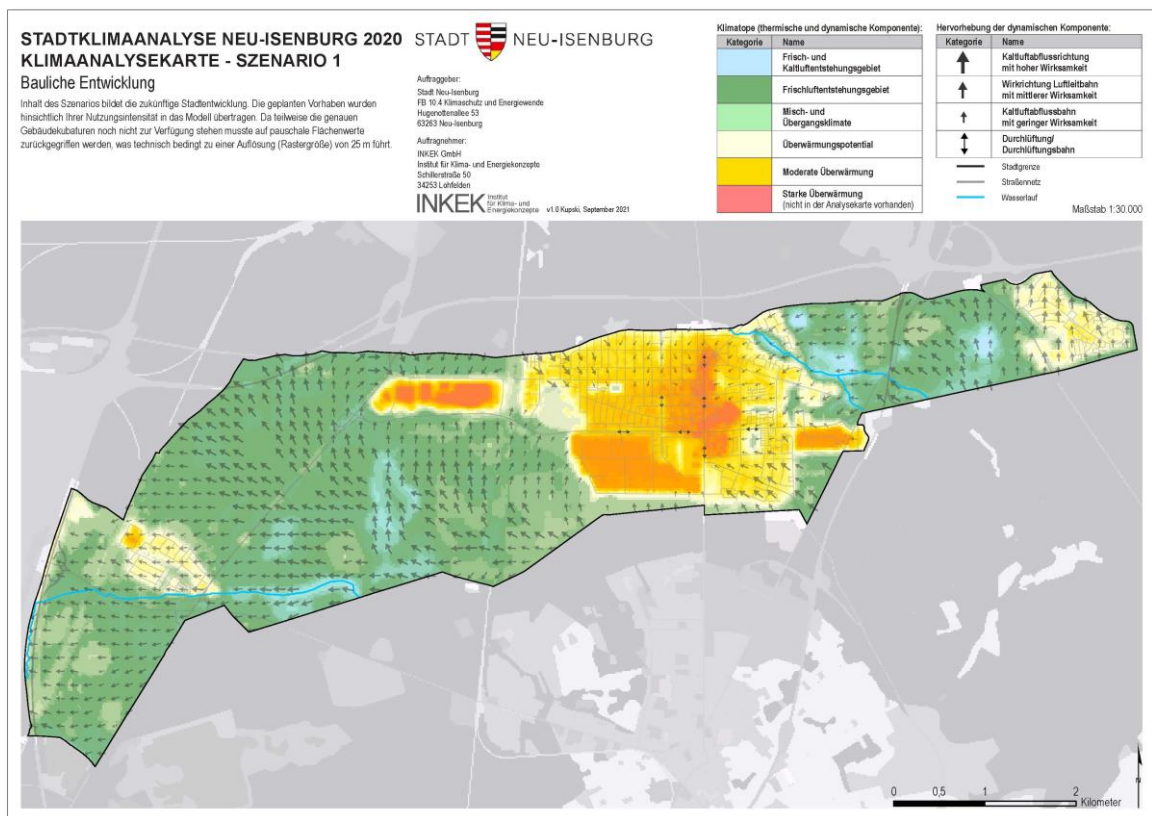
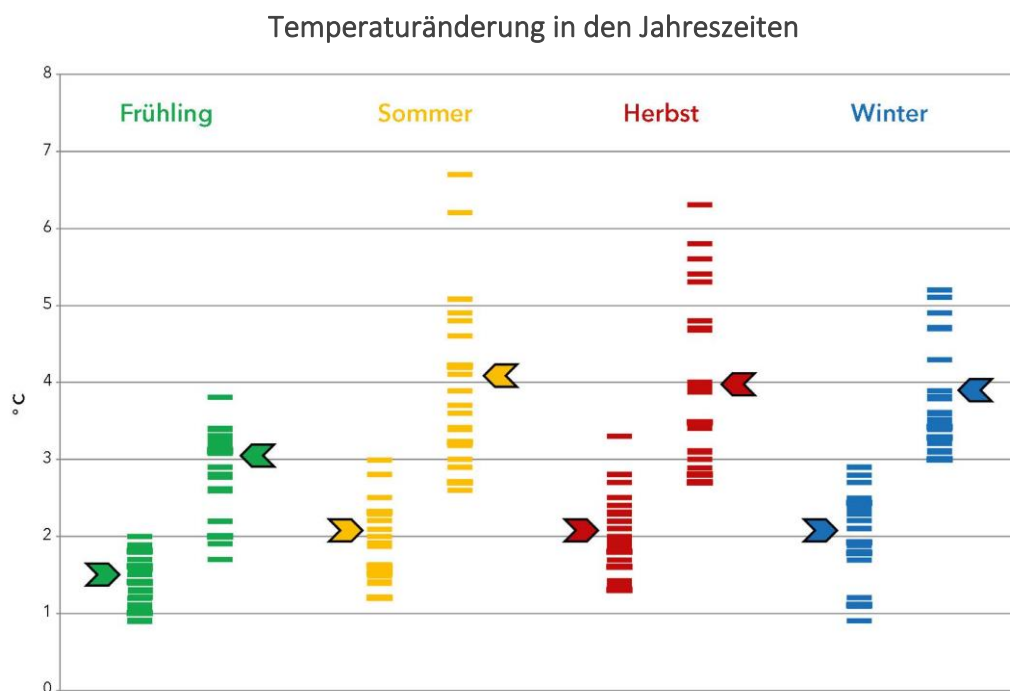


Abbildung 12: Stadtklimaanalyse Neu-Isenburg Szenario 1, ohne Maßstab (Original in Anhang III).

8.2 Szenario 2 „Bauliche Entwicklung und Auswirkungen des Klimawandels“

Aufbauend auf der baulichen Entwicklung soll zudem ein Szenario erstellt werden, dass zusätzlich die Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf das Stadtklima in Neu-Isenburg berücksichtigt. Um dies zu berechnen, wurde ausgehend von der Datengrundlage des Szenarios 1 das Szenario 2 mit den durchschnittlichen klimatologischen Eingangswerten der mittleren Zukunft (2031-2060, RCP8.5) berechnet. Dadurch sollen Erkenntnisse über zukünftige klimatische Veränderungen gewonnen werden, um die Stadtplanung bereits heute entsprechend auszurichten. In diesem Szenario wurde insbesondere die Veränderung der Lufttemperatur im Bereich der baulichen Entwicklungen betrachtet.

In Bezug auf die Klimaanalysekarte (s.o.) für die Stadt Neu-Isenburg lässt sich feststellen, dass die Gewerbegebiete sowie der Innenstadtbereich entlang der Frankfurter Straße bereits heute ein moderates Überwärmungspotenzial haben. Außerdem verhindern diese Gebiete sowohl Kaltluftabfluss als auch Durchlüftung der Stadt. Aus Szenario 2 lässt sich ableiten, dass der Klimawandel zu einer noch stärkeren Überhitzung dieser Gebiete führt, so dass in dieser Betrachtung die höchste Belastungskategorie (Klimatop „Starke Überwärmung“) auftritt, welche in der Analyse unter Betrachtung der aktuellen klimatischen Bedingungen noch nicht erreicht wurde. Eine bessere Durchlüftung muss daher gewährleistet werden, um den thermischen Komfort nicht weiter zu verschlechtern. Die geplanten baulichen Veränderungen sollten entsprechend darauf abzielen, nicht als Kaltluftthindernisse zu wirken, sondern eine gute Belüftung zu ermöglichen.



Änderung der jahreszeitlichen Mitteltemperatur in Hessen (°C), 27 Modellkombinationen, Weiter-wie-bis-her-Szenario, links: 2031-2060, rechts: 2071-2100 jeweils im Vergleich zu 1971-2000. Pfeil: Mittelwert

Abbildung 13: Temperaturänderung in den Jahreszeiten, aus: „Klimawandel in der Zukunft – Klimawandel in Hessen“, HLNUG 2018.

Abgebildet sind die Änderungen der jahreszeitlichen Mitteltemperaturwerte in Hessen auf Grundlage unterschiedlicher Modellergebnisse/Betrachtungszeiträumen. Die Einbindung der Klimadaten erfolgte laut „Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ 2017 und führt aufgrund der unklaren Datenlage in Bezug auf die tatsächliche bauliche Entwicklung der Stadt Neu-Isenburg (Unsicherheiten Szenario 1), sowie der naturbedingten Unschärfe der Klimamodelle (Szenario 2) zu einer gröberen Auflösung (Rastergröße) von 50 m.

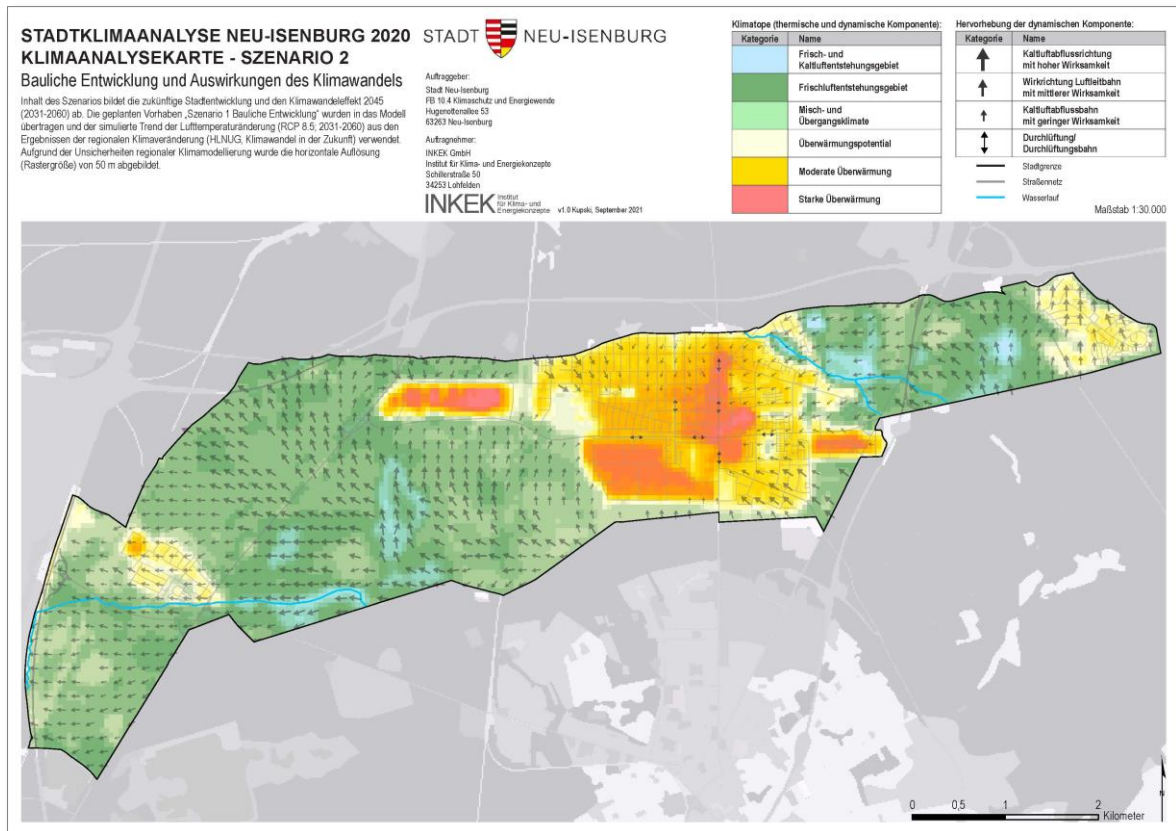


Abbildung 14: Stadtklimaanalyse Neu-Isenburg Szenario 2, ohne Maßstab (Original in Anhang III).

9. Vulnerabilitätsanalyse

Die Deutsche Anpassungsstrategie zielt darauf ab, die Vulnerabilität (Verwundbarkeit) relevanter Sektoren gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern beziehungsweise die Anpassungsfähigkeit natürlicher, ökonomischer und gesellschaftlicher Systeme zu erhalten oder zu steigern (Umweltbundesamt 2015).

Neben dem typischen Einsatz von Klimaanalysen im planerischen Kontext wurde eine weitere Ebene erarbeitet, in der soziodemografische Daten auf Wahlbezirksebene (s. Abbildung 15) mit in die Betrachtung genommen wurden. Somit können Aussagen bezogen auf die Stadtbewohner und deren Gesundheit getroffen werden, denn vor allem hitzeassoziierte Gesundheitsschäden werden im Zuge des Klimawandels zunehmen.

Als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen wurden bei diesem Analyseschritt kleine Kinder (0-7 Jahre) und ältere Menschen (über 61 Jahre) gewählt, da diese besonders sensibel auf klimatische Extreme reagieren.

In einem ersten Schritt wurden die Bevölkerungsgruppen den jeweiligen Wahlbezirken zugeordnet und anschließend auf die potenzielle Wohnfläche verteilt. Verfügt der Bezirk beispielsweise über große Wald- oder Industrieflächen, werden diese nicht in die Betrachtung eingeschlossen, um ein realistisches Bild der Wohnverteilung zu erzeugen.

Im Anschluss konnten diese räumlich verschnittenen Bevölkerungsdaten mit den analysierten Klimatopen betrachtet werden, so dass eine statistische Verteilung durchgeführt werden konnte. In Abbildung 16 wurden jeweils diese verfeinerten Daten für die beiden Klimatope „Überwärmungspotential“ und „Moderate Überwärmung“ tabellarisch zusammengetragen.

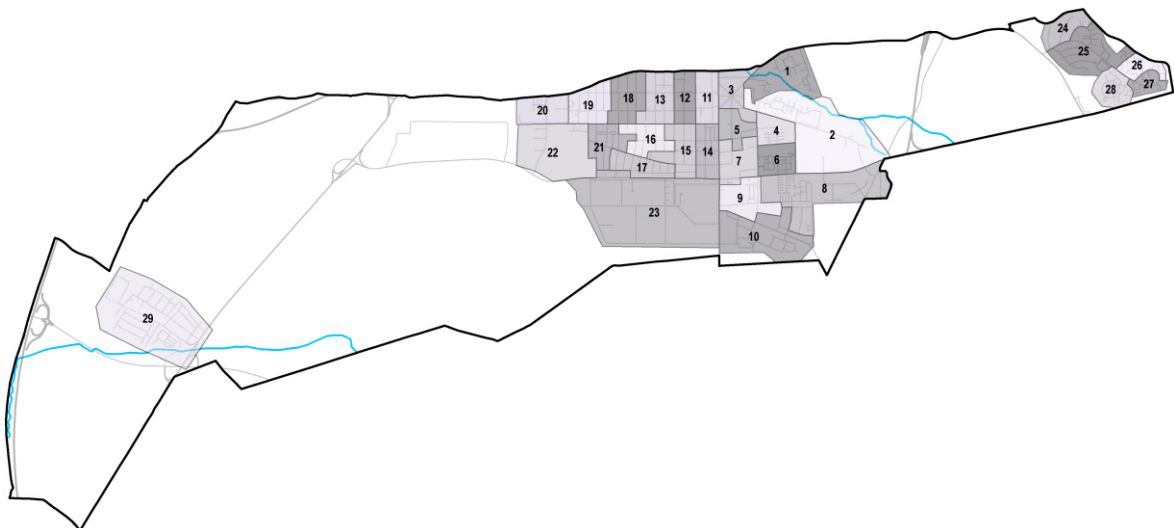


Abbildung 15: Wahlbezirke der Stadt Neu-Isenburg.

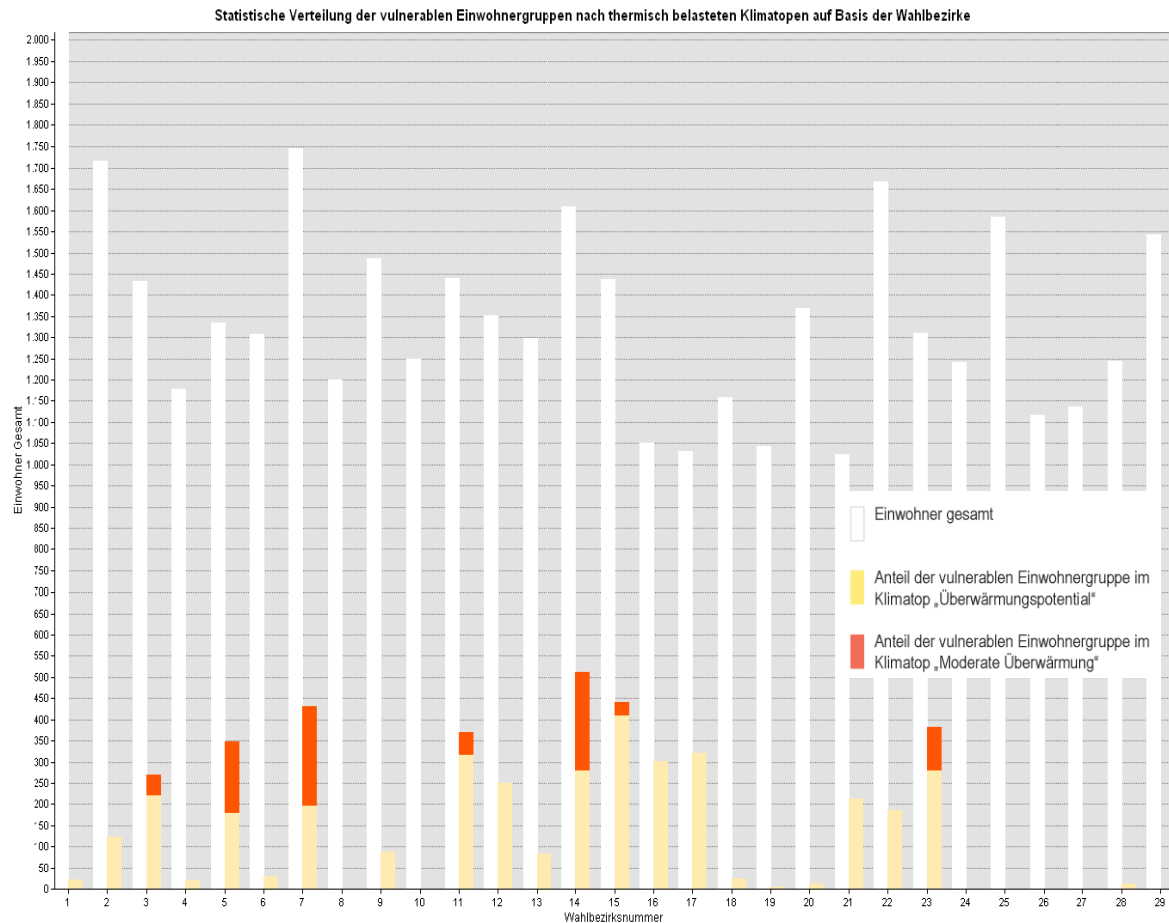


Abbildung 16: Verteilung vulnerabler Einwohner auf überwärmte Klimatope nach Wahlbezirk.

Die größte Zahl vulnerabler Personen in überwärmten Gebieten wohnt in den Wahlbezirken 7, 14 und 5. In Kombination mit Gebieten, die potenziell zur Überwärmung neigen sind des Weiteren die Wahlbezirke 11, 15 und 23 vulnerabel.

In diesen identifizierten Gebieten sollte zum Schutz der Bevölkerung besonders priorisiert werden, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu ergreifen. Anhaltspunkte hierfür kann die nachfolgende mikroklimatische Untersuchung mit Maßnahmenempfehlungen geben.

10. Detailuntersuchung Mikroklima

Ergänzend zur gesamtstädtischen Analyse können Bereiche von besonderem Interesse einer detaillierteren mikroklimatischen Analyse unterzogen werden. Durch solche kleinräumigen Untersuchungen können einerseits mikroklimatische Hotspots identifiziert werden und andererseits die Wirkungen einzelner Maßnahmen untersucht werden. In Neu-Isenburg bietet sich hierfür der Innenstadtbereich der Kernstadt an, in dem in der gesamtstädtischen Analyse Belastungsschwerpunkte ermittelt wurden und auch die Vulnerabilitätsanalyse erhöhten Handlungsbedarf identifiziert hat.

10.1 ENVI-met

Für die Analyse des Mikroklimas wird das Programm ENVI-met (Version 4.4.6 Summer 2021, ENVI_met GmbH) verwendet. Für die Berechnung mikroklimatischer Zustände wird das Untersuchungsgebiet mit Gebäuden (Höhe und spezifische Materialien), Bodenbelägen und Vegetation (u.a. Baumstandorte und -höhen) sowie meteorologischen Eingangsdaten modelliert. Als Ausgabe liefert das Modell die Strahlungsbedingungen, die Sonnenein- sowie Gebäudeabstrahlung, Windverhältnisse, Lufttemperatur und Luftfeuchte, ausgedrückt als physiologisch äquivalente Temperatur (PET, s. Kap. 2.2) und weitere meteorologische Parameter. Anhand dieser Ergebnisse können Mikroklimakarten produziert werden, die unterschiedliche Parameter, etwa Windgeschwindigkeit oder PET, flächendeckend im Untersuchungsgebiet abbilden. Eine Mikroklimauntersuchung kann mit ENVI-met sowohl für ein existierendes Stadtquartier als auch in einem frühen Stadium des Planungsentwurfs angewandt werden, um Problembereiche zu identifizieren und Strategien zur Verbesserung des Komforts wie Beschattung oder Windschutz einzuleiten.

10.2 Eingangsdaten und Modell

Das Untersuchungsgebiet der Mikroklimaanalyse liegt im Stadtzentrum von Neu-Isenburg (Lage auf der Klimaanalysekarte in Abbildung 17). Es umfasst ein Gebiet von 675 m x 850 m, was bei der Zellgröße von 2,5 m Kantenlänge einer horizontalen Auflösung von 270 x 340 Zellen entspricht.

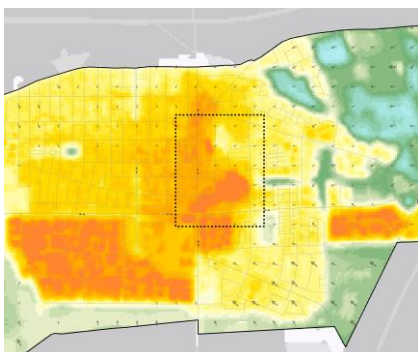


Abbildung 17: Lage des Untersuchungsgebietes auf Grundlage der Klimaanalysekarte.

Die Modellgebäude wurden entsprechend der vorliegenden Gebäudedaten simuliert (s. Abbildung 18). Die Oberfläche wurde auf Basis von Daten aus dem Urban Atlas (© European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2021, European Environment Agency (EEA)) erstellt und anhand eines Luftbildes (<https://www.region-frankfurt.de/Geoportal>) verfeinert. Dabei wurde Straßenflächen der Belag „Asphalt“ zugewiesen, anderen versiegelten Flächen „heller Asphalt“ und die restliche Oberfläche wurde als standardisiertes „Lehmboden“-Profil definiert. Die Vegetation wurde ebenso anhand des Luftbildes eingepflegt, dabei wurden Rasenflächen ausgewiesen und kleine sowie mittlere Bäume simuliert (5 bzw. 15 m hoch, s. Abbildung 18).

Für die Simulationsläufe wurde ein wolkenloser mitteleuropäischer Sommertag gewählt, um die höchstmögliche Hitzebelastung zu simulieren. Als externer Antrieb an den Modellgrenzen wurde entsprechend den Ergebnissen der Stadtklimaanalyse konstanter Wind aus östlicher Richtung (90°) mit der Geschwindigkeit 1 m/s eingestellt, die Lufttemperatur wurde ebenso der Klimaanalyse entnommen.

Für den Planfall wurden im Modell an drei Stellen Änderungen vorgenommen (s. Abbildung 19):

- a) Entsiegelung und Ausbringung von Vegetation (Rasen und Bäume) auf dem Wilhelmsplatz südlich des Hauses der Vereine, dabei Beibehaltung der Parkplatz-Funktion. An dieser Stelle besteht hohes Potenzial für eine machbare Aufwertung.
- b) Einfügen eines zusätzlichen 14 m hohen Gebäudes gemäß dem Bebauungsplan „Kaiserpassage“ auf dem Areal zwischen der Frankfurter Straße und der Richard-Wagner-Straße in Verlängerung der Bahnhofsstraße.
- c) Biometeorologische Aufwertung der Südhälfte der Frankfurter Straße durch kleinräumige Entsiegelung wo möglich und weitere Baumstandorte (15 m hoch, 11 m Kronendurchmesser). In diesem Bereich wurde in der gesamtstädtischen Analyse ein Belastungsschwerpunkt ermittelt.

Legende der Abbildungen nächste Seite:

graue Flächen = Gebäude, hellgrüne Flächen = Rasen, grüne Punkte = Bäume;
Änderungen in der Simulation PLAN rot markiert.

Modell BESTAND

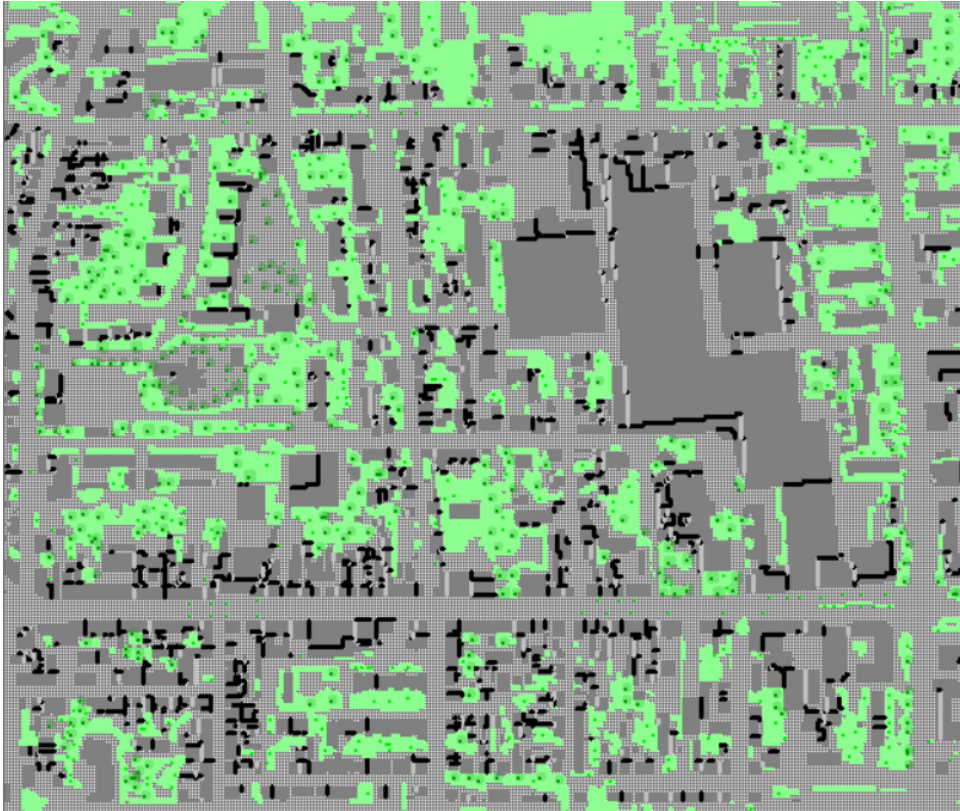


Abbildung 18: Eingangsdaten Simulation BESTAND (gedreht).

Modell PLAN

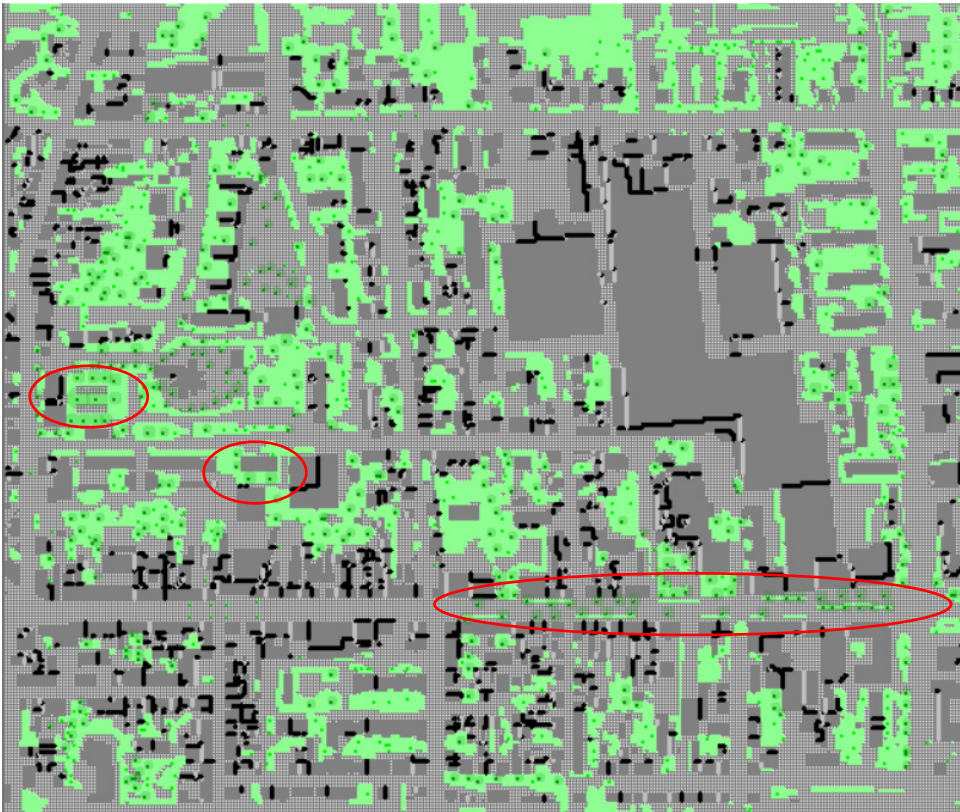


Abbildung 19: Eingangsdaten Simulation PLAN (gedreht).

10.3 Ergebnisse

PET-Tagesmittel

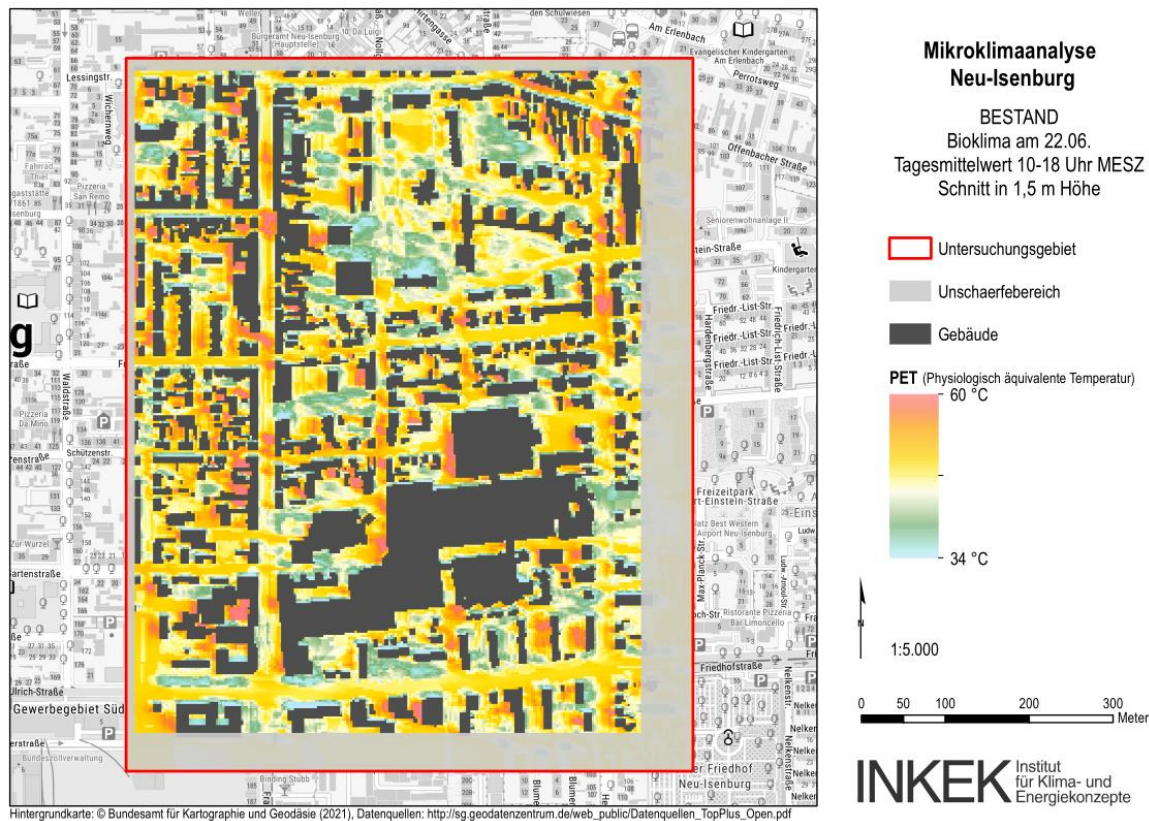


Abbildung 20: Tagesmittelwert PET BESTAND. Original im Anhang IV.

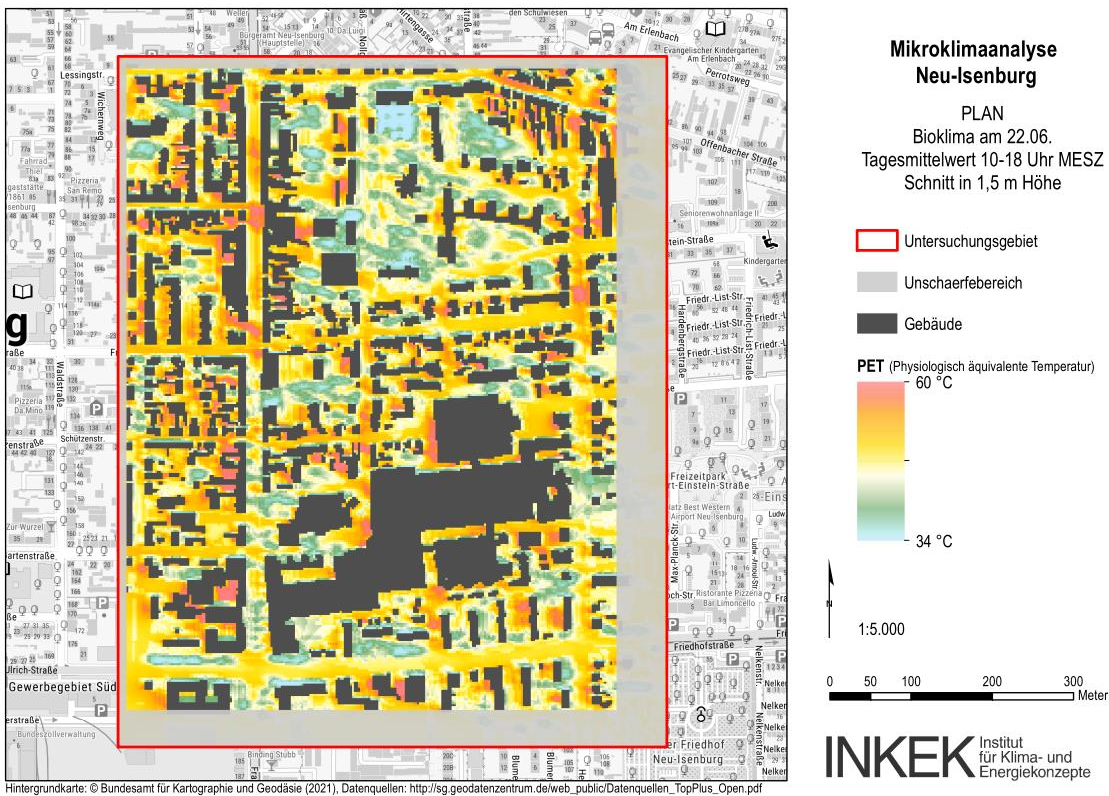


Abbildung 21: Tagesmittelwert PET PLAN. Original im Anhang IV.

Windfeld

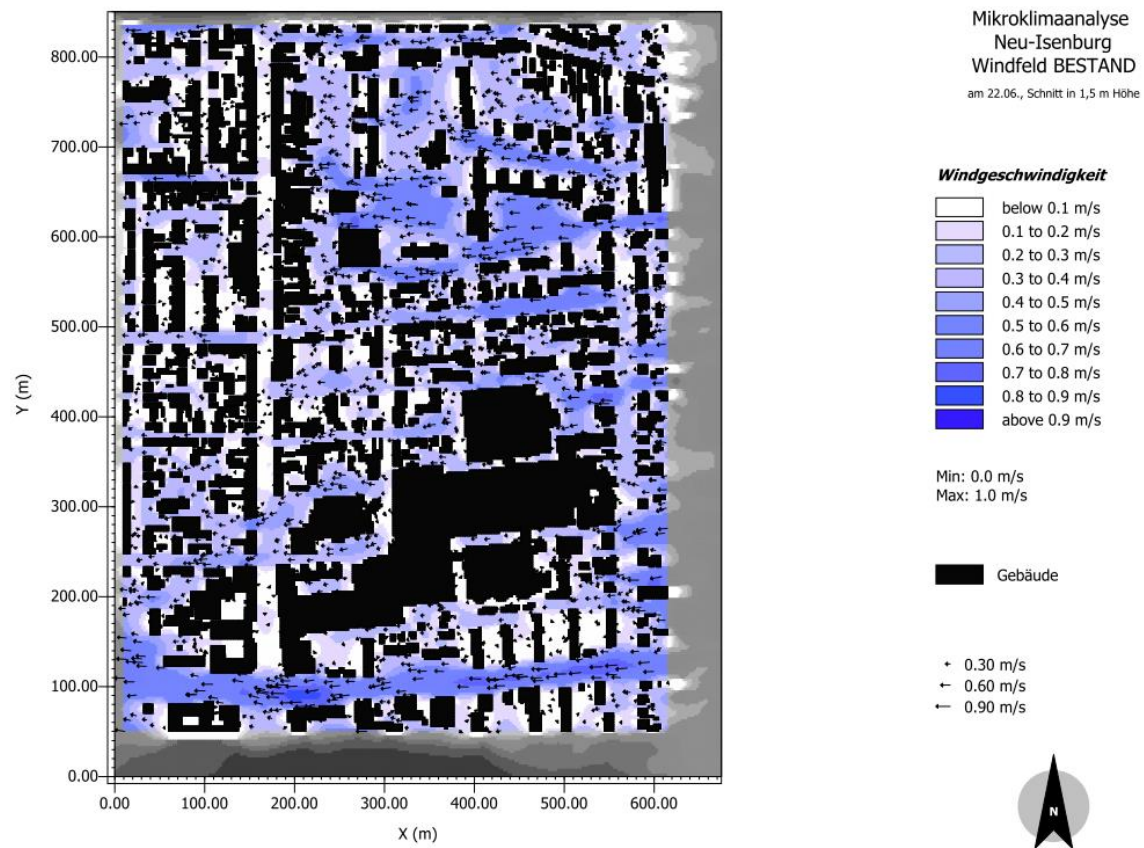


Abbildung 22: Windfeld BESTAND. Original im Anhang IV.

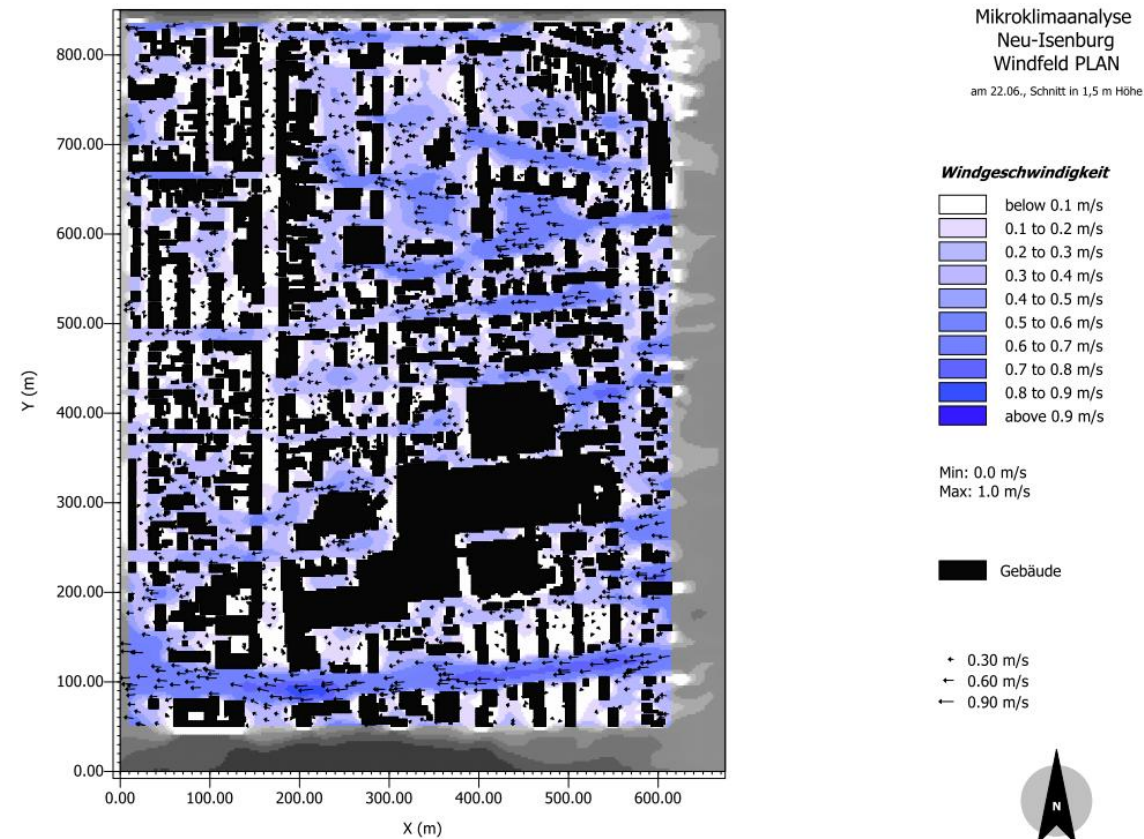


Abbildung 23: Windfeld PLAN. Original im Anhang IV.

PET:

Bei der physiologisch äquivalenten Temperatur zeigen sich die höchsten Werte im Windschatten der Gebäude, d.h. westlich von Barrieren, weil hier die Hitze nicht gut abtransportiert werden kann. Dieser Effekt ist besonders stark, wenn diese Bereiche zudem unbeschattet und die Oberfläche versiegelt ist. Die kühlestn Bereiche sind zumindest einige Zeit im Tagesverlauf beschattet, etwa nördlich von Gebäuden oder unter Bäumen.

Die Änderungen in der Simulation PLAN wirken sich auf PET aus:

- a) Auf dem Wilhelmsplatz am Haus der Vereine ist durch die Beschattung mit großkronigen Bäumen eine deutliche Abkühlung ($>10^{\circ}\text{C}$) zu beobachten.
- b) Die Errichtung des vierstöckigen Hauses zwischen der Frankfurter Straße und der Richard-Wagner-Straße in Verlängerung der Bahnhofsstraße zeigt keine signifikante Beeinflussung der PET-Verteilung.
- c) In der Südhälfte der Frankfurter Straße können durch die Maßnahmen thermische Hotspots entlastet und Bereiche mit angenehmeren Aufenthaltsbedingungen geschaffen werden.

Wind:

Der Wind fließt gemäß den Eingabedaten von Ost nach West durch das Untersuchungsgebiet. Als wichtige Luftleitbahn stellt sich dabei die breite Verbindung Friedhofsstraße/Carl-Ulrich-Straße heraus, auf der die Luft ungehindert in weiter westliche Stadtgebiete strömen kann. Für das Untersuchungsgebiet selbst sind die Eichendorffstraße, Freiherr-vom-Stein-Straße sowie die Wilhelmsstraße wichtige Belüftungsbahnen. Die Frankfurter Straße stellt durch ihre parallele Bebauung quer zur Belüftungsrichtung eine fast durchgängige Barriere für die Luftzufuhr in Richtung Westen dar.

Die Änderungen in der Simulation PLAN wirken sich minimal auf das Windfeld aus:

- d) Auf dem Wilhelmsplatz sinkt die Windgeschwindigkeit geringfügig durch die Barrierewirkung der zusätzlichen Bäume.
- e) Da das bestehende Gebäude westlich vom Neubau an der Richard-Wagner-Straße bereits eine starke Barrierewirkung hat, sind die Auswirkungen auf das Windfeld relativ gering, trotzdem sollten sie kompensiert werden (s. unten).
- f) Auch in der Südhälfte der Frankfurter Straße ist durch die Bepflanzung keine nennenswerte weitere Verschlechterung der Belüftungssituation zu beobachten.

10.4 Fazit Mikroklima

Auf dem Parkplatz Wilhelmsplatz am Haus der Vereine sowie in der Südhälfte der Frankfurter Straße ist die Durchführung der im Planfall simulierten Maßnahmen zu empfehlen. Dazu gehören eine Entsiegelung und Bepflanzung möglichst großer Flächen, auch eine Ausbringung von Rasengittersteinen statt Asphalt auf den Parkflächen ist zu prüfen. Eine wesentliche Rolle im Mikroklima spielen zudem neue Baumpflanzungen. Dabei ist zum einen auf eine große und demnach viel Schatten spendende Krone zu achten und zum anderen auf eine Anpasstheit an den Klimawandel, d.h. steigenden Hitze- und Trockenstress. Neben mikroklimatischen Vorteilen wirken sich diese Maßnahmen positiv auf die Bereiche Artenvielfalt und Schutz bei Starkregenereignissen aus. Um die Pflegekosten der neu entstandenen Grünflächen gering zu halten, ist eine Anlegung von Blühstreifen zu prüfen, die zudem einen wichtigen Beitrag gegen das Artensterben darstellen.

Die Errichtung des Gebäudes an der Richard-Wagner-Straße gemäß dem vorliegenden Bebauungsplan führt zu einer geringfügigen Verschlechterung des umliegenden Mikroklimas. Um diese zu kompensieren und weitere positive Effekte auf Mikroklima, Biodiversität und Starkregenschutz zu erreichen, sollte am Neubau nach Möglichkeit eine Dach- und/oder Fassadenbegrünung sowie eine naturnahe Gestaltung angestrebt werden.

11. Schlussbetrachtung

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.

Die Ergebnisse der Klimaanalyse der Stadt Neu-Isenburg und die weitere Betrachtung der Vulnerabilität hinsichtlich hitzesensibler Bevölkerungsgruppen haben gezeigt, dass vor allem aus human-biometeorologischen Faktoren der (innerstädtischen) Vegetation ein hohes Maß an Ausgleichsleistung zukommt. Neben der Verdunstungskühlung, der Luftfilterung und dem Schattenwurf aus klimaökologischer Sicht sind weitere positive ökologische und soziale Funktionen von Vegetation aufzuführen, etwa Artenvielfalt, Wasserspeicherung, Ästhetik, Erholung. Dies deckt sich sowohl mit den Erkenntnissen aus dem Projekt KLIMPRAX Stadtklima (KLIMawandel in der PRAXis) und zeigt auch die Relevanz in diversen Handlungsleitfäden auf Landes- und Bundesebene.

Aus diesem Grund ist es auch für die stadtklimatische Situation der Stadt Neu-Isenburg äußerst förderlich, bestehende Vegetationsstrukturen mit diesbezüglich besonderer Relevanz gezielt zu schützen und weitere Vegetation (Baumgruppen, einzelne Straßenbäume oder andere entsiegelte Freiräume mit entsprechendem Vegetationsvolumen) einzuplanen und zu realisieren. Die bereitstehende Klimaanalyse hat die Bereiche mit besonderem Bedarf an klimawirksamen Maßnahmen herausgearbeitet. Empfohlen wird als Folgeschritt, darauf aufbauend eine Qualitätsanalyse der Grün- und Blaustrukturen durchzuführen, welche einen erweiterten Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel für die Stadt Neu-Isenburg leisten kann.

Das umfassende generierte Kartenmaterial bietet die Voraussetzung dafür, auf klimatische Belastungssituationen planerisch zu reagieren und zukünftige Planungsprozesse im Sinne einer klimabewussten Ausrichtung zu begleiten. Neben den beiden Themenkarten, die für sich bei entsprechenden Fragestellungen hilfreiche Informationen bieten (siehe Gebäudevolumen oder Kaltluftabfluss), kann die Analysekarte (Klimafunktionskarte) Fragestellungen zu klimatischen Wechselwirkungen im mesoklimatischen Maßstab beantworten. Somit sind Informationen über die real vorhandenen Gegebenheiten in der Ist-Situation abrufbar. Diese werden zur Bewertung der Belüftungsverhältnisse und der thermischen Bedingungen zusammengeführt.

Daraus abgeleitet wurde die Planungshinweiskarte als bewertende und vereinfachte Karte für den Planungsprozess mit konkreten Hinweisen zum Erhalt bzw. zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen in der Stadt Neu-Isenburg entwickelt.

Informationsgewinn aus der Klimafunktionskarte:

Flächig dargestellte Potenzial- und Defizitbereiche können aufgrund der feinen Auflösung sehr gut räumlich verortet werden. Vor allem die stark verdichtete Innenstadt mit wenig Vegetation, hoher Versiegelung und dichten Gebäuden wird in hohe Belastungskategorien eingestuft. Ähnlich belastet sind die Verhältnisse in den Gewerbe- und Industriearealen, wobei zu vermerken ist, dass bei der Betrachtung des Bestandsklimas das höchste Belastungsklimatop „Starke Überwärmung“ nicht erreicht wurde. Wohnviertel in direkter Nähe zur Neu-Isenburger Innenstadt mit dichter Bebauung können ebenfalls das Klimatop „Moderate Überwärmung“ erreichen. Weniger hohe Werte wurden in den Stadtteilen Gravenbruch und Zeppelinheim mit stärkerer Durchgrünung, weniger Baumassen und einer besseren Belüftung berechnet. Dennoch sind auch in den kleineren Siedlungsgebieten Bereiche mit erhöhter thermischer Belastung vorzufinden. Dabei spielt die absolute Flächengröße eine untergeordnete Rolle. Überwärmungsgebiete, vor allem mit Wohnnutzung in der Nähe, sollten stadtklimatisch aufgewertet werden.

Diese klimaökologischen Wechselwirkungen sind charakteristisch und prägend für das Rhein-Main-Gebiet und wirken interkommunal. Das bedeutet, Eingriffe in den Nachbargemeinden der Stadt Neu-Isenburg bringen lokale Veränderungen mit sich und haben direkte Auswirkungen auf die klimatischen Bedingungen im Neu-Isenburger Stadtgebiet.

Planerische Empfehlungen aus der Planungshinweiskarte:

Die Planungshinweiskarte wurde nach der VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 von der Klimafunktionskarte abgeleitet. Die fließenden Übergänge sind den scharfen Grenzen der Kategorien gewichen, eine Reduktion auf vier Kategorien soll die Planungspraxis mit diesem Instrument anwendungsfreundlicher machen.

Die Potenzialbereiche wurden auf ihre Wirksamkeit hin unterteilt. Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung sind im direkten Wirkzusammenhang mit Belastungsbereichen zu finden, während Ausgleichsräume / Naturräume, die keinen unmittelbaren Bezug zur Bebauung haben, andere Planungshinweise enthalten. Allgemein gibt es Hinweise in der Abstufung von „sichern und schützen“ (sensible Bereiche mit direktem Bezug zu Defizitbereichen, die in ihrer Funktion geschützt werden sollten) und „klimabewusste Entwicklungen möglich“ (Bereiche, die zwar in der Fläche eine hohe klimaökologische Wertigkeit haben, aber klimasensible Entwicklungsmöglichkeiten bieten).

Analog zu den Potenzialbereichen/ Ausgleichsräumen wurden die bebauten Gebiete mit klimatischen Defiziten in zwei Kategorien unterteilt. „Bebautes Gebiet mit klimatischer Funktion“ sind Flächen, die unter bestimmten Aspekten nutzungsintensiviert werden können, wobei stets der Zusammenhang zu benachbarten Arealen berücksichtigt werden muss und vertiefende Betrachtungen empfohlen werden.

Für Flächen, die als „bebautes Gebiet mit bedeutender klimatischer Funktion“ ausgewiesen sind, sind aus Sicht der Klimawandelanpassung kleinräumige Aufwertungen (Freiräume mit Vegetation und Schatten) zu empfehlen. Eine Vernetzung von Belüftungsstrukturen im bebauten Raum ist anzustreben.

Grundsätzlich wird empfohlen, auch im Hinblick auf zukünftige weitere Planungen, den Flächenverbrauch so gering wie möglich zu halten, um eine Überwärmung der Gebiete zu unterbinden und die Möglichkeit der Versickerung von Niederschlag zu erhalten.

Weitere Bestandteile der Klimaanalyse Neu-Isenburg sind:

- Szenariobetrachtung „Bauliche Entwicklung“
- Szenariobetrachtung „Bauliche Entwicklung und Auswirkungen des Klimawandels“
- Mikroklimabetrachtung Frankfurter Straße
- Vulnerabilitätsanalyse

Um neben der Klimaanalyse und Planungshinweiskarte einen Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen des Stadtklimas geben zu können wurden zwei Szenarien entwickelt, die sowohl die bauliche Entwicklung als auch die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen. Hier können die Auswirkungen die Stadtentwicklung betrachtet werden. Anschließend wurden die Ergebnisse mit einer Vulnerabilitätsanalyse verschnitten, um Handlungsschwerpunkte in Hinblick auf das Schutzgut menschliche Gesundheit zu lokalisieren.

Da sich die Analysen auf Ebene der Gesamtstadt im mesoklimatischen Maßstab beziehen, wurde zusätzlich ein Ausblick auf die mikroklimatischen Bedingungen gegeben. Das bedeutet, eine Verfeinerung der Ergebnisse im kleinräumigen Maßstab, entlang der Frankfurter Straße, konnte mit den Rahmenbedingungen der Klimafunktionskarte betrieben werden. Hierdurch konnten Mikroklimakarten im Bestand und unter Betrachtung kleinräumiger Anpassungsmaßnahmen berechnet werden.

12. Literatur

Baugesetzbuch (BauGB):

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zul. geändert 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).

Baumüller, J.; Hoffmann, U.; Reuter, U. 1995:

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

Brandenburg C., Matzarakis, A., 2007:

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

DWD 2011:

Frankfurt am Main im Klimawandel - Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung.

http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_frankfurt/stadtpl_ffm_node.html, zugegriffen am 17.11.2016

DWD 2016:

Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung.

Früh B., P. Becker, T. Deutschländer, J.-D. Hessel, M. Koßmann, I. Mieskes, J. Namyslo, M. Roos, U.

Sievers, T. Steigerwald, H. Turau, U. Wienert, 2011:

Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. Journal Applied Meteorology and Climatology, Vol. 50, No. 1, 167-184.

Häckel H. 1985:

Meteorologie. UTB – Ulmer, Stuttgart.

HLNUG 2018:

Klimawandel in der Zukunft – Klimawandel in Hessen. Fachzentrum Klimawandel, aktualisierte Fassung 2018.

HMUELV 2011:

1. Fortschreibung, Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main Teilplan Frankfurt am Main. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.

Hupfer P., Kuttler, W. 1998:

Witterung und Klima B.G. Teubner Stuttgart.

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.

HMUELV 2011:

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 1. Fortschreibung Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Neu-Isenburg, Wiesbaden April 2011.

Katzschner, L.; Katzschner, A.; Kupski, S. 2010:

Abschlussbericht des BMBF Verbundprojekts KLIMES. Teilvorhaben Planerische Bewertung der kleinräumigen Stadtklimaanalyse zur Umsetzung der Maßnahmen „Anpassung an Klimaextreme“, Universität Neu-Isenburg.

Katzschner, L 2011:

Urban Climate Strategies Against Future Heat Stress Conditions. Resilient Cities: Cities and Adaptation

to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2010. K. Otto-Zimmermann. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Springer: 79-89.

Kirchhof, W., Kupsi, S. 2019:

Stadtklimaanalysen zur Förderung von Klimaschutz und Klimaanpassung. Schwerpunktbeitrag UVP-report 32(4)|2018. UVP-Gesellschaft e.V., Paderborn, Juni 2019.

Kupsi 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. 2011:

Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.

Lohmeyer, A. 2008:

Klimafunktions- und Klimaplanungskarten, Lohmeyer Aktuell, 20/2008, Karlsruhe.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (ehem. MUNLV NRW) 2010:

Handbuch Stadtklima– Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Balungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.

OKE, T. R. 2006:

Boundary layer climates. Routledge. London. New York.

Robel F., Hoffmann U., Riekert A., 1978:

Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart.

Stadt Frankfurt am Main 2009:

Klimaplanatlas der Stadt Frankfurt am Main. Universität Neu-Isenburg.

TA Luft 2002:

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24.07.2002 (GMBI. S. 511).

Umweltbundesamt 2015:

Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel, Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

VDI 2008:

Richtlinie 3785 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. 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.

13. Anlage

Anlage I

- Themenkarte „Gebäudevolumen“
- Themenkarte „Nächtliche Kaltluft“

Anlage II

- Klimafunktionskarte
Planungshinweiskarte

Anlage III

- Szenario I „Bauliche Entwicklung“
- Szenario II „Bauliche Entwicklung und Auswirkungen des Klimawandels“

Anlage IV

- Mikroklimakarte Windfeld BESTAND
- Mikroklimakarte Windfeld PLAN
- Mikroklimakarte PET BESTAND
- Mikroklimakarte PET PLAN