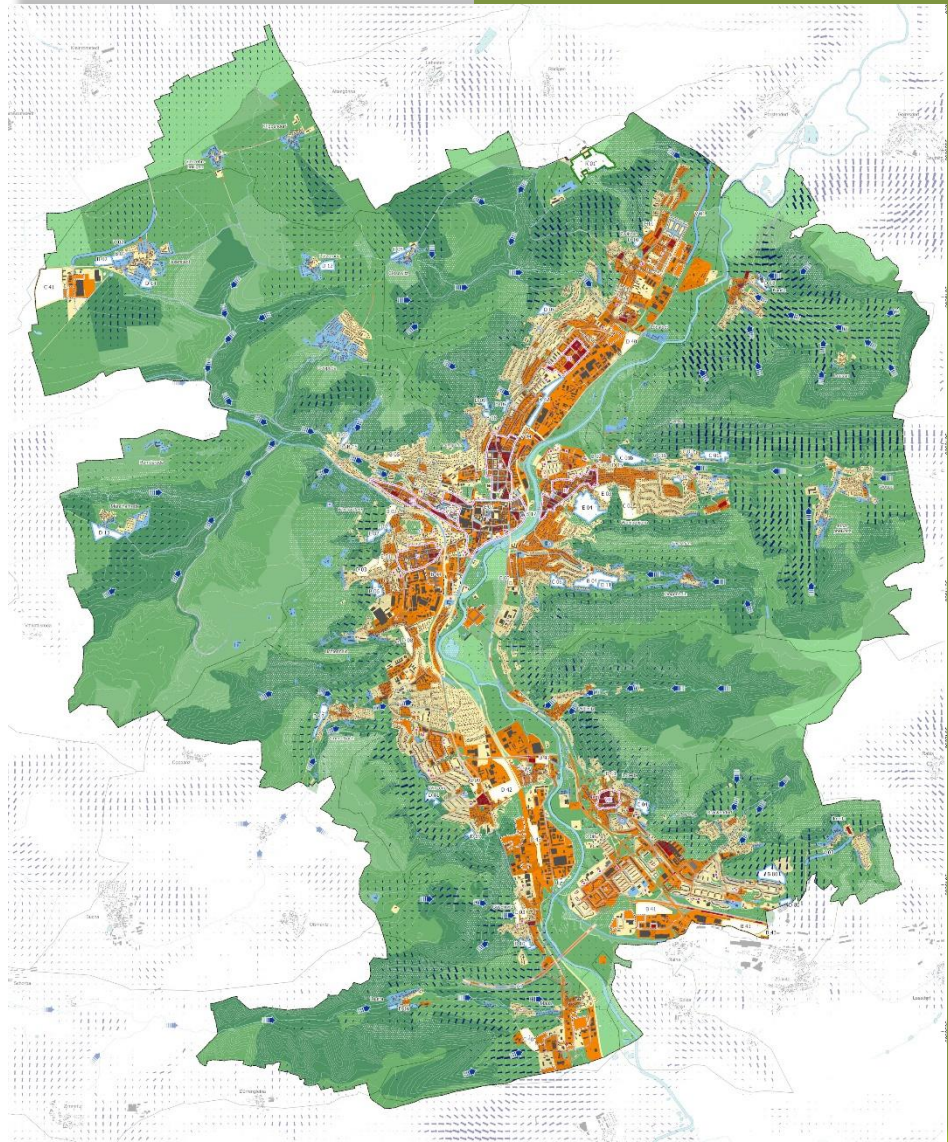




# Stadtklimakonzept Jena



Auftraggeberin  
Stadt Jena



Auftragnehmerin  
GEO-NET Umweltconsulting GmbH



### **Auftragnehmerin**

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

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

Bearbeitung:

Dr. Cornelia Burmeister  
Dr. Robert von Tils

Projektleitung:

Dr. Björn Büter



### **Auftraggeberin**

Stadt Jena  
Dezernat für Stadtentwicklung und Umwelt

Am Anger 15  
07743 Jena

**Oktober 2024**

Das Projekt wurde gefördert im Programm

### **Klima-Invest**

**Richtlinie des Landes Thüringen zur Förderung von Klimaschutzmaßnahmen in Kommunen**



Ministerium  
für Umwelt, Energie  
und Naturschutz



# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>GLOSSAR</b> .....	<b>1</b>
<b>1. HINTERGRUND UND ANLASS</b> .....	<b>4</b>
<b>2. FACHLICHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>6</b>
2.1 THERMISCHER KOMFORT UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT .....	6
2.2 WÄRMEINSELEFFEKT UND KALTLUFTPROZESSE .....	10
2.3 STADTKLIMAANALYSEN UND DER STAND DER TECHNIK .....	13
2.4 BEZUG ZU VORHANDENEN ANALYSEN .....	17
2.5 (PLANUNGS-)RECHTLICHE ANKNÜPFUNGSPUNKTE .....	21
<b>3. BEARBEITUNGS- UND BETEILIGUNGSPROZESS</b> .....	<b>30</b>
<b>4. KLIMA UND KLIMAWANDEL IM RAUM JENA</b> .....	<b>33</b>
4.1 DATENGRUNDLAGE UND METHODIK .....	33
4.2 GEGENWÄRTIGES KLIMA .....	38
4.3 AUTOCHTHONE WETTERLAGEN .....	41
4.4 ZUKÜNFTIGE KLIMAVERÄNDERUNGEN .....	41
<b>5. ANALYSEMETHODEN</b> .....	<b>46</b>
5.1 NUMERISCHE MODELLIERUNG .....	46
5.1.1 <i>Das Stadtklimamodell FITNAH-3D</i> .....	46
5.1.2 <i>Szenarienentwicklung</i> .....	50
5.1.3 <i>Mischpixelansatz</i> .....	55
5.1.4 <i>Aufbereitung der Modelleingangsdaten</i> .....	63
5.1.5 <i>Rahmen- und Randbedingungen</i> .....	69
5.1.6 <i>Modellausgabegrößen</i> .....	71
5.2 QUALITÄTSSICHERUNG .....	72
5.3 UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN .....	73
<b>6. ANALYSEERGEBNISSE</b> .....	<b>77</b>
6.1 NACHTSITUATION .....	77
6.1.1 <i>Nächtliches Temperaturfeld</i> .....	77
6.1.2 <i>Kaltluftvolumenstrom</i> .....	82
6.2 TAGSITUATION .....	88
<b>7. ZWISCHENPRODUKTE</b> .....	<b>94</b>



7.1	KLIMAANALYSEKARTEN .....	94
7.1.1	<i>Nachtsituation</i> .....	94
7.1.2	<i>Tagsituation</i> .....	100
<b>8.</b>	<b>ENDPRODUKTE</b> .....	<b>101</b>
8.1	GRUNDLAGEN .....	101
8.2	GEOMETRISCHE BASIS .....	101
8.3	BEWERTUNGSKARTEN .....	103
8.3.1	<i>Wirkraum – Methodik</i> .....	103
8.3.2	<i>Ausgleichsraum – Methodik</i> .....	105
8.3.3	<i>Zusätzliche Karteninhalte</i> .....	107
8.3.4	<i>Ergebnisse Bewertungskarten von Ist-Zustand und Zukunftsszenarien</i> .....	108
8.4	PLANUNGSHINWEISKARTE .....	118
8.4.1	<i>Methodik für Wirkraum und Ausgleichsraum</i> .....	118
8.4.2	<i>Bewertung der FNP-Entwicklungsflächen</i> .....	124
8.4.3	<i>Zusätzliche Karteninhalte</i> .....	130
8.4.4	<i>Ergebnisse Planungshinweiskarte</i> .....	131
8.4.5	<i>Ergebnisse der FNP-Entwicklungsflächen</i> .....	134
8.4.6	<i>Fokusgebiete Hitzebelastung</i> .....	136
8.5	MAßNAHMENKATALOG STADTKLIMA .....	156
8.6	STADTKLIMAMANAGEMENTSYSTEM .....	172
<b>9.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>174</b>
<b>10.</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>179</b>
10.1	BEST PRACTICE BEISPIELE FÜR DIE UMSETZUNG VON KLIMAAANPASSUNGSMABNAHMEN .....	179
10.2	ÜBERSICHT ZUR BEWERTUNG DER FNP-ENTWICKLUNGSFLÄCHEN .....	181
10.3	BASISGEOMETRIE .....	186
10.4	ÜBERSICHT ENDPRODUKTE .....	191



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen (verändert nach VDI 3787, Bl.4 (2020))..... 6

Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (DWD 2018) ..... 7

Abbildung 3: Stündliche Mittelwerte der Innenraumtemperaturen in 500 Augsburger Schlafzimmern im Sommer 2019. Quelle: Beck et al. 2020 Beck et al. 2020 ..... 8

Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688). Quelle: Sandholz, S., Sett, D. 2019 ..... 9

Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region zwischen 2001 und 2015 Quelle: der Heiden et al. 2019 ..... 10

Abbildung 6: Stadtklimatisch relevante Prozesse (Quellen: oben COMET Programme, Mitte LUBW, unten DWD) ..... 11

Abbildung 7: Auswahl möglicher Legendenpunkte einer Klimaanalysekarte gemäß VDI 3787, Blatt 1 (09/2015) ..... 14

Abbildung 8: Auswahl möglicher Legendenpunkte einer Klimaanalysekarte gemäß VDI 3787, Blatt 1 (09/2015) ..... 15

Abbildung 9: Vergleich der drei Methoden zur Stadtklimaanalyse, Quelle: HLNUG 2022, S. 18 ..... 16

Abbildung 10: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Instrumente zur Verankerung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Eigene Darstellung. .... 21

Abbildung 11: Die drei Bearbeitungsstufen der Stadtklimaanalyse ..... 30

Abbildung 12: Strahlungsantrieb der verschiedenen Representative Concentration Pathways (RCP) und ihre Entwicklung bis 2100. Quelle: IPCC 2014 RCPs = Representative Concentration Pathways (repräsentativer Konzentrationspfad); ECP = Extended Concentration Pathways, sind ergänzende Szenarien bis 2300. .... 36

Abbildung 13: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots. (Quelle: Eigene Darstellung)..... 38

Abbildung 14: Klimadiagramm der Stadt Jena für den Zeitraum 1990 – 2020, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station Jena Sternwarte (DWD). ..... 39

Abbildung 15: Langjährige Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Jena im Zeitraum von 1881 bis 2019 (Quelle: eigene Berechnung nach DWD 2020) ..... 40

Abbildung 16: Windrichtungsverteilung in der Nacht (links) und am Tag (rechts) in Jena für den Zeitraum 1990 – 2019, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station 1270 Erfurt-Weimar (DWD)..... 40

Abbildung 17: Langjährige mittlere monatliche Anzahl an windschwachen Strahlungsnächten in Jena (32 pro Jahr) für den Zeitraum 1990 - 2020, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station 1270 Erfurt-Weimar (DWD 2020) . 41

Abbildung 18: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Jena (alle RCP-Szenarien) basierend auf den EURO-CORDEX Daten. .... 43

Abbildung 19: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Jena (RCP 8.5) basierend auf den EURO-CORDEX Daten. .... 44

Abbildung 20: Typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen für ausgewählte Nutzungsklassen von FITNAH-3D49

Abbildung 21: Idealisierter Tagesgang der Oberflächentemperatur sowie der bodennahen Lufttemperatur über Asphalt sowie über einem feuchten und einem trockenen grasbewachsenen Boden während eines hochsommerlichen Strahlungstages. Tsurf = Oberflächentemperatur, T2m = Lufttemperatur in 2m ü. Gr. .... 50

Abbildung 22: Der Szenariotrichter. Quelle: www.business-wissen.de ..... 51

Abbildung 23: Prinzip der Verteilung der Mischpixel anhand eines Flächenzwillings. Eigene Darstellung ..... 61



Abbildung 24: Übersicht über die Flächenentwicklungen, die im Stadtklimakonzept berücksichtigt wurden (Juli 2021).  
 ..... 62

Abbildung 25: Modellgebiet. Schwarz: Stadtgrenze Jena, rot: Modellgebietsgrenze ..... 64

Abbildung 26: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet mit Flusstälern. .... 65

Abbildung 27: Baumkataster und über NDVI und Strukturhöhe abgeleitete Baumstandorte. Punkte: Baumkataster, grüne Flächen sind abgeleitete Baumkronen. .... 66

Abbildung 28: Prozentualer Anteil der Nutzungsklassen-Gitterpunkte in der Referenzsituation (Stand 2021) sowie im Zukunftsszenario P2 im Jenaer Stadtgebiet ..... 67

Abbildung 29: Karte Jena\_Nutzung - klassifizierte Landnutzung / Stadtstruktur der Bestandssituation in Jena und Umland. „Referenzsituation“ (Rasterebene) ..... 68

Abbildung 30: Karte Jena\_Nutzung\_Zukunft\_mMischpixeln - klassifizierte Landnutzung / Stadtstruktur in Jena und Umland für das Szenario P2 (Rasterebene) ..... 68

Abbildung 31: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen (eigene Darstellung nach Gross 1992)  
 ..... 69

Abbildung 32: Nächtliche Lufttemperatur für die Referenzsituation. .... 78

Abbildung 33: Zoom auf die nächtliche Lufttemperatur für die Referenzsituation, Zukunft P1 und Zukunft P2. .... 79

Abbildung 34: Differenzen der nächtlichen Lufttemperatur zwischen den einzelnen Modellrechnungen ..... 80

Abbildung 35: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom. .... 82

Abbildung 36: Kaltluftvolumenstromdichte in Jena für die Referenzsituation (4 Uhr). .... 84

Abbildung 37: Kaltluftvolumenstromdichte für die Referenzsituation und die Zukunftsrechnungen P1 und P2. .... 85

Abbildung 38: Differenzen des Kaltluftvolumenstromes zwischen den einzelnen Modellrechnungen ..... 87

Abbildung 39: PET der Referenzsituation ..... 90

Abbildung 40: Zoom auf die PET für die Referenzsituation und die Zukunftsrechnungen P1 und P2. .... 91

Abbildung 41: Differenzen der PET zwischen den einzelnen Modellrechnungen. .... 93

Abbildung 42: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten für die Nachtsituation..... 95

Abbildung 43: Zwei Ausschnitte aus der Klimaanalysekarte zur Verdeutlichung der gutachterlichen Ableitung von linienhaften Kaltluftleitbahnen (links ohne und rechts mit entsprechender Ausweisung) ..... 97

Abbildung 44: Kaltluftleitbahn im Gembdenbachtal, die ihren Ursprung außerhalb von Jena in Großlöbichau hat. .... 98

Abbildung 45: Zoom auf die Klimaanalysekarten der Referenzsituation und der Zukunftsrechnungen P1 und P2. .... 99

Abbildung 46: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten für die Tagsituation ..... 100

Abbildung 47: Links die rasterbasierten Ergebnisse der Klimaanalyse und rechts das Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Basisgeometrie. .... 102

Abbildung 48: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen (Quelle: VDI 3785, Bl. 1, 12/2008) ..... 103

Abbildung 49: Bewertungsalgorithmus für die Grünflächen in der Nacht. .... 106

Abbildung 50: Legendensymbol der Kaltluftprozesse im Wirkraum. .... 107

Abbildung 51: Symbologie zu weiteren Wirkraumkategorien: unbewohnt, Verkehrsraum. .... 108

Abbildung 52: Symbologie zu den vulnerablen Einrichtungen. .... 108

Abbildung 53: Zoom auf die Bewertungskarten Nacht für die Referenzsituation und die Zukunftsszenarien P1 und P2.  
 ..... 109



Abbildung 54: Statistiken für den Wirkraum in der Nacht. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2. In den Statistiken sind nur Flächen enthalten, wo sich Personen auch in der Nacht aufhalten wie bspw. Wohngebiete, Flächen gemischter Nutzung und Pflegeeinrichtungen. .... 110

Abbildung 55: Statistiken für den Ausgleichsraum in der Nacht. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2. .... 112

Abbildung 56: Zoom auf die Bewertungskarten Tag für die Referenzsituation, Zukunft P1 und P2. .... 114

Abbildung 57: Statistiken für den Wirkraum am Tag. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2. .... 115

Abbildung 58: Statistiken für den Ausgleichsraum am Tag. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2. .... 117

Abbildung 59: 4-stufige Bewertungsskala für den Wirkraum in der Planungshinweiskarte. .... 118

Abbildung 60: Verknüpfung der Tag- und Nachtbewertung für den Wirkraum mit unterschiedlicher Bewertung (Gewichtung) für Wohnsiedlungen, Gewerbegebiete/Plätze und Straßen. .... 119

Abbildung 61: Matrix zur Verknüpfung der Tag- und Nachtsituation im Ausgleichsraum. .... 123

Abbildung 62: Einteilung der FNP-Entwicklungsflächen hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Verträglichkeit bei Umsetzung. .... 129

Abbildung 63: Symbologie der Urbanen Klimaoasen in der Planungshinweiskarte. .... 131

Abbildung 64: Symbologie der Einwohnerdichte. .... 131

Abbildung 65: Statistik zur Planungshinweiskarte für den Wirk- und Ausgleichsraum. .... 132

Abbildung 66: Zoom auf die klimatische Planungshinweiskarte. .... 133

Abbildung 67: Statistische Auswertung für die FNP-Entwicklungsflächen. Die Auswertung erfolgt basierend auf der Flächengröße. .... 135

Abbildung 68: Fokusgebiet Innenstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte. .... 141

Abbildung 69: Fokusgebiet Nördliche Innenstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte .... 144

Abbildung 70: Fokusgebiet Lutherstraße, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte .... 147

Abbildung 71: Fokusgebiet Wenigenjena, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte. .... 149

Abbildung 72: Fokusgebiet Magdelstieg, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte .... 151

Abbildung 73: Fokusgebiet Jena-Nord, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte .... 152

Abbildung 74: Fokusgebiet Lobeda-Altstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte .... 154

Abbildung 75: Übersicht der QGIS-Projekte und Datenordner. .... 172

Abbildung 76: QGIS-Projekt für die Planungshinweiskarte mit Auszug aus der Basisgeometrie (rechts). .... 173



# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl an numerischen Modellen für den Einsatz im Rahmen von Stadtklimaanalysen. (Quelle: Eigene Zusammenstellung).....	17
Tabelle 2: Überblick über die Unterschiede von JenKAS und dem aktuellen Stadtklimakonzept. (Quelle: Eigene Zusammenstellung).....	20
Tabelle 3: Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (Historical, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM bzw. RCM = Globales bzw. Regionales Klimamodell (Global / Regional Climate Model). ....	34
Tabelle 4: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses .....	37
Tabelle 5: Langjährige Änderung der Temperatur in Jena in °C (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median). Quelle: Eigene Auswertungen aufgrund der Grundlage der EUROCORDEX-Daten.....	42
Tabelle 6: Langjährige Änderung thermischer Kenntage in Jena (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median). Die Referenzperiode ist anhand der DWD-Messstellendaten 2444 Jena Sternwarte dargestellt. Die zukünftige Entwicklung ist mit den EURO-CORDEX-Daten in den drei Zukunftsperioden (kurz-, mittel-, langfristig) beschrieben.....	45
Tabelle 7: In FITNAH implementierte Landnutzungsklassen bei einer horizontalen Modellauflösung von 5-10 m.....	47
Tabelle 8: Im Projekt entwickelte Szenarien und ihre zentralen Merkmale.....	52
Tabelle 9: B-Pläne bzw. geplante Bauvorhaben, die in der Ist-Situation der Klimaanalyse Jena berücksichtigt wurden	54
Tabelle 10: Projizierte mittlere Temperaturzunahme in den Sommermonaten (J, J, A). Quelle: Eigene Auswertungen, beruhend auf den aus 39 Modellläufen der EURO-CORDEX Daten. ....	55
Tabelle 11: Verwendete Bautypen für den Mischpixelansatz bei Wohnbauflächen.....	57
Tabelle 12: Verwendete Bautypen für den Mischpixelansatz bei Gewerbeflächen. ....	59
Tabelle 13: Datenquellen zur Erstellung der Modelleingangsdaten in Jena als Basis für die Referenzsituation.....	63
Tabelle 14: Übersicht der im Projekt erzeugten Karten zu den Modelleingangsdaten. ....	67
Tabelle 15: Zusammenfassung der Modellrandbedingungen für die Referenzsituation und die Szenarien P1 und P2 ...	70
Tabelle 16: Von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt berechnete interne Parameter. ....	71
Tabelle 17: Abgeleitete Ausgabegrößen von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt	72
Tabelle 18: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 3787, Bl. 9 (12/2004)) .....	89
Tabelle 19: Legenden-Elemente und ihre Ableitungsmethoden zum Kaltluftprozessgeschehen in den Klimaanalysekarten.....	96
Tabelle 20: Bewertungsstufen für die humanbioklimatische Situation im Wirkraum nach Tageszeit .....	104
Tabelle 21: Bewertungsstufen für die humanbioklimatische Bedeutung im Ausgleichsraum am Tag.....	107
Tabelle 22: Definition der Handlungsprioritäten zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation.....	119
Tabelle 23: Definition des Erhaltungsbedarfs der stadtklimatischen Funktion. ....	123
Tabelle 24: Matrix zur Gesamtbewertung der klimatischen Verträglichkeit der FNP-Entwicklungsflächen. ....	128
Tabelle 25: Empfehlungen allgemeiner stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Jena. ....	160
Tabelle 26: Best Practice Beispiele aus verschiedenen Städten für die Umsetzung von stadtklimatischen (Anpassungs-)Belangen. Quelle: Eigene Recherche (kein Anspruch auf Vollständigkeit) .....	179



Tabelle 27: FNP-Entwicklungsflächen, ihre Berücksichtigung im Stadtklimamodell und Ergebnisse der stadtklimatischen Verträglichkeit.....	181
Tabelle 28: Beschreibung der Spalten der Basisgeometrie. ....	186



## Glossar

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

**Allochthone Wetterlage:** Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert.

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

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

**Autochthone Wetterlage:** Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z. B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

**Autochthones Windfeld:** Strömungen, deren Antrieb im Betrachtungsgebiet selber liegt und die nicht durch großräumige Luftdruckgegensätze beeinflusst werden, z. B. → *Kaltluftabflüsse* und → *Flurwinde*, die sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → *autochthonen Wetterlage* ausbilden.

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

**Flurwind:** Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland (kühler) und (dicht) bebauten Gebieten (→ *städtische Wärmeinsel*) entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum).

**Geostrophischer Wind:** Der geostrophische Wind ist eine Einteilung des Windes nach den antreibenden Kräfteverhältnissen. Der geostrophische Wind tritt oberhalb der Bodenreibungsschicht auf, z. B. besonders stark ausgeprägt als Jetstream. Er wird angetrieben von der Druckgradientkraft (Luftbewegung vom Hoch- zum Tiefdruckgebiet) und abgelenkt durch die Corioliskraft.

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

**Kaltluft:** Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist



umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht.

**Kaltluftabfluss:** Flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftretende Kaltluftabflüsse. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

**Kaltlufteinwirkungsbereich:** Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung (Siedlungs- und Gewerbeflächen und Straßen innerhalb des Stadtgebiets gekennzeichnet, die von einem überdurchschnittlich hohen  $\rightarrow$  *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden; Bezug ist der Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen im Stadtgebiet).

**Kaltluftentstehungsgebiete:** Grün- und Freiflächen mit einer hohen Kaltluftproduktionsrate, die  $\rightarrow$  *Kaltluftleitbahnen* speisen ( $\rightarrow$  *Flurwinde* zeigen in Richtung der Kaltluftleitbahnen) bzw. über diese hinaus bis in das Siedlungsgebiet reichen.

**Kaltluftleitbahnen:** Kaltluftleitbahnen verbinden  $\rightarrow$  *Kaltluftentstehungsgebiete* ( $\rightarrow$  *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche ( $\rightarrow$  *Wirkungsräume*) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Sie beinhalten thermisch induzierte Ausgleichströmungen ( $\rightarrow$  *Flurwinde*) sowie reliefbedingte  $\rightarrow$  *Kaltluftabflüsse*.

**Kaltluftvolumenstromdichte (KVSD):** Vereinfacht ausgedrückt ist die KVSD das Produkt der Fließgeschwindigkeit der  $\rightarrow$  *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an  $\rightarrow$  *Kaltluft* in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer  $\rightarrow$  *Kaltluftleitbahn* fließt. Anders als das  $\rightarrow$  *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht. In dieser Arbeit ist der betrachtete Querschnitt die Breite der Gitterzellen des Modellrasters (10 m). Die Einheit ist  $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ .

**Kelvin (K):** Basiseinheit des internationalen Einheitssystems (SI) der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) interpretiert werden.

**Kenntage:** Darunter wird ein Tag verstanden, an dem ein festgelegter Grenzwert eines klimatischen Parameters (bspw. Temperatur) erreicht bzw. über- oder unterschritten wird. Zu den Kenntagen zählen z. B. ein Sommertag (Temperaturmaximum  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) oder Heißer Tag (Temperaturmaximum  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ).

**Klima:** Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung aller Wettererscheinungen über einen längeren Zeitraum, der im Allgemeinen 30 Jahre beträgt, was als Normalperiode bezeichnet wird. Das Klima gibt den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem Ort oder Gebiet wieder. Das Klima an einem Ort wird beschrieben über Mittelwerte, Extremereignisse und Häufigkeiten, etc. pp. (DWD 2024).

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

**Orographisch:** Beschreibt das Gelände morphologisch hinsichtlich seiner Hangrichtung und Hangneigung.



**PET** (Physiologisch äquivalente Temperatur): Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

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

**Rauigkeitslänge:** Ein Maß für die Rauigkeit der Landoberfläche hinsichtlich der Strömung. Die Rauigkeitslänge ist die Höhe vom Boden, bei der die Windgeschwindigkeit null ist. Je größer die Rauigkeitslänge ist, desto höher ist der Körper (bspw. Baum, Haus), der die Windgeschwindigkeit auf null reduziert.

**Rechengitter:** Gibt die Auflösung der Modellrechnung wieder. In diesem Fall ist das Rechengitter in 10 x 10 m Zellen aufgespannt. Das Rechengitter ist größer als die Stadt Jena und stellt ein Rechteck dar.

**Referenzperiode:** Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in welchem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind (WMO (World Meteorological Organisation)). Diese Referenzperiode wird in Beziehung Klimawandel gesetzt, um die Veränderungen zu bestimmen.

**Reliefenergie:** Als Reliefenergie wird der Höhenunterschied zwischen höchstem und niedrigstem Punkt eines Gebietes, hier das Untersuchungsgebiet, verstanden (DWD 2024). Je größer dieser Unterschied, desto höher ist die Reliefenergie.

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

**Strahlungswetterlage:** → *Autochthone Wetterlage*

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

**Strukturwind:** Kleinräumiges Strömungsphänomen, das sich aufgrund des Druckgradienten zwischen strukturellen Elementen einer Stadt ausbildet (bspw. zwischen einer innerstädtischen → Grünfläche und der Bebauung entlang einer angrenzenden Straße).

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



# 1. Hintergrund und Anlass

Die Stadt Jena liegt zentral im Freistaat Thüringen und zählt in den neuen Bundesländern zu den Städten, welche seit vielen Jahren durch eine prosperierende wirtschaftliche und demografische Entwicklung geprägt sind. Das Oberzentrum mit 108.857 Einwohnern mit Hauptwohnsitz (31.12.2022, städtisches Melderegister) nimmt als ein Wachstumsmotor für das gesamte Land eine Schlüsselfunktion ein, die Stadt ist Sitz global vernetzt agierender Unternehmen sowie ein international bekannter Universitäts-, Wissenschafts- und Forschungsstandort.

Die Auswirkungen des globalen Klimawandels sind vielerorts bereits jetzt deutlich spürbar. Auch Jena ist mit Extremwetterereignissen, die in den letzten Jahren immer öfter auftraten, konfrontiert. Lang anhaltende Hitzeperioden und die dadurch hervorgerufene Belastung der Bevölkerung stellen die Stadt zunehmend vor die Herausforderung und Aufgabe, präventive Maßnahmen zu ergreifen sowie ihre Einwohner zu informieren. Neben dem Schutz des Klimas mit Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung des Ausstoßes der klimarelevanten Treibhausgase ist daher die Anpassung an die Folgen des Klimawandels eine kommunale Aufgabe, die angesichts steigender Auswirkungen stetig an Bedeutung gewinnt.

Im Zeitraum 2009 bis 2012 wurde die Jenaer Klimaanpassungsstrategie (JenKAS) erarbeitet und die darin enthaltenen Handlungsansätze und Leitgedanken zur klimawandelgerechten Stadtentwicklung als Strategie- und Zielkonzept für die Stadt Jena im Mai 2013 durch den Stadtrat beschlossen. Für ein urban geprägtes Siedlungsgebiet mit hoher Betroffenheit hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels wurden mit dem Projekt JenKAS wichtige Erkenntnisse für die Planung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zusammengetragen. Mit der Jenaer Klimaanpassungsstrategie besitzt die Stadt eine langfristige Entscheidungshilfe zur Steuerung aller Belange der Stadtentwicklung und eine Richtschnur für die Zukunftsthemen Klimawandel und Anpassung, um Jena für die Bürger trotz sich ändernder klimatischer Bedingungen als attraktiven Standort zum Wohnen und Leben zu erhalten und weiterzuentwickeln.

In der räumlichen Planung gilt die kommunale Ebene der Bauleitplanung als wichtiges Instrument, das wesentlich zum Schutz des Klimas und zur Anpassung an den Klimawandel beitragen kann. Hier erfolgt die vorbereitende Planung der Grundstücksnutzung und in diesem Zusammenhang die Planung von räumlichen Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und der konkreten lokalen Bedürfnisse. Möglichkeiten der Darstellung bzw. Festsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Flächennutzungsplan und im Bebauungsplan werden in JenKAS basierend auf dem jeweiligen Anpassungsziel tabellarisch aufgeführt und die rechtlichen Grundlagen (BauGB, BauNVO, ThürBO) benannt. In der laufenden Anwendung von JenKAS in der Stadtentwicklung und Stadtplanung über die letzten Jahre zeigte sich jedoch, dass die Ausprägung der Handlungsempfehlungen und der Detaillierungsgrad der stadtklimatischen Bewertung einzelner Standorte, insbesondere im Hinblick auf baulichen Entwicklungen, oft zu wenig konkret waren.

Die Jenaer Klimaanpassungsstrategie als Leitkonzeption einer klimaresilienten Stadtentwicklung soll mit dem **Stadtklimakonzept** fortgeschrieben bzw. weiter vertieft werden. Übergeordnetes Ziel ist die Erarbeitung von Planungsgrundlagen und Entscheidungshilfen zur **Berücksichtigung klimatischer Belange in der Stadtentwicklung**. Die Auswirkungen des Klimawandels sollen gemindert werden, um die Stadt als attraktiven Raum zum Leben und Arbeiten für seine Bewohner zu erhalten. Das Stadtklimakonzept soll dazu beitragen, eine bauliche Entwicklung des Oberzentrums zu ermöglichen und dabei eine ausreichende Durchlüftung und Kaltluftversorgung der Stadt sicher zu stellen sowie einer Überwärmung entgegenzuwirken. Es soll konkrete Hin-



weise für die Stadtplanung bereitstellen, wie in zukünftigen Planungsprozessen wichtige Durchlüftungsbahnen in ihrer Funktion erhalten bleiben und wie mit Überwärmungsbereichen umgegangen werden sollte. Das Stadtklimakonzept versteht sich als **Fortschreibung der Jenaer Klimaanpassungsstrategie** im Vertiefungsbaustein „Wärmebelastung und Belüftung“.

Mit dem Stadtklimakonzept erfolgt eine vertiefende Bewertung der klimaökologischen Funktionen der Stadt Jena. Neben der Bewertung des Ist-Zustandes erfolgt im Sinne einer **Vorsorgestrategie** auch die Betrachtung einer möglichen Klimaentwicklung einer nahen Zukunft bis ins Jahr 2035. Darüber hinaus werden insbesondere die geplanten baulichen Veränderungen in den Fokus genommen. Ein wesentliches Ziel des Stadtklimakonzeptes ist daher die **Bewertung der FNP-Entwicklungsflächen** hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Verträglichkeit bei einer baulichen Umsetzung. Gesunde Wohn-, Lebens- und Arbeitsverhältnisse sind grundlegende Ziele (und Pflichten) der Stadtplanung in kommunaler Verantwortung.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Stadtklimakonzept gilt es, in letzter Konsequenz in das kommunale Handeln zu überführen. Somit beschäftigt sich das Stadtklimakonzept in Kurzform auch mit der instrumentellen Umsetzung und planungsrechtlichen Verankerung der erforderlichen Maßnahmen. Es werden Regelungs- und Festsetzungsmöglichkeiten anhand von „best practice“ Beispielen aus anderen Städten vorgestellt und somit mögliche Instrumente zu deren Umsetzung allgemein sowie speziell für Jena benannt.

## 2. Fachliche Grundlagen

Zur zielgerichteten Anwendung der Stadtklimaanalyse und ihrer Produkte ist – seinem Wesen als Fachgutachten entsprechend – ein breites fachliches Grundlagenwissen notwendig. Das Themenspektrum reicht dabei von den Zusammenhängen zwischen dem thermischen Komfort und der menschlichen Gesundheit (Kapitel 2.1) im Kontext des lokalen Klimawandels (Kapitel 4) über stadtklimatisch relevante meteorologisch-physikalische Prozesse im urbanen Umfeld (Kapitel 2.2) bis hin zu planungs- und umweltrechtlichen Aspekten (Kapitel 2.5). Zum besseren Verständnis werden im Folgenden zentrale Punkte dieses Spektrums überblicksartig skizziert. Die entsprechenden Quellenhinweise regen bei Bedarf zum Weiterlesen an und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### 2.1 THERMISCHER KOMFORT UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT

Die bodennahe atmosphärische Umgebung besitzt vielfältige Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen. Diese lassen sich unter folgenden Oberpunkten subsumieren:

- Wohlbefinden
- Leistungsfähigkeit
- Morbidität (Krankheitsrate) und Mortalität (Sterberate)

Den Parametern Windgeschwindigkeit, Luft- bzw. Strahlungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang gilt, dass sowohl ein „zu hoch“ als auch ein „zu niedrig“ in den Ausprägungen der jeweiligen Werte zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit führen kann. Mit Blick auf den thermischen Komfort gilt dabei beispielsweise eine Kombination aus hohen Lufttemperaturen und niedrigen Windgeschwindigkeiten als gesundheitlich belastend (Abbildung 1).

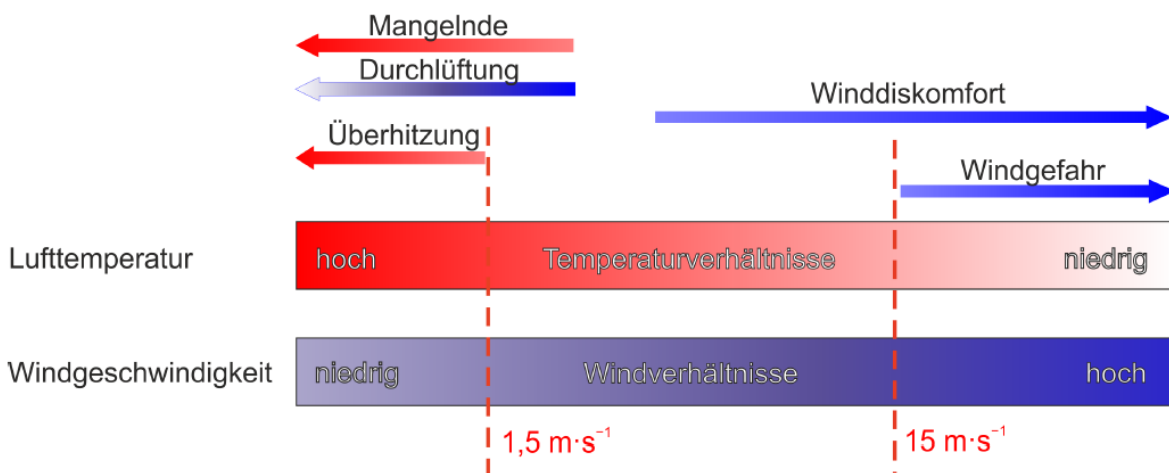


Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen (verändert nach VDI 3787, Bl.4 (2020))



Als quantitativ arbeitende Fachdisziplin haben sich in der Stadt- und Regionalklimatologie in den letzten Jahrzehnten verschiedene humanbiometeorologische Kenngrößen durchgesetzt, mit deren Hilfe sich die Auswirkungen dieser Belastungen auf das menschliche Wohlbefinden ermitteln lassen. Im deutschsprachigen Raum ist insbesondere die „**Physiologisch Äquivalente Temperatur**“ (**PET**) zu nennen (Höppe und Mayer 1987). International gebräuchlich ist darüber hinaus der „Universal Thermal Comfort Index“ UTCI (Jendritzky 2007). In der Vergangenheit kam zudem auch der heute eher nicht mehr gebräuchliche Index „Predicted Mean Vote“ (PMV) zum Einsatz (Fanger 1970). Allen Ansätzen ist gemein, dass sie neben den meteorologischen Einflussgrößen auch die Wärmebilanz des Menschen in die Berechnung mit einfließen lassen (Abbildung 2). Auf diese Weise können letztlich physiologische Belastungsstufen abgeleitet werden, die beispielsweise beim PET von einer extremen Kältebelastung bis zu einer extremen Wärmebelastung reichen. Da die Indizes hohen Anforderungen an die zugrundeliegenden Mess- bzw. Modelldaten stellen und diese nicht überall vorliegen, besitzen nach wie vor auch relativ einfache Auswerteroutinen wie die Aufttrittshäufigkeit bestimmter Kenn-tage wie „Heiße Tage“ (mit  $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) oder „Tropennächte“ (mit  $T_{min} > 20^{\circ}$ ) eine hohe Praxisrelevanz. Sie kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn für größere Räume (z.B. Staaten, Flächenbundesländer) auf der Basis von Zeitreihenanalysen eine Ersteinschätzung zur räumlichen Differenzierung von thermischen Belastungen vorgenommen werden sollen.

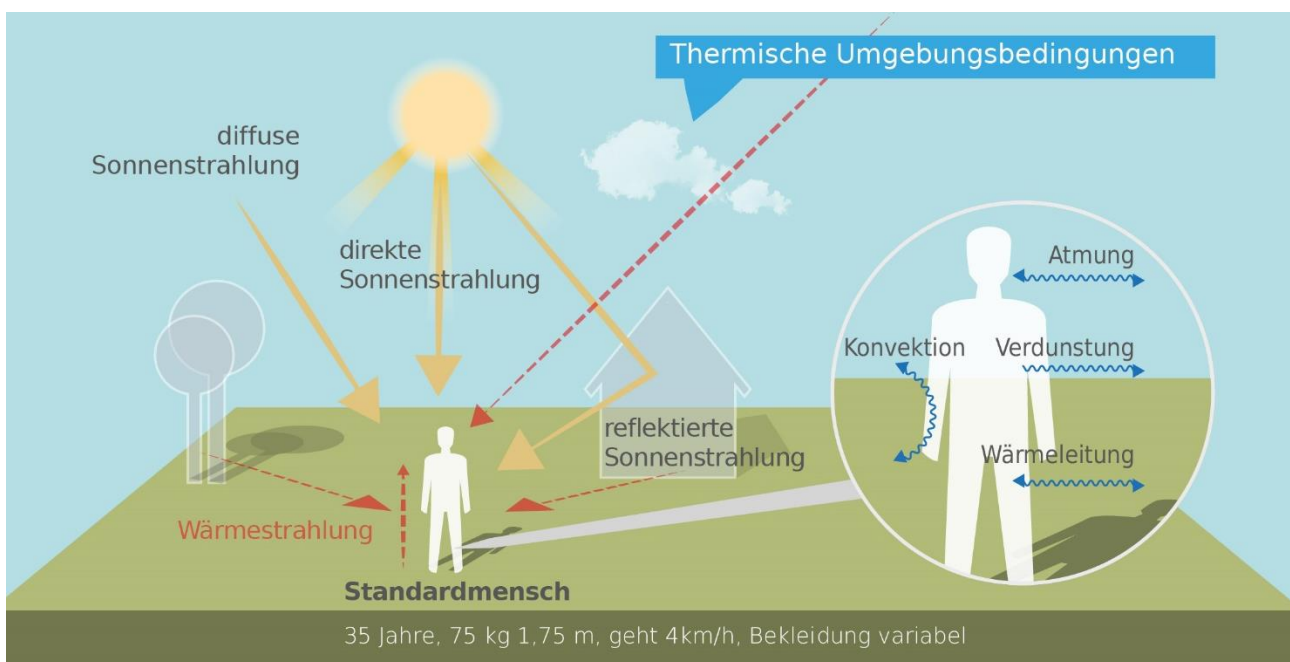


Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (DWD 2018)

Sowohl die PET als auch der UTCI sind für die Verwendung im Freien und unter Einstrahlungsbedingungen (also für die Tagsituation) optimiert. In Innenräumen – in denen sich Menschen in den Industrieländern zu ca. 90 % der Zeit zum Wohnen und Arbeiten aufhalten – wird in aller Regel auf die Raumtemperatur als maßgebliche Größe Bezug genommen: „Die Wechselwirkung zwischen dem Außenklima und dem Innenraumklima erfolgt heute aufgrund der hohen Wärmedämmung üblicher Wohngebäude fast ausschließlich über den Luftwechsel, wobei die Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe ist“ (VDI 3785, Blatt 1 12/2008a, S. 24). Die **Arbeitsstättenverordnung** (ArbStättV, Bundesregierung 12.08.2004) fordert daher für Arbeitsräume gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen von maximal  $+26^{\circ}\text{C}$  in Arbeits- und Sozialräumen. Hintergrund ist die in §4 ArbStättV definierte Verpflichtung des Arbeitgebers, eine Gefährdung für Leben und Gesundheit seiner Angestellten möglichst zu vermeiden bzw. verbleibende Gefährdungen gering

zu halten. Übersteigt die Raumtemperatur diesen Wert, muss der Arbeitgeber geeignete Schutzmaßnahmen ergreifen (z.B. Flexibilisierung der Arbeitszeiten, Klimatisierung, Reduzierung innerer Wärmequellen wie Elektrogeräte). Ein direkter Rechtsanspruch auf z.B. klimatisierte Räume oder "Hitzefrei" lässt sich für Beschäftigte aus der Verordnung aber nicht ableiten.

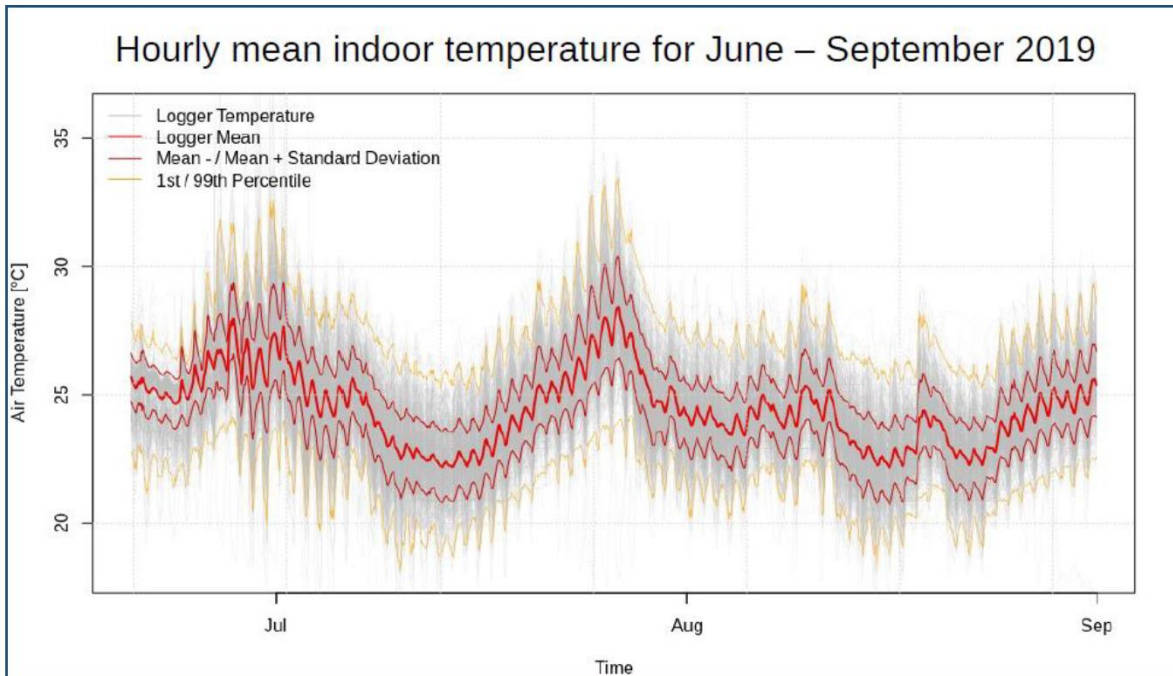


Abbildung 3: Stündliche Mittelwerte der Innenraumtemperaturen in 500 Augsburger Schlafzimmern im Sommer 2019.

Quelle: Beck et al. 2020 Beck et al. 2020

Während in Arbeitsstätten eher hohe Temperaturen am Tage zu Belastungen führen, stellen in privaten Wohnräumen insbesondere hohe Nachttemperaturen eine große Herausforderung dar: „Durch erholsamen Schlaf, der nur bei günstigen thermischen Bedingungen erreicht wird, kann sich der Organismus von thermischen Belastungen des Tages regenerieren. Ungünstige Klimabedingungen während der Nachtstunden können dagegen zu einer Akkumulation von Belastungen führen. Dabei sind in der Regel zu warme Bedingungen als ungünstig anzusehen.“ (VDI 3785, Blatt 1 12/2008a, S. 23). Das Umweltbundesamt<sup>1</sup> empfiehlt für einen entsprechend **erholsamen Schlaf** eine Schlafzimmertemperatur in der **Spannweite von 17-18 °C**, je nach individuellem Behaglichkeitsempfinden können diese Werte auch höher liegen und bis 20 °C reichen. Dass die Einhaltung dieser Wertespanne in den weitgehend nicht-klimatisierten Wohngebäuden in Deutschland über die Sommermonate schwierig bis unmöglich ist, dürfte den Alltagserfahrungen vieler Bundesbürger/innen entsprechen. Den empirischen Beleg hierfür liefert eine durchgeführte Messkampagne im bayrischen Augsburg. In der wissenschaftlichen Studie wurden während der Sommermonate 2019 Stundenwerte der Temperaturen in 500 über das Stadtgebiet verteilten Schlafzimmern gemessen und ausgewertet (Abbildung 3). Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass unabhängig von der räumlichen Lage im Stadtgebiet nur an einzelnen Standorten und an einzelnen Tagen die vom Umweltbundesamt empfohlenen Komfortwerte von 20 °C unterschritten wurden. Tatsächlich schwanken die Mittelwerte auch nachts um 25 °C bei Maxima von nahe oder über 30 °C (Beck et al. 2020).

<sup>1</sup> Siehe UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#so-erreichen-sie-das-ideale-raumklima-in-ihrem-heim>



Außerhalb thermischer Komfortbereiche sinkt die Leistungsfähigkeit des Menschen (z.B. am Arbeitsplatz oder in der Schule und Hochschule) ab. Wie stark diese Abnahme ist, ist sehr individuell, kann aber an einigen Beispielen verdeutlicht werden. So nimmt bei moderater körperlicher Arbeit die Leistungsfähigkeit ab einem bestimmten Schwellenwert (z.B. bei 30 °C in Kombination mit 50 % Luftfeuchtigkeit, dies entspricht einer Wet Bulb Globe Temperature von 29 °C) pro Grad Celsius Temperaturanstieg etwa um 15 % ab (ISO 7243:2017). Andere Quellen gehen für Zeiten hoher Hitzebelastung in Mitteleuropa von einem Rückgang der Produktivität um 3 bis 12 % aus (Urban und Steininger 2015). In einer amerikanischen Studie, die die kognitiven Fähigkeiten junger Erwachsener in Wohnumfeldern mit und ohne Klimaanlage vergleicht, wurden signifikant bessere Werte im Bereich von 10-15 % für die Reaktionszeiten und die Gedächtnisleistungen in der klimatisierten Umgebung gefunden (Laurent et al. 2018).

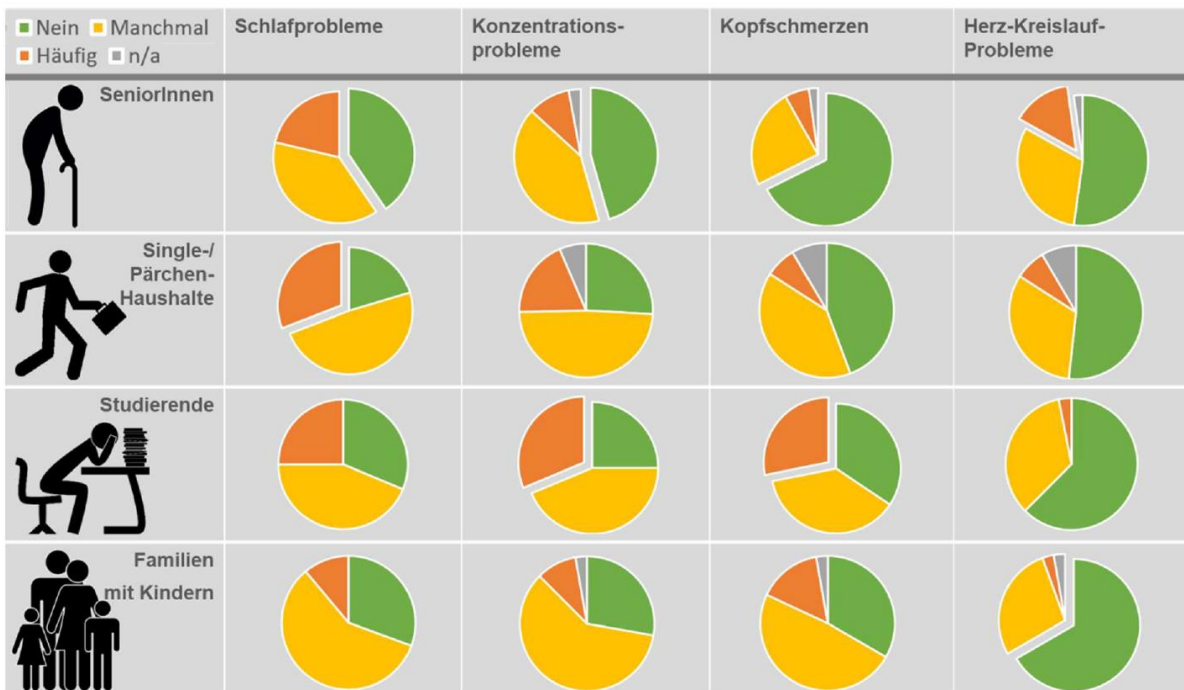


Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688).  
Quelle: Sandholz, S., Sett, D. 2019

Die humanbiometeorologische Umgebung beeinflusst aber nicht nur das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen, sondern wirkt sich unmittelbar auf die Morbidität und Mortalität der Bevölkerung aus. Als besonders vulnerabel gelten in diesem Zusammenhang zum einen Säuglinge und Kleinkinder bis etwa 6 Jahren (aufgrund einer noch nicht vollständig ausgeprägten Fähigkeit zur Thermoregulation) sowie zum anderen ältere Menschen ab 65 Jahren und vor allem über 80 Jahren (aufgrund einer verminderten Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems). Sandholz und Sett (2019) kommen auf der Basis einer Haushalts-Umfrage zum Hitzeempfinden in der Bundesstadt Bonn zu dem differenzierteren Schluss, dass verschiedene sozio-ökonomische Gruppen sehr unterschiedlich von Hitzebelastungen betroffen sein können. Während befragte Seniorinnen und Senioren angaben, bei Hitze vergleichsweise häufiger an Herz-Kreislauf-Problemen zu leiden, haben Studierende überdurchschnittlich häufig Konzentrationsprobleme und Kopfschmerzen, und Single-/Pärchenhaushalte gaben an, hauptsächlich mit Schlafproblemen konfrontiert zu sein. Familien mit kleinen Kindern hingegen erwähnten seltener gesundheitliche Probleme (Abbildung 4).



Hinsichtlich der Mortalitätsrate hat eine Analyse der Jahre 2001-2015 für Deutschland ergeben, dass es während Hitzeperioden insbesondere bei den Altersgruppen 75–84 und vor allem 85+ zu einer signifikant erhöhten Übersterblichkeit kommt. Als besonders relevant sind dabei Wochenmitteltemperaturen von >20°C ermittelt worden. Die Mitte und vor allem der Süden Deutschlands wiesen dabei eine deutlich höhere hitzebedingte Mortalitätsrate auf als das nördliche Bundesgebiet (Abbildung 5). Die Jahre 2003, 2006 und 2015 zeigten bundesweit mit 6.000 – 7.000 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen die höchsten Übersterblichkeiten (An der Heiden et al. 2019). Modellrechnungen prognostizieren für Deutschland, dass zukünftig mit einem Anstieg hitzebedingter Mortalität von 1 bis 6 Prozent pro 1 Grad Celsius Temperaturanstieg zu rechnen ist, dies entspräche über 5.000 zusätzlichen Sterbefällen pro Jahr durch Hitze bereits bis Mitte dieses Jahrhunderts<sup>2</sup>.

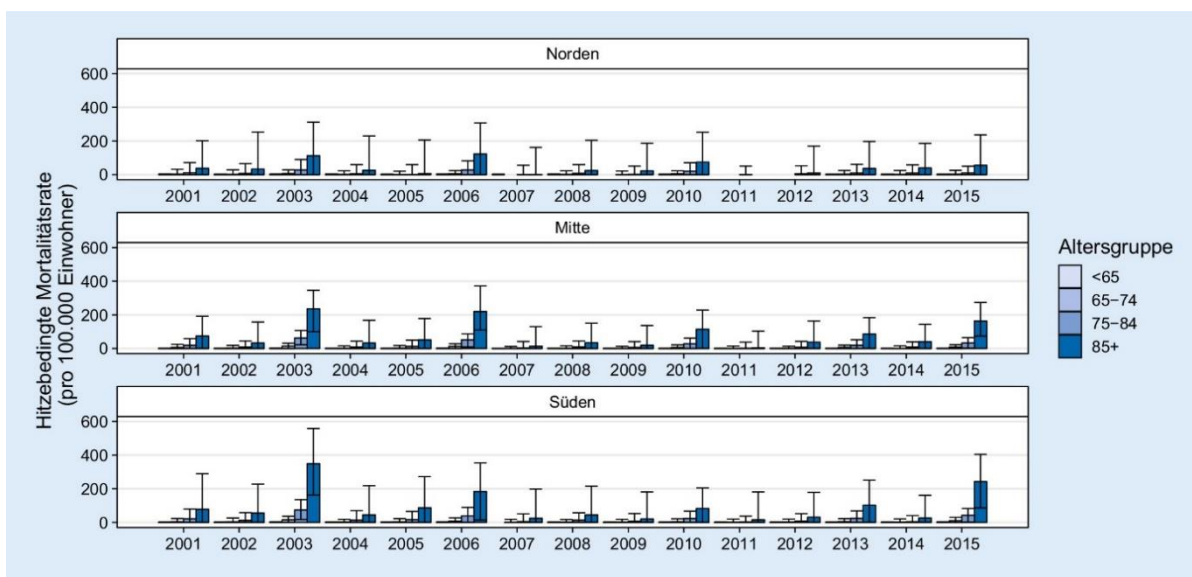


Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region zwischen 2001 und 2015  
Quelle: der Heiden et al. 2019

## 2.2 WÄRMEINSELEFFEKT UND KALTLUFTPROZESSE

Eine wichtige Grundlage für einen erholsamen Schlaf in den Sommermonaten ist eine gute Durchlüftung des Stadtkörpers. So kann in den Nachtstunden durch das Heranführen kühlerer Luft aus dem Umland oder aus innerstädtischen Grün-/Freiflächen das Temperaturniveau der in der Stadt lagernden wärmeren Luftmassen lokal gesenkt werden, was zu einem Abbau der Wärmebelastung des Menschen führen kann. Entscheidend ist dabei, dass die kältere Außenluft auch ins Gebäudeinnere gelangen kann, so dass dem nächtlichen Luftaustausch („natürliche Ventilation“) zwischen Gebäude und Umgebungsluft eine Schlüsselrolle zukommt (siehe Gross 2021a). Auch die VDI 3787, Blatt 5 (Entwurf 03/2024) benennt die Umgebungsluft als die zentrale Auswertungsgröße, um die Kaltluftwirkung in der Nacht zu erfassen.

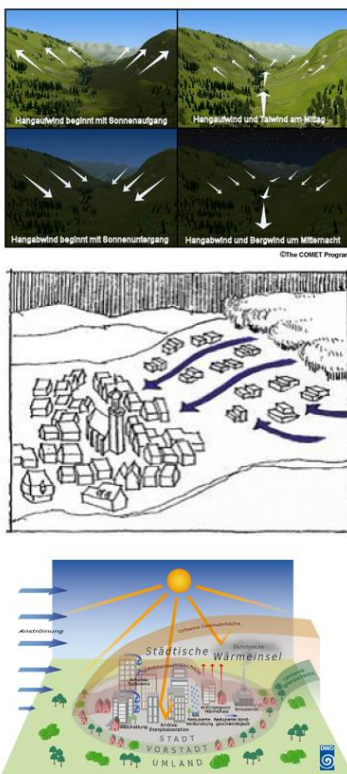
Als wichtige Prämisse für die vorliegende Analyse sollen die relevanten Kaltluftprozesse und Zusammenhänge im Folgenden noch einmal überblicksartig als Beitrag zu einem Grundverständnis beleuchtet werden.

<sup>2</sup> Siehe UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze#hitzeperioden>



Grün- und Freiflächen produzieren unterschiedlich viel Kaltluft durch die Wärmeausstrahlung in der Nacht. Sandige/offene Bodenflächen sowie Rasen-/Wiesenflächen erweisen sich in der Nacht als besonders kaltluftproduktiv. Beim Wald entsteht die Kaltluft über dem Kronendach und sinkt dann aufgrund der Schwere in den Stammraum ein. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern.

In Abbildung 6 sind die unterschiedlichen Prozesse des Fließens der Kaltluft dargestellt. Hier sind insbesondere **Berg-/Talwindssysteme**, **flächenhafte Kaltluftabflüsse** an Hängen sowie durch den Wärmeinseleffekt induzierte **Flurwindssysteme** zu nennen. Allen Prozessen ist gemein, dass sie vermehrt während windschwacher Strahlungswetterlagen mit nächtlicher Bodeninversion auftreten. Eine Inversion ist die Umkehr des normalerweise mit der Höhe abnehmenden Temperaturverlaufs in eine Temperaturzunahme. Es entsteht über die adiabatische Abkühlung eine mehr oder weniger mächtige, stabile Schichtung der Atmosphäre. Inversionen können durch großräumige Advektion von Warmluft, durch Absinkvorgänge in der Höhe sowie durch Abkühlung der unteren Luftschichten entstehen. Eine Inversion stellt eine Sperrschicht dar, die einen Austausch zwischen tief liegenden und höher liegenden Luftschichten verhindert. Inversionen wirken in der Atmosphäre somit stabilisierend. In den Sommermonaten gehen mit ihnen häufiger thermische und ggf. auch lufthygienische Belastungen einher.



**Berg-/Talwindsystem**  
(sehr hohe Kaltluftdynamik/-mächtigkeiten)

**Flächenhafter Kaltluftabfluss am Hang**  
(hohe Kaltluftdynamik/-mächtigkeiten)

**Wärmeinseleffekt mit Flurwinden**  
(geringe Kaltluftdynamik/-mächtigkeiten)

gleichzeitiges Auftreten und räumliche Überlagerung

Abbildung 6: Stadtklimatisch relevante Prozesse (Quellen: oben COMET Programme, Mitte LUBW, unten DWD)

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke et al. 2017). Gründe hierfür sind beispielsweise der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenübersteht. Die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion durch die Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss) sind hierbei zu nennen. Im Vergleich zum weitgehend natürlichen



oder naturnahen, unbebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet. Diese führt zu einem kleinräumigen, sehr fragilen System aus konvektivem Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper und bodennahen Ausgleichsströmungen aus dem Umland in das Stadtgebiet hinein („Flurwindsystem“). Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht. Sie können jedoch zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht beitragen und eine Verdünnung von Luftschadstoffen bewirken. Nachts dagegen kann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen und auch innerstädtischen Grünflächen in die überwärmten Quartiere strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft“ erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse.

Während Flurwindssysteme in aller Regel mit geringen Kaltluftdynamiken von  $< 1$  m/s und Kaltluftmächtigkeiten von wenigen (10er-) Metern verbunden sind und auch in Parks entstehen können, können orographisch bedingte Kaltluftabflüsse von Hängen und insbesondere Berg-Talwindssystemen in Abhängigkeit der Reliefenergie hang- bzw. talabwärts gerichtete Windgeschwindigkeiten von deutlich  $> 2$  m/s sowie Kaltluftpakete von z.T. über 100 m hervorrufen. Bei beiden Systemen handelt es sich um tagesperiodische lokale Windsysteme und damit um eine typische Erscheinung für Gebirgsklimata wie sie auch in Jena zu finden sind (siehe Abbildung 6, oben). Der tagsüber aufwärts gerichtete Tal-/Hangwind wird angetrieben durch die infolge der Sonneneinstrahlung gegenüber der freien Atmosphäre stärkeren Erwärmung der Hänge. Der Motor des vom späten Abend bis zum Morgen abwärts wehenden Berg-/Hangwinds ist die gegenüber dem Tal stärkere Ausstrahlung und Abkühlung der Luft über den Hochflächen und Hängen. Beim Berg-/Talwindssystem kann zusätzlich ein Zusammenfließen und eine talabwärts gerichtete Kanalisierung erfolgen, so dass hier bei optimalen Bedingungen gegenüber den reinen Hangwinden noch größere Kaltluftvolumina möglich sind. In konkaven oder flachen Bereichen können Kaltluftsammlgebiete, auch Kaltluftseen genannt, entstehen. Hier sammelt sich die Kaltluft und fließt nicht weiter.

Diese komplexen Vorgänge können in ihrer z.T. räumlichen und zeitlichen Überlagerung ausschließlich mit numerischen Modellen hinreichend gut abgebildet werden, die auch thermodynamische Prozesse berücksichtigen können. Alle geschilderten Prozesse bzw. Klimafunktionen können durch planerische Entscheidungen sowohl unterstützt als auch gestört oder sogar zerstört werden. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 3787, Blatt 5 Entwurf 03/2024). Kaltluftproduktionsraten, Kaltluftmächtigkeiten und Kaltluftvolumenströme, die der Ableitung des oben beschriebenen Kaltluftsystems zugrunde liegen, sind relative Größen, die demnach auch in einer klimawandelbedingt wärmeren Atmosphäre der Zukunft unverändert bestehen bleiben (wenn sie nicht durch Flächennutzungsänderungen wie z.B. großflächige Gewerbegebiete oder Siedlungserweiterungen modifiziert werden). Selbiges gilt in der Konsequenz auch für die aus den Größen abgeleiteten zentralen Elemente wie Kaltluftleitbahnen. Selbstverständlich ist die Kaltluft im Klimawandel tendenziell wärmer als gegenwärtig und trägt damit auch weniger zur Reduktion der nächtlichen Wärmebelastungen bei. Es wird die Aufgabe der gesamten Fachdisziplin sein, diesem Umstand durch die Entwicklung neuer Auswerteverfahren Rechnung zu tragen. Bis entsprechende neue Verfahren etabliert sind, entspricht es dem Stand der Technik, die Auswirkungen des Klimawandels vor allem an den thermischen Kenngrößen wie der Lufttemperatur und/oder humanbioklimatischen Indizes wie der PET festzumachen.



## 2.3 STADTKLIMAANALYSEN UND DER STAND DER TECHNIK

Die in den vorherigen Kapiteln geschilderten Zusammenhänge und Prozesse zum Thermischen Komfort und Kaltlufthaushalt werden als Grundlage für regional-/stadtplanerische Abwägungs- bzw. Entscheidungsprozesse in raumspezifischen Analysen untersucht. Die Analysen sind im Grundsatz seit den frühen 1990er Jahren Stand der Technik. Die zugrunde liegenden Methoden und Instrumente unterlagen seither allerdings einer stetigen Fortentwicklung, die durch die Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung insbesondere seit den 2010er Jahren stark an Dynamik und Qualität gewonnen hat. Anders als beispielsweise beim lufthygienischen Wirkungskomplex oder der Lärmbelastung gibt es für die thermische Belastung bisher noch **keine normative Regelung zu Richt- oder gar Grenzwerten** (siehe Kapitel 2.1). Als Konsequenz daraus ist die Definition, welches Belastungs-/Schutzniveau in der betrachteten Kommune erreicht oder vermieden werden soll, das Ergebnis eines planerisch-politischen Abwägungsprozesses, der durch fachgutachterliche Entscheidungsgrundlagen unterstützt wird.

Die etablierten Instrumente für entsprechende Grundlagenuntersuchungen stellen Stadtklimaanalysen sowie ggf. Detailgutachten für kleinräumigere Planungsprozesse (z.B. verbindliche Bebauungsplanung, Stadt-sanierung, Grünflächenentwicklung) dar. Mindestanforderungen an die zu verwendenden Methoden und zu erstellende Produkte werden in **umweltmeteorologischen VDI-Richtlinien** vordefiniert. Von Bedeutung sind insbesondere folgende Richtlinien:

- VDI 3785 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima (12/2008)
- VDI 3787 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen (09/2015)
- VDI 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima (11/2008)
- VDI 3787 Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft (Entwurf 03/2024)
- VDI 3787 Blatt 8: Umweltmeteorologie – Stadtentwicklung im Klimawandel (09/2020)
- VDI 3787 Blatt 9: Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen (12/2004)

Aktuell befinden sich einige zentrale Richtlinien in Fortschreibung (z.B. VDI 3787, Blatt 5; in Überarbeitung, Veröffentlichung im Laufe des Jahres 2024) bzw. in Zusammenlegung (VDI 3871, Blatt 1 und Blatt 2 und Blatt 9 mit VDI 3785, Blatt 1). Folglich befindet sich der Stand der Technik in einem stetigen Wandel. Tendenziell ist zudem zu beobachten, dass teilweise mehrere Jahre vergehen, bis neue methodische Paradigmen und technische Möglichkeiten in die Richtlinien Einzug gehalten haben. Insofern werden die Richtlinien nicht selten von der Dynamik der täglichen Praxis überholt und definieren daher eher einen Mindeststandard und weniger eine im Detail einzuhaltende absolute Norm.

Gemäß VDI 3787, Blatt 1 entsteht als erstes wichtiges Zwischenprodukt einer Stadtklimaanalyse die **Klima-analysekarte (KAK)**. Sie hat die Aufgabe, „...die räumlichen Klimateigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darzustellen, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015, S. 4). Die Klimaanalysekarte synthetisiert demnach die wesentlichen Analyseergebnisse für die Nachtsituation in einer Karte und präzisiert bzw. pointiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten zu den Themenfeldern Überwärmung, Kaltluftentstehung und Kaltluftfluss (Abbildung 7). Klimaanalysekarten für den Tag werden in der VDI-Richtlinie nicht explizit benannt.



Klimaeigenschaft	Farbe/ auflagernde Signatur	RGB, subjektiver Farbeindruck
<b>Klimatope</b>		
Gewässer-, Seenklima		0/127/255 dunkelblau
Freilandklima		190/232/255 hellblau
Waldklima		115/178/115 dunkelgrün
Klima innerstädtischer Grünflächen		174/241/176 hellgrün
Vorstadtklima		255/255/225 hellgelb
Stadtrandklima		254/220/0 hellorange
Stadtklima		255/165/0 orange
Innenstadtklima		255/127/127 hellrot
Gewerbe-, Industrieklima		210/210/210 hellgrau

Klimaeigenschaft	Farbe/ auflagernde Signatur	RGB, subjektiver Farbeindruck
<b>Luftaustausch</b>		
Luftleitbahn, unbelastet		43/75/155 blau
Luftleitbahn, klimatisch und/oder lufthygienisch belastet		229/38/32 rot
Kaltluftabfluss, unbelastet		43/75/155 blau
Kaltluftabfluss, lufthygienisch belastet		229/38/32 rot
Talabwind, unbelastet		18/79/158 blau
Talabwind, klimatisch und/ oder lufthygienisch belastet		229/38/32 rot
Hindernis für den Kalt- luftabfluss (Barriere)		34/74/126 blau
Kaltlufteinzugsgebiet		43/75/155 hellblau

Abbildung 7: Auswahl möglicher Legendenpunkte einer Klimaanalysekarte gemäß VDI 3787, Blatt 1 (09/2015)

Des Weiteren heißt es in der Richtlinie: „Klimaanalysekarten bieten einen flächenbezogenen Überblick über die klimatischen Sachverhalte des betrachteten Raums und bilden die Grundlage zur Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen in einer Stadt [oder Region, Anm. der Redaktion]“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015, S. 13). Der Bezug auf die „Sachverhalte“ verdeutlicht eine wesentliche Charaktereigenschaft der Klimaanalysekarte. Sie gehört demnach bewertungstheoretisch der Sachebene an. Daraus folgt, dass aus den Klimaanalysekarten allein noch keine unmittelbaren Wertaussagen (z.B. über das Ausmaß von Belastungen im Wirkraum sowie Wertigkeiten des Ausgleichsraums) abgeleitet werden dürfen.

Dies erfolgt im Rahmen der Erstellung einer **Planungshinweiskarte** (PHK) als zentrales Produkt der Stadtklimaanalyse. Gemäß der VDI Richtlinie 3787, Blatt 1 handelt es sich bei der Planungshinweiskarte um eine „Informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält.“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015, S. 5). Der Begriff der Planungsrelevanz wird in der Richtlinie noch weiter konkretisiert als: „Bewertung von (Einzel-) Flächen hinsichtlich ihrer Klimafunktionen, aus der Maßnahmen zum Schutz oder zur Verbesserung des Klimas abgeleitet werden. Planungsrelevant sind dabei alle thermischen und lufthygienischen Phänomene, die als teil- oder kleinräumige Besonderheiten oder Ausprägungen signifikant abweichen [...] und die Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen haben.“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015, 5f). Kerngegenstand der Planungshinweiskarte ist also die klimaökologische Bewertung von Flächen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bzw. auf gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Seit der letzten Überarbeitung der Richtlinie sollen bei der Bewertung auch die Themen Klimawandel und Umweltgerechtigkeit Berücksichtigung finden. Auf weitergehende methodische Hinweise verzichtet die Richtlinie jedoch. Somit erfolgt die Erstellung der Planungshinweiskarte auch weiterhin im Spannungsfeld zwischen fachgutachterlichen Empfehlungen, planerischen Zielsetzungen und politischer Willensbildung.



Planungshinweise	Farbe/ auflagernde Signatur	RGB, subjektiver Farbeindruck
<b>Grün- und Freiflächen</b>		
Ausgleichsraum hoher Bedeutung		115/178/115 dunkelgrün
Ausgleichsraum mittlerer Bedeutung		174/241/176 grün
Ausgleichsraum geringer Bedeutung		211/255/190 hellgrün
<b>Siedlungsflächen</b>		
Bebautes Gebiet mit geringer Belastung und geringer klima- relevanter Funktion		255/255/225 gelb
Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion		246/197/103 orange
Bebautes Gebiet mit bedeutender klima- relevanter Funktion		255/127/127 rot
Bebautes Gebiet mit klimatisch-lufthygieni- schen Nachteilen		138/43/226 violett

Raumspezifische Hinweise		
Begrünung im Stadt- raum und in Wohnge- bieten		15/95/44 dunkelgrün
Hauptverkehrsstraße mit Potenzial für hohe bis extreme Schadstoffbelastun- gen, DTV > 10000		255/0/0 rot

Abbildung 8: Auswahl möglicher Legendenpunkte einer Klimaanalysekarte gemäß VDI 3787, Blatt 1 (09/2015)

Insbesondere bei der Neuentwicklung von Stadtquartieren und Gebäuden treten neben die VDI-Richtlinien noch weitere Normen, die es im Einzelfall bei etwaigen Detailbegutachtungen zu berücksichtigen gilt. Hierzu zählen beispielsweise Zertifizierungsverfahren wie das DGNB-System, das für Quartiere, Gebäude und Innenräume u.a. den „Thermischen Komfort“, das „Stadtklima – Mesoklima“ oder das „Mikroklima“ als zu wertende Kriterien definiert. Für die Bewertung werden eigene Methodenvorgaben gemacht, die z.T. deutlich (und notwendigerweise) über die Inhalte der VDI-Richtlinien hinausgehen.

Stadtklimaanalysen können dem Stand der Technik nach auf verschiedenen methodischen Analyseverfahren basieren. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) unterscheidet in einer aktuellen Veröffentlichung die Methoden der „Abschätzung“, des „Klimatopansatzes“ (bisweilen auch 2D-GIS-Modellierung benannt) sowie der „(numerischen) Stadtklimamodellierung“ (HLNUG 2022 und Abbildung 9). In der Praxis existieren zum einen auch Mischformen, wie z.B. Kombinationen aus dem Klimatopansatz (der anders als in der Übersicht des HLNUG dargestellt im Übrigen keine relevanten Rückschlüsse zur Kaltluftsituation zulässt) und einfachen Modellanwendungen zum Kaltlufthaushalt (um eben dieser Herausforderung zu begegnen).

Darüber hinaus stellen selbstverständlich auch die in der Übersicht des HLNUG nicht aufgeführten Messkampagnen (Messfahrten, Vertikalsondierungen, stationäre Messungen) weiterhin eine wichtige methodische Grundlage für Stadtklimaanalysen dar – zumeist in Ergänzung (bzw. zur Validierung) der anderen Methoden, bisweilen aber auch als reine messbasierte Stadtklimaanalysen. Perspektivisch werden auch KI-basierte Lösungen das Methodenset ergänzen, indem sie von Ergebnissen der anderen Methoden lernen und diese mit deutlich geringerem Aufwand auf andere Untersuchungsräume übertragen.



	M1 Abschätzung nach Versiegelung	M2 Klimatope nach VDI	M3 Stadtklimamodellierung
Was kann die Klimaanalyse-methode leisten?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitative Einschätzung der Verteilung der Wärmebelastung im Gebiet</li> <li>• Qualitative Einteilung von Belastungs- und Ausgleichsräumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimateigenschaften der Flächen</li> <li>• Qualitative Einschätzung der Flächen als Belastungs- bzw. Ausgleichsräume</li> <li>• Ableitung relevanter Informationen zur Kaltluft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative Ergebnisse (Temperatur, Anzahl Kenntage, Volumenstrom Kaltluft etc.)</li> <li>• Kaltluftentstehung und -abfluss</li> </ul>
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleine und mittlere Kommunen</li> <li>• Kommunen mit weniger komplexen Stadt-/ Siedlungsstrukturen</li> <li>• Kommunen, die einen ersten Überblick zur Belastungssituation bekommen möchten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunen aller Größenklassen mit eher einfachem Relief / geringen Höhenunterschieden</li> <li>• Kommunen mit weniger komplexen Stadt-/ Siedlungsstrukturen</li> <li>• Kommunen, die einen vertieften Überblick zur Belastungssituation inklusive Kaltluft bekommen möchten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere/große Kommunen mit komplexen Herausforderungen durch den Klimawandel</li> <li>• Kommunen, die für städtebauliche Entwicklungen bzw. für ein Klimaanpassungskonzept konkrete Angaben zu Temperatur und Kaltluft benötigen.</li> </ul>
Erforderliche Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versiegelungsgrad, z. B. über Luftbildanalyse oder andere</li> <li>• Bebauungsstruktur/-typ</li> <li>• Flächennutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationen zur tatsächlichen Flächennutzung (z. B. ATKIS, CORINE, Realnutzungskartierung)</li> <li>• Informationen zum Relief und zur Oberflächenstruktur (z. B. digitales Höhenmodell)</li> <li>• Fachkarten hinsichtlich Versiegelung oder Baudichte/-höhe und Bebauungsart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhendaten, z. B. Digitales Geländemodell, Rasterdaten der Geländehöhe</li> <li>• Nutzungsdaten, z. B. ATKIS, Biotop-/Vegetationskartierung, Realnutzungskartierung</li> <li>• Fachkarten zur Versiegelung, Baudichte/-höhe, Bebauungsart, Rasterdaten zur Bebauungsstruktur</li> <li>• Messdaten zu physikalischen Größen z. B. Wind, Temperatur</li> </ul>
Welche Informationen liefert die Klimaanalyse-methode?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstufung der thermischen Belastung im Siedlungsbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatope</li> <li>• Klimaanalysekarte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahlreiche Datensätze mit Aussagen zu Temperatur, Kenntage (Gegenwart und Zukunft), Analyse zur Kaltluft</li> <li>• Je nach Aufbereitung entsprechende Karten</li> </ul>

Abbildung 9: Vergleich der drei Methoden zur Stadtklimaanalyse, Quelle: HLNUG 2022, S. 18

Wie aus der Zusammenstellung bzw. dem zugehörigen Leitfaden der HLNUG hervorgeht, weisen alle Analysemethoden individuelle Stärken und Schwächen auf, wobei die **Numerische Stadtklimamodellierung (M3** in Abbildung 9) – wie sie im Stadtklimakonzept für die Stadt Jena zur Anwendung kommt – als qualitativ hochwertigste Methode gilt. Numerische Modellierungen weisen gegenüber anderen Analysenverfahren (reinen GIS-Modellierungen, Messungen) den großen Vorteil auf, dass sie umweltmeteorologisch relevante Größen wie Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur und unter Berücksichtigung der zentralen physikalischen atmosphärischen Prozesse wissenschaftlich fundiert ermitteln können. Diese Felder können im sog. „post processing“ verwendet werden, um die stadtklimatisch relevanten Kenngrößen (z.B. Kaltluftparameter, humanbioklimatische Indizes) in ihrer quantitativen Ausprägung abzuleiten. Numerische Modelle bieten darüber hinaus den Vorteil, Planungsvarianten und Maßnahmen in ihrer Wirkung quantitativ analysieren und auf diese Weise einen validen Beitrag zur klimaökologischen Optimierung von (raum)planerischen Abwägungs- und Entscheidungsprozessen auf allen Maßstabsebenen leisten zu können.

Auf dem deutschsprachigen Markt und in der internationalen Wissenschaft ist eine ganze Reihe von numerischen Modellen zum Einsatz im Rahmen von Stadtklimaanalysen verfügbar. Tabelle 1 gibt eine kurze Übersicht über solche Modelle, die gegenwärtig vorrangig im Einsatz sind. Grundsätzlich unterscheiden sich die aufgezählten Modelle in vielen Eigenschaften, welche letzten Endes auch den Zweck des beabsichtigten Anwendungsgebiets dienen. Jedem Modell ist dabei ein Anwendungsfall zugeordnet, zu welchem das jeweilige Modell im operationellen Einsatz geeignet ist. Grundlegend unterscheiden sich die aufgeführten Modelle in der Art und Weise, wie naturgetreu sie die Atmosphäre abbilden. Dies lässt sich grob in die folgenden Kategorien einteilen:

- 1. Modelle, die die Atmosphäre zur Reduktion des rechnerischen Aufwandes über annähernde Gleichungen modellieren oder stark vereinfachte Annahmen zur Reduktion des zu rechnenden Modellgebiets treffen.
- 2. Modelle, die zwar die physikalischen Grundgleichungen zur Beschreibung des atmosphärischen Zustands (Bewegungsgleichungen, erster Hauptsatz der Thermodynamik, Kontinuitätsgleichung und die Zustandsgleichung für ideale Gase) lösen, dabei aber die atmosphärische Turbulenz vollständig parametrisieren (RANS-Modelle).



- 3. Modelle, die auch die atmosphärische Turbulenz bis zu einer sog. „Subgridskala“ auflösen und so nur einen Teil der Turbulenz parametrisieren, welcher per se durch die gewählte Auflösung der Modellrechnung parametrisiert eingeht (LES-Modelle).

Dabei steigt über 1. zu 3. der Grad der naturgetreuen Modellierung, gleichzeitig aber auch die Komplexität der Nutzung und der Rechenaufwand. Bspw. werden Modelle der Kategorie 3 zurzeit hauptsächlich im wissenschaftlichen Kontext verwendet und für ihre Verwendung wird aufgrund ihres hohen Rechenaufwandes ein Zugang zu einem Hochleistungsrechner benötigt.

Eine gute Möglichkeit, den Rechenaufwand der Modellierung so gering wie möglich zu halten, ist das „Nesting“. Dabei wird je nach Umsetzungsart im Modell entweder ein Kerngebiet im Untersuchungsbereich feiner aufgelöst als die Umgebung (Online-Nesting) oder ein kleinräumiges Untersuchungsgebiet wird mit den Ergebnissen einer übergeordneten Modellierung angetrieben (Offline-Nesting). Beide Methoden sparen Rechenzeit dadurch ein, dass das Kerngebiet des Interesses ausreichend hochaufgelöst modelliert, aber auch kleingehalten werden kann und dennoch die beeinflussenden Prozesse aus dem Umfeld auf das Kerngebiet einwirken. Der Begriff „Online-Nesting“ rührt daher, dass die Berechnung des Kerngebiets und des direkt anschließenden, gröber aufgelöstem umgebenden Gebiets direkt in einem Modelllauf durchgerechnet wird. Beim „Offline-Nesting“ muss hingegen die übergeordnete, grobskaligere Modellierung vor dem hochaufgelösten Bereich gerechnet werden.

Tabelle 1: Auswahl an numerischen Modellen für den Einsatz im Rahmen von Stadtklimaanalysen.  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

Modell	Kategorie	Mögliche horizontale Auflösung für großräumige Anwendungen	Ausgabegrößen
FITNAH-3D	2	5 m – 1.000 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder
KALM	1	20 m – 200 m	vereinfachter Kaltlufthaushalt
KLAM_21	1	20 m – 50 m	vereinfachter Kaltlufthaushalt
MUKLIMO_3	2	20 m – 100 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder
PALM-4U	3	1 m – 50 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder

## 2.4 BEZUG ZU VORHANDENEN ANALYSEN

Im ExWoSt-Modellprojekt JenKAS (2012) erarbeitete die Stadt Jena zusammen mit ThINK, dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) eine **Klimaanpassungsstrategie** für die Stadt. Auch hier wurde neben dem gegenwärtigen Stand die Zukunft mit der Veränderung durch den Klimawandel für die Zukunft 2021 bis 2050 (Szenario A1B, Referenzzeitraum 1971 - 2000) untersucht und dargestellt. Dabei wurde die Stadt Jena unter anderem mit dem Kaltlufthaushaltsmodell KLAM21 und MUKLIMO\_3 im 50m-Raster simuliert. Zum anderen führte der DWD Messungen durch. Die KLAM21-Rechnungen dienten dazu, die Kaltluftprozesse zu analysieren und die Kaltluftleitbahnen für Jena abzuleiten. Mit MUKLIMO\_3 wurde die Wärmebelastung für die gegenwärtige und zukünftige Situation mit der Häufigkeit des Auftretens von Sommer- (Maximaltemperatur am Tag > 25°C) sowie Heißen Tagen (Maximaltemperatur



am Tag > 30 °C) berechnet. Die vorhandenen JenKAS-Karten weisen daher für das Stadtgebiet in Jena die Anzahl der Sommertage und Heißen Tage aus. Es gibt keine Temperaturkarten, sondern Klimatopkarten, in denen Flächen gleicher klimatischer Eigenschaften als Bewertungsraumeinheit dienen.

Im JenKAS Projekt wurde aus den Klimatopkarten eine Klimafunktionskarte erarbeitet. Diese zeigt 13 unterschiedliche Klimatope für Jena. Darüber hinaus wurde im Rahmen des Projektes eine Planungshinweiskarte entwickelt, die neben der Wärmebelastung, Aspekte der Trockenheit, der Überschwemmungsgefährdung und Erosion behandelt. Die Planungshinweiskarte weist für den Themenkomplex Wärmebelastung im Innenstadtbereich drei Klassen auf: W1 – Wärmebelastung senken und Aufenthaltsqualität erhöhen, W2 – Wärmebelastung senken, Informationslage verbessern und Gesundheitsvorsorge stärken sowie W3 – Luftzuleitung erhalten, um Durchlüftung in belasteten Gebieten zu verbessern. Mit der Klimatop- und der Planungshinweiskarte aus JenKAS liegen Karten vor, die die Modellierungen der unterschiedlichen Wetterlagen bewertet. Für heutige Anwendungen sind diese auf einer im 50m-Raster-Simulation beruhenden Ergebnisse recht grob für das Stadtgebiet Jena. Weiterhin hält die Planungshinweiskarte nur Aussagen zur Wärmebelastung für den Innenstadtbereich bereit.

In der aktuell vorliegenden Klimaanalyse basierend auf einer Simulation im 10m-Raster liegen die Ergebnisse nun flächendeckend für das gesamte Stadtgebiet Jena vor. Darüber hinaus wird im Stadtklimakonzept eine Temperaturkarte für die Nacht und eine PET-Karte für den Tag (humanbioklimatischer Index Physiologisch Äquivalente Temperatur) erstellt. Es wird generell in Tag- und Nachtsituation unterschieden, um für die Planung detaillierte Grundlagen zu liefern, damit Wohn- oder Gewerbenutzungen optimal stadtklimatisch entwickelt werden können und die Bevölkerung gute Wohn- und Arbeitsverhältnisse in der Stadt Jena vorfindet. Klimatische Bewertungskarten liegen in der aktuellen Stadtklimaanalyse für die Ist-Situation als auch für die zwei Zukunftsszenarien für das gesamte Stadtgebiet vor (siehe Kapitel 5.1.2 und 8.3 und Gegenüberstellung der beiden Projekte in Tabelle 2).

Die Kaltluftleitbahnen, die in JenKAS identifiziert wurden, entsprechen denen, die im Stadtklimakonzept ausgewiesen wurden. Dies sind die Seitentäler der Saale. Der DWD-Bericht (2014), der die Modellierungen mit MUKLIMO\_3 und KLAM21 sowie die Messungen beschreibt, bestätigt den hohen Kaltluftzustrom aus den Seitentälern hin zum flacher geneigten breiten Saaletal. Das Saaletal läuft in der KLAM21-Simulation während der Nachtstunden voll. In den KLAM21-Rechnungen tritt die nächtliche Wärmeinsel in der 2. Nachthälfte nicht mehr auf und es setzt eine ungehinderte Strömung nach Nord ein. Da KLAM21 keine Temperaturen berechnet, sondern diese aus dem MUKLIMO\_3 Modell stammen, ist die Strömung der Kaltluft in KLAM21 überschätzt. Diese Nordströmung in der zweiten Nachthälfte ist in der gegenwärtigen Analyse nicht in dieser Form identifiziert worden, da die Wärmeinsel in Jena über die gesamte Nacht ausgebildet bleibt. Diese bestehende Wärmeinsel führt zu den bereits beschriebenen Flurwindssystemen (siehe Kapitel 2.2), die die Kaltluft auf das Stadtgebiet auch im Norden von Jena lenken und eine diffuse Strömung erzeugen. Somit ist die Saaletalströmung im FITNAH-3D-Modell in Jena unterbrochen. Generell sind die regionalen Strömungssysteme, wie der Zufluss aus dem Thüringer Wald, auch in der städtischen Analyse abgebildet, da die städtische Klimaanalyse in eine gröbere FITNAH-3D-Deutschlandrechnung genestet wurde. Die städtische Wärmeinsel bedingt das Ablenken der Kaltluftströmungen im Saaletal. Die Profilmessfahrten, die der DWD am 07.05.2011 in der Nacht ab 1:31 Uhr bis 3:04 Uhr durchgeführt hat, zeigen, dass der Wärmeineffekt in der Innenstadt Jenas mit ca. 5 K auch in der zweiten Nachthälfte bestehen bleibt (Hoffmann et al. 2014, S. 54ff; VDI 3787, Blatt 9 12/2004).

Die feinere Auflösung der gegenwärtigen Analyse (25fache Verbesserung) trägt weiterhin dazu bei, die stattfindenden Prozesse in der Nacht zu präzisieren (Wärmeinsel, überwärmte Gebiete, gut durchlüftete Gebiete, Ausgleichsströmung der Kaltluft). Das explizite Auflösen der Gebäude und Bäume mit jeweils individuellen



Höhen bremst das Kaltluftfließen ab oder lenkt die Kaltluft um. Innerhalb des Stadtgebietes fließt die Kaltluft daher entlang von Straßen, Gleisen oder Gewässern sowie im Überdachniveau. Auch in der FITNAH-3D-Modellierung läuft das Saaletal voll, die Kaltluft bleibt aber dort stehen und fließt aufgrund der dichten Bebauung und der geringen Geländeneigung nicht weiter. Mit der höher aufgelösten Simulation können nun innerstädtisch entstehende Flur- und Strukturwindssysteme viel besser abgebildet werden. Im Gegensatz dazu ist in KLAM21 die Stadtstruktur damals entsprechend dem Stand der Technik in 4 Klassen abgebildet worden: Siedlung dicht, Siedlung locker, Industriegebiet, versiegelte Fläche. Durch diese grobe Einteilung von Jena konnten keine so detailreichen Aussagen zu einzelnen Stadtstrukturen getätigt werden. Die Analysegrenze liegt im JenKAS-Projekt bei 50 x 50 m oder 2.500 m<sup>2</sup> und darüber. Ein Vorteil der Verwendung von FITNAH-3D ist, dass mit *einem* Modell Kaltluft- und Temperaturergebnisse berechnet werden, anstatt zwei Modelle dafür nutzen zu müssen (Verwendung von KLAM21 und MUKLIMO\_3). Der DWD verwendet KLAM21 nicht mehr und gibt es auch nicht mehr heraus. Es wird an einer Ablösung durch andere Modelle gearbeitet.

Der Ergebnisbericht des DWD (2014, S. 96ff) erläutert, dass bei Strahlungswetterlagen der Saaletalwind über Messungen nachweisbar ist, jedoch eher geringe Windgeschwindigkeiten aufweist (Bodenniveau geringere als im Überdachniveau) und die Kaltluft nicht eine Mächtigkeit in Höhe der umgebenden höchsten Geländekanten erreicht. Die Prüfung der SODAR DWD-Messungen ergab, dass der damals identifizierte Saaletalwind nicht eindeutig aus den Daten herauszulesen ist. Die Zeitpunkte müssen korrigiert werden, da der Thüringer Regionalwind nicht sofort nach Sonnenuntergang einsetzt, sondern erst nach 3 bis 4 Stunden. Ebenfalls sind die Windrichtungen tw. anders interpretiert worden. Die SODAR-Messungen zeigen eine Kopplung des Höhenwindes mit dem bodennahen Wind, der durch die Kanalisierung im Saaletal entsteht. Die Messungen sind daher wahrscheinlich nicht bei einer idealtypischen autochthonen Wetterlage erfolgt. Jedoch ist diese die wärmebelastende Situation, die nach VDI den Analysen zugrunde zu legen ist (VDI 3787, Blatt 9 12/2004). Somit kann, auch aus den damaligen Ergebnissen des DWD geschlossen werden, dass der Saaletalwind für die Stadt Jena eine eher untergeordnete Rolle für die nächtliche Durchlüftung besitzt und die Kaltluftzufuhren aus den Seitentälern der Saale höher zu gewichten sind.

Wesentliche Unterschiede zwischen dem JenKAS-Projekt und dem nun vorliegenden Stadtklimakonzept zeigt die Tabelle 2. Ein zentraler Unterschied liegt in der Herangehensweise (Auflösung, Modellansatz), der den Vergleich der beiden Projekte im Detail erschwert. Jedoch sollten die grundlegenden Aussagen übereinstimmen, was gegeben ist.

Im vorliegenden Stadtklimakonzept wurde die reale Landbedeckung je 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m Rasterzelle) berücksichtigt und Gebäude, Bäume, versiegelte Flächen auch jenseits der Wohnblöcke und Gewerbegebiete aufgelöst. Damit ist die Stadt Jena getreuer in ihrer Struktur und Nutzungsausprägung beschrieben als in dem verwendeten Klimatopansatz, welcher die Grundlage der MUKLIMO-Berechnung und der Klimafunktionskarten in JenKAS bildete, was zur damaligen Zeit dem Stand der Technik entsprach. Durch die Auflösung der städtischen Wärmeinsel in der 2. Nachhälfte in der KLAM21-Rechnung ist der Kaltluftvolumenstrom im Saaletal nach heutigen Erkenntnissen in den damaligen Rechnungen überschätzt worden.

Das aktuelle Stadtklimakonzept detailliert nun die Aussagen aus dem JenKAS-Projekt und erlaubt – unter der Berücksichtigung der Vorbehalts- und Entwicklungsflächen aus dem FNP – die Bewertung der zukünftigen Siedlungsentwicklung und des Klimawandels aus stadtklimatischer Sicht, um Grundlagen für eine klimagerechte Stadtplanung zu liefern.



Tabelle 2: Überblick über die Unterschiede von JenKAS und dem aktuellen Stadtklimakonzept.  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

Vergleichskriterien	JenKAS	Stadtklimaanalyse
Benutzte Modelle	MUKLIMO_3 (Temperatur), KLAM21 (Kaltluft)	FITNAH-3D (modelliert Kaltluft in der Nacht und Temperaturgrößen)
Räumliche Auflösung	50m, Klimatope	10m, reale Nutzung, Baublock in Bewertungskarten, vorher Rasterergebnisse in 10x10m Auflösung
Eingangsdatenklassen	MUKLIMO_3: Siedlung dicht, Dorfkern, verdichtete Bebauung (offene Bauweise), verdichtete Bebauung (geschlossene Bauweise), Industrie und Gewerbe, Landwirtschaftsbetriebe, Einzelhäuser (niedrig), Einzelhäuser (hoch), Zeilenbebauung mit Hochhäusern KLAM21: Siedlung (dicht), Siedlung (locker), Wald, halb versiegelte Flächen, Industriegebiet, Park, unversiegelte Freifläche, versiegelte Flächen, Wasser Digitales Geländemodell	Modellklassen: Gebäude, Gleis, versiegelt, Freifläche (Rasen), Sand, Bäume über versiegelter Fläche, Bäume über Rasen, Baum über naturfernem Boden, naturferner Boden, Wasser Strukturhöhen für Gebäude und Bäume individuell abgeleitet Digitales Geländemodell
Modell-Ergebnisse	Karten für Ist- und Plansituation: Nacht: Kaltluftvolumenstrom Tag: Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen im Stadtgebiet	Karten zu Klimaparametern für jeweils Ist-Situation und 2 Szenarien: Nacht: Nächtliche Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Kaltluftvolumenstrom, Klimaanalysekarte Tag: Physiologisch Äquivalente Temperatur, Klimaanalysekarte
Bewertungskarten	Klimatopkarte, Planungshinweiskarte zu unterschiedlichen Themenfeldern: Wärmebelastung, Trockenheit, Überschwemmung, Erosion Risikoanalysekarte	Bewertungskarten für Tag und Nacht für Ist-Situation und 2 Szenarien, eine zusammenfassende Planungshinweiskarte Thema Wärmebelastung und Kaltlufthaushalt
Messungen	Durch den DWD durchgeführt	-



## 2.5 (PLANUNGS-)RECHTLICHE ANKNÜPFUNGSPUNKTE

Wie bereits in JenKAS (2012, S. 60ff) beschrieben, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, Maßnahmen für eine klimagerechte Stadtplanung im kommunalen Handeln zu berücksichtigen und rechtlich umzusetzen. Zu nennen sind hier das Baugesetzbuch mit den Instrumentarien des **Flächennutzungsplanes (FNP)** und des **Bebauungsplanes (B-Plan)** als auch die Baunutzungsverordnung (BauNVO) sowie die Thüringer Landesbauordnung (ThürBO). Der FNP stellt die Grundzüge der kommunalen Entwicklung für die gesamte Stadt dar, die B-Pläne regeln die Vorschriften zu räumlich abgegrenzten Vorhaben und müssen dabei auf einer detaillierteren Planungsebene die Belange des Klimas und die Anpassung an den Klimawandel berücksichtigen. In der Tabelle 7.1 in JenKAS (2012, S. 62f) sind die hierfür zur Verfügung stehenden Möglichkeiten und die dazugehörigen Paragraphen im BauGB, ThürBO oder BauNVO aufgelistet. Darauf wird an dieser Stelle verwiesen. Es gibt darüber hinausgehende Instrumente, welche in der Abbildung 10 überblicksmäßig zusammenfasst sind. Dabei wird in **Bauleitplanung** und **weitere (informelle) Instrumente** unterschieden.



Abbildung 10: Übersicht über die zur Verfügung stehenden Instrumente zur Verankerung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Eigene Darstellung.



## BAULEITPLANUNG

Mit der Novelle des Baugesetzbuches (BauGB) in 2011 wurde der Klimaanpassung ein höherer Stellenwert eingeräumt, indem mit einer neuen Klausel im § 1 BauGB den Klimabelangen (Klimaschutz und Klimaanpassung) bei der planungsrechtlichen Abwägung ein zusätzliches rechtliches Gewicht verliehen wurde. Die Klimaanpassung wird nun als Aufgabe der Bauleitplanung ausdrücklich benannt. In der ersten und vorbereitenden Stufe der Bauleitplanung – dem **Flächennutzungsplan (FNP)** – können Vorgaben für eine klimarechte Stadtentwicklung erfolgen. Als abstrahierender Strukturplan für das gesamte Stadtgebiet setzt der FNP die städtebaulichen Planungs- und Entwicklungsziele fest und ist Grundlage für die nachfolgenden Planungsebenen. Im Vergleich zum Bebauungsplan ist der FNP nicht verbindlich und somit für Bürgerinnen und Bürger nicht rechtswirksam. Er kann allein über die abstrahierende Darstellung der allgemeinen Nutzungsart (Flächennutzung) wirken und ist dabei an die inhaltlichen Vorgaben des § 5 BauGB gebunden. Die Darstellungsmöglichkeiten des FNP zur Klimaanpassung umfassen beispielsweise:

- Darstellung von Bauflächen und Baugebieten, Anlagen und Einrichtungen, Verkehrsflächen, Ver- und Entsorgungsanlagen sowie Grünflächen (§ 5 Abs. 2 Nr. 1 bis Nr. 5 BauGB) als Ergebnis einer kompakten, nutzungsgemischten Stadt entsprechend dem Leitbild „Stadt der kurzen Wege“,
- Darstellung von Grün- und Wasserflächen sowie Flächen für den Wald und die Landwirtschaft (§ 5 Abs. 2 Nr. 5, 7, 9 und 10 BauGB) zum Erhalt und zur Schaffung von Kaltluftentstehungsflächen sowie Kalt- und Frischluftbahnen,
- Hinweise auf das Erfordernis einer baulichen Vorsorge gegenüber Naturgefahren auf besonders gefährdeten Flächen (Kennzeichnung des Gefährdungspotenzials durch Naturgewalten, § 5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB),
- Darstellung der Überschwemmungsgebiete und weiterer fachplanerischer Festlegungen zu Klimaschutz und Klimaanpassung (Wasserwirtschaft, Luftreinhaltung, etc., § 5 Abs. 4a und Abs. 2 Nr. 7 BauGB).

Neben den Flächendarstellungen in der Planzeichnung und entsprechenden Erläuterungen in der Begründung sowie im Umweltbericht besteht die Möglichkeit, eine separate Beikarte „Klimaanpassung“ zum Flächennutzungsplan zu erstellen.

Der **Bebauungsplan (B-Plan)** als zweite und verbindliche Stufe der Bauleitplanung besitzt eine weitaus größere Relevanz für die Planungspraxis, da erst hier die rechtsverbindliche Festsetzung und somit die Realisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen stattfindet. Dabei ist der Bebauungsplan an die Festsetzungsmöglichkeiten des § 9 Abs. 1 BauGB gebunden. Hier bestehen u.a. folgende Regelungsgegenstände:

- Festsetzungen zur Begrenzung der Verdichtung und Versiegelung zur Vermeidung von Überwärmung durch Festsetzung zum Maß der baulichen Dichte, Grundflächenzahlen, zur Bauweise, den überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie zur Stellung der Anlagen,
- Festsetzungen zur Freihaltung von Luftleitbahnen und Kaltluftentstehungsflächen durch optimierte Stellung baulicher Anlagen, Festsetzung von Flächen, die freizuhalten sind und ihre Nutzung, die Festsetzung öffentlicher und privater Grünflächen sowie die Festsetzung von Wasserflächen,
- Festsetzungen zur Verbesserung des Mikroklimas und der Verminderung der Überwärmung durch schattenspendende Elemente im öffentlichen Raum, Pflanzgebote und Bindungen für Bepflanzungen, die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern, Dach- und Fassadenbegrünung, sonstige Bepflanzungen und Gewässern, durch Festsetzung von Fassadenmaterial und -farben (Gestaltungssatzungen),
- Festsetzungen zur Schließung lokaler Wasserkreisläufe durch Festsetzung des Nutzungszweckes von Flächen (Parkplätze, Freiflächen, Grünflächen, etc.) zur Speicherung von Extremniederschlägen



und die Festsetzung von Flächen für die Abwasserbeseitigung einschließlich Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser.

Für die Klimaanpassung dürften insbesondere auch Kennzeichnungen nach § 9 Abs. 5 Nr. 1 BauGB relevant sein: „Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen oder bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind“.

In einem B-Plan können stadtklimatische Belange in der Planzeichnung sowie der textlichen Festsetzung integriert werden. Insbesondere im Textteil besteht die Möglichkeit, Vorgaben zur Gestaltung, zu Umweltauflagen, zur Erschließung, etc. festzusetzen. Die Erkenntnisse und Hinweise aus der stadtklimatischen Planungshinweiskarte des Jenaer Stadtklimakonzepts können im Umweltbericht die Argumentation und Begründung der Vorgaben unterstützen. Spezielle Belange, wie die der Klimaanpassung, gehen über die Mindestanforderungen an einen qualifizierten Bebauungsplan (§ 30 Abs. 1 BauGB) hinaus und erfordern eine Festlegung von konkreten Maßnahmen. Daher sollte ein **Grünordnungsplan** (§ 11 BNatSchG) ein wesentlicher Planungsbestandteil des B-Plans sein, der auch die Themen der Klimaanpassung behandelt.

Zur Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Maßnahmen kann im Rahmen von Bauleitplanverfahren auf **städtebauliche Verträge** nach § 11 BauGB zurückgegriffen werden, wenn die städtebaulichen Ziele nicht allein über die Festsetzungen des B-Plans geregelt werden können. Der Katalog von möglichen Gegenständen städtebaulicher Verträge ist dabei nicht abschließend (§ 11 Abs. 1 BauGB). Es muss jedoch immer ein „bodenrechtlicher Bezug“ vorliegen und die vereinbarten Leistungen müssen den gesamten Umständen nach angemessen sein. Städtebauliche Verträge dienen der Förderung und Sicherung der Ziele des Städtebaurechts und können somit auch Aufgaben und Maßnahmen einer klimaangepassten Stadtentwicklung einfordern. Hierzu zählen beispielsweise die Realisierung bestimmter baulicher Standards, Anforderungen an die Freiflächengestaltung oder Stellplatzkonzepte, die Erstellung mikroklimatischer Gutachten, die Schaffung von Retentionsflächen oder Pflanzgebote.

### VORHABEN IM STÄDTEBAULICHEN INNENBEREICH NACH § 34 BAUGB

Bei privaten Bauvorhaben, für die keine B-Planaufstellung erforderlich ist (§ 34 BauGB im Innenbereich, § 35 BauGB im Außenbereich), ist es schwierig, vollumfängliche Vorgaben zur Berücksichtigung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu machen. Hier ist ein Bauvorhaben zulässig, welches sich „nach Art und Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der Grundstücksfläche, die überbaut werden soll, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt und die Erschließung gesichert ist“<sup>3</sup>. Solange diesem Einfügungsgebot gefolgt wird, muss die Baubehörde eine Genehmigung erteilen, auch wenn dadurch ggf. ein klimatischer Missstand entsteht oder verstärkt wird. Im Sinne der Klimaanpassung kann hierbei nur mit den – heute und in Zukunft – **gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnissen**<sup>4</sup> argumentiert werden, die durch eine weitere Überhitzung infolge der geplanten Bebauung und Flächenversiegelung unter Umständen gefährdet sind. Dieser Argumentation folgend, besteht die Möglichkeit, insbesondere für klimatisch belastete Bereiche entsprechende Rahmenbedingungen für eine Entwicklung vorzugeben<sup>5</sup>.

Im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung gilt der planerische Grundsatz „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“, mit dem Ziel, der fortschreitenden Inanspruchnahme unbebauter Flächen im Außenbereich entgegen zu wirken. Insbesondere in Jena – einer prosperierenden Stadt mit hohem Nutzungsdruck – stellt

<sup>3</sup> Baugesetzbuch (BauGB), § 34 Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile, Abs. 1

<sup>4</sup> weitere Erläuterungen finden sich in § 136 BauGB

<sup>5</sup> siehe hierzu auch: <http://www.juramagazin.de/wohn-und-arbeitsverhaeltnisse.html>



der sogenannte unbeplante Innenbereich – neben behutsamen Abrundungen am Siedlungsrand – ein wichtiges Potenzial für weitere bauliche Entwicklung dar. Hierbei müssen auch die damit verbundenen stadtklimatischen Veränderungen Berücksichtigung finden. Gerade stark versiegelte und dicht bebaute innerstädtische Bereiche sind vergleichsweise am stärksten von Hitze und Überwärmung betroffen und besitzen folglich einen hohen Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen. Der Stadtumbau sollte in diesem Zusammenhang als Chance zur Anpassung bestehender Stadtstrukturen an den Klimawandel verstanden werden.

Auch wenn die Stadt einen nur sehr begrenzten Einfluss auf die klimaresiliente Entwicklung von privaten Bauvorhaben gemäß § 34 BauGB hat, stehen verschiedene Handlungsoptionen bereit. Dazu gehören:

- Förderung von privatem Engagement zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen, z.B. Begrünung, Regenwassermanagement (Nutzung, Rückhalt, Versickerung), Entsiegelungsmaßnahmen, etc. durch finanzielle Anreize im Rahmen **kommunaler Förderprogramme** in Verbindung mit einer entsprechenden **Beratung**,
- **Befreiung bzw. Reduzierung von Gebühren**, beispielsweise bei einer Versickerung von Niederschlagswasser auf dem eigenen Grundstück oder eine geplante Dachbegrünung,
- bei klimatisch besonders sensiblen Vorhaben Prüfung der Option, das Gebiet über einen **Bebauungsplan** zu entwickeln, um dabei Klimaanpassungsmaßnahmen rechtlich zu verankern,
- Erlass von **kommunalen Satzungen** oder Rechtsverordnungen mit stadtweiten Vorgaben für baulich-planerische Richtlinien zur Klimaanpassung, z.B. Freiflächengestaltungssatzung, Verbot von Schottergärten, Baumschutzsatzung, Entwässerungssatzung, (Fahrrad-)Stellplatzsatzung, etc.

## ORTSSATZUNGEN

Gemäß § 97 Abs. 1 Thüringer Bauordnung (ThürBO 2024) können Gemeinden durch Satzung im eigenen Wirkungsbereich **örtliche Bauvorschriften** erlassen, bspw. zur Gestaltung von Kinderspielplätzen, von Stellplätzen für Pkw und Fahrräder sowie der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke, zur Begrünung baulicher Anlagen oder der Untersagung bzw. Einschränkung zur Herstellung von Stellplätzen und Garagen. Im Rahmen dieser **Ortssatzungen** können somit auch Regelungen zur Klimaanpassung für das gesamte Stadtgebiet oder Teile davon festgesetzt werden. Es besteht hierbei die Möglichkeit, nach und nach die stadträumlich wichtige Begrünung zu verbessern, indem auf die Gestaltung der Baugrundstücke und der baulichen Anlagen Einfluss genommen wird. Dies kann bspw. in Form einer Freiflächengestaltungssatzung mit einer darin enthaltenen Pflicht zur Dachbegrünung erfolgen, wie sie in der Stadt München<sup>6</sup> bereits seit 1996 zur Anwendung kommt. Eine **Gestaltungssatzung** als formelles Planungsinstrument kann innerhalb oder außerhalb eines B-Planes aufgestellt werden. Dafür müssen besondere gebietsspezifische Gründe vorliegen, da die Gestaltungssatzung die städtebauliche Gestaltung von baulichen Anlagen und Freiflächen festlegt und damit in die Eigentumsfreiheit eingreift. In vielen Fällen gibt es Gestaltungssatzungen aus gebietsspezifischen Gründen wie dem Denkmalschutz, der historischen Bedeutung von Gebäuden oder Naturdenkmälern. Enthalten sind dann u.a. Vorgaben zu Dachformen, Fassadengestaltung, Farben, Materialien, usw. Die Stadt Frankfurt am Main hat darüber hinaus im Mai 2023 eine „**Gestaltungssatzung Freiraum und Klima**“ erlassen, in der die in der Hessischen Bauordnung bereits enthaltenen Vorschriften weitergehend geregelt werden<sup>7</sup>. Die Satzung schreibt für alle Neu- und Umbauten eine klimaangepasste Gestaltung von Gebäuden und Freiflächen vor. Dächer

<sup>6</sup> <https://stadt.muenchen.de/rathaus/stadtrecht/vorschrift/924.pdf>

<sup>7</sup> <https://frankfurt.de/themen/klima-und-energie/klimaanpassung/gestaltungssatzung-freiraum-und-klima> und <https://frankfurt.de/-/media/frankfurtde/frankfurt-themen/klima-und-energie/pdf/klimareferat/gestaltungssatzung-freiraum-und-klima.ashx>



und Fassaden müssen in Zukunft umfassend begrünt, Versiegelungen vermieden und Schattenbereiche geschaffen werden. Außerdem sind Schottergärten verboten. Falls aufgrund von Denkmalschutzvorgaben keine Dach- oder Fassadenbegrünung möglich ist, müssen die Außenbereichsflächen, wenn sie groß genug sind, mit zusätzlichen Laubbäumen bepflanzt werden.

## WEITERE INSTRUMENTE

In der VDI 3787, Blatt 8 (09/2020, S. 55ff) sind formelle und informelle Instrumente dargestellt, die für die kommunale Klimaanpassung angewendet werden können. In der Richtlinie wird zudem die kommunale Ebene als zentraler Akteur in der Klimaanpassung und dem Klimaschutz unterstrichen. Vor allem sollten die Fachplanungen einer Stadt durch bspw. einen **Ratsbeschluss zur Klimaanpassung** verpflichtet werden, die Belange der Klimaanpassung in ihrer Verwaltungsarbeit zu berücksichtigen und umzusetzen. Es können ämterübergreifende Anforderungen an bspw. Fachgutachten oder Wettbewerbe stadtweit festgelegt werden, an die sich die verschiedenen Fachbereiche und Eigenbetriebe halten müssen, bspw. bei der Vergabe von externen Dienstleistungen über Ausschreibungen. Dies setzt natürlich gute fachliche Grundlagen für eine fundierte Entscheidungsfindung voraus. Stadtklimaanalysen, Starkregenkarten, Freiflächenplanung usw. können hierfür hilfreiche Instrumente sein. Insbesondere braucht es aber den politischen (Durchsetzungs-)Willen und Konsens innerhalb des Stadtrates, die Klimaanpassung und den Klimaschutz zu berücksichtigen und als Handlungsgrundlage innerhalb der Stadtverwaltung zu verankern.

Als **informelle Instrumente** nennt die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 8 zudem **kommunale Leitbilder, integrierte Stadt(teil)entwicklungskonzepte, städtebauliche Planungen, Rahmenpläne**, die Ziele und Maßnahmen der Klimaanpassung integrieren können. In der Abbildung 10 sind zudem noch die **Städtebauförderung** mit der **Stadtsanierung, Modell- und Leuchtturmvorhaben** sowie das **Klimaanpassungskonzept** genannt.

**Kommunale Leitbilder** können entwickelt bzw. erneuert werden, so dass die Belange der Klimaanpassung und des -schutzes enthalten sind. Gerade für die kommunale Verwaltung ist ein abteilungsübergreifendes Leitbild, v. a. für die Stadtplanung und -entwicklung von zentraler Bedeutung.

**Integrierte Stadt(teil)entwicklungskonzepte** beschreiben die Gegebenheiten und zeigen zukünftige Entwicklungen in Form von Leitsätzen und strategischen Zielen von Stadtteilen auf. Sie sind intersektoral und ganzheitlich und dienen als Handlungskonzept in der Verwaltung. Hier können Belange einer klimaangepassten Stadtentwicklung integriert und damit die Voraussetzung für deren Umsetzung geschaffen werden.

Bei **städtebaulichen Planungen** können durch die Stadtverwaltung die Rahmenbedingungen so gesetzt werden, dass eine klimaangepasste Stadtentwicklung verfolgt wird. Gleiches gilt für **Rahmenpläne**, die als informelle Planungsinstrumente, Leitlinien und Zielsetzungen für die Entwicklung eines Gebietes oder Stadtteiles beinhalten. Hiermit kann ebenso eine klimaangepasste Stadtplanung verfolgt werden.

Die **Städtebauförderung** ist ein zentrales Instrument der Stadtentwicklungspolitik in Deutschland. Sie hilft, über **städtebauliche Sanierungsmaßnahmen** (§136 BauGB) die städtebaulichen Missstände zu beseitigen und stellt Fördermittel vom Bund und Land bereit. Sie kann dafür genutzt werden, stadtklimatische Missstände zu beseitigen – dazu zählt auch eine fehlende Klimaanpassung. Dies ist in Jena bspw. mit der klimatischen Planungshinweiskarte als Ergebnis des Stadtklimakonzeptes begründbar. So können in Teilgebieten (z.B. Fokusgebiete Hitze) oder im gesamten Stadtgebiet Maßnahmen für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel vorangetrieben werden, indem bspw. klimafreundliche Mobilitätskonzepte oder das Anlegen von Grün- und Freiflächen gefördert werden.

Über **Modell- und Leuchtturmvorhaben** kann eine Kommune als Vorbild einer nachhaltigen klimaangepassten Stadtentwicklung vorangehen und die Lebensqualität in der Stadt erhalten und erhöhen. Als Positivbei-



spiel ist hier die Bahnstadt in Heidelberg zu nennen, wo energieeffizient gebaut wurde, die Energie aus erneuerbarer Energie stammt und viele Grünflächen vorhanden sind, die auch für eine Regenwasserbewirtschaftung dienen. Weiterhin wurde das Gebiet an den ÖPNV angebunden und Fahrradwege errichtet.

**Förderprogramme** können positive Anreize für Bauherren und Investoren bieten, bspw. mehr Grün auf Dächer, an Fassaden oder in Innenhöfe zu bringen oder weniger zu versiegeln. Die Städte Mannheim, Bremen oder Hamburg fördern bspw. Dachbegrünung und Entsiegelungsmaßnahmen.

In der Tabelle 26 im Anhang 10.1 sind Beispiele aufgeführt, wie Städte stadtklimatische Belange und die Anpassung an den Klimawandel verbindlich umsetzen. Gängige Praxis ist es, Dach- und Fassadenbegrünung bei Neubauvorhaben und einer gewissen Dachgröße vorzuschreiben, wie es bspw. Hamburg, Berlin oder Bonn praktizieren. Dies geschieht einerseits über Gestaltungssatzungen (bspw. Aachen, München) oder die Festsetzungen über Grünsatzungen in B-Plänen (bspw. Bonn) oder über Festlegungen im BauGB/Bau NVO wie Stuttgart es umsetzt. Aber auch Regelungen zur Baumpflanzung auf Grundstücken werden über Begrünungssatzungen wie bspw. in Frankfurt am Main oder Leipzig vorgeschrieben, wo ab einer Freifläche von 150m<sup>2</sup> mindestens ein Baum zu pflanzen ist. In Bremen sind die nicht für bauliche Anlagen genutzten Grundstücksflächen dauerhaft zu begrünen oder zu bepflanzen, großflächig angelegte Schottergärten sind unzulässig. In fast allen Städten gibt es dazu Beratungsangebote und Förderungen, v. a. für Dach- und Fassadenbegrünung sowie Entsiegelungsmaßnahmen, um die Investor/innen, Hausbesitzer/innen und Bürger/innen zu ermutigen, stadtklimatische Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

### UMSETZUNGSMÖGLICHKEITEN IN JENA

Viele der o.g. Instrumente zur Verankerung von Klimaanpassung im kommunalen Handeln werden durch die Stadt Jena bereits angewandt. Die Jenaer Klimaanpassungsstrategie wurde als kommunales Klimaanpassungskonzept bereits in 2013 beschlossen und erlaubt, eine vorausschauende langfristige Planung von Maßnahmen mit Priorisierung und Finanzierung sektorenübergreifend vorzunehmen. Sie ist eine wesentliche Grundlage für die strategische längerfristige Umsetzung von Klimaanpassung und -schutz.

In Ergänzung zu JenKAS erfolgt im Rahmen des Stadtklimakonzepts eine vertiefende Untersuchung zur Klimawirkfolge „Wärmebelastung“. Es liegen im Ergebnis detailliertere, räumlich höher aufgelöste Informationen zu den klimatischen Bedingungen und zukünftigen Veränderungen für die Stadt Jena vor. Mit einem **politischen Beschluss des Stadtklimakonzeptes im Stadtrat** könnte die Stadt Jena die Fachverwaltungen dazu verpflichten, diese Informationen und die daraus resultierenden Handlungserfordernisse in der Verwaltungsarbeit, v. a. in den kommunalen Planungen zu berücksichtigen und damit den Belang der Klimaanpassung zu stärken.

Das Stadtklimakonzept kann als wichtige fachliche Grundlage dazu beitragen, die Aspekte des Klimawandels auf der kommunalen Planungsebene in angemessenem Umfang in der Abwägung von Planungsbelangen zu berücksichtigen. Im Sinne einer klimaangepassten Stadtentwicklung sollten die Ergebnisse des Stadtklimakonzeptes daher in die **vorbereitende und verbindliche Bauleitplanung** der Stadt integriert werden.

Im **Flächennutzungsplan** erfolgt die Darstellung und somit die Sicherung von Grün- und Wasserflächen, Flächen für die Landwirtschaft sowie Waldflächen, welche einen wesentlichen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Über diese Grünflächen werden die Kaltluftproduktion sowie der -transport, die Luftreinhaltung und die Regulierung des natürlichen Wasserhaushaltes sichergestellt. Viele dieser Grünflächen sind in Jena bereits durch ökologische Restriktionen und weitreichende **Schutzgebiete** (Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Flora-Fauna-Habitate, Vogelschutzgebiete, gesetzlich geschützte Biotope, Wald



sowie Wasserschutz- und Überschwemmungsgebiete) per se von zukünftigen baulichen Entwicklungen ausgeschlossen.

Die klimatische Planungshinweiskarte (PHK) aus dem Stadtklimakonzept stellt für alle Grünflächen – also den klimatischen Ausgleichsraum der Stadt – Informationen zum **Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion** sowie Empfehlungen zum planerischen Umgang bereit. Im FNP könnte in Ergänzung zur Darstellung der Grünflächen ein entsprechender Hinweis auf Flächen mit einem sehr hohen Erhaltungsbedarf verankert werden. Im Sinne der Sicherung der Durchlüftung und Frischluftversorgung stellen auch die in der PHK enthaltenen übergeordneten **linearen Kaltluftleitbahnen** einen wichtigen planerischen Hinweis zur Integration in den FNP dar. Es wird jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass in der Stadt Jena aufgrund des Reliefs viel Kaltluft an den Ost- und West-Hängen der Saale sowie an den Hängen der Seitentäler produziert wird und viele Siedlungsflächen über einen großflächigen Hangabfluss mit Kaltluft versorgt werden (siehe Kapitel 6.1.2). Die linearen Kaltluftleitbahnen sind somit nicht allein entscheidend für die nächtliche Abkühlung des Siedlungsraumes.

Um insbesondere innerstädtische Grünflächen in der Stadt Jena zu sichern und als grüne Komfort-inseln mit einer hohen Aufenthaltsqualität auszubauen und zu qualifizieren, wurden die Ergebnisse des ExWoSt-Forschungsprojektes „**Grünen Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas**“ (Green Urban Labs) in die PHK nachrichtlich übernommen. Diese Informationen sollten sich auch im Querschnittsthema Klimaanpassung des FNP und den ggf. erläuternden Darstellungen wiederfinden.

Die PHK weist für den baulichen Bestand (Siedlungsflächen und öffentlicher Raum) den Handlungsbedarf zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation aus. Klimatisch besonders belastete Gebiete mit Wohnfunktion und einem hohen bzw. sehr hohen Handlungsbedarf wurden zu s.g. „**Fokusgebieten Hitzebelastung Wohnen**“ zusammengefasst (siehe Kapitel 8.4.6). Mit dem Ziel, gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse in der Stadt Jena auch in Zukunft zu erhalten und die Aktivitäten der Stadt zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen ggf. zu priorisieren, empfiehlt sich die Übernahme dieser Fokusgebiete in den Flächennutzungsplan.

Neben der Klimaanpassung in Bestandgebieten sowie im Rahmen der Innenentwicklung verfolgt Jena als Oberzentrum das Ziel einer behutsamen und effizienten Außenentwicklung. Um Neubauvorhaben möglichst klimagerecht zu gestalten, wurden alle FNP-Entwicklungsflächen im Rahmen des Stadtklimakonzeptes gutachterlich untersucht. Die Bewertungsergebnisse zur **klimatischen Verträglichkeit der geplanten Flächenentwicklungen** finden sich ebenfalls in der PHK und sollten – als wesentliches Ergebnis des Stadtklimakonzeptes – auch in die Fortschreibung des Flächennutzungsplanes übernommen werden.

Da ein Flächennutzungsplan bereits infolge der umfangreichen Darstellungen zu den verschiedenen Flächennutzungen ergänzt durch zahlreiche Symbole bereits sehr komplex ist, wird im Sinne einer besseren Lesbarkeit empfohlen, die o.g. vielfältigen Inhalte zur Klimaanpassung in einer **beiliegenden Karte zum FNP** darzustellen. Dieser separate „Layer“ zur Anpassung an den Klimawandel kann dann als Grundlage für weitere Planungen und als strategisches Vorsorgeinstrument dienen.

Der FNP stellt die Weichen für eine klimaorientierte verbindliche Bauleitplanung. Jedoch können erst auf der nachfolgenden und inhaltlich tiefer greifenden Ebene des **Bebauungsplanes** Maßnahmen zur Klimaanpassung mit einer Rechtsverbindlichkeit für Bürgerinnen und Bürger festgesetzt werden. Mithilfe des Stadtklimakonzeptes kann eine Ersteinschätzung zu möglichen klimatischen Auswirkungen eines Bebauungsplanes erfolgen. Die Planungshinweiskarte zeigt im Siedlungsbestand Flächen mit einer (sehr) hohen klimatischen Belastung auf und weist dabei auf den (sehr) hohen Bedarf an Maßnahmen zur Klimaanpassung hin. Die Umsetzung sowie rechtliche Festsetzung der konkreten Klimaanpassungsmaßnahmen muss auf der Ebene



der verbindlichen Bauleitplanung flächenindividuell erfolgen. Die Informationen aus der PHK können hier als Argumentationshilfe dienen.

Für die in Jena geplanten Entwicklungsflächen erfolgte eine gutachterliche Bewertung zur klimatischen Verträglichkeit (siehe Kapitel 8.4.2). Das Gesamtergebnis dieser Bewertung findet sich in der PHK, darüber hinaus steht für den größten Teil der Entwicklungsflächen ein **individueller Steckbrief** mit weiterführenden Informationen zur Anwendung in der verbindlichen Bauleitplanung bereit. Die darin enthaltenen Informationen zur klimatischen Situation (im Ist-Zustand sowie den beiden Zukunftsszenarien P1 und P2) ergänzt durch eine Bewertung der Auswirkungen auf die angrenzenden Siedlungsflächen unterstützen die weiteren Planungsschritte im B-Planverfahren. Die bis dato noch eher übergeordneten Planungsempfehlungen für die bauliche Umsetzung müssen im Rahmen der B-Plan-Erstellung entsprechend der individuellen Rahmenbedingungen detailliert und ausgearbeitet werden. Der für die Modellierung der Entwicklungsflächen verwendete Mischpixelansatz (Kapitel 5.1.3) erlaubt auf der gesamtstädtischen Betrachtungsebene nur eine Annäherung an das zu erwartende Ergebnis. Die Ableitung quantifizierbarer Vorgaben zur Klimaanpassung für die städtebauliche Planung ist daher auf dieser übergeordneten Planungsebene noch nicht möglich.

Entscheidend für den Erfolg der Integration von Klimaanpassungsbelangen in die Bebauungspläne ist eine möglichst **frühzeitige Berücksichtigung im Planungsprozess**. Die wichtigste Phase stellt dabei die Grundlagenermittlung dar – hier sollten eine intensive Abstimmung zwischen den Fachstellen, die Definition übergeordneter Klimaziele und ggf. erste Untersuchungen erfolgen.<sup>8</sup> Das Stadtklimakonzept der Stadt Jena kann zur Objektivierung der Klimabelange in diesem Prozess eine Hilfe sein. Mit der frühzeitigen Integration der Belange des Klimaschutzes und der Klimafolgenanpassung bei der städtebaulichen und infrastrukturellen Planung erfolgt die Umsetzung der strategischen Sofortmaßnahme SM 04 „Verbindliche Bauleitplanung“ aus dem Klima-Aktionsplan der Stadt Jena (StR-Beschluss 22/1794-BV vom 19.04.2023).

Für Bauvorhaben sollten die Inhalte der klimatischen Planungshinweiskarte sowie die Empfehlungen aus den Steckbriefen der FNP-Entwicklungsflächen in Form von Vorgaben bei städtebaulichen Entwürfen, Wettbewerben sowie innerhalb der Begründung und dem Bepflanzungsplan (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) zum Bebauungsplan übernommen und flächenindividuell ausgearbeitet werden. Dies kann auch über Gestaltungssatzungen erfolgen, die nach § 9 Abs. 4 BauGB landesrechtliche Vorschriften in einen Bebauungsplan übersetzen. Denkbar wäre es auch, in Wettbewerbsverfahren für städtebauliche Entwürfe eine Checkliste „Klimaanpassung“ zu integrieren, die einen Vergleich und eine Bewertung hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel erlaubt. Inspiration dazu kann das Projekt ESKAPE (Entwicklung Städte Regionaler Klima-Anpassungs-Prozesse, RWTH Aachen<sup>9</sup>) bieten, welches eine allgemeingültige Checkliste im Auftrag des BMBF für Bauleitplanverfahren in der Region Aachen hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel entworfen hat. Zur Verbesserung der Integration von Klimaanpassung in die Bauleitplanung sollten gezielte Vorgaben zu Rahmenbedingungen und Zielen vor Erarbeitung von B-Plänen oder städtebaulichen Entwürfen gemacht werden. Eine Erarbeitung eines standardisierten Ablaufes der Verfahren, Federführung und Verantwortlichkeiten sollte angedacht werden. Textbausteine für die Begründung oder Mustersatzungen könnten innerhalb der Stadtverwaltung erarbeitet und von der juristischen Fachstelle geprüft werden.

Die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen im unbeplanten Innenbereich – also in Bestandsgebieten ohne B-Plan – ist auch in Jena von großer Bedeutung. Ein Großteil der klimatisch belasteten Bereiche befindet

---

<sup>8</sup> Weitere Hinweise unter <https://gruene-stadt-der-zukunft.de/integration-in-planung-und-verwaltung/>

<sup>9</sup>[https://www.staedteregion-aachen.de/fileadmin/user\\_upload/A\\_70/A70.5\\_Klimaschutz/70.5\\_Dateien/Dateien/ESKAPE\\_Checkliste\\_klimaangepasste\\_Bauleitplanung\\_ISB.pdf](https://www.staedteregion-aachen.de/fileadmin/user_upload/A_70/A70.5_Klimaschutz/70.5_Dateien/Dateien/ESKAPE_Checkliste_klimaangepasste_Bauleitplanung_ISB.pdf)



sich im Bestand, oftmals jedoch in privater Hand und somit außerhalb des kommunalen Einflussbereiches. Um Maßnahmen zur Klimaanpassung auch für Bauvorhaben nach §34 BauGB zu berücksichtigen, sollte die Verankerung über örtliche Bauvorschriften (siehe auch: Ortssatzungen) für Jena – bspw. in Form einer **Freiflächengestaltungssatzung** – geprüft und umgesetzt werden.

Für eine Verbesserung des baulichen Bestandes sollten in Jena Anreize für Bürgerinnen und Bürger geschaffen bzw. ausgebaut werden, Klimaanpassungsmaßnahmen umzusetzen und somit aktiv an der Verbesserung des Stadtklimas und der Stadtökologie mitzuwirken. Das bereits seit 2020 bestehende kommunale **Förderprogramm „Grüne Oasen in Jena“** fördert Maßnahmen zur Dach- und Fassadenbegrünung, zur Entsiegelung von Vorgärten, Höfen und Freiflächen inklusive Baumpflanzungen sowie das Anlegen insektenfreundlicher Grünflächen. Dieses Förderprogramm sollte fortgeführt, ausgeweitet und stärker beworben werden. Es sollte durch die Stadt Jena geprüft werden, inwiefern eine Ausweitung der Anwendung auf Neubauten, eine Erhöhung der maximalen Fördersumme je Maßnahme und eine Erhöhung des jährlichen Gesamtbudgets möglich ist. Darüber hinaus könnten die Beratungsangebote zur Klimaanpassung und den Möglichkeiten zur finanziellen Förderung ausgebaut werden.

Es stehen also zahlreiche Möglichkeiten bereit, die Belange einer klimagerechten Stadtentwicklung in Jena noch stärker zu verankern. Hier bedarf es einer strategischen Entscheidung und dem Willen der Stadtpolitik, dies zu tun. Die fachlichen Grundlagen sind über JenKAS und das Stadtklimakonzept gegeben.



### 3. Bearbeitungs- und Beteiligungsprozess

Die Erstellung des Stadtklimakonzeptes für die Stadt Jena gliederte sich in einen **dreistufigen Bearbeitungsprozess** aus 1. Analyse, 2. Synthese und 3. Planerische Bewertung (Abbildung 11). Die Bearbeitungszeit lag zwischen Januar 2021 und September 2024. Bei den Arbeitsschritten in der Analyse- und Synthesephase (Stufen I und II) handelt es sich um weitgehend standardisierte gutachterliche Tätigkeiten auf der Sachebene. Kernelemente sind szenarienbasierte numerische Stadtklimamodellierungen zu den Themenkomplexen Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt sowie Auswertungen von frei verfügbaren Klimadaten (u.a. des DWD). Zentrale **Zwischenprodukte** sind kartographische Darstellungen ausgewählter Modellergebnisse sowie insbesondere die **Klimaanalysekarten**. Auftretende methodische Herausforderungen, z.B. im Zusammenhang mit Eingangs-/Basisdaten sowie zu speziellen Einzelthemen (Klimaszenarien) wurden in enger Abstimmung mit der Auftraggeberin, insbesondere der dortigen Projektleitung im Dezernat Stadtentwicklung und Umwelt und dem beteiligten Kernarbeitsteam gelöst.

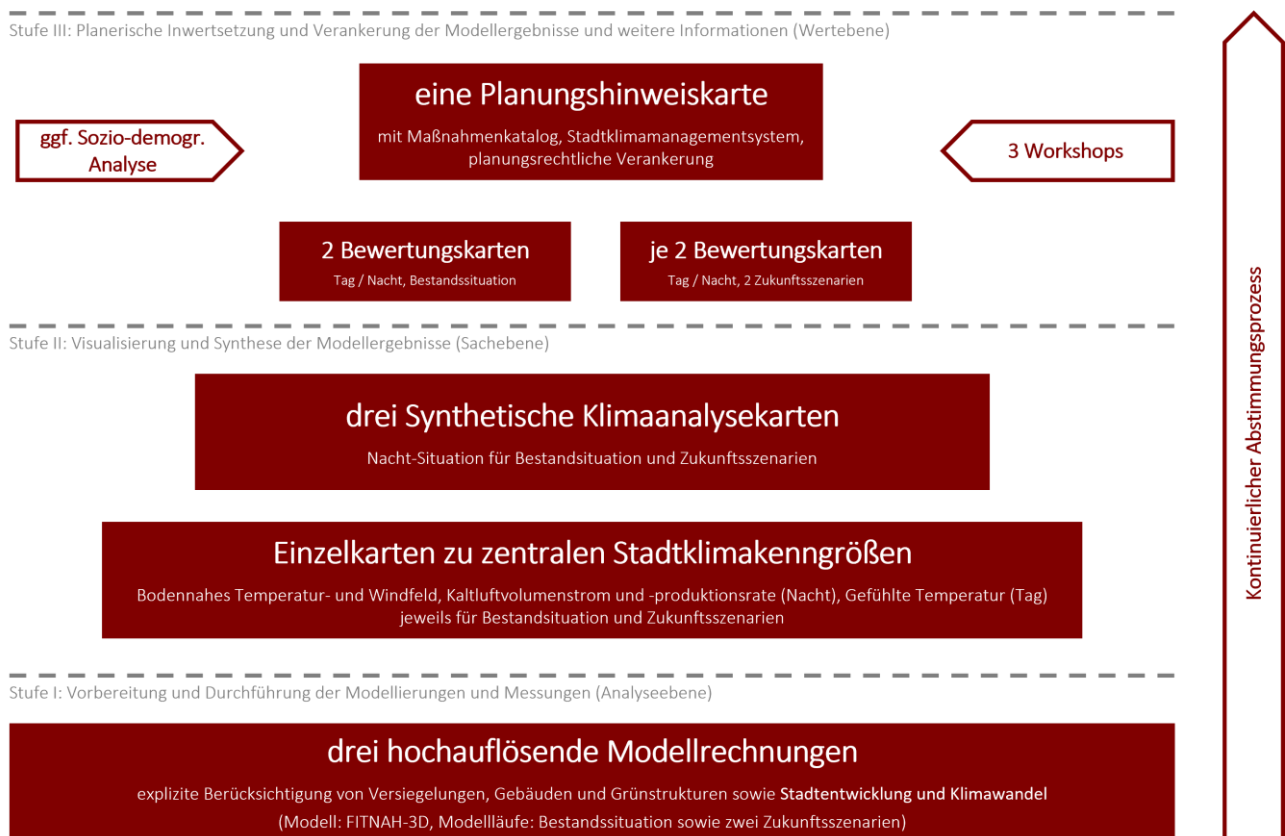


Abbildung 11: Die drei Bearbeitungsstufen der Stadtklimaanalyse

In der Phase der planerischen Bewertung (Stufe III) rückten neben gutachterlichen Tätigkeiten gleichberechtigt auch diskursorientierte Ansätze ins Zentrum der Projektbearbeitung. Erfahrungsgemäß besteht die größte Herausforderung bei der Erstellung der **Planungshinweiskarte** als **zentrales Produkt der Stadtklimaanalyse** in ihrem wertenden und empfehlenden Charakter, denn sie „[...] umfasst Empfehlungen, Vorschriften oder Werturteile. Wertaussagen beschreiben die Umwelt wie sie aus Sicht des Betrachters sein soll. Ziele gehören zur Wertebene der Planung“ (Gaede und Härtling 2010, S. 32). Im stadt- und umweltplanerischen Kontext ebenso wie beim Klimaschutz und der Klimaanpassung sind Bewertungen nur im Kontext eines möglichst vollständig operationalisierten Zielsystems sowie auf der Basis von transparenten, reproduzierbaren



und akzeptierten Bewertungsmaßstäben und -verfahren zulässig (Fürst und Scholles 2008). Ohne diese Prämissen hängen Bewertungen sprichwörtlich in der Luft, weil ihnen die Anknüpfungspunkte fehlen. Die in diesem systemischen Ansatz so zentralen Umweltqualitätsziele basieren dabei bestenfalls auf rechtlichen Normen (Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien). Für rechtlich nicht normierte Bereiche müssen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauende politische bzw. planerische Abwägungs-/Entscheidungsprozesse die Rechtsnormen anlassbezogen ersetzen.

Für die beiden zentralen stadtklimatischen Wirkungskomplexe des thermischen Komforts und der Luftqualität ergeben sich in diesem Zusammenhang diametral unterschiedliche Ausgangsbedingungen. So existieren für die Lufthygiene spätestens seit der Luftqualitätsrichtlinie (Richtlinie 2008/50/EG; EU 2008) Ziele in Form von Grenz- oder Richtwerten. Die Vorgaben dieser EU-Richtlinie wurden in Deutschland im Rahmen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in nationales Recht umgesetzt und in der 39. Verordnung zur Durchführung des BImSchG, der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV, Bundesregierung 2010), konkretisiert. Dieser Umstand macht die vorzunehmenden Bewertungen im Sinne einer Nominalskala „Grenzwert überschritten – Maßnahmen notwendig“ bzw. „Grenzwert unterschritten – keine Maßnahmen notwendig“ eindeutig und abschließend.

Ein rechtlich vergleichbares Äquivalent zum BImSchG mit seinen konkretisierenden Verordnungen und technischen Anleitungen inklusive den aus ihnen ableitbaren Rechtsfolgen existiert für den thermischen Wirkungskomplex nicht. Auch entsprechende Gesetzesinitiativen sind gegenwärtig nicht ergriffen oder geplant. Allenfalls übergeordnete Leitbilder wie der Schutz der menschlichen Gesundheit nach Art. 2 GG oder das Gebot der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse gemäß § 34 Abs. 1 Satz 2 BauGB haben als grundsätzliche Begründungszusammenhänge eine gewisse Relevanz. Für den konkreten Einzelfall helfen sie aber aufgrund ihrer nicht oder nur unzureichend vorhandenen Operationalisierung nicht abschließend weiter. Folglich muss die Operationalisierung auf regionaler und kommunaler Ebene in individuellen politisch-planerischen Abwägungs-/Zielfindungsprozessen unter Berücksichtigung fachlicher Expertisen immer wieder aufs Neue erfolgen.

Aus diesen Prämissen wurde für das vorliegende Projekt ein Legitimierungsprozess abgeleitet, der im Wesentlichen auf einem Gegenstromprinzip zwischen gutachterlichen Vorschlägen auf Basis wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse und Verfahren einerseits und deren Modifizierung gemäß den Ansprüchen und Wertmaßstäben der projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG, auch „Kernarbeitsgruppe“ genannt) andererseits basiert. Die auf diese Weise entstandene Planungshinweiskarte ist damit das Ergebnis eines konsensorientierten Abstimmungsprozesses, der die fehlenden normativen Regelungen weitgehend ersetzt und damit eine entsprechende Akzeptanz und Praxisanwendung erwarten lässt. Die Inhalte und Darstellungen weichen dabei notwendigerweise in einzelnen Punkten von den Vorschlägen in der VDI-Richtlinie ab, ohne sich dabei von den dort definierten Grundgedanken zu lösen.

Folgende Institutionen waren regelmäßiges Mitglied der PAG:

- Fachdienst Stadtentwicklung (Projektleitung): Team Grundlagen der Stadtentwicklung,
- Fachdienst Stadtplanung: Team Bauleit- und Grünplanung
- teilweise Team Geoinformation (insbesondere Erarbeitung der Modellgrundlagen)

Insgesamt fanden folgende Sitzungen der PAG zu folgenden Themenschwerpunkten statt:

- 01.02.2021: 1. Abstimmungstermin Jena (Kick-Off)
- April 2021: Abstimmung der Modellsimulationen: Ist und Zukunft



- Juni 2021: Modellergebnisse der Ist-Situation, Vergleich mit KLAM-Ergebnissen aus 2011, Vorbereitung der Zukunftsmodellierung
- November 2021: Vorstellung der Modellergebnisse aus Ist und Zukunft
- Januar bis Juni 2022: Abstimmungs- und Erarbeitungsprozess zur Basisgeometrie
- März 2022: Auswertung der Stellungnahmen und des Feedbacks aus dem ersten Workshop vom 10.01.2022
- April 2022: Vorstellung Klimaanalysekarte und Diskussion
- Juni 2022: Vorstellung des Arbeitsstandes zu den Bewertungskarten für weitere Vertreter/innen aus der Jenaer Stadtverwaltung
- September bis November 2022: Vorstellung der Vorgehensweise für die Erstellung der Planungshinweiskarte und Bewertung der FNP-Entwicklungsflächen
- Januar 2023: Bewertung der Grünflächen in der Nacht und Planungshinweiskarte mit Entwicklungsflächen
- Januar bis Oktober 2023: Abstimmungs- und Erarbeitungsprozess zur Planungshinweiskarte
- April bis Oktober 2023: Abstimmungs- und Erarbeitungsprozess zu den Steckbriefen für die FNP-Entwicklungsflächen als Grundlage für die Umweltprüfung
- Januar bis September 2024: Erarbeitung und Finalisierung des Abschlussberichtes

Die (Zwischen)Ergebnisse des Stadtklimakonzeptes wurden im Rahmen der o.g. **Arbeitstreffen** und darüber hinaus in zwei **Workshops** weiteren Mitarbeiter/innen aus der Jenaer Stadtverwaltung vorgestellt und diskutiert. Folgende Fachdienste waren hier beteiligt:

- Fachdienst Stadtentwicklung (Projektleitung)
- Fachdienst Stadtplanung
- Fachdienst Umweltschutz
- Fachdienst Mobilität
- Fachdienst Soziales
- Kommunale Immobilien Jena (KIJ)
- Klimaanpassungskoordinator (Stabsstelle Bürgermeister)

Die **zwei Workshops** fanden zu folgenden Terminen mit folgenden Inhalten statt:

- 10.01.2022: Workshop 1  
Stand im Projekt und Vorstellung der Modellergebnisse für die Ist-Situation und die zwei Zukunftsszenarien
- 15.03.2023: Workshop 2  
Vorstellung der Planungshinweiskarte im Entwurf und testweise Anwendung der PHK anhand von zwei Planungen

Vorstellung der (Zwischen)Ergebnisse in **politischen Gremien**:

- 24.08.2023: Zwischenpräsentation im Ausschuss für Stadtentwicklung und Umwelt



## 4. Klima und Klimawandel im Raum Jena

### 4.1 DATENGRUNDLAGE UND METHODIK

Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung aller Wettererscheinungen über einen längeren Zeitraum, der im Allgemeinen 30 Jahre beträgt. Das Klima gibt den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem Ort oder Gebiet im Jahresverlauf wieder und lässt langfristige Veränderungen erkennbar werden (DWD 2024).

Die Beschreibung des **gegenwärtigen Klimas** in Jena basiert auf interpolierten Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD Climate Data Center (CDC); Kaspar et al. 2017). Diese flächendeckenden Daten weisen eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und eine zeitliche Auflösung von jährlichen Mittelwerten auf. Teilweise reichen die Beobachtungsdaten bis in das Jahr 1881 zurück (Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme). Minimum- bzw. Maximum-Temperaturen sind seit 1901 verfügbar und Daten zu thermischen Kennwerten sowie Starkniederschlägen seit 1951.

Anhand der Stadtgrenze Jenas wurden die entsprechenden Punkte aus dem regelmäßigen 1 x 1 km-Gitter extrahiert, räumlich aggregiert und zu repräsentativen Zeitreihen zusammengestellt. Aus den zusammengestellten Zeitreihen werden die Mittelwerte über 30-jährige Perioden gebildet, um Aussagen zur langfristigen klimatischen Entwicklung der Vergangenheit bis heute treffen zu können.

Die aus Stationsdaten erzeugten Gitterdaten weisen gewisse Unsicherheiten auf, die aus einer über die Zeit veränderten Stationsdichte und der Lage, der für die Interpolation verwendeten Stationen, resultieren können. Auch die zugrundeliegende Interpolationsmethode weist Unsicherheiten auf. Ferner hat sich die Messtechnik im betrachteten Zeithorizont weiterentwickelt, sodass bei älteren Zeitreihen höhere Messgenauigkeiten zu erwarten sind als bei Zeitreihen jüngeren Datums. Für die vorliegenden Auswertungen ist die Genauigkeit der Daten als vollkommen ausreichend anzusehen.

Die Analyse **zukünftiger klimatischer Änderungen** stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative (Coordinated Downscaling Experiment). EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009; Jacob et al. 2014). EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt<sup>10</sup>.

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes **Modellensemble**.

Diesem Ansatz folgend, wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung von Jena ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden (Tabelle 3). Da EURO-

<sup>10</sup> Homepage: [www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net)



CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert werden, können bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht enthalten sind.

Die Mitglieder des Ensembles werden als gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke 2016).

Tabelle 3: Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (Historical, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM bzw. RCM = Globales bzw. Regionales Klimamodell (Global / Regional Climate Model).

	GCM	RCM	Historical	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
1	CanESM2	CCLM	✓	x	x	✓
2	EC-EARTH	CCLM	✓	✓	✓	✓
3	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
4	EC-EARTH	RACMO22E	✓	x	✓	✓
5	EC-EARTH	RCA4	✓	✓	✓	✓
6	IPSL-CM5A	RCA4	✓	x	✓	✓
7	MIROC5	CCLM	✓	✓	x	x
8	MIROC5	REMO2015	✓	x	x	✓
9	HadGEM2-ES	WETTREG2013	✓	x	x	✓
10	HadGEM2-ES	CCLM	✓	x	✓	✓
11	HadGEM2-ES	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
12	HadGEM2-ES	STARS3	✓	✓	x	x
13	HadGEM2-ES	RCA4	✓	✓	✓	✓
14	MPI-ESM	WETTREG2013	✓	✓	x	x
15	MPI-ESM	CCLM	✓	x	✓	✓
16	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
17	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
18	MPI-ESM	STARS3	✓	✓	x	x
19	MPI-ESM	RCA4	✓	✓	✓	✓

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11°) verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl dem Mittelpunkt von Jena am nächsten gelegenen Gitterpunkts sowie der acht umlie-



genden Gitterpunkte. Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (ein Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (DWD).

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die Treibhausgas-Emissionen (Methan CH<sub>4</sub>, Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Lachgas N<sub>2</sub>O, etc.) zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher Treibhausgaskonzentrationsentwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m<sup>2</sup>, der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Klimanavigator 2017; IPCC 2014; Abbildung 12):

- Das **RCP-Szenario 2.6** beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m<sup>2</sup>. Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m<sup>2</sup> ab, sofern die Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2°C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- Das **RCP 4.5-Szenario** zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das **RCP-Szenario 8.5** weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf und geht davon aus, dass 50 % der Energiegewinnung weiterhin über Kohle produziert und dementsprechend das Treibhausgas CO<sub>2</sub> emittiert wird. Daher schwächt sich der Strahlungsantrieb bis zum Ende des Jahrhunderts 2100 nicht ab. Das Szenario prognostiziert eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8 °C gegenüber dem vorindustriellen Zustand (1850 bis 1890, Klimanavigator 2017). Das RCP 8.5 wird auch als „**Weiter wie bisher-Szenario**“ bezeichnet.

Die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes<sup>11</sup>, mit den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem „Entwicklungspfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Jacob et al. 2014; Boden et al. 2017). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Im vorliegenden Bericht sind aus diesem Grund vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des RCP-Szenarios 8.5 platziert, die Auswertungen der RCP-Szenarien 2.6 und 4.5 können auf Anfrage bei der zuständigen Stelle der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen des Stadtklimakonzeptes **für die Stadt Jena** wurden die Temperaturzunahmen aus dem RCP 8.5 im Sinne eines „**Worst-Case-Szenarios**“ für die **Modellrechnungen der Zukunft** zugrunde gelegt.

---

<sup>11</sup> <https://www.globalcarbonproject.org/>

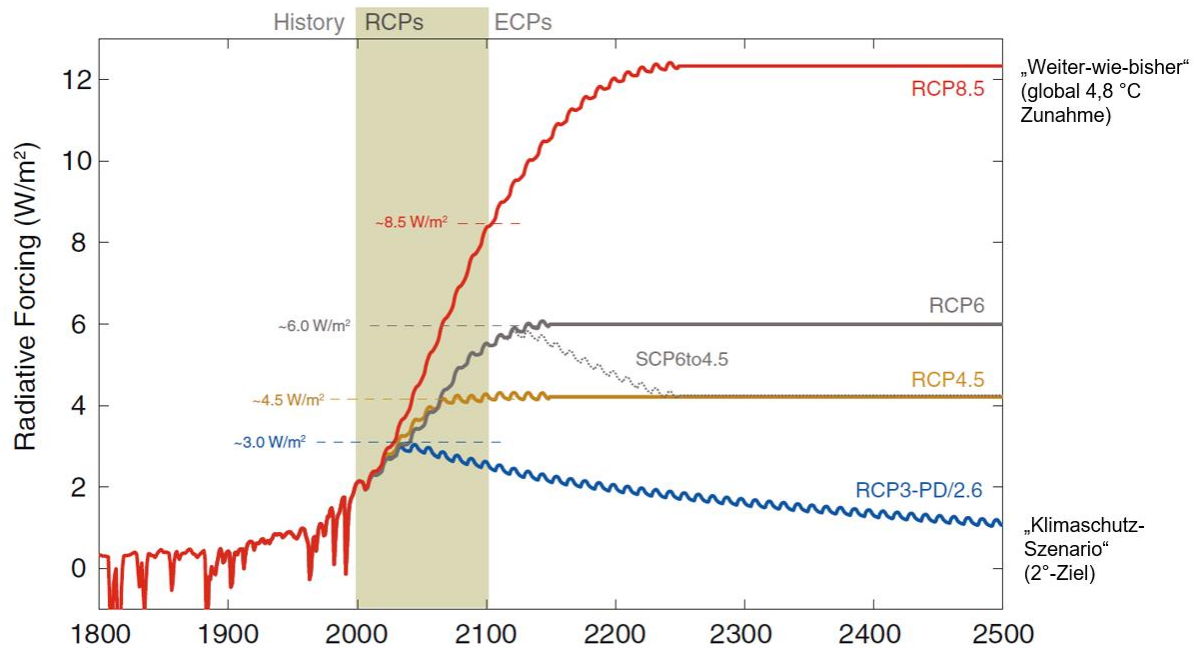


Abbildung 12: Strahlungsantrieb der verschiedenen Representative Concentration Pathways (RCP) und ihre Entwicklung bis 2100.

Quelle: IPCC 2014

RCPs = Representative Concentration Pathways (repräsentativer Konzentrationspfad);

ECP = Extended Concentration Pathways, sind ergänzende Szenarien bis 2300.

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten wie bspw.  $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$  für Sommertage (schwellenwertbasiert) oder anhand von statistischen Maßen wie bspw. dem 95. Perzentil der statistischen Verteilung erfolgen (perzentilbasiert; siehe Hübener et al. 2017). Für die Betrachtung des zukünftigen Klimawandels in Jena wurden schwellenwertbasierte Kenntage verwendet.

Einige Modellläufe der regionalen Klimamodelle zeigen bei bestimmten meteorologischen Variablen teilweise systematische Abweichungen (Bias) von den realen Gegebenheiten. Es wird davon ausgegangen, dass der Wertebereich der Abweichungen für den Referenzzeitraum in etwa genauso groß ist wie für die Zukunftszeiträume. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Unterschiede zwischen Zukunft und Referenz haben die Abweichungen, also deren Differenz, daher keinen Einfluss auf die Aussage.

Bei der schwellenwertbasierten Berechnung von Kenntagen können die benannten systematischen Abweichungen jedoch zu einer Unter- bzw. Überschätzung der Schwellenwerte im Vergleich zu den beobachteten Werten führen. „Ist ein Modell z.B. im Mittel etwas zu warm, so werden in diesem Modell möglicherweise auch besonders viele warme und/oder besonders wenige kalte Kenntage identifiziert“ (Hübener et al. 2017). Aus diesem Grund wurden für jede Modellsimulation die Schwellenwerte mit der Methode des Quantile-Mappings adjustiert (Piani et al. 2010; Themeßl et al. 2011). Für jeden Kenntag wurde dementsprechend aus den Beobachtungsdaten das jeweilige Perzentil der statistischen Verteilung berechnet und anhand dieses Perzentilwertes aus dem Referenzlauf jeder Modellsimulation der adjustierte Schwellenwert bestimmt. Die Auswertung der Regionalmodellsimulationen wurde dann mit den adjustierten Kenntagen durchgeführt, um systematische Verzerrungen der Ergebnisse weitgehend zu vermeiden.

Die Analyse des zukünftigen Klimawandels wurde mit zwei methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen durchgeführt. Im ersten Ansatz wurden die Daten des Modellensembles zu zusammenhängenden Zeitreihen von 1971 – 2100 zusammengeführt und für jede betrachtete Variable untersucht, ob ein zeitlicher



linearer Trend vorliegt und die Trendentwicklung statistisch signifikant ist. Die statistische Signifikanz wurde anhand des Trend-/Rauschverhältnisses ermittelt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses

Trend- / Rauschverhältnis	Bewertung
$\geq 2,0$	sehr stark zunehmend
$\geq 1,5$ und $< 2,0$	stark zunehmend
$\geq 1,0$ und $< 1,5$	schwach zunehmend
$< 1,0$ und $> -1,0$	kein Trend
$\leq -1,0$ und $> -1,5$	schwach abnehmend
$\leq -1,5$ und $> -2,0$	stark abnehmend
$\leq -2,0$	sehr stark abnehmend

Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in dem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die World Meteorological Organisation (WMO) empfiehlt die Verwendung der sogenannten 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961 – 1990 (WMO 1996). Da jedoch bei einigen der verwendeten regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt, wurde hier der **Zeitraum von 1971 – 2000 als Referenzperiode** festgelegt. Dieser ist im Verhältnis zu den betrachteten Zukunftszeiträumen noch ausreichend wenig vom Klimawandel beeinflusst, sodass eine vergleichende Betrachtung die wesentlichen klimatischen Veränderungen aufzeigt. Das Klima eines Raumes wird repräsentiert durch den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren, deshalb wurden im zweiten Ansatz für jede Variable zeitliche Mittelwerte über folgende Zeiträume berechnet:

- Referenzperiode: 1971 – 2000
- 1. Zukunftsperiode (nahe Zukunft): 2021 – 2050
- 2. Zukunftsperiode (mittelfristige Zukunft): 2041 – 2070
- 3. Zukunftsperiode (ferne Zukunft): 2071 – 2100

Von den einzelnen Variablen-Mittelwerten der jeweiligen Zukunftsperiode wurden die zugehörigen Mittelwerte der Referenzperiode subtrahiert und somit die langjährigen mittleren Änderungen für jede Variable berechnet. Die statistische Signifikanz der Änderungen wurde nach einem vom Bund-Länder-Fachgespräch zur „Interpretation von Modelldaten“ vorgeschlagenen statistischen Testschema ermittelt (Linke 2016). Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf 95 % festgelegt. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Referenzläufe mit den Beobachtungsdaten des gleichen Zeitraumes nur in ihren klimatisch relevanten, statistischen Eigenschaften übereinstimmen. Sie sind auf kleineren Skalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar. Die nachfolgenden Ausführungen enthalten eine Vielzahl von Grafiken in Form sogenannter Box-Whisker Plots. Diese haben den Vorteil, dass die Kennwerte statistischer Verteilungen schnell erfassbar und vergleichbar sind (Abbildung 13).

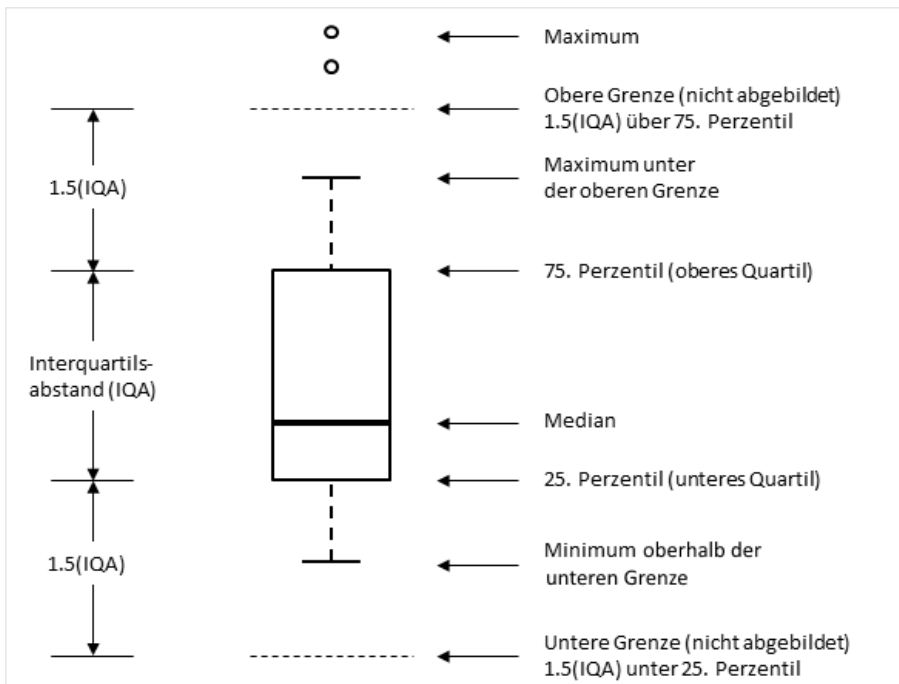


Abbildung 13: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots. (Quelle: Eigene Darstellung)

## 4.2 GEGENWÄRTIGES KLIMA

In der Abbildung 14 ist ein Walter-Lieth Diagramm der Stadt Jena für den Zeitraum 1990 bis 2020 zu sehen (DWD). Jena weist eine langjährige Mitteltemperatur von 10,6 °C und eine mittlere Niederschlagssumme von 593 mm/Jahr auf, wobei die höchsten monatlichen Niederschlagssummen in den Sommermonaten auftreten (Abbildung 14). Damit ist die Stadt um 1,3 °C wärmer als im deutschlandweiten Durchschnitt von 9,3 °C. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge liegt deutlich (-200 mm) unter dem gesamtdeutschen Mittelwert von ca. 790 mm/Jahr<sup>12</sup>.

Den Pflanzen steht in den Monaten Oktober bis Mai ausreichend Wasser zur Verfügung (blaue und türkisfarbene Balken auf der x-Achse). In den Sommermonaten Juni bis September übersteigt die Verdunstung die Niederschlagsmenge. Obwohl es über das Jahr betrachtet die niederschlagsreichsten Monate sind, zeigt sich hier eine Unterversorgung der Pflanzen mit ausreichend Wasser.

<sup>12</sup> Die Daten zum aktuellen Klima in Jena beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, auf die nächstgelegene DWD-Station Jena-Sternwarte und umfassen den Zeitraum 1990 – 2020.

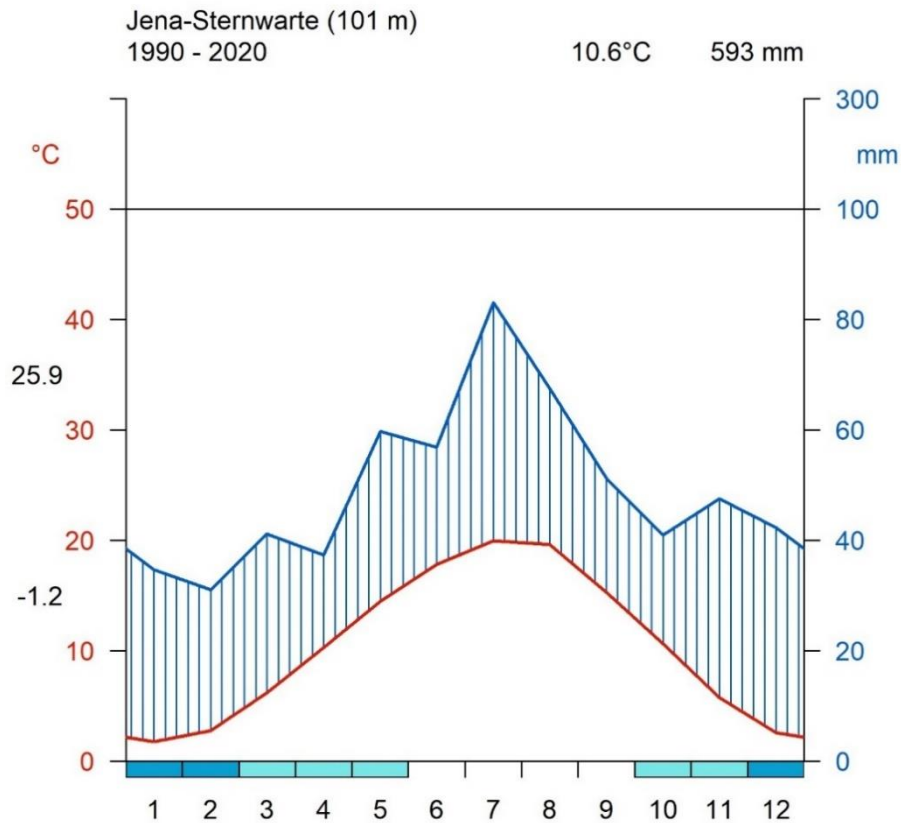


Abbildung 14: Klimadiagramm der Stadt Jena für den Zeitraum 1990 – 2020, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station Jena Sternwarte (DWD).

Dargestellt ist auf der linken Achse mit der roten Kurve die mittlere Monatstemperatur in Jena. Auf der rechten Achse lässt sich die durchschnittliche Niederschlagshöhe (blau) ablesen. Der Temperaturwert in Höhe von 25,9°C an der linken Achsenseite stellt den höchsten Wert der mittleren Maximumtemperatur, die -1,6 stellt den geringsten Wert der mittleren Minimumtemperatur dar. Die blauen und türkisfarbenen Balken an der x-Achse geben die humiden Monate wieder (Niederschlag liegt über der Verdunstung).

Die große Schwankung der Temperaturkurve über den Jahresverlauf zeigt, dass die Stadt Jena dem kontinental geprägten Klima zugeordnet werden kann.

Beim Blick in die Vergangenheit wird deutlich, dass in Jena – dem nationalen und globalen Trend folgend – bereits eine deutliche Erwärmung seit Beginn der Wetteraufzeichnung stattgefunden hat. Die Abbildung 15 zeigt diese Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur auf der rechten y-Achse in absoluten Zahlen und die Veränderung gegenüber der Referenzperiode (1971 bis 2000) auf der rechten y-Achse.

Es ist ein deutlicher und signifikanter Trend (rot gestrichelte Linie in Abbildung 15) auszumachen. Zudem sind die fünf wärmsten Jahre seit 1881 allesamt in der letzten drei Dekade aufgetreten – darunter die Top 3 Jahreswerte allein in den letzten Jahren 2018 bis 2020 (Abbildung 15).

Im langjährigen Mittel des Zeitraums 1991 – 2020 traten in Jena 51 Sommertage und 13 Heiße Tage pro Jahr auf, was über dem deutschlandweiten Durchschnitt liegt (39 Sommertage bzw. 9 Heiße Tage pro Jahr). Das kontinentale Klima Jenas zeigt sich auch in der Anzahl meteorologischer Kenntage im Winter. In Jena wurden in den letzten drei Dekaden im Mittel 80 Frosttage und 21 Eistage pro Jahr und damit eine ähnliche Auftrittshäufigkeit im Vergleich zum deutschlandweiten Mittel registriert (81 Frosttage bzw. 19 Eistage pro Jahr).



Entwicklung der Mitteltemperatur im Kalenderjahr (Jan-Dez)  
in Jena im Zeitraum 1881 bis 2020

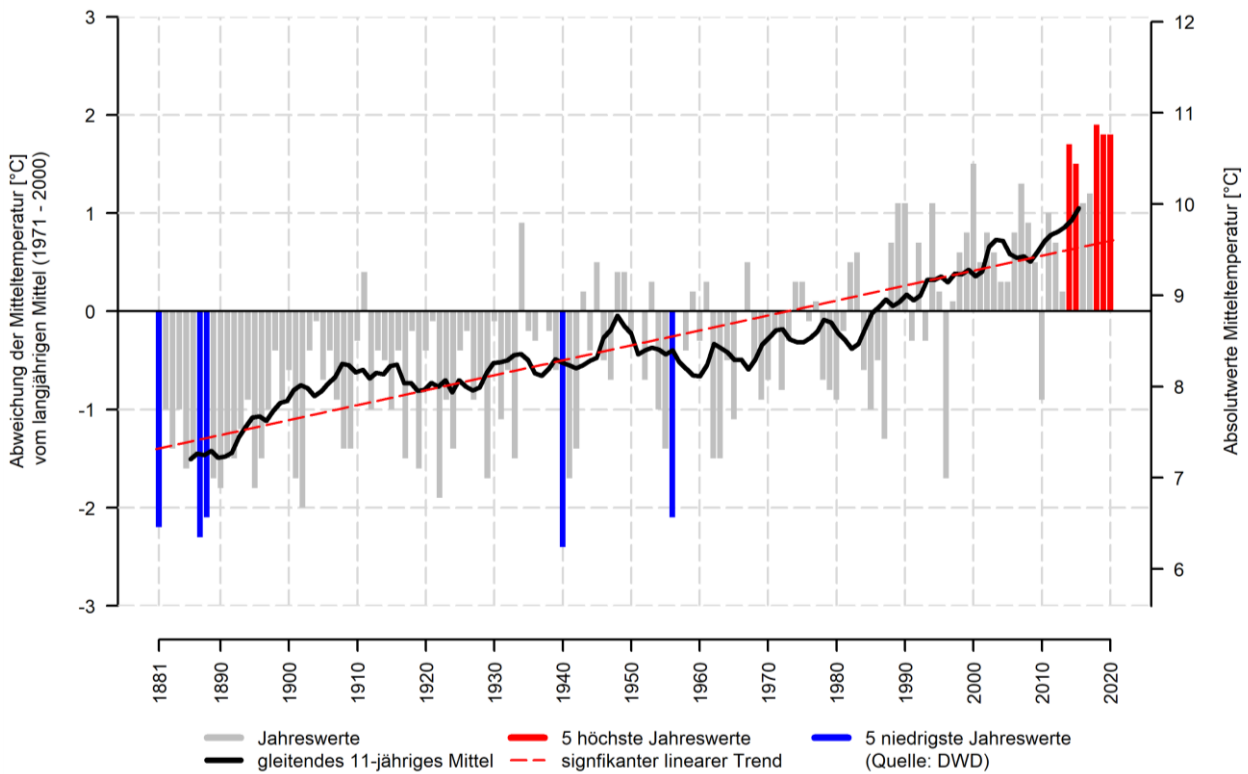


Abbildung 15: Langjährige Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Jena im Zeitraum von 1881 bis 2019 (Quelle: eigene Berechnung nach DWD 2020)

Windrichtungsverteilung 1/1975 - 12/2019  
Station: 1270 Erfurt-Weimar

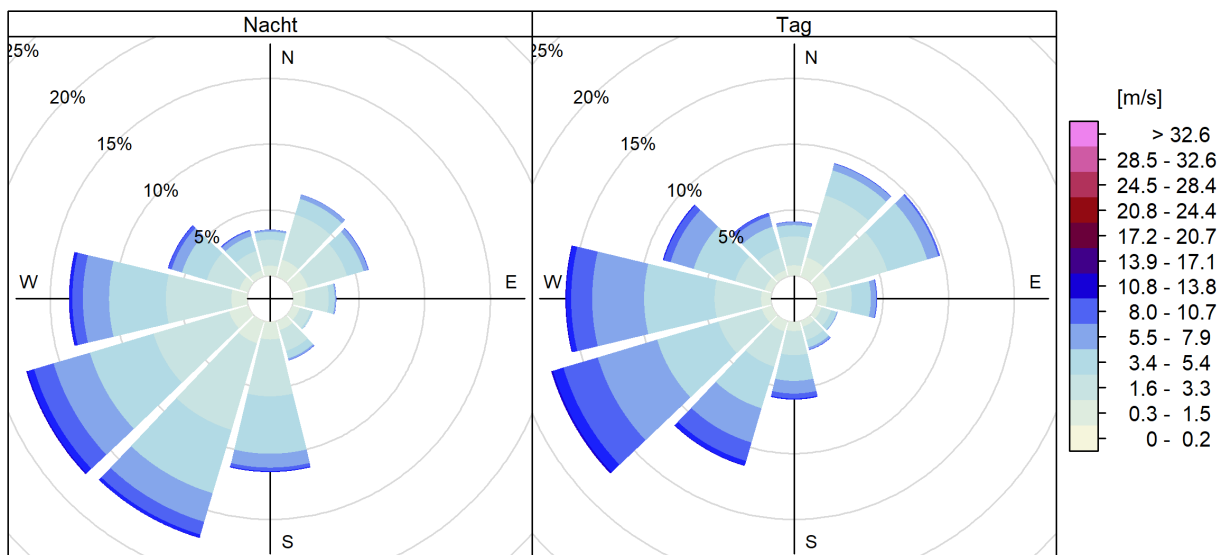


Abbildung 16: Windrichtungsverteilung in der Nacht (links) und am Tag (rechts) in Jena für den Zeitraum 1990 – 2019, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station 1270 Erfurt-Weimar (DWD)



### 4.3 AUTOCHTHONE WETTERLAGEN

Die Modellrechnungen innerhalb der vorliegenden Stadtklimaanalyse legen nach VDI 3787, Blatt 9 (VDI 3787, Blatt 9) einen autochthonen Sommertag (wolkenloser Himmel, nur sehr schwach überlagernder Wind) als meteorologische Rahmenbedingung für die Modellrechnung zugrunde.

langjährige mittlere monatliche Anzahl an autochthonen Nächten (32.3 pro Jahr)  
1990 - 2020, Station: 1270 - Erfurt-Weimar

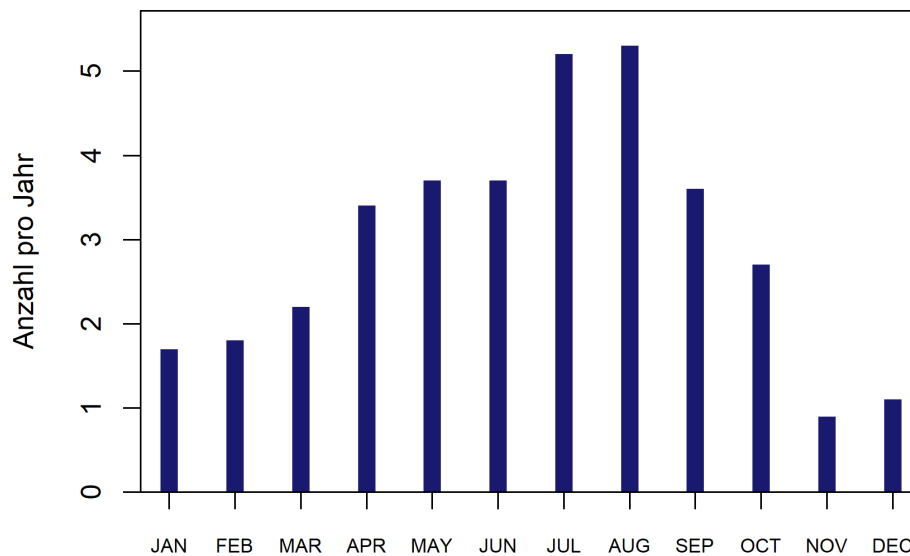


Abbildung 17: Langjährige mittlere monatliche Anzahl an windschwachen Strahlungsnächten in Jena (32 pro Jahr) für den Zeitraum 1990 - 2020, basierend auf der nächstgelegenen DWD-Station 1270 Erfurt-Weimar (DWD 2020)

Verbunden mit dieser autochthonen Wetterlage ist das Auftreten einer windschwachen Strahlungsnacht, in der die nächtliche Ausstrahlung aufgrund der fehlenden Bewölkung deutliche Temperaturunterschiede im Stadtgebiet erzeugt. Diese Situation bringt die höchsten thermischen Belastungen innerhalb der Stadt mit sich und die lokalklimatischen Besonderheiten in Jena prägen sich besonders gut aus. Das sind zum einen der Wärmeinseleffekt und die sich aus sich selbst entwickelnde Kaltluftdynamik, die durch keine überlagerte Strömung beeinflusst wird. Somit sind bei einer autochthonen Wetterlage die Kaltluftleitbahnen identifizierbar.

In Jena traten im langjährigen Mittel der letzten 30 Jahre rund **32 windschwache Strahlungsnächte pro Jahr** auf, wobei saisonale Unterschiede mit einer höheren Anzahl im Sommerhalbjahr zu verzeichnen sind (Abbildung 17). In den drei Sommermonaten Juni, Juli und August wurden im jährlichen Mittel knapp 14 windschwache Strahlungsnächte beobachtet, was einem **Anteil von 15 % in den Sommermonaten** entspricht – etwa jede siebente Sommernacht steht folglich unter autochthonen Bedingungen.

### 4.4 ZUKÜNFTIGE KLIMAVERÄNDERUNGEN

Alle drei Klimawandel-Szenarien (RCP-Szenarien) projizieren ein deutliches Ansteigen der **Jahresmitteltemperatur** in Jena bis zum Jahr 2100 (Tabelle 5). Dies gilt nicht nur für den in Abbildung 18 gezeigten Median des Modellensembles, vielmehr weisen sämtliche Modellkombinationen des Ensembles einen Anstieg der



jährlichen Mitteltemperaturen auf, sodass der Trend als äußerst robust einzuschätzen ist. Noch stärker als die Mitteltemperaturen steigen die Maximum- und insbesondere Minimumtemperaturen<sup>13</sup> (Tabelle 5).

**Der Temperaturanstieg fällt im RCP-Szenario 8.5 am stärksten aus.** Dabei tritt in allen drei Zukunftsperioden eine deutliche Zunahme auf, wobei die stärksten Zunahmen am Ende des Jahrhunderts zu verzeichnen sind. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab Mitte des Jahrhunderts eine Stagnation bei der Jahresmittel- und Maximumtemperatur erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

Tabelle 5: Langjährige Änderung der Temperatur in Jena in °C (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median).  
Quelle: Eigene Auswertungen aufgrund der Grundlage der EUROCORDEX-Daten.

Parameter	Szenario	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000								
		2021 bis 2050			2041 bis 2070			2071 bis 2100		
		P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85
Jahresmitteltemperatur [°C]	RCP 2.6	0,8	1	1,6	0,9	1,2	1,6	0,9	1,1	1,7
	RCP 4.5	0,8	1,2	1,7	1,1	1,7	2,4	1,5	2,1	2,7
	RCP 8.5	1,1	1,4	2	1,8	2,5	3,1	3	3,8	4,9
Minimumtemperatur [°C]	RCP 2.6	1,7	2	3,2	1,6	2,3	3,3	1,8	2,9	3,9
	RCP 4.5	2,1	3	4,5	1,4	4,2	6,7	3,5	4	6,3
	RCP 8.5	1,4	3,4	4,6	2,2	5	7,1	6,8	8,6	10,4
Maximumtemperatur [°C]	RCP 2.6	0,9	1,4	2,5	0,8	1,6	2,4	0,9	1,5	2,8
	RCP 4.5	1,1	1,6	2,7	1,3	1,7	3,3	1,8	2,4	3,8
	RCP 8.5	1,1	1,7	2,7	1,9	3	4,5	3,5	4,8	7

Zum Ende des Jahrhunderts nimmt die Unsicherheit und damit auch Variabilität der erwarteten Temperaturänderung zu, was durch den Möglichenbereich abgebildet wird (kleinster bis größter Wert in den Modellergebnissen in Abbildung 18). Der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Modellensembles. Ferner sei darauf hingewiesen, dass der in Abbildung 18 abgebildete, bereits vergangene Zeitraum ab 1971 durch **Modelldaten** und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert wird (dies gilt für alle Diagramme mit Zeitreihen von Modelldaten in diesem Kapitel).

<sup>13</sup> Minimum- bzw. Maximumtemperaturen beschreiben entweder den jährlichen oder 30-jährigen Mittelwert der täglichen Tiefst- bzw. Höchsttemperatur.

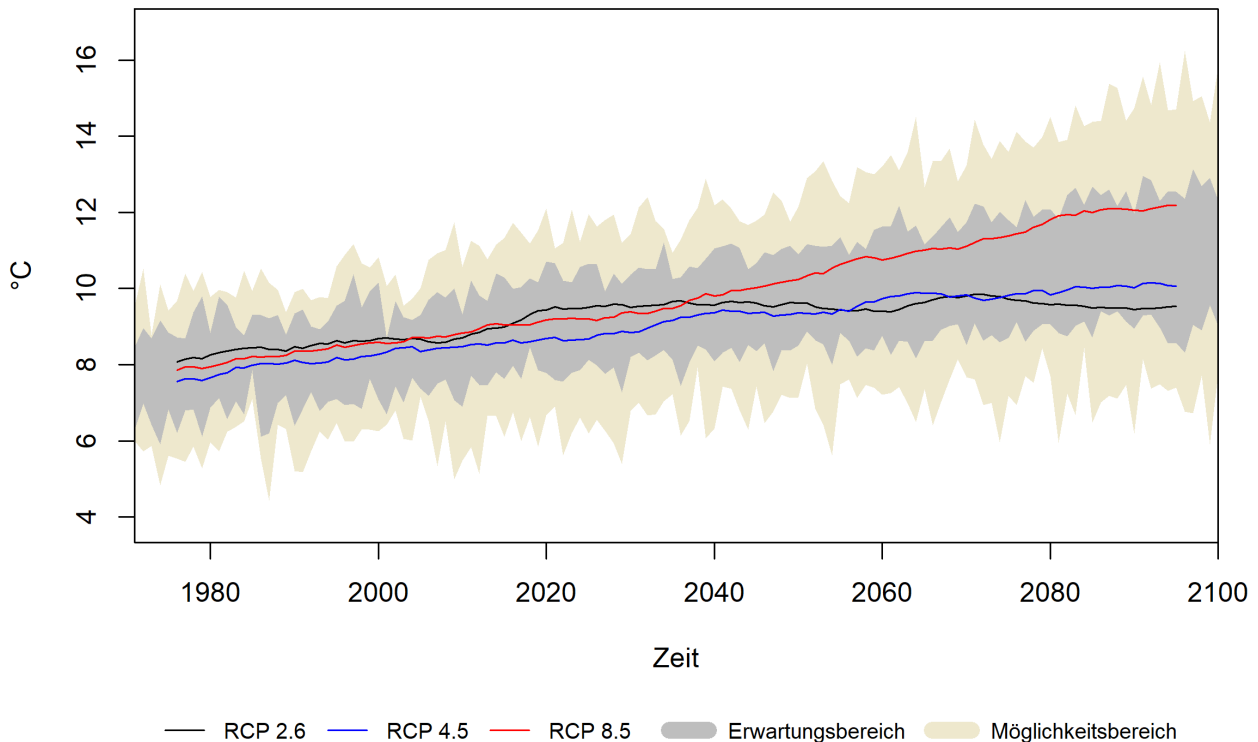


Abbildung 18: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Jena (alle RCP-Szenarien) basierend auf den EURO-CORDEX Daten.

Im Jahresgang ist ein Temperaturanstieg in allen Monaten erkennbar, jedoch treten im Sommer und Winter größere Temperaturänderungen auf als im Frühjahr und Herbst (Abbildung 19). Dieses Muster zeigen alle drei RCP-Szenarien (ohne Abbildung), wobei die Zunahmen im RCP 8.5 am höchsten ausfallen und sich generell zum Ende des Jahrhunderts verstärken (rote Balken).

Der projizierte Temperaturanstieg steht in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung thermischer Kenn-tage, die eine weitere Perspektive auf klimatische Änderungen zulassen. So nimmt die durchschnittliche jährliche Anzahl an **Sommertagen** und **Heißen Tagen** zukünftig deutlich zu (Tabelle 6). Bspw. ist im RCP 8.5 zum Ende des Jahrhunderts hin im Mittel mit ca. 29 Heißen Tagen pro Jahr zu rechnen, während diese in der Referenzperiode gar nicht auftraten (1971 – 2000).

**Tropennächte** treten in Jena derzeit relativ selten auf (im Mittel aller 3 Jahre eine Tropennacht). In der nahen Zukunft (2021 – 2050) werden die Tropennächte kaum zunehmen, wobei die statistische Signifikanz aufgrund des seltenen Auftretens eingeschränkt ist. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. In der fernen Zukunft (2071 bis 2100) werden v.a. für das RCP 8.5 „Weiter wie bisher“ ca. 4 Tropennächte pro Jahr in Jena prognostiziert. Es ist zu berücksichtigen, dass die Klimamodelle den Wärmeinseleffekt nicht erfassen, d.h. in innerstädtischen Bereichen eine höhere Anzahl an Tropennächten anzunehmen ist.

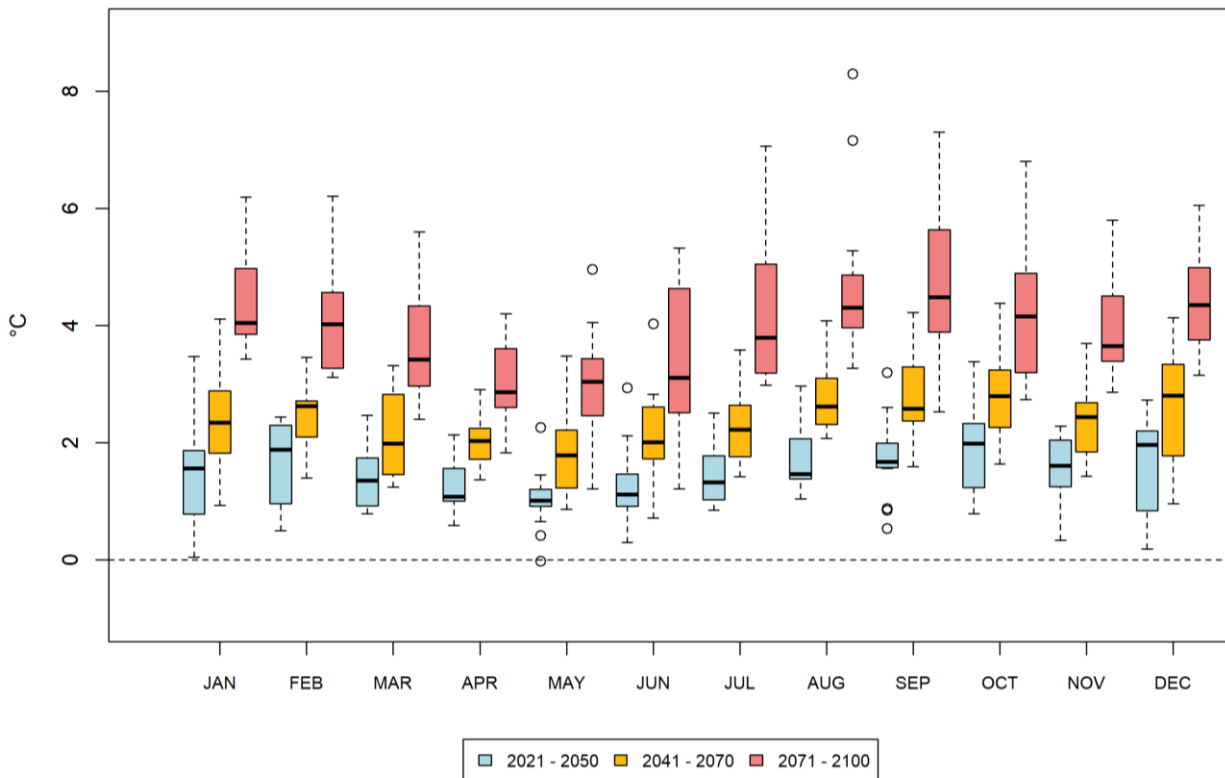


Abbildung 19: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Jena (RCP 8.5) basierend auf den EURO-CORDEX Daten.

Die **Zunahme der Heißen Tage** lässt auf eine künftig steigende Häufigkeit von **Hitzeperioden** und **Hitzewellen** schließen. Für Hitzeperioden gibt es keine eindeutige Definition. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. Wird eine Tageshöchsttemperatur von 30 °C verwendet und die Länge aufeinanderfolgender Tage betrachtet, die diesen Schwellenwert mindestens erreichen, zeigt sich, dass Hitzeperioden in Jena zukünftig länger andauern. Je nach Szenario erhöht sich die Länge von Hitzeperioden bis Ende des Jahrhunderts um 3 bis ca. 9 Tage Dauer.

Neben den auf die hohen Temperaturen abzielenden Kenntagen führt die eingangs beschriebene deutliche Zunahme der Minimumtemperaturen zu einer Abnahme an **Frost- und Eistagen**. In Jena werden im langjährigen Mittel 75 Frosttage bzw. 15 Eistage pro Jahr beobachtet (Referenzperiode 1971 – 2000). Gemäß des RCP-Szenarios 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts im Mittel jährlich nur noch 26 Frosttage bzw. 2 Eistage auftreten.

Dieser Trend lässt ein häufigeres Auftreten milderer Winter erwarten, die eine geringere Zahl an **Tagen mit Frost- und Tauwechseln** und eine verlängerte **Vegetationsperiode** nach sich ziehen.



Tabelle 6: Langjährige Änderung thermischer Kenntage in Jena (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median). Die Referenzperiode ist anhand der DWD-Messstellendaten 2444 Jena Sternwarte dargestellt. Die zukünftige Entwicklung ist mit den EURO-CORDEX-Daten in den drei Zukunftsperioden (kurz-, mittel-, langfristig) beschrieben.

Kenntag	Referenzperiode 1971 bis 2000	Szenario	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971 – 2000								
			2021 bis 2050			2041 bis 2070			2071 bis 2100		
			P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85
Tropennächte [n/Jahr] (Tmin ≥ 20°C)	0	RCP 2.6	0	0,1	0,4	0	0,1	0,4	0	0,1	0,3
		RCP 4.5	0	0	0,5	0,1	0,3	0,7	0,3	0,4	1,3
		RCP 8.5	0	0,2	0,4	0,2	0,7	2,3	1,3	3,5	7,2
Heiße Tage [n/Jahr] (Tmax ≥ 30°C)	10,5	RCP 2.6	3,9	4,9	11,1	3,6	4,4	10,8	4,9	6,4	11,2
		RCP 4.5	4,6	5,8	8,8	6,5	10,1	14	9	10	15,5
		RCP 8.5	5,2	6,4	13	10,2	11,7	22,8	21,8	28,6	43,3
Sommertage [n/Jahr] (Tmax ≥ 25°C)	50,5	RCP 2.6	9,4	13,3	22,1	11,8	13,9	21,8	9,7	13,6	17,7
		RCP 4.5	9,1	13,8	17,3	11,8	23	27	17,6	22,6	29,3
		RCP 8.5	11,9	14,3	19,3	18,9	30	36,8	41,3	46,5	62,5
Frosttage [n/Jahr] (Tmin < 0°C)	74,5	RCP 2.6	-24,7	-15,3	-12,9	-22,9	-19,9	-14,3	-23,2	-18,3	-13,4
		RCP 4.5	-28,3	-20	-16,1	-39,3	-27,3	-14,2	-39,4	-35,6	-24,9
		RCP 8.5	-28,5	-25,3	-19,6	-39,6	-36,9	-27,8	-57,3	-54,2	-49
Eistage [n/Jahr] (Tmax < 0°C)	14,5	RCP 2.6	-7	-5,4	-4,4	-6,8	-5,5	-4,5	-8,3	-6	-5
		RCP 4.5	-9,3	-6,8	-3,1	-12,4	-8,9	-2,2	-11,6	-8,9	-6,7
		RCP 8.5	-8,7	-8	-3,4	-12	-10,4	-5,8	-14,7	-13,5	-12,3
Hitzewelle [n/Jahr] (mindestens 3 aufeinanderfolgende Tage mit Tmax > langjähriger mittlerer Tmax Sommer)	0	RCP 2.6	0	0,2	0,6	0	0,2	0,5	0	0,4	0,6
		RCP 4.5	0,1	0,2	0,4	0	0,4	0,7	0,2	0,5	1,1
		RCP 8.5	0	0,3	0,5	0,2	0,7	1	0,7	1,5	2,5
Hitzeperiode [Länge/Jahr] (aufeinanderfolgende Tage mit Tmax ≥ 30°C)	3	RCP 2.6	0,6	1	4	0,4	1,5	3	1,2	1,6	3,3
		RCP 4.5	0,9	1,4	2,4	1,3	1,8	3,1	2,4	2,8	3,9
		RCP 8.5	1,1	1,6	3,2	2,3	3,5	4,7	4	7,2	8,8

# 5. Analysemethoden

## 5.1 NUMERISCHE MODELLIERUNG

### 5.1.1 DAS STADTKLIMAMODELL FITNAH-3D

Die Modellrechnungen für das vorliegende Projekt wurden mit dem etablierten hochaufgelösten Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt. Die Grundgleichungen von FITNAH sind in der Literatur beschrieben (Gross 2012b). Seit der Veröffentlichung zum Basismodell in den 1990er Jahren wurde FITNAH in einer Kooperation zwischen Prof. Günter Groß und der GEO-NET Umweltconsulting GmbH fortlaufend durch neue Funktionen, Module und Auswerteroutinen weiterentwickelt (Gross 1987; Gross 1989, 1992, 1993; Gross et al. 2002; Gross 2012a; Gross 2014, 2016; Gross 2017; Gross 2021a, 2021b).

Das Grundgerüst des dreidimensionalen Modells FITNAH besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen. Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird.

Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen in realem Gelände müssen neben der Orographie insbesondere auch der Einfluss von Wäldern und urbanen Strukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH besondere Parametrisierungen vorgesehen.

Ein Wald oder Baumbestand findet über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe oder Bestandsdichte Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren. Unter Berücksichtigung der stadtspezifischen Größen Gebäudehöhe, Versiegelungs- und Überbauungsgrad und anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden (Gross 1989).

Das gesamte Gleichungssystem einschließlich der Parametrisierungen wird in ein dem Gelände folgendes Koordinatensystem transformiert. Damit gelingt es insbesondere, die Randbedingungen der verschiedenen meteorologischen Größen am unteren Rand, dem Erdboden, problemspezifisch zu formulieren. Die Berechnung der Erdoberflächentemperatur erfolgt über eine Energiestrombilanz, bei der fühlbarer und latenter Wärmestrom, der Bodenwärmestrom, kurz- und langwellige Strahlungskomponenten sowie der anthropogene Wärmestrom Berücksichtigung finden.

Die Lösung der physikalischen Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Gitter. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl.7 definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern (05/2017).

Die Anwendungsbereiche von FITNAH reichen von teilstädtischen Analysen zu den klimaökologischen Auswirkungen von Stadtentwicklungsvorhaben über gesamtstädtische und regionale/kantonale Klimaanalysen



bis hin zu sehr großräumigen Anwendungen für ganze Bundesländer oder Staaten. Die horizontale Auflösung in einem regelmäßigen Gitter reicht dabei von 5 m bis 200 m. Die vertikale Gitterweite ist nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Relief und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Modellanwendungen mit FITNAH 3D benötigen **spezifische Eingangsdaten**, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Dabei müssen für jede Rasterzelle folgende Informationen in der jeweils gewählten Auflösung vorliegen:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung / Versiegelungsgrad
- Strukturhöhe

Grundsätzlich gilt dabei, dass je höher die horizontale räumliche Auflösung ist, desto mehr Details der Erdoberfläche können im Modell berücksichtigt werden und desto hochwertiger sind auch die Modellergebnisse. Den limitierenden Faktor stellt dabei nicht die Größe des zu untersuchenden Modellgebietes, sondern einzig die Rechenzeit dar. Die Wahl der „richtigen“ Modellauflösung muss also stets über eine Abwägung zwischen der zu erfüllenden Analyseaufgabe, den bereitgestellten zeitlichen und sonstigen Ressourcen sowie den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten erfolgen.

Tabelle 7: In FITNAH implementierte Landnutzungsklassen bei einer horizontalen Modellauflösung von 5-10 m

Nutzungsklasse	Beschreibung	Strukturhöhe [m]
20	Gebäude	individuell
22	unbebaut versiegelt	0
14	Gewässer	0
7	Gleis	0
9	niedrige Vegetation	0,5
24	Baum über Versiegelung	individuell
25	Baum über Rasen	individuell
23	niedrige Vegetation auf naturfernem Boden*	0,5
27	Sand, Geröll	0
* naturferne Böden sind anthropogen stark überprägte, aber unbebaute städtische Oberflächen		

Für die Analysen im vorliegenden Projekt wurde eine **horizontale Modellauflösung von 10 m** gewählt, das entspricht für das gewählte Modellgebiet Jena und angrenzendes Umland rd. **4,5 Mio. Rasterzellen**. Entsprechend große Gebäude- und Grünstrukturen werden dabei explizit aufgelöst. Es handelt sich demzufolge um



einen Modellansatz am Übergangsbereich von der Meso- zur Mikroskala. Mit dieser Auflösung lassen sich alle für gesamtstädtische und quartiersbezogene Fragestellungen relevanten Aussagen ableiten.

Mit Blick auf die benötigten Eingangsdaten besteht bei der gewählten hohen Auflösung erfahrungsgemäß die größte Herausforderung in der Erzeugung des Landnutzungsrasters und der Zuweisung einer individuellen Höheninformation (siehe Tabelle 7). Das Raster sollte die reale Hauptnutzung innerhalb einer 100 m<sup>2</sup> (10 x 10m) großen Rasterzelle hinreichend gut abbilden. Im Modell können dabei die in Tabelle 7 aufgelisteten **Realnutzungsklassen** unterschieden werden. Für Bäume besteht die Besonderheit, dass ihnen zusätzlich noch ein Attribut für den Untergrund, auf dem sie stehen, zugewiesen wird. Auf diese Weise können beispielsweise die Wirkungen von Parkbäumen über Rasenflächen von Effekten unterschieden werden, die sich unter Alleen im Straßenraum ergeben. Jede Nutzungsklasse ist im Modell mit diversen Eigenschaften (u.a. Rauigkeit, Wärmeleitfähigkeit) verbunden, auf deren Basis die notwendigen physikalischen Gleichungen gelöst werden.

Abbildung 20 zeigt zur Schaffung eines grundsätzlichen Modellverständnisses typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen ausgewählter Nutzungsklassen während hochsommerlicher Strahlungswetterlagen, die in klimaökologischen Analysen dem Stand der Technik entsprechend regelmäßig als meteorologische Randbedingung verwendet werden. Alle drei ausgewählten Nutzungsklassen zeigen grundsätzliche ähnliche Kurvenverläufe mit Minima in den (frühen) Nachtstunden sowie Maxima um den Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes (modelliert wurde hier der 21.06.). Die höchsten Oberflächentemperaturen treten im Tagesgang durchgängig an unbebaut versiegelten Oberflächen auf. Sie haben die größte Wärmespeicherkapazität der ausgewählten Strukturen. Die geringsten Oberflächentemperaturen in der Nacht werden für die niedrige Vegetation um 04:00 morgens – also kurz vor Sonnenaufgang – modelliert. Hier zeigt sich die Wirkung einer ungehinderten nächtlichen Ausstrahlung bei wolkenlosem Himmel. Tagsüber zeigen sich die niedrigsten Temperaturen an den Bodenoberflächen unter dem Baum. Die relative Temperaturabsenkung ist insbesondere auf die verschattende Wirkung des Baumes sowie die Verdunstungskühlung zurückzuführen. Nachts reduziert die Baumkrone allerdings die Ausstrahlung und damit die Abkühlung der Oberfläche, so dass die Temperatur mehrere Kelvin über denen der ebenerdig grünen Freifläche und nur wenige Kelvin unter der unbebaut versiegelten Oberfläche liegt. Diese idealtypischen Muster werden im gesamtstädtischen Kontext durch komplexe lokalklimatische Effekte (nachbarschaftliche Wirkungen, horizontale und vertikale Strömungsprozesse) überprägt und können sich somit im konkreten räumlichen Fall auch (ganz) anders darstellen. Dennoch sind die skizzierten Phänomene grundlegend für das Verständnis des Modells und seiner Ergebnisse.

Analog gilt dies auch mit Blick auf die stadtklimatischen Auswirkungen von verschiedenen Bodenfeuchten. Diese stellen sich in der Realität über längere Zeiträume ein, reagieren also ähnlich wie größere Wasserkörper deutlich träger auf Änderungen der meteorologischen Bedingungen als dies für die Lufttemperatur gilt. In Trockenzeiten sinkt die Bodenfeuchte je nach Ausgangsniveau also erst im Verlauf mehrerer Tage oder Wochen unter den Welkepunkt des Stadtgrüns ab, während sich spürbare Änderungen der Lufttemperatur innerhalb von Stunden ergeben. Daraus folgt, dass die Bodenfeuchte in einem modellierten Tagesgang nicht explizit berechnet werden kann, sondern vorgegeben werden muss. Standardmäßig liegt die Bodenfeuchte deutlich über dem Welkepunkt, so dass den Pflanzen ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Es wird also eine Situation vorgegeben, in der die Stadtvegetation weitgehend optimal verdunsten kann. Dies führt tagsüber dazu, dass die kurzweilige Einstrahlung zu einem Teil nicht in fühlbare Wärme (vereinfacht ausgedrückt also in eine Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur) umgewandelt wird, sondern für die Verdunstung aufgewendet wird und sich damit als latenter Energiefluss nicht temperaturerhöhend auswirkt. Wie Abbildung 21 am Beispiel eines idealisierten Tagesganges u.a. der bodennahen Lufttemperatur zeigt, führt diese



Verdunstungskühlung tagsüber über einem mit rasenbewachsenen Boden zu einer Reduktion von 1-2 K gegenüber einem ausgetrockneten Boden (Bodenfeuchte unter dem Welkepunkt) mit demselben Bewuchs. Nach Sonnenuntergang dreht sich dieser Effekt in deutlich abgeschwächter Form allmählich um. Der feuchte Boden verfügt gegenüber seinem trockenen Pendant über eine höhere Wärmespeicherkapazität und ist nachts folglich geringfügig (ca. 0,5 K) wärmer. Die Abbildung macht aber auch deutlich, dass die Unterschiede zwischen einem trockenem und einem feuchten Boden mit demselben Bewuchs bei Weitem nicht so groß sind, wie die Unterschiede der beiden Bodenfeuchtevarianten zu asphaltierten Flächen. Hier ergeben sich im Maximum 6-7 K. Die Kurve bleibt im gesamten Tagesgang über denen der grasbewachsenen Flächen.

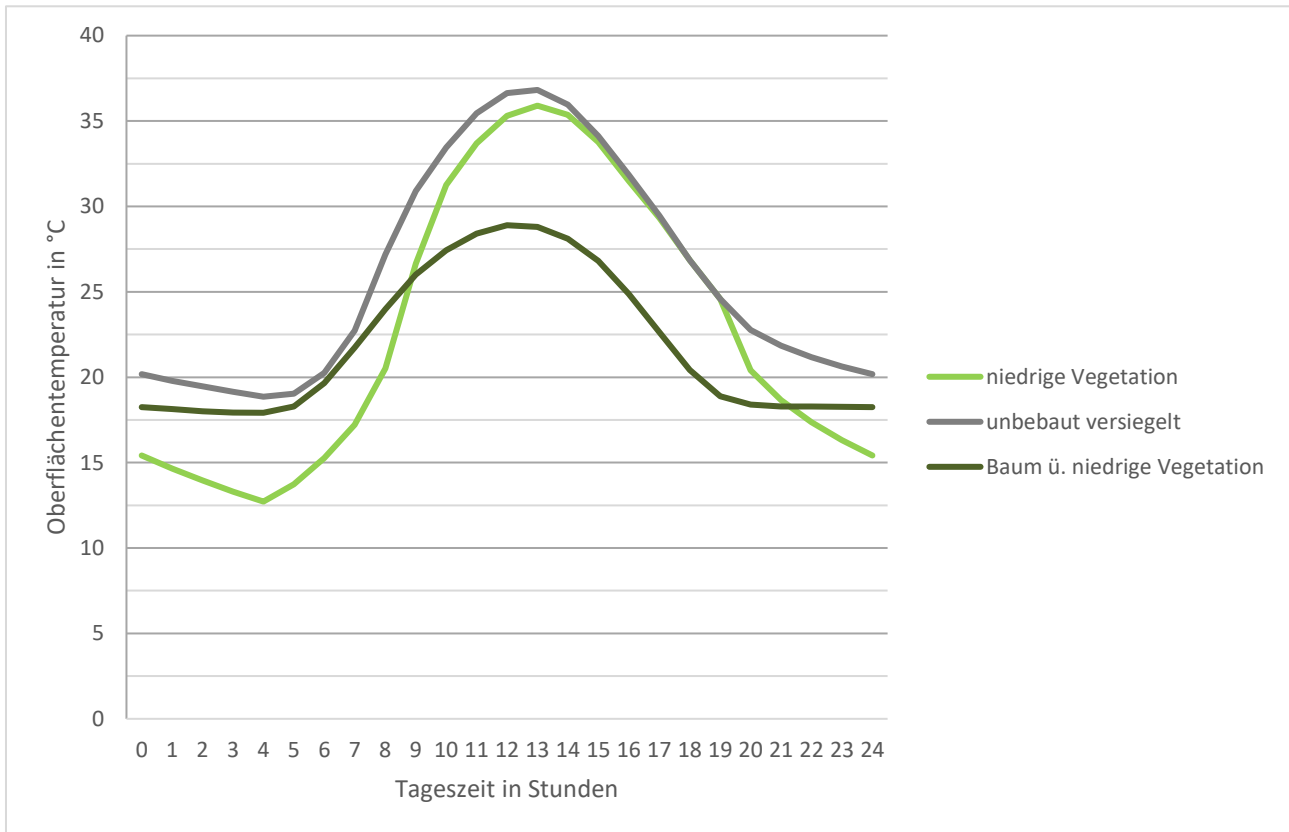


Abbildung 20: Typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen für ausgewählte Nutzungsklassen von FITNAH-3D

In der Realität hat also eine Entsiegelung eine deutlich stärkere Wirkung auf die thermische Komponente als eine Erhöhung der Bodenfeuchte (z.B. durch Bewässerung). Die skizzierten Zusammenhänge und Prozesse spielen im Modell insbesondere für niedrige Vegetation und offenen Boden eine bedeutsame Rolle. Für Bäume bzw. Baumgruppen sind die Effekte der Verdunstungskühlung insbesondere im bodennahen Temperaturfeld (Stammraum) deutlich geringer. Hier führen vorrangig Verschattungseffekte bzw. eine Reduktion der kurzwelligen Einstrahlung zu geringeren gefühlten Temperaturen im Vergleich zu nicht verschatteten Räumen.

Ähnlich wie für die Bodenfeuchte gilt auch für das vertikale Stadtgrün, dass deren Vitalität sich über längere Zeiträume entwickelt und die klimatisch-meteorologischen Aspekte hier zudem lediglich einen Teil des Gesamtwirkungskomplexes darstellt. Insofern muss im Modell – zumeist im Rahmen von Szenarienbetrachtungen oder Sensitivitätsstudien – vorgegeben werden, was mit dem Bestandsgrün im Falle einer Trockenperiode bzw. einer sich klimawandelbedingt verstärkenden Sommertrockenheit passieren soll.

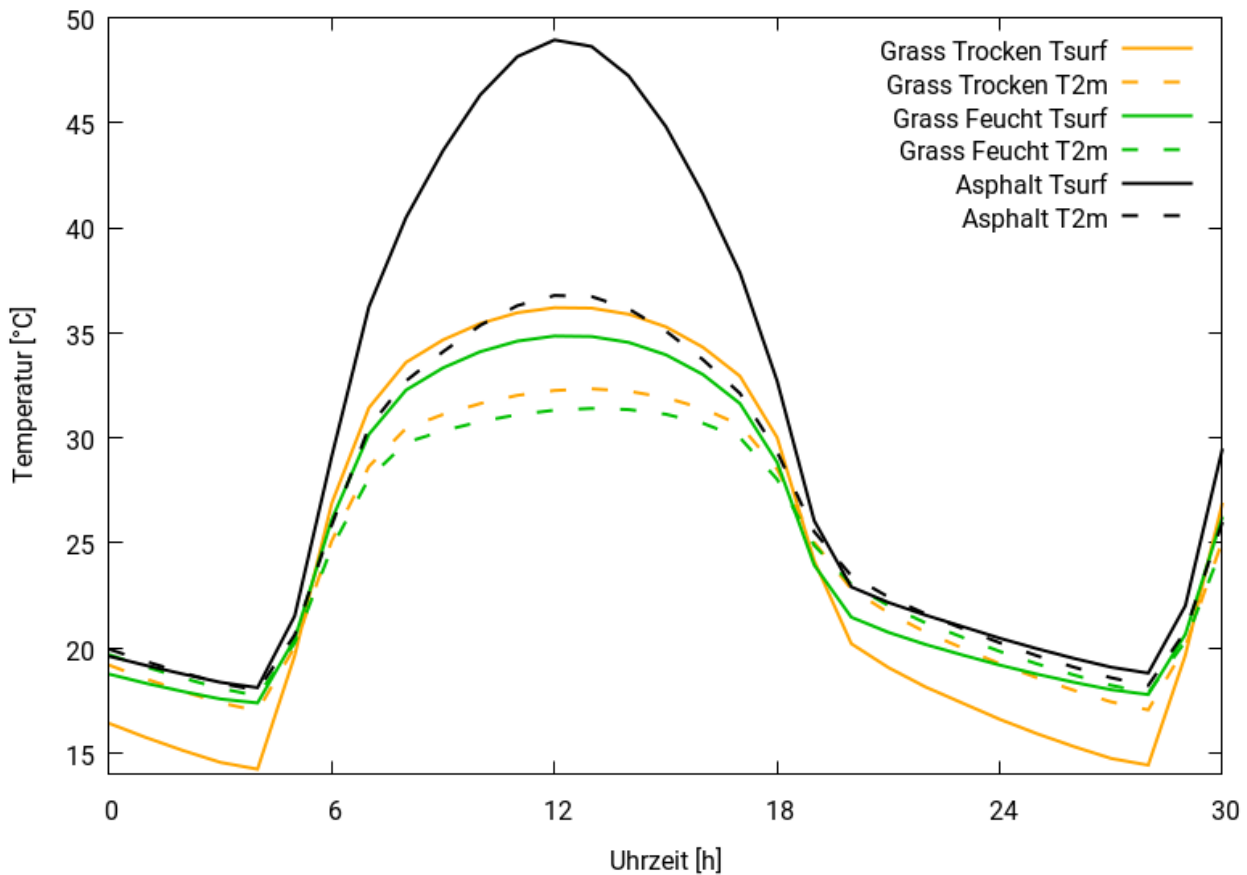


Abbildung 21: Idealisierter Tagesgang der Oberflächentemperatur sowie der bodennahen Lufttemperatur über Asphalt sowie über einem feuchten und einem trockenen grasbewachsenen Boden während eines hochsommerlichen Strahlungstages. Tsurf = Oberflächentemperatur, T2m = Lufttemperatur in 2m ü. Gr.

### 5.1.2 SZENARIENENTWICKLUNG

#### FACHLICHE GRUNDLAGEN

Da im Rahmen des Stadtklimakonzeptes für die Stadt Jena nicht nur die gegenwärtige Situation abgebildet werden soll, müssen für die Zukunftsszenarien klimatische sowie die Stadtstruktur betreffende Rahmenbedingungen erarbeitet werden.

Das Grundgerüst des analytischen Vorgehens im Projekt bildet die Delta-Methode. Die Delta-Methode ist ein von GEO-NET entwickeltes ebenenunabhängiges Methodenpaket zur szenarienbasierten Berücksichtigung der Zukunftsperspektive in modellgestützten stadt- und regionalklimatischen Analysen mit dem numerischen Modell FITNAH-3D. Einsatzbereich ist die Unterstützung formeller und informeller raumkonkreter Planungs- und Entscheidungsprozesse zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld urbaner Hitzevorsorge / urbanem Kaltlufthaushalt auf Landes-/Regionalebene sowie auf gesamt- und teilstädtischer Ebene.

Im analytischen Kern basiert die Delta-Methode auf einem Vergleich zwischen der gegenwärtigen stadt-/regionalklimatischen Referenzsituation und einem individuellen Set an Vergleichsszenarien der zukünftigen Situation. Dabei stehen vor allem **Belastungsschwerpunkte im Wirkraum** und die **Bedeutung des Kaltluftprozessgeschehens im Ausgleichsraum** im Fokus. Über diesen Analyseansatz hinaus ist auch die planerische Inwertsetzung der Erkenntnisse z.B. im Rahmen einer Planungshinweiskarte (siehe LfU Bayern 2020 oder Stadt Bielefeld 2019) oder eines Masterplans Stadtklimawandel (siehe Stadt Karlsruhe 2015, Stadt Freiburg 2018 oder Stadt Zürich 2020) erweiterter Bestandteil des Methodenpaketes.



Neben eigenentwickelten – und ggf. projektindividuellen – Analyse- und Auswerteroutinen werden im Rahmen der Delta-Methode auch bereits in der Planungspraxis/-theorie bzw. der Umweltmeteorologie etablierte Methoden eingesetzt. Hierzu gehören diskursorientierte Ansätze wie die Szenariotechnik (Fürst und Scholles 2008) ebenso wie mathematisch-statistische Bewertungsverfahren (z.B. die z-Transformation), die in verschiedenen umweltmeteorologischen Richtlinien beschrieben sind (VDI 3787, Blatt 1; VDI 3785, Blatt 1).

Gegenwärtig können mithilfe des Methodenpakets folgende für die urbane Hitzevorsorge zentrale Themenkomplexe ebenen-/ maßstabsunabhängig modelltechnisch abgebildet werden:

- Modul 1: Auswirkungen des Klimawandels (allmähliche Temperaturzunahme sowie reduzierte Bodenfeuchten aufgrund zunehmender Trockenheit)
- Modul 2: Auswirkungen von Flächennutzungsänderungen (Stadtentwicklung, Stadtsanierung, Verkehrs-/ Grünflächenplanung, Waldumbau)
- Modul 3: Auswirkungen von gebäude- und boden-/ flächenbezogenen Anpassungsmaßnahmen

Die Module können je nach spezifischer Fragestellung und zur Verfügung stehender Grundlagen für die Modellierungen individuell zusammengestellt werden. **Im vorliegenden Stadtklimakonzept wurden zwei Szenarien modelliert.** Die erste Zukunft (P1) ist Bestandteil des Moduls 1, die zweite Zukunft (P2) beinhaltet eine Kombination aus Modul 1 und 2. Das Modul 3 kam in Jena nicht zur Anwendung – das heißt, es wurden im Rahmen des Stadtklimakonzepts keine Klimaanpassungsmaßnahmen modelliert.

Ausgangspunkt der Deltamethode ist stets die Szenarientwicklung mithilfe der Szenariotechnik. Ziel ist, mögliche Entwicklungen in der näheren und/ oder fernerer Zukunft zu projizieren, zu analysieren und zusammenhängend darzustellen. Beschrieben werden dabei alternative zukünftige Situationen. Szenarien beschreiben hypothetische Folgen von Ereignissen, um auf kausale Prozesse und Entscheidungsmomente in der Zukunft aufmerksam zu machen, ohne dabei davon auszugehen, dass diese Szenarien tatsächlich real werden. Eine Hauptfunktion von Szenarien ist es, auf Alternativen und Varianten von Entwicklungen aufmerksam

zu machen, um ggf. gegensteuern zu können (Wilms 2006; Kosow und Gaßner 2008). Es gibt unterschiedliche Ansätze der Szenarientwicklung, im Projekt kommt die vorausschauende (forecasting) Szenariemethodik zum Tragen.

Die Entwicklung dieser Szenarien stellt – insbesondere mit Blick auf die räumliche Komponente – eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Die Komplexität der Grundgesamtheit aller denkbaren Szenarien potenziert sich bei der notwendigen Zusammenführung der Einzelfaktoren Klimawandel – Stadtentwicklung – Anpassungsmaßnahmen in einem **Szenariotrichter** mit vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten (siehe Abbildung 22). In der angewandten Klimafolgenanpassung – und insbesondere beim Einsatz von sog. Wirkmodellen – hat sich zur

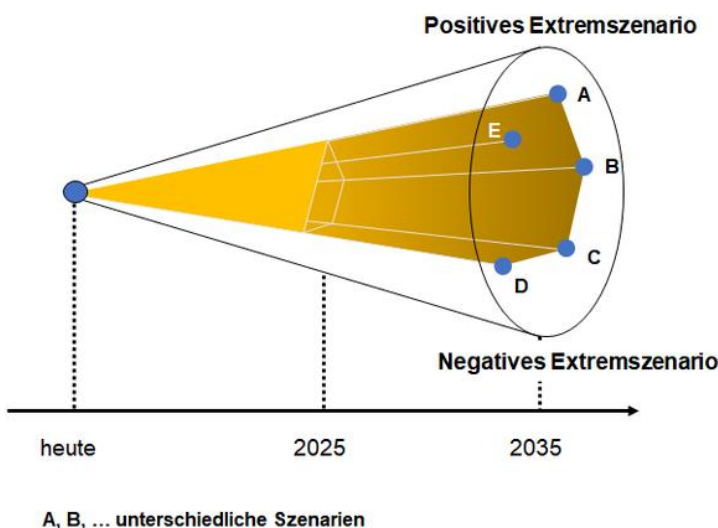


Abbildung 22: Der Szenariotrichter. Quelle: www.business-wissen.de



Reduktion dieser enormen Herausforderung die **Fokussierung auf die Analyse von Extremszenarien** etabliert. Dabei wird nicht die Gesamtheit aller denkbaren Zukünfte betrachtet, sondern eine Auswahl vorgenommen. Es werden die Szenarien gewählt, die den Analysezielen entsprechend Aussagen liefern. Dies sind oftmals besonders herausfordernde oder eine große Bandbreite aufweisende Szenarien, um mögliche Entwicklungspfade aufzuzeigen.

**UMSETZUNG FÜR JENA**

Im Stadtklimaprojekt Jena wurden neben der Referenzsituation (Ist-Situation) **zwei weitere Zukunftsszenarien** erarbeitet und festgelegt. Grund für dieses Vorgehen war das Erfordernis, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels von den Auswirkungen der zukünftigen baulichen Entwicklung separat darzustellen und schließlich zu bewerten. Im Rahmen der Fortschreibung des Flächennutzungsplanes der Stadt Jena ist für die Entwicklungsflächen eine Umweltprüfung durchzuführen. Dabei sind die erheblichen stadtklimatischen Auswirkungen sowie die konkreten Auswirkungen auf die Fläche selbst (Schutzgut Klima/Luft) zu bewerten, welche infolge der geplanten baulichen Entwicklung zu erwarten sind. Um die Auswirkungen der geplanten baulichen Entwicklungen von den Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels zu separieren, wurde für die Modellrechnungen der Zukunft ein Klimawandelsignal festgelegt, welches einmal mit und einmal ohne Stadtentwicklung die Zukunft in zwei Szenarien abbildet. Tabelle 8 fasst die wichtigsten Merkmale der Szenarien zusammen.

Tabelle 8: Im Projekt entwickelte Szenarien und ihre zentralen Merkmale.

Szenario	Zentrale Merkmale
<b>Referenzsituation</b> (Ist-Situation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heutiges Klima</li> <li>- <b>Heutige Stadtstruktur</b> (Inhalte verbindlicher Bauleitplanungen und aktuell laufende Entwicklungsvorhaben wurden integriert, Stand Juli 2021)</li> </ul>
<b>Szenario 1</b> Klimawandel (P1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Starkes Klimasignal</b> (aus RCP 8.5) mit einer Temperaturerhöhung um 2 K (entspricht dem 85. Perzentil des über die EuroCordex-Initiative bereit gestellten Ensembles) bis 2035</li> <li>- Flächendeckende <b>Reduzierung der Bodenfeuchte</b> für niedrige Vegetation unter den Welkepunkt („fehlende Verdunstungskühlung“), aber kein Ausfall von Bäumen (zunehmende Sommertrockenheit)</li> <li>- <u>keine</u> zusätzliche Stadtentwicklung</li> <li>- <u>keine</u> Anpassungsmaßnahmen</li> </ul>
<b>Szenario 2</b> Klimawandel und Stadtentwicklung (P2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Starkes Klimasignal</b> (aus RCP 8.5) mit einer Temperaturerhöhung um 2 K (entspricht dem 85. Perzentil des über die EuroCordex-Initiative bereit gestellten Ensembles) bis 2035</li> <li>- Flächendeckende <b>Reduzierung der Bodenfeuchte</b> für niedrige Vegetation unter den Welkepunkt („fehlende Verdunstungskühlung“), aber kein Ausfall von Bäumen (zunehmende Sommertrockenheit)</li> <li>- <b>Stadtentwicklung mit Entwicklungsflächen</b> (Zeitpunkt der Erfassung: Juli 2021)</li> <li>- <u>keine</u> Anpassungsmaßnahmen</li> </ul>

Die **Referenzsituation** (Synonyme: **Ist-Situation**, Referenzszenario, Status Quo) spiegelt die gegenwärtige Situation in Jena wider (Stand 2021 als Zeitpunkt der Datenerfassung). Sie wurde anhand der vorhandenen verfügbaren Geodaten (siehe folgendes Kapitel 5.1.4) erarbeitet. Mit dem Ziel einer möglichst hohen Aktualität wurden darüber hinaus rechtsverbindliche Bebauungspläne sowie in der Umsetzung befindliche bzw. zeitnah umzusetzende Bauprojekte in das Rechenmodell der Ist-Situation integriert. Da sich diese städtebaulichen Planungen und Bauvorhaben jedoch noch nicht in den Geodaten wiederfinden, wurden sie individuell – basierend auf dem jeweils vorhandenen Planstand im Juli 2021 – ergänzt.



Grundlage für die Modellierung der **Wohnbauflächen** bildet die „Wohnbauflächenkonzeption Jena 2035“. Die darin befindlichen A-Flächen, welche bereits planungsrechtlich gesichert und/ oder auch bereits zu großen Teilen bebaut sind, wurden für die Referenzsituation übernommen. Für diese Flächen ist gemäß Konzeption eine kurzfristige Umsetzung bis 2025 vorgesehen. Darüber hinaus wurden einzelne B-Flächen aus der „Wohnbauflächenkonzeption Jena 2035“ in die Referenzsituation implementiert. Für diese Flächen bestand zum Zeitpunkt der Datenerfassung noch kein verbindliches Baurecht, aber die B-Planverfahren waren bereits begonnen und in der Regel so weit fortgeschritten, dass ein ausreichend verdichteter Planungsstand vorlag und eine zeitnahe Umsetzung erwartet wurde.

Analog erfolgte das Vorgehen für die geplanten **Gewerbeflächen**. Hier wurde das „Arbeitsplatz- und Gewerbeflächenentwicklungskonzept für die Stadt Jena 2035“ als Grundlage herangezogen. Freie Flächenpotenziale innerhalb gewerblicher Bestands- und Entwicklungsflächen wurden i.d.R. über den Mischpixelansatz in die Referenzsituation integriert. Dabei erfolgte eine Orientierung an der umliegenden gewerblich genutzten Bestandsstruktur. Teilweise wurden auch konkrete bauliche bzw. städtebauliche Planungen in das Modell der Ist-Situation aufgenommen. Hier ist insbesondere das Neubaufvorhaben „ZEISS Hightech Standort Jena“ zu nennen.

Neben den Wohn- und Gewerbeflächen wurden auch Flächen und Projekte für den **Gemeinbedarf** sowie **Sonderbauflächen für Forschung und Lehre** in die Referenzsituation eingebunden. Dazu zählen Bauvorhaben wie die neue Schwimmhalle und der Jugendclub „Treff“ in Lobeda oder der Bibliotheksneubau, welche mittlerweile umgesetzt sind, aber auch die aktuell im Bau befindlichen Projekte wie der Campus Inselplatz oder der Umbau des Ernst-Abbe-Sportfeldes.

Es wurden folglich eine Reihe von Flächen bzw. Bauvorhaben mit bestehendem Baurecht bzw. fortgeschrittenem B-Plan-Verfahren in der Ist-Situation (als Bestand) mit einem vorliegenden städtebaulichen Konzept, einer Planzeichnung zum B-Plan oder über einen Mischpixelansatz (siehe Kapitel 5.1.3) modelliert (siehe auch Karte in Abbildung 24). Eine Übersicht dieser Flächen, deren geplante Nutzung sowie den verwendeten Modellansatz zeigt Tabelle 9.

Das **Szenario 1 – Klimawandel ohne Stadtentwicklung** (Synonym: **P1**) beinhaltet dieselbe Stadtstruktur wie die Referenzsituation, nur liegt ihm ein **starkes Klimawandelsignal** zugrunde, was die Entwicklung des RCP 8.5-Pfades für eine **nahe Zukunft bis 2035** (Zukunftsperiode 2021 bis 2050) annimmt. Hierzu wurden die Regionalklimadaten der EURO-CORDEX Gruppe für Jena ausgewertet (siehe Kapitel 4.4). Die Auswertung wurde dahingehend verfeinert, dass speziell die Sommermonate Juni, Juli und August für die Änderung der mittleren Temperatur zugrunde gelegt wurden (siehe Tabelle 10). Die Wahl fiel in Abstimmung mit der PAG auf das RCP 8.5, welches auch als „**Weiter-wie-bisher-Szenario**“ bezeichnet wird und mit Blick auf den zuvor genannten Szenariotrichter (Abbildung 22) einem **negativen Extremszenario** entspricht. Für das Szenario kommt eine **Temperaturerhöhung** im 85. Perzentil<sup>14</sup> von **+2 Kelvin** in Vergleich zur Referenzsituation zum Tragen. Das 85. Perzentil wurde statt dem Median ausgewählt, um das obere Ende der möglichen Entwicklung abzubilden. Weiterhin wurde eine **Trockenheit für die Grün- und Freiflächen** unter dem Welkepunkt angenommen, mit der Folge, dass diese Flächen keine Verdunstungskühle am Tag mehr erzeugen. Bäume sind davon ausgenommen. Die Trockenheit ist nur in den Tagergebnissen sichtbar.

---

<sup>14</sup> Ein Perzentil ist eine statistische Größe, die die Position/Lage eines Wertes in der Grundgesamtheit beschreibt. Das 85. Perzentil bedeutet, dass 85 % der errechneten Temperaturwerte unter dem Wert von 2K liegen. 15 % der Temperaturwerte liegen darüber.



Tabelle 9: B-Pläne bzw. geplante Bauvorhaben, die in der Ist-Situation der Klimaanalyse Jena berücksichtigt wurden

Bezeichnung B-Plan bzw. Bauvorhaben	Nutzung	Modellansatz
<b>Wohnbauflächen</b>		
A4 Zwätzen/ B-Zw 01.1 „Wohngebiet Leibnizstraße Südteil“	Wohnen	Planzeichnung zum B-Plan
A5 Lößstedt/ B-Lb 03.1 "Camburger Straße, Teil 1"	Wohnen	Planzeichnung zum B-Plan
A7 Wenigenjena/ B-Wj 05.C "Fuchslöcher 2. BA"	Wohnen	städtebauliches Konzept
A26 Zwätzen/ B-Zw 05 "Wohngebiet beim Mönchenberge"	Wohnen	städtebauliches Konzept
A27 Zwätzen/ B-Zw 06 "Am Oelste"	Wohnen	städtebauliches Konzept
A29 Burgau/ B-Bu 06 "Altes Gut"	Wohnen	städtebauliches Konzept
B13 Wenigenjena/ B-Wj 18 "Nördlich Karl-Liebknecht-Straße"	Wohnen	Vorhaben- und Erschließungsplan
B15 VBB-J 40 „Wohnen am alten Weinberg“	Wohnen	Planzeichnung zum B-Plan, V-/E-Plan
B17 VBB-J 41 „Quartier 22“	Wohnen	Konzeptstudie
C7 Jena-Zentrum/ B-J 12 "Eichplatz" (Baufeld A)	Wohnen	städtebauliches Konzept
C8 Lobeda-West/ VBB-Lo 14 "Theobald-Renner-Straße"	Wohnen	städtebauliches Konzept
E5 B-Wj 03/ B-Wj 03.1 „Hausbergviertel“	Wohnen	städtebauliches Konzept
<b>Gewerbeflächen</b>		
A1 Zwätzen-Ost	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A2 Camburger Straße, Teil II	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A4 Mittlerer Spitzweidenweg	Gewerbe	Mischpixelansatz
A5 Am Felsenkeller	Gewerbe	Planzeichnung
A7 Jena 21	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A8 Lobeda Süd LS 1 + 2	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A10 Lobeda Süd JenA4 LS 3	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A11 Isserstedt II	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A12 Maua Süd-West	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A13 Maua Süd	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
A15 Jenaer Antriebstechnik	Gewerbe	Planzeichnung
B2 Tatzendpromenade/ Zeiss (ehemalige Bahnflächen)	Gewerbe	Planzeichnung
B44 VBB-J 43 „Neue Carl-Zeiss-Promenade“	Gewerbe	städtebauliches Konzept / Hochbaukonzept
G3 Saalepark II	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
G4 Saalepark I	Gewerbe	Mischpixelansatz für unbebaute Flächen
<b>Gemeinbedarfsflächen</b>		
Neubau Bibliothek und Bürgerzentrum	Gemeinbedarf	bauliches Konzept
Kita am Jenzigweg (B-Wj 13 „Schulstandort Jenzigweg“)	Gemeinbedarf	Mischpixelansatz
Kita Lutherstraße plus Wohnen	Gemeinbedarf	städtebauliches Konzept
Jugendzentrum „Treffpunkt“, Karl-Marx-Allee	Gemeinbedarf	bauliches Konzept
Neubau Schwimmhalle, Karl-Marx-Allee	Gemeinbedarf	bauliches Konzept
B-Wj 16 „Umbau Ernst-Abbe-Fußballarena“	Gemeinbedarf	Planzeichnung, bauliches Konzept
<b>Sonderbauflächen</b>		
SO3 Winzerlaer Straße, B-Am 01.1 „In den Fichtlerswiesen“	Forschung	städtebauliches Konzept
SO4 B-J 03 „Campus Inselplatz“	Forschung	städtebauliches Konzept
SO5 Winzerlaer/Schrödinger Straße, B-Wz 03.2 „Im Hahnengrunde“	Forschung	Planzeichnung und Mischpixelansatz
SO6 B-Lo 05 „Universitätsklinikum Jena-Lobeda“	Forschung	Planzeichnung und Mischpixelansatz



Im **Szenario 2 – Klimawandel mit Stadtentwicklung** (Synonym: **P2**) wurde das bereits im Szenario 1 verwendete **Klimaänderungssignal von +2 Kelvin** sowie die Annahme der **Trockenheit der Grün- und Freiflächen** weiterverwendet. Hinzu kommt im Szenario 2 die **geplante Stadtentwicklung**. Hier wurden **69 potenzielle Entwicklungsflächen** für Wohnen, Gewerbe, Sonderbau und Verkehr sowie Kleingartenanlagen als bebaut angenommen (Zeitpunkt der Datenerfassung: Juli 2021). Die geplanten Bauflächen basieren u.a. auf der „Wohnbauflächenkonzeption Jena 2035“ (StR-Beschluss Nr. 20/0468-BV inkl. Alternativenprüfung vom 29.08.2022), dem „Arbeitsplatz- und Gewerbeflächenentwicklungskonzept Jena 2035“ (StR-Beschluss Nr. 21/1233-BV vom 23.03.2022) sowie dem „Gartenentwicklungskonzept“ (StR-Beschluss Nr. 23/2306-BV vom 21.03.2024). Die Flächen besitzen noch kein verbindliches Baurecht, sind aber im wirksamen Flächennutzungsplan bzw. in der FNP-Fortschreibung (Zielhorizont 2035) als Vorbehaltsflächen vorgesehen.

Für die verkehrlichen Entwicklungsflächen bildete die inhaltliche Grundlage insbesondere das „Handlungskonzept Kfz-Verkehr 2002“ und die „ÖPNV-Konzeption Jena 2030+“. Weiterhin sind übergeordnete Vorgaben der Regionalen Planungsgemeinschaft Ostthüringen (2012) für konkrete Standorte in Jena zu berücksichtigen (z.B. Ortsumfahrung Isserstedt).

Tabelle 10: Projizierte mittlere Temperaturzunahme in den Sommermonaten (J, J, A). Quelle: Eigene Auswertungen, beruhend auf den aus 39 Modellläufen der EURO-CORDEX Daten.

	2021-2050 vs. 1971-2000 (Zielhorizont 2035)		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
15. Perzentil	0,8	1,0	1,6
50. Perzentil	0,8	1,2	1,7
<b>85. Perzentil</b>	1,1	1,4	<b>2,0</b>

Für die Modellierung der FNP-Entwicklungsflächen wurde hauptsächlich der „Mischpixel-Ansatz“ (siehe Kapitel 5.1.3) angewendet. Daneben wurden drei Entwicklungsflächen mit einem entfernteren Umsetzungshorizont, aber einer vorliegenden planerischen Absicht mit einer konkreten städtebaulichen Planung in die P2-Zukunft der Stadtklimamodellierung integriert.

Diese Flächen sind:

- B3 „Campus Bachstraße“ (Masterplan vom 16.10.2020)
- C7 „Eichplatz, Baufeld B“ (Vorentwurf Gestaltungsplan Freianlagen vom 30.09.2019)
- C60 „Seidelstraße“ (Vorbehaltsfläche für studentisches Wohnen, Entwurfskonzept 07/1991)

Die für diese Flächen vorliegenden städtebaulichen Planungen, z.B. für den Campus Bachstraße, enthalten einen verhältnismäßig hohen Grünanteil, insbesondere an Großgrün/Bäumen. Dies führt in der Klimamodellierung – auch zukünftig mit einem starken Klimawandelsignal – zu vergleichsweise guten Bewertungsergebnissen. Diese können aber nur erreicht werden, wenn die Planungen auch dementsprechend umgesetzt werden (siehe auch die Karte in Abbildung 24).

Eine **Übersicht aller FNP-Entwicklungsflächen**, der geplanten Nutzung, dem gewählten Modellansatz und den Modellergebnissen sind im **Anhang 10.2** zusammengestellt.

### 5.1.3 MISCHPIXELANSATZ

Für eine Vielzahl der Bebauungspläne (Kapitel 5.1.2, Umsetzung für Jena, Ist-Zustand, Tabelle 9) und den überwiegenden Anteil der FNP-Entwicklungsflächen lagen zum Zeitpunkt der Modellierung noch **keine konkreten städtebaulichen Entwürfe** vor. Um diese Flächen in die Modellstruktur zu überführen, erfolgte daher die Anwendung des so genannten „**Mischpixel-Ansatzes**“. Dabei wurden für die zukünftig zu entwickelnden Gebiete (Wohnen, Gewerbe, Sonderbau) Flächen aus dem bestehenden Stadtgebiet ausgewählt, die als sog.



„**Flächenzwilling**“ dem Bebauungszustand der Zukunft am ehesten entsprechen. Auf der Grundlage der FIT-NAH-Eingangsdaten erfolgt eine Auswertung der Flächenzwillinge hinsichtlich der repräsentativen Verteilung der Oberflächenbedeckung (prozentualer Anteil für Gebäude, versiegelte Fläche, Rasen, Bäume, etc.). Somit lassen sich die Entwicklungsflächen in das Modellumfeld übertragen, ohne dafür eine konkrete Konstruktion auf der jeweiligen Fläche erzeugen zu müssen.

Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass dieser Modellansatz nur begrenzt die zukünftige Entwicklung abbilden kann. Zum einen erfolgt hierbei eine **zufällige Verteilung der Modellklassen** (als Pixel im 10m-Raster) auf die Fläche. Dies entspricht i.d.R. nicht der tatsächlichen baulichen Struktur des Flächenzwillings, sondern bildet nur die **prozentuale Verteilung der Oberflächenbedeckung** ab. Es erfolgt keine Modellierung von zusammenhängenden baulichen Strukturen, z.B. Gebäude mit einer bestimmten Größe und Ausrichtung oder zusammenhängende Grünstrukturen, die dann beispielsweise eine größere Wirksamkeit zur Kühlung entfalten könnten.

Zum anderen erfolgt **keine Anwendung einer klimaangepassten Bauweise**, sondern nur die Übernahme bestehender baulicher Strukturen bzw. deren prozentualer Flächenanteile (kein „best practice“ Beispiel oder die Übernahme von Anpassungsmaßnahmen wie Fassadenbegrünung, Teilversiegelung, etc.). Im Ergebnis werden Entwicklungsflächen im Zukunftsszenario P2 (mit Klimawandelsignal) teilweise mit einer „ungünstigen“ bioklimatischen Situation bewertet, z.B. Einfamilienhausgebiete mit einem hohen Versiegelungsanteil für Erschließung und ohne verschattendes Großgrün.

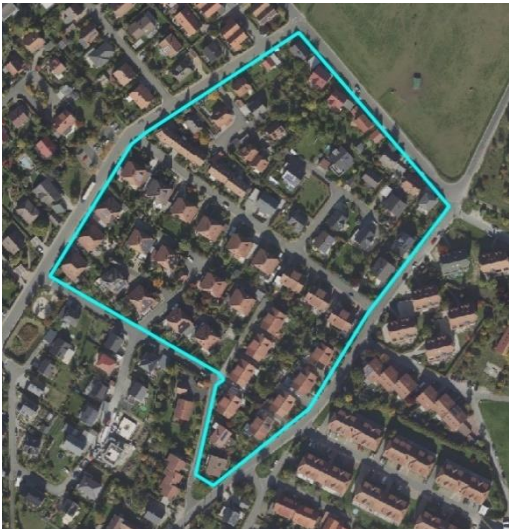

Im Folgenden werden die Flächenzwillinge und die damit getroffenen Annahmen für die Wohnbau und Gewerbeflächen kurz vorgestellt.





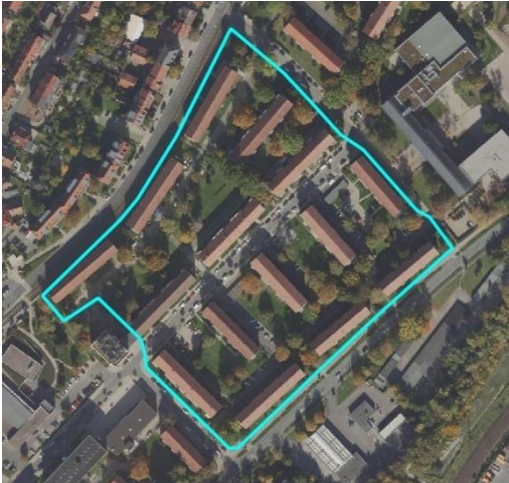
a.) „Mischpixel-Ansatz“ für Wohnbauflächen:

Inhaltliche Grundlage bildet die „Wohnbauflächenkonzeption Jena 2035“ (StR-Beschluss Nr. 20/0468-BV inkl. Alternativenprüfung vom 29.08.2022). Für die zukünftigen Wohnbauflächen wurden **fünf Baustrukturtypen** definiert und dafür entsprechende Flächenzwillinge im Stadtgebiet gesucht und bezüglich ihrer Oberflächen-gestaltung und Gebäudehöhen ausgewertet.

Tabelle 11: Verwendete Bautypen für den Mischpixelansatz bei Wohnbauflächen.

Bautyp	Bezeichnung	Bauliche Dichte	Modell-Eingangsdaten
<b>W-1</b>	Ein- und Zweifamilienhäuser in offener Bauweise	20 WE/ha	- Mischung aus Einzel- und Doppelhäusern - einzelne Stadthäuser in lockerer Bauweise - offene Flachbauweise (1,5- bis 2-geschossig)
			<u>Flächenzwillig:</u> EFH-Gebiet „Im Wasserlaufe“ in Cospeda  <u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 51 % Rasen 33 % Gebäude (Gebäudehöhe: 7 m) 15 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 1 % Bäume
<b>W-2</b>	Ein- und Zweifamilienhäuser in verdichteter Bauweise	35 WE/ha	- Mischung aus Doppel- und Reihenhäusern - verdichtete Flachbauweise (1,5- bis 2-geschossig)
			<u>Flächenzwillig:</u> Wohngebiet im Bereich An der Trebe / Lärchenstieg / Steinborn in Jena-Ost  <u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 44 % Rasen 31 % Gebäude (Gebäudehöhe: 7 m) 22 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 3 % Bäume






<b>W-3</b>	Offene Mischbauweise GWB + EZFH	35 WE/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mischung aus Ein- und Zweifamilienhäuser und Stadtvillen (mit ca. 3-4 WE)</li> <li>- offene Bauweise</li> <li>- 2- bis 4-geschossig</li> </ul>
			<p><u>Flächenzwilling:</u> Wohngebiet im Bereich Leo-Sachse-Straße / Dreesstraße im Kernbergviertel, Jena-Ost</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 45 % Rasen 25 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 21 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 9 % Bäume</p>
<b>W-4</b>	Verdichtete Mischbauweise GWB + EZFH	50 WE/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vorrangig Reihenhäuser und Geschosswohnungsbau</li> <li>- vereinzelt Doppelhäuser</li> <li>- Stadtvillen mit 4-6 WE</li> <li>- GWB mit geringer Verdichtung</li> <li>- eher geschlossene Bauweise</li> <li>- 2,5- bis 4-geschossig</li> </ul>
			<p><u>Flächenzwilling:</u> Wohngebiet Heimstättenviertel in Jena-Ost</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 50 % Rasen 27 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 17 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 6 % Bäume</p>
<b>W-5</b>	Mehrfamilienhäuser in verdichteter Bauweise	75–90 WE/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschosswohnungsbau mit höherer Dichte</li> <li>- 3- bis 5-geschossig, Zeilenbauweise</li> </ul>
			<p><u>Flächenzwilling:</u> Wohngebiet an der Leipziger Straße, Jena-Nord</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 39 % Rasen 28 % Gebäude (Gebäudehöhe: 16 m) 18 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 15 % Bäume</p>



b.) „Mischpixel-Ansatz“ für Gewerbeflächen:

Inhaltliche Grundlage bildet das „Arbeitsplatz- und Gewerbeflächenentwicklungskonzept für die Stadt Jena 2035“ (StR-Beschluss Nr. 21/1233-BV vom 23.03.2022). Auch für die zukünftigen Gewerbeflächen wurden Flächenzwillinge, die am ehesten der zukünftig geplanten Entwicklung entsprechen, im bestehenden Siedlungsgebiet gesucht und bezüglich ihrer Oberflächengestaltung (Modelleingangsdaten) ausgewertet.

Tabelle 12: Verwendete Bautypen für den Mischpixelansatz bei Gewerbeflächen.

Bautyp	Flächenzwilling	Modell-Eingangsdaten
G-1		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiete „Maua Südwest“ und „Landesärztekammer“</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 37 % Rasen 14 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 46 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 3 % Bäume</p>
G-2		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiet „Autohaus/ARAL“ (Lobeda Süd LS 2)</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 11 % Rasen 21 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 63 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 5 % Bäume</p>
G-3		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiete „Saalepark I“ und „Saalepark II“</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 22 % Rasen 38 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 38 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 2 % Bäume</p>



<p><b>G-4</b></p>		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiete „Göschwitz“ und „Am Felsbach“</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 2 % Gleisflächen 18 % Rasen 32 % Gebäude (Gebäudehöhe: 10 m) 46 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 2 % Bäume</p>
<p><b>G-5</b></p>		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiet „Lobeda Süd LS 2“ (inkl. Autohaus/ARAL)</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 31 % Rasen 32 % Gebäude (Gebäudehöhe: 6 m) 36 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 1 % Bäume</p>
<p><b>G-6</b></p>		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiete „Mittlerer Spitzweidenweg“ und „Unteraue“</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 19 % Rasen 35 % Gebäude (Gebäudehöhe: 8 m) 43 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 3 % Bäume</p>
<p><b>G-7</b></p>		<p><u>Flächenzwilling:</u> Gewerbegebiet „Issersted II“</p> <p><u>Prozentuale Eingangsdaten:</u> 24 % Rasen 29 % Gebäude (Gebäudehöhe: 5 m) 44 % Verkehrsfläche, versiegelte Fläche 3 % Bäume</p>



Die aus den Flächenzwillingen abgeleiteten Prozentwerte für die Modellnutzungsklassen werden dann mit einem Zufallsgenerator auf die Entwicklungsfläche verteilt. Dabei entsteht zwar keine typische Struktur einer Bebauung, jedoch gelingt es mit Hilfe dieser Approximation, zukünftige Änderungen von Temperaturfeldern und Kaltluftprozessen näherungsweise vorherzusagen, ohne einer konkreten Flächenplanung vorzugreifen. In der Abbildung 23 ist das Vorgehen prinziphaft dargestellt: von der Entwicklungsfläche mit Mischpixelansatz (links) über den Flächenzwilling (Mitte) hin zur zufälligen Verteilung der Modellnutzungsklassen innerhalb der Entwicklungsfläche (rechts). Wie zu erkennen ist, werden keine zusammenhängenden Gebäude oder Freiflächen erzeugt, sondern es entsteht ein kleinteiliges Mosaik verschiedener Pixel unterschiedlicher Nutzung.



Abbildung 23: Prinzip der Verteilung der Mischpixel anhand eines Flächenzwillings. Eigene Darstellung

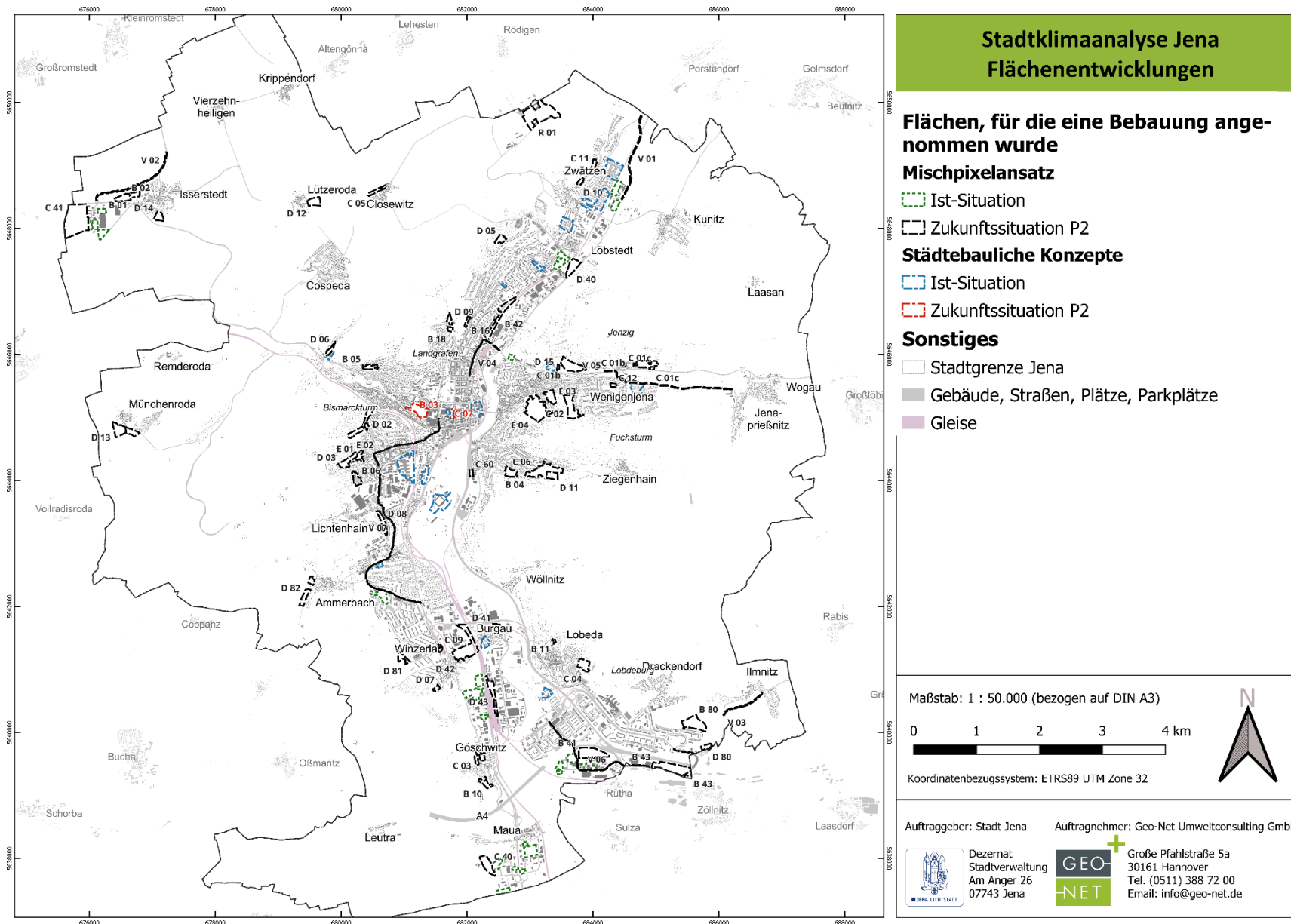


Abbildung 24: Übersicht über die Flächenentwicklungen, die im Stadtklimakonzept berücksichtigt wurden (Juli 2021).

### 5.1.4 AUFBEREITUNG DER MODELLEINGANGSDATEN

Nach Abschluss der Szenarien- und Methodenentwicklung erfolgte die eigentliche Aufbereitung der Eingangsdaten für die Modellläufe. Ziel der Eingangsdatenaufbereitung war es, aus den in der Stadt Jena in unterschiedlichen Auflösungen und Datenformaten vorliegenden Geoinformationen **gerasterte Modelleingangsdaten** mit einem regelmäßigen Gitter in einer **Gitterweite von 10 m** zu erzeugen. Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, benötigt das Modell flächendeckende Informationen zu folgenden Parametern:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung
- Strukturhöhe

Tabelle 13 fasst die wichtigsten **Datenquellen** für die Zuweisung der Nutzungsklassen in der Referenzsituation zusammen. Diese Daten wurden genutzt, um die FITNAH-Modelleingangsdaten: Landnutzung, Geländehöhe und Strukturhöhe für Bäume sowie Gebäude zu erzeugen. Die Primärdaten liegen in einer hohen räumlichen Auflösung bzw. Genauigkeit / Lagetreue vor, so dass es bei der Übertragung ins Modellraster trotz der für gesamtstädtische Modellanwendungen sehr hohen Auflösung des Modells zu Generalisierungseffekten kommt. Diese können kleinräumig relevant sein, spielen für gesamtstädtische Fragestellungen aber eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 13: Datenquellen zur Erstellung der Modelleingangsdaten in Jena als Basis für die Referenzsituation

Datenquelle	Datensatz	Erfassungsjahr Referenzsituation	Datentyp	Auflösung
<b>Geländehöhe</b>	Digitales Geländemodell	2014	Raster	1 m
<b>Gebäude/-höhen</b>	Digitales Oberflächenmodell	2014	Raster	1 m
	LOD2	2021	City GML	LOD 2
<b>Vegetation/-höhen</b>	Digitales Oberflächenmodell	2014	Rasterdaten	1 m
	Baumkataster	2021	Vektordaten	
	Grünflächenkataster	2021	Vektordaten	1:5.000
	RGBI Luftbilder	2016	Rasterdaten	20 cm
<b>Landnutzung</b>	ATKIS	2021	Vektordaten	1:25.000
	Verkehrsflächen	2021	Vektordaten	

### MODELLGEBIET

Das **Modellgebiet** ist dabei für alle durchgeführten Modellläufe identisch. Es beinhaltet das gesamte Stadtgebiet sowie das angrenzende Umland. Die Abgrenzung erfolgte nach gutachterlich eingeschätzten Kaltluftinzugsbereichen von den umgebenden Höhenzügen inkl. eines Sicherheitspuffers. Das Rechengebiet wurde vor allem nach Osten erweitert, um die Ostthüringer Buntsandstein-Höhenlagen zu erfassen, welche in der Abbildung 25 mit der Saale-Sandsteinplatte bezeichnet werden. Die Stadt Jena liegt in der Saale-Aue sowie der Ilm-Saale-Ohrdrufer Platte. Das Modellgebiet (rote Umrandung) hat eine **Größe von ca. 458 km<sup>2</sup>**, weist also einen fast vierfach so großen Flächeninhalt auf wie die Stadt Jena (115 km<sup>2</sup>) selbst (Abbildung 25).

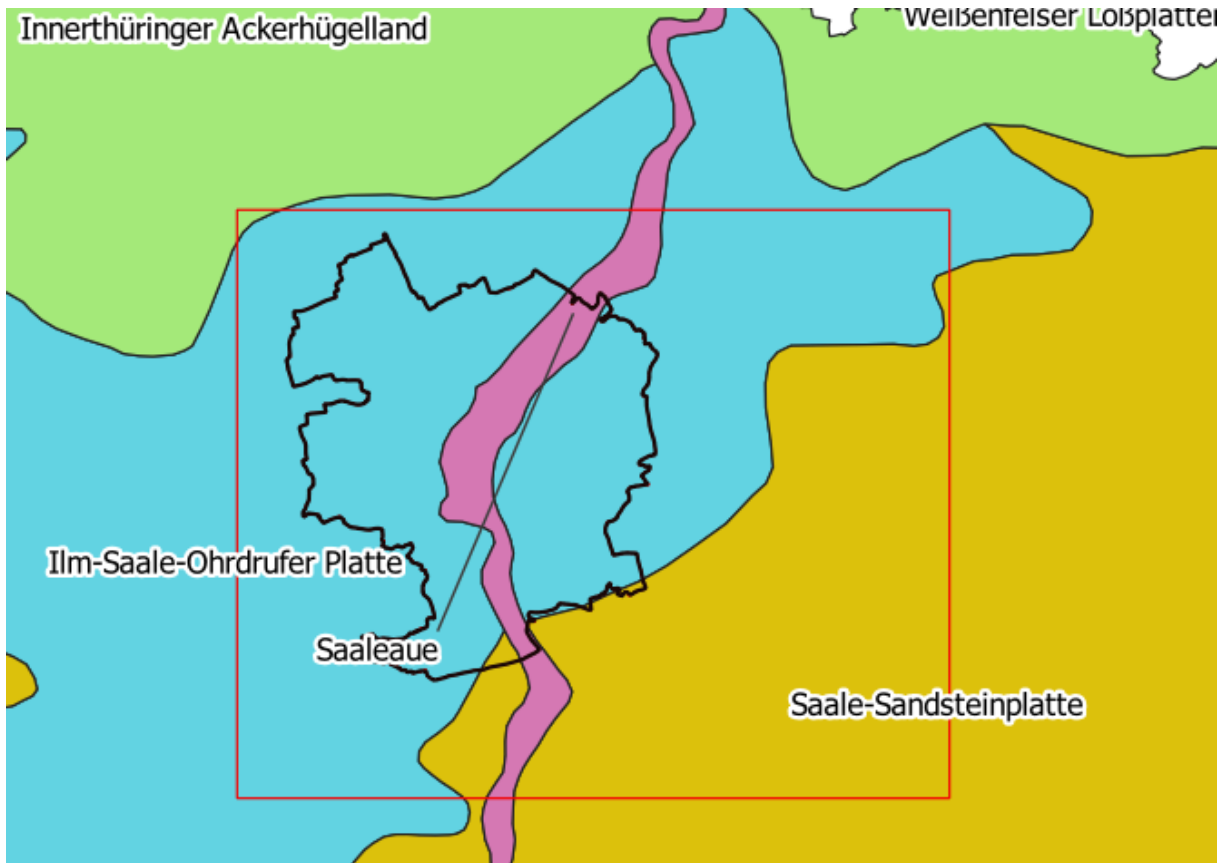


Abbildung 25: Modellgebiet. Schwarz: Stadtgrenze Jena, rot: Modellgebietsgrenze

Im Folgenden werden die verwendeten Datensätze erläutert und dabei auf Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen der Referenzsituation und den beiden Zukunftsszenarien eingegangen.

### GELÄNDEMODELL

Allen drei Modellrechnungen (Ist, P1, P2) wurde dasselbe digitale **Geländemodell** zugrunde gelegt. Dieses wurde über den Download-Service für DGM-Höhendaten des Thüringer Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation in 1x1 km Kacheln für das gesamte Rechengebiet heruntergeladen. Dabei weisen die Kacheln unterschiedliche Zeitstände auf.

Die Abbildung 26 zeigt das sehr heterogene Relief von Jena mit der Saale-Aue, die sich von Süd nach Nord durch das Stadtgebiet zieht und den flankierenden Höhenzügen im Osten und Westen. Die Höhenzüge werden von einzelnen Bachtälern durchzogen. Markante Höhen östlich der Saale sind der Jenzig (385,3 m), der Hausberg (349,6 m) oder der Johannisberg (366 m). Fließgewässer, die von Osten kommend in die Saale münden, sind beispielsweise die Roda im Süden, der Pennickenbach und der Gembdenbach. Zu den Erhebungen westlich der Saale gehören bspw. der Landgraf (297,9 m), die Sonnenberge (323 m), die Schweizerhöhe (330 m), der Coppanzer Berg (397,6 m) sowie der Jagdberg (288,4 m). Die westlichen Höhenzüge werden von der Leutra, dem Ammerbach und dem Steinbach durchzogen, die schließlich in die Saale münden. Die Hänge der Höhenzüge transportieren einen Großteil der Kaltluft in das Stadtgebiet von Jena.

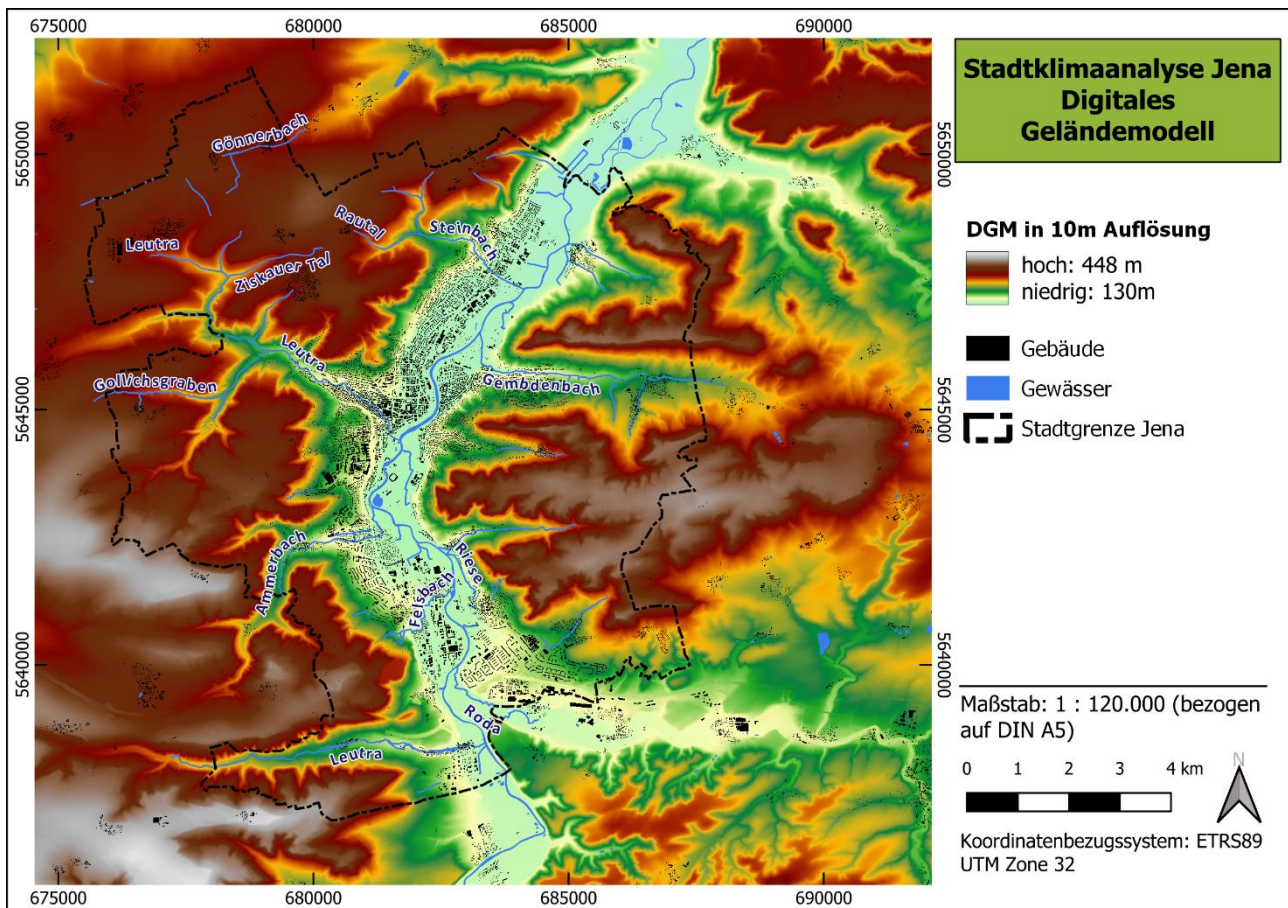


Abbildung 26: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet mit Flusstälern.

### FNP-ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

Die **Entwicklungsflächen** wurden im Mischpixel-Ansatz (siehe Bautypentabellen im Kapitel 5.1.3) mit einer flächenindividuellen einheitlichen Höhe angesetzt. Diese ist abhängig vom jeweils vergebenen Flächentyp und entspricht der für den Flächenzwillung ermittelten mittleren Strukturhöhe. Für neu hinzugefügte Bäume wurde eine Standardhöhe von 12 m vorgegeben.

Für die zukünftig geplanten **Straßen** wird im Rechenmodell eine zu 100 % versiegelte Fläche angenommen. Es werden **keine Klimaanpassungsmaßnahmen im Modell** berücksichtigt, z. B. erfolgt keine Verschattung durch zusätzliche Bäume. Der geplante Neubau von **Straßenbahnen** fließt vollständig als Gleisfläche in die Modellierung ein. Der Versiegelungsanteil beträgt 70 %. Auch hier erfolgt *keine* Berücksichtigung von Klimaanpassungsmaßnahmen wie beispielsweise der Einsatz von Rasengleisen oder eine Verschattung durch Bäume.

### MODELLNUTZUNGSKLASSEN

Für die Erzeugung der Modellnutzungsklassen wurden unterschiedliche Ansätze genutzt, um die Modelleingangsdaten aus der Tabelle 13 zu verfeinern. Die Berechnung des Normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI) aus den RGBI-Luftbildern brachte einen Mehrwert für die Ableitung von Vegetation. Der NDVI ist einer der am häufigsten verwendeten Indizes zur Vegetationsbewertung, der meist auf Basis von Satellitendaten errechnet wird. Er ermöglicht die Unterscheidung zwischen vegetationsbestandenen und versiegelten Flächen. Da das Baumkataster nur öffentliche Bäume enthält, konnten in der Kombination von

NDVI und dem Oberflächenmodell Bäume für die gesamte Stadt erfasst werden, auch in Gärten und Hinterhöfen (siehe Abbildung 27). Des Weiteren ermöglicht der NDVI die Unterscheidung von versiegelten Flächen abseits der Straßen. So konnten bspw. Parkplätze in Hinterhöfen bzw. Innenhöfen, die nicht in den ALKIS-Daten enthalten sind, dem Modell als versiegelte Flächen übergeben werden. Das Grünflächenkaster trug ebenso zur Verfeinerung der Modellnutzungsklassen bei. Hier sind viele Flächen wie Beete, Hecken, Spielplätze, etc. enthalten, die in die Modellstruktur überführt werden konnten.



Abbildung 27: Baumkataster und über NDVI und Strukturhöhe abgeleitete Baumstandorte. Punkte: Baumkataster, grüne Flächen sind abgeleitete Baumkronen.

Die Eingangsdaten, v. a. die Modellnutzungsklassen wurden in einem Prüfschritt innerhalb der PAG überprüft bevor die drei Modellierungen gestartet wurden.

Im Unterschied zu den Geländehöhen unterscheidet sich der Eingangsdatensatz zur Stadtstruktur in den drei Modellrechnungen voneinander. Dies ist in der Abbildung 28 in seiner quantitativen Ausprägung belegt. Dargestellt werden die Anteile der Modellnutzungsklassen für die Ist-Situation (gilt gleichermaßen für die Zukunft P1) und die Zukunft P2, die mit einer Stadtentwicklung modelliert wurde. Änderungen sind für die Klassen Gleisfläche, Freiland/ Rasen, Gebäude und unbebaut versiegelt ersichtlich. In der Zukunftssituation P2 nimmt die Modellklasse Freiland ab und wird in Gebäude und unbebaut versiegelt verwandelt. Die Zunahme der Gleisfläche erfolgt auf Kosten der Klasse unbebaut versiegelt. Dies beruht auf den Straßenbahnprojekten in der Zukunft.

Anhand der Statistik ist der **hohe Grünanteil in Jena** sichtbar. Die Hauptanteile finden sich in den Klassen: Freiland/ Rasen und Baum über Rasen. Zusammen machen diese beiden Klassen knapp 87 % des städtischen Gebietes aus.

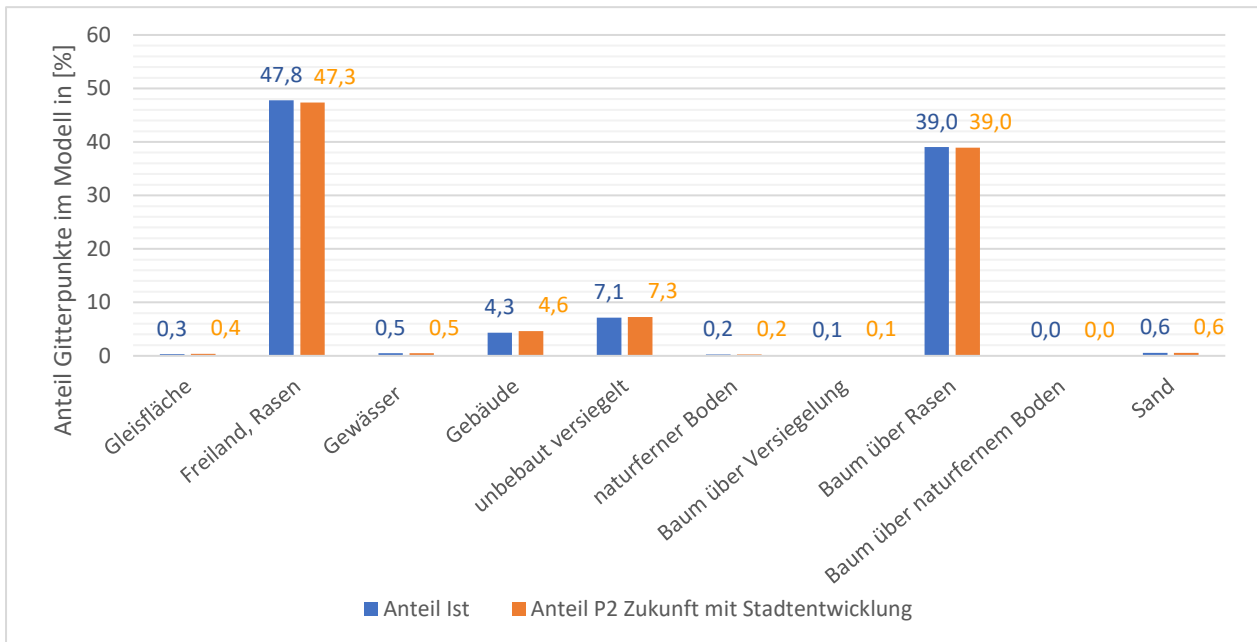


Abbildung 28: Prozentualer Anteil der Nutzungsklassen-Gitterpunkte in der Referenzsituation (Stand 2021) sowie im Zukunftsszenario P2 im Jenaer Stadtgebiet

Die beschriebenen Modelleingangsdaten wurden als Karten mit Layout (PDF-Format) sowie als GIS-Projekte übergeben (Tabelle 14 sowie Abbildung 26, Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 75).

Tabelle 14: Übersicht der im Projekt erzeugten Karten zu den Modelleingangsdaten.

Karte	Kurzbeschreibung
<b>DGM.pdf</b>  (siehe Abbildung 26)	Dargestellt ist das klassifizierte Höhenmodell im Jenaer Stadtgebiet und dem Umland.  Diese Karte gilt für alle 3 Modellrechnungen.  Datentyp: Raster Räumliche Auflösung: 10 m
<b>Jena_Nutzung.pdf</b>  (siehe Abbildung 29)	Dargestellt ist die klassifizierte Landnutzung / Stadtstruktur der Bestandssituation im Jenaer Stadtgebiet und dem Umland.  Die Karte gilt für die Referenzsituation und die erste Zukunft P1 <u>ohne</u> Stadtentwicklung.  Datentyp: Raster Räumliche Auflösung: 10 m
<b>Jena_Nutzung_Zukunft_mMischpixeln.pdf</b>  (siehe Abbildung 30)	Dargestellt ist die klassifizierte Landnutzung / Stadtstruktur im Jenaer Stadtgebiet und dem Umland für die Zukunft P2 <u>mit</u> Stadtentwicklung.  Datentyp: Raster Räumliche Auflösung: 10 m



### 5.1.5 RAHMEN- UND RANDBEDINGUNGEN

Sämtlichen Modellrechnungen liegt dem Stand der Technik entsprechend ein sog. **autochthoner Sommertag** als meteorologische Rahmenbedingung zugrunde. Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen großräumig (autochthon) bedingten Luftaustauschs zu Situationen, die im Jahresverlauf in Teilbereichen der Stadt die höchsten thermischen Belastungen mit sich bringen. Auch wenn es sich dabei um eine besondere meteorologische Situation handelt, tritt eine solche Wetterlage in Jena regelmäßig und jeden Sommer mehrfach auf (siehe Abbildung 17 im Kapitel 4.3). In den Sommermonaten Juni, Juli, August (JJA) sind es über 15 Nächte, die autochthon sind, im gesamten Jahr sind es 32 Nächte an der nächstgelegenen Station Erfurt-Weimar.

Modelliert wurde ein **Tagesgang** mit **Start um 21:00 Uhr bis um 14:00 Uhr des Folgetages** zum Datum des Sonnenhöchststandes. Die Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten in Jena besonders gut ausprägen. Charakteristisch für solch eine sommerliche (Hochdruck-) Wetterlage sind die in Kapitel 2.2 beschriebenen Prozesse rund um den Wärmeinseleffekt und die Kaltluftdynamik.

In Abbildung 31 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage typischen tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen im Vergleich zu Grünflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

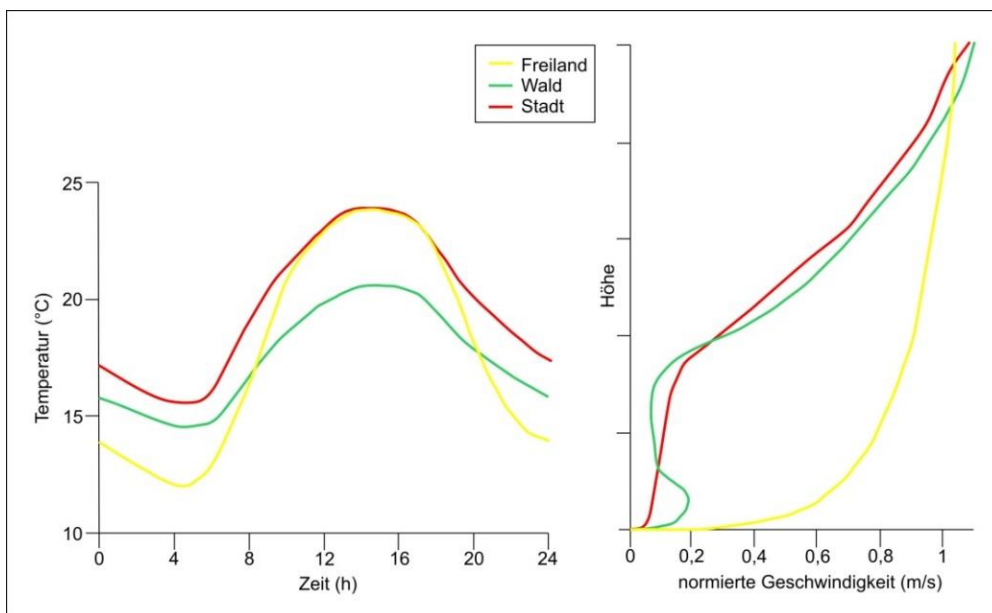


Abbildung 31: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen (eigene Darstellung nach Gross 1992)

Die **Modellstarttemperatur** für die **Referenzsituation** wurde anhand der Auswertung einer 30-jährigen Zeitreihe der DWD-Messstelle Jena-Sternwarte (1991-2020) herausgearbeitet. Ein mittlerer Sommertag (Tagesmaximumtemperatur > 25 °C) in den Sommermonaten Juni, Juli und August wurde um 21 Uhr abends mit

20°C über die 30-jährige Zeitreihe ermittelt. Die Berücksichtigung der in Kapitel 4, Unterkapitel 4.4 beschriebenen Ausprägungen des regionalen Klimawandels in den Modellläufen für die Zukunftsszenarien erfolgte über eine Variation der Ausgangsbedingungen. Die **Aufprägung des Temperatursignals** für die beiden Zukunfts-Modellrechnungen erfolgte auf der Basis des in der Literatur als „surrogate-climate-change“ beschriebenen Ansatzes (Schär et al. 1996). Demnach wurden die beiden **Modellsimulationen P1 und P2 mit einem einheitlichen Delta von +2 K** (entspricht dem 85. Perzentil des verwendeten Ensembles zum RCP 8.5) beaufschlagt. Das Delta wird dabei auf das Ausgangsprofil der Lufttemperatur auf allen Höhengniveaus addiert. Das 1D-Vertikalprofil zum Start der numerischen Simulation um 21 Uhr ist stabil geschichtet. Die absolute Temperatur nimmt mit 0,65 K/100m mit der Höhe ab.

Eine dauerhafte Erwärmung der Atmosphäre setzt sich aber auch in den Erdboden fort und daraus resultieren auch höhere Erdbodentemperaturen. Gleichzeitig führen geringere Niederschläge in den Sommermonaten und eine stärkere Verdunstung zu einer erhöhten Austrocknung der Bodenschicht und damit zu einer etwas schlechteren Wärmeleitfähigkeit. Diese beiden Effekte wurden bei den Modellrechnungen zum einen durch die Vorgabe einer erhöhten Bodentemperatur in 1 m Tiefe von 2/3 des Deltas berücksichtigt. Zum anderen wurde die **Bodenfeuchte** in beiden Szenarien **unter den Welkepunkt gesenkt** (siehe auch Kap. 0). Nutzungsklassen mit niedriger Vegetation können dann nicht mehr verdunsten, so dass im Modell die einfallende kurzwellige Energie unmittelbar in fühlbare Wärme umgewandelt wird, was insbesondere in der Tagsituation zu einer Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur beiträgt. Demgegenüber liegt die Bodenfeuchte in der Referenzsituation bei 60 % und damit deutlich über dem Welkepunkt.

Der Wärmeeintrag in Wasserkörpern kann aufgrund der guten Durchmischung über ein größeres Volumen verteilt werden, so dass die mittlere Temperatur langsamer einer allgemeinen Erwärmung der Atmosphäre folgt (CAISSIE 2006; IPCC 2014). Dieser Effekt wurde bei den Modellrechnungen durch die **Anpassung der Wassertemperatur** mit einer Erhöhung von 1/2 des Deltas berücksichtigt. Die Wassertemperaturen wurden für die Referenzsituation aus Wassertemperaturmessungen des TLUBN für die Sommermonate JJA, Pegel Rothenstein und Pegel Kahla für 2018 und 2019 für die Fließgewässer ermittelt. Es wurde für alle Flüsse im Rechengebiet eine **Wassertemperatur** von 18,1 °C angenommen. Für die Standgewässer wurde eine Temperatur von 21 °C gesetzt.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Modellrandbedingungen für die Referenzsituation und die Szenarien P1 und P2

Randbedingungen	Referenzsituation	Szenario P1 und P2
Modellierter Tag	21.06. (Sonnenhöchststand)	21.06. (Sonnenhöchststand)
Modellstarttemperatur	20 °C	22 °C (+ 2 K ggü. Referenzsituation)
Bodenfeuchte	60 %	30 %
Wassertemperatur Standgewässer Fließgewässer	21 °C 18,1 °C	22 °C 19,1 °C

Um regionale Strömungen zu erfassen, die nicht innerhalb des Modellgebietes liegen, ist es erforderlich das sich aus den autochthonen Vorgaben entwickelnde Windfeld mittels einer „**übergeordneten**“ **Strömung** anzutreiben. Die Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass regionale Gegebenheiten, die die Kaltluftströmung beeinflussen, jedoch außerhalb des Modellgebietes liegen, nicht abgebildet werden können. Um dies zu berücksichtigen, wurden mesoskalige Rechnungen mit FITNAH GEO-NET-intern (z.B. von Nordrhein-Westfalen, Bayern, Deutschland und der Schweiz) unter autochthonen Bedingungen durchgeführt. Aus den

daraus vorliegenden Modellergebnissen werden die Antriebsdaten extrahiert und entsprechend der Auflösung und den Gebietsgrenzen des zu modellierenden Gebietes interpoliert und an FITNAH übergeben. Über vorgegebene Randbedingungen und Dämpfungsfaktoren wird die lokale Strömung mit dem übergeordneten Antrieb gewichtet. Somit werden Strömungen bspw. von Kaltluftbahnen, die außerhalb der Gebietsgrenzen ihren Ursprung haben, ebenso im Modellgebiet berücksichtigt, wie lokale Strömungen und Flurwinde, die sich aufgrund der entsprechenden Nutzung ausbilden.

Die gewählten Startbedingungen repräsentieren bewusst eine zumindest für Teile der Stadt **thermisch belastende Situation, nicht aber ein Extremereignis**. Dieses Vorgehen wird gewählt, weil sich solche Lastfälle durch eine nachhaltige Stadtentwicklung und entsprechende Maßnahmen im Außenraum beeinflussen lassen. Extremereignisse hingegen sind (noch) selten und zu intensiv.

### 5.1.6 MODELLAUSGABEGRÖßEN

FITNAH gibt für den Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt neun verschiedene physikalisch-meteorologische Ausgabegrößen für mehr als 20 Vertikalschichten und für stündliche Zeitschnitte aus (Tabelle 16). Insgesamt ergibt sich somit eine deutlich dreistellige Anzahl an Variablendimensionen als Ausgangspunkt für die aufgabenstellungsorientierte Weiterverarbeitung dieses Datensatzes mit einem Umfang von mehreren Gigabyte (GB). Zu den wesentlichsten Parametern zählen Strömungsparameter (U/V/W Komponenten des Windes) sowie die die bodennahe Lufttemperatur beeinflussende Größen wie der fühlbare und latente Wärmestrom.

Tabelle 16: Von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt berechnete interne Parameter.

Parameter und Einheit	Einheit	Dimensionalität
U-Komponente des Windes	[m/s]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
V-Komponente des Windes	[m/s]	
W-Komponente des Windes	[m/s]	
Potentielle Lufttemperatur	[K]	
Diffusionskoeffizient momentum	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	
Turbulente kinetische Energie	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	
Wärmestrom der Oberflächen	[W/s <sup>2</sup> ]	Stündlich, zweidimensional für die Oberflächen
Luftdruck	[N/m <sup>2</sup> ]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Spezifische Feuchte	[kg/kg]	

Um die der Analyse zugrunde liegenden Fragestellungen bearbeiten zu können, hat sich in der gesamten Fachdisziplin eine gutachterliche Verdichtung und Weiterverarbeitung der vom Modell berechneten Parameter etabliert. In diesem sog. post-processing Schritt werden aus den o.g. Modellausgabegrößen **standardisierte Kenngrößen** abgeleitet, die von Anwender/innen in der Regional- und Stadtplanung mit entsprechenden Grundkenntnissen und Fachgutachtern gleichermaßen verstanden und interpretiert werden. Dieses Vorgehen stellt den bestmöglichen Kompromiss zwischen aussagekräftigen, qualitativ hochwertigen und dennoch allgemeinverständlichen Ergebnissen dar. Für die FITNAH-Ergebnisse hat sich in den letzten 20 Jahren

ein Set aus zwölf abgeleiteten Ausgabegrößen für spezielle Auswerteneiveaus und Auswertezeitpunkte entwickelt, von denen je nach Projektzielen ein individueller Parametersatz zusammengestellt wird (siehe Tabelle 17).

In der Maximalvariante – die vor allem im Zusammenhang mit umfassenden Stadtklimaanalysen zum Tragen kommt – handelt es sich insbesondere um **Windfelder, Kaltluftparameter, absolute Lufttemperaturen** und **humanbioklimatische Indizes**. Bezüglich der zu betrachtenden Vertikalschichten liegt der **Fokus auf dem bodennahen Niveau von 2 m**, was dem **Aufenthaltsbereich des Menschen** entspricht. Mit der Kaltluftvolumenstromdichte existiert hier eine Ausnahme, bei der bis zu einer spezifischen Höhe integriert wird. Die Auswertezeitpunkte liegen für die **nächtlichen Kenngrößen um 04:00 Uhr** morgens des modellierten Tagesganges als Zeitpunkt der maximalen Abkühlung bzw. Ausprägung des Kaltluftprozessgeschehens sowie für den Index der **Tagsituation um 14:00 Uhr** als Zeitpunkt der maximalen Einstrahlung. Im vorliegenden Projekt lag der Schwerpunkt auf den thermischen Parametern für die Tag- und Nachtsituation als Grundlage für die Bewertung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Die Parameter für den Kaltluftthaushalt und damit auch deren Auswirkungen auf die Kenngrößen zur Bewertung der thermischen Situation, werden im Modell immer mitberechnet.

Tabelle 17: Abgeleitete Ausgabegrößen von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltluftthaushalt

Parameter	Einheit	Höheniveau	Zeitliche Dimension	Im Projekt ausgewertet
Windgeschwindigkeit	[m/s]	2 m ü. Gr.	04:00 Uhr	ja
Windrichtung [als geographische Rotation]	[°]	2 m ü. Gr.	04:00 Uhr	ja
Absolute Lufttemperatur	[°C]	2 m ü. Gr.	04:00 Uhr	ja
Absolute Lufttemperatur	[°C]	2 m ü. Gr.	14:00 Uhr	nein
Kaltluftproduktionsrate	[m³/m²h]	2 m ü. Gr.	04:00 Uhr	ja
Kaltluftvolumenstromdichte	[m³/m²s]	Integral bis 50 m ü. Gr.	04:00 Uhr	ja
Physiologisch Äquivalente Temperatur	[°C]	1,1 m ü. Gr.	14:00 Uhr	ja
Universal Thermal Comfort Index (UTCI)	keine	2 m ü. Gr.	14:00 Uhr	nein
Gefühlte Temperatur (GT)	[°C]	2 m ü. Gr.	14:00 Uhr	nein

## 5.2 QUALITÄTSSICHERUNG

Die Qualitätssicherung stellt den abschließenden Arbeitsschritt der Modellierung im engeren Sinne dar. Sie ist Bestandteil des zertifizierten Qualitätsmanagements nach DIN EN ISO 9001:2015, das bei GEO-NET für komplexere Modellanwendungen vorgesehen ist. In diesem Arbeitsschritt unterzieht das bearbeitende Projektteam die Modellergebnisse einem teilformalisierten Plausibilitäts-Check. Hierbei werden die Modellergebnisse zum einen anhand von ausgewählten Teilgebieten im Rahmen einer Teamsitzung fachlich diskutiert sowie ggf. geostatistischen ad hoc Analysen unterzogen bzw. mit vergleichbaren Ergebnissen aus anderen Projekten in Beziehung gesetzt. Die Teilgebiete sind so gewählt, dass sie alle im Rahmen vorheriger Arbeitsschritte identifizierten Besonderheiten sowie alle Abweichungen vom bisherigen Modellstandard abdecken. Die Modellergebnisse gelten dann als qualitätsgesichert, wenn das Projektteam durch einstimmiges Votum deren hinreichende Qualität erklärt. Werden signifikante Auffälligkeiten festgestellt, werden diese in einem

ggf. iterativen Prozess kostenneutral für den Auftraggeber bereinigt. In Jena traten Unstimmigkeiten hinsichtlich der Wassertemperatur auf, so dass hier erneute Modellläufe gestartet wurden. Auch die Berücksichtigung des Saaletalwindes führte zu weiteren Modellierungen in unterschiedlichen Auflösungen und mit unterschiedlichen Modellen.

Im vorliegenden Fall erfolgte die Qualitätssicherung getrennt nach den drei Modellläufen, wobei im Szenario P2 insbesondere auch die angenommene Änderung der Stadtstruktur im Wirkgefüge mit dem Klimawandel in den Fokus genommen wurde. Demnach durchliefen alle Modellläufe erfolgreich die Qualitätssicherung.

### 5.3 UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Die numerische Stadtklimamodellierung ist anderen analytischen Ansätzen der Fachdisziplin (Messungen, klimatopbasierte GIS-Analysen) aufgrund ihres physikalischen, flächendeckenden und das Kaltluftprozessgeschehen berücksichtigenden Outputs überlegen. Dennoch sind Modellanwendungen mit Unsicherheiten verbunden, auf die im Sinne eines umfassenden, auf Transparenz und Akzeptanz ausgerichteten Analyseansatzes hingewiesen werden muss. Die Unsicherheiten lassen sich unter den folgenden Überschriften einordnen:

- **Unsicherheiten im Modell** („interne Unsicherheiten“)
- **Unsicherheiten in den Eingangsdaten** („externe Unsicherheiten“)

Zunächst einmal sind Modelle per Definition **unvollständige Abbilder der Wirklichkeit** (Stachowiak 1973). Sie erheben damit keinen Anspruch, das zu modellierende System allumfassend abzubilden, sondern wollen dieses lediglich hinreichend gut repräsentieren. Den Maßstab zur Gütebeurteilung bildet dabei das anvisierte Einsatzgebiet des Modells. Dieser Ansatz gilt für (Stadt-)Klimamodelle aufgrund der Komplexität der in physikalischen Gleichungen abzubildenden (Stadt-)Atmosphäre in besonderem Maße. Folglich ist auch das hier eingesetzte Modell FITNAH-3D nicht mit der Ambition verknüpft, restlos alle ablaufenden Prozesse bis ins letzte Detail abbilden zu wollen, sondern lediglich die, die zur Erfüllung der speziellen Aufgabe notwendig sind. FITNAH erfüllt dabei die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl. 7 (VDI 2017) definierten Standards zur Windfeldmodellierung. Allerdings existieren auch Prozesse, deren Abbildung gemäß VDI-Richtlinien nicht zu gewährleisten sind, aus denen sich aber dennoch gewisse Unsicherheiten ergeben können. So wird FITNAH-3D dem Stand der Technik entsprechend beispielsweise im sog. RANS-Modus (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) betrieben, bei dem Turbulenzen nicht explizit, sondern mithilfe von vereinfachenden Gleichungen abgebildet werden. Demgegenüber steht der Turbulenzen auflösende sog. LES-Modus (Large Eddy Simulation), der aber im Zusammenhang mit Stadtklimaanwendungen noch Gegenstand von F&E<sup>15</sup>-Vorhaben ist. Zu den internen Unsicherheiten gehört darüber hinaus auch das sog. **„Modellrauschen“**. Es beschreibt, in welchem Ausmaß die Ergebnisse zwischen mehreren Modellläufen mit demselben Antrieb bzw. denselben Randbedingungen über verschiedene räumliche und zeitliche Skalen variieren. Dieser Punkt ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die entsprechende Analyse auch Szenarienrechnungen enthält – also z.B. die Auswirkungen des zukünftig zu erwartenden Klimawandels und/ oder von Stadtentwicklungsszenarien abzubilden hat. Für das bodennahe Temperaturfeld in FITNAH-3D liegt das Modellrauschen bei +/- 0,1 bis 0,2 K pro Rasterzelle und Zeitschnitt. Das ist eine sehr geringe Unsicherheit, die sich bei der geostatistischen Aggregation auf größere Flächeneinheiten noch einmal verringert. Analog gilt das auch für die im Modell abgebildeten Parameter des Kaltlufthaushaltes. Bei der Kaltluftvolumenstromdichte liegt der Wert bei +/- 1 bis 2 % bezogen auf eine Fläche der Basisgeometrie, bei der Kaltluftproduktionsrate besteht aufgrund ihres primär

<sup>15</sup> Forschung und Entwicklung

empirisch hergeleiteten Wertes keine Unsicherheit. Insgesamt zeigt sich, dass zwar modellinterne Unsicherheiten bestehen, diese aber spätestens auf der Ebene der flächenhaft aggregierten Werte in der Basisgeometrie zu vernachlässigen sind.

Insbesondere kleinräumig stellen die zur Verfügung stehenden bzw. mit vertretbarem Aufwand erzeugbaren **Modelleingangsdaten** die **relevantere Unsicherheitsquelle** dar. Die Unsicherheiten können sich dabei ergeben aus:

- der Art ihrer Weiterverarbeitung zur Verwendbarkeit im Rahmen der Analyse,
- der Aktualität der Geo-Daten (bzw. ihrer Obsoleszenz),
- ihrer Genauigkeit (bzw. Ungenauigkeit) bzw. ihres Informationsgehaltes.

Im vorliegenden Projekt wurden zunächst sämtliche Eingangsdaten in der Analyse in ein regelmäßiges Raster überführt, bei dem **ein Gitterpunkt die Hauptnutzung auf einer Fläche von 100 m<sup>2</sup>** repräsentiert. Hierbei handelt es sich um die höchste Auflösung, die gegenwärtig für Städte in der Größenordnung Jenas modelliert werden kann. Zwar liegen die Unsicherheiten dieses Gebäude und Grünstrukturen auflösenden Ansatzes deutlich unterhalb von mesoskaligen Ansätzen mit parametrisierten Landnutzungsklassen, dennoch werden sehr kleinteilige Strukturen auch in dieser hohen Auflösung noch unterschätzt. Städte haben besonders kleinteilige Strukturen, sodass oftmals gleich mehrere verschiedene Nutzungsstrukturen in ein und derselben Rasterzelle liegen. In den Eingangsdaten und damit auch im Modell wird jedoch nur die Nutzung berücksichtigt, die den größten Flächenanteil in der Rasterzelle einnimmt. So können z.B. besonders kleinkronige Einzelbäume in einem 10 m-Gitter nicht erfasst werden, was sich insbesondere auf die PET am Tag auswirkt. Es kann demnach vorkommen, dass eine Straße mit kleinkronigen Einzelbäumen nicht oder zumindest nicht durchgängig als Allee erkannt wird. Die betroffenen Teilräume sind in der Regel aber sehr klein mit sehr lokalen Effekten, so dass in der gesamtstädtischen Perspektive bzw. in den grundsätzlichen Schlussfolgerungen keine relevanten Auswirkungen zu erwarten sind. Dennoch empfiehlt sich im konkreten Anwendungs-/Zweifelsfall immer auch ein kritischer ortskundiger Blick auf die zugrunde liegenden Modelleingangsdaten.

Die **bedeutsamste Unsicherheitsquelle** ist die **Informationstiefe der zur Verfügung stehenden Daten**. Dies bezieht sich zuallererst auf die Gebäude. Auf Basis der für dieses Projekt zur Verfügung stehenden Daten sind Gebäude in der vorliegenden Analyse als Klötzchenmodell (LOD 1) abgebildet – also mit ihrer exakten Lage im Raum und ihrer gemittelten Dachhöhe. Damit sind flächendeckend alle Informationen vorhanden, um die Gebäude im Modell als Strömungshindernis definieren zu können. Auch bzgl. ihres Wärmeemissionsgrades können Gebäude hinreichend gut im Modell abgebildet werden. Allerdings bestehen hier Unsicherheiten, die sich aus fehlenden (gesamtstädtischen) Informationen zu beispielsweise Baumaterialien, Oberflächenalbedo und Fensteranteilen ergeben. Der Wärmeemissionsgrad der Gebäude kann gegenwärtig somit im Modell ausschließlich über das Bauvolumen abgebildet werden.

Vergleichbares gilt auch für flächendeckende, kleinräumige Informationen zu Bodeneigenschaften wie der Wärmeleitfähigkeit oder der Bodenfeuchte. Im Modell wird mit einem einheitlichen Bodenprofil gearbeitet, dessen Oberflächeneigenschaften über die Zusatzinformation „naturferner Boden“ über das Nutzungsraster modifiziert wird.

Studien deuten darauf hin, dass diese und andere Unsicherheiten in den Modelleingangsdaten im kleinräumigen Einzelfall einen Unterschied bei der Lufttemperatur in 2 m Höhe um die Mittagszeit von 1,5 K und in den Nachtstunden von 1,1 K betragen kann, was wiederum auch zu kleinräumigen Auswirkungen auf thermisch bedingte Strömungen führen kann (Gross 2014). Es sei noch einmal betont, dass diese Unsicherheiten nicht im Modell begründet liegen – in dem diese Informationen grundsätzlich verarbeitet werden könnten –

sondern in nicht oder nicht flächendeckend zur Verfügung stehenden (Geo-)Basisinformationen in ausreichend guter Qualität. Angesichts der rasanten Entwicklung in der Fernerkundung und der Datenstandards (z.B. im Bereich des BIM - Building Information Modeling) ist damit zu rechnen, dass entsprechende Informationen mittelfristig (+/- 10 Jahre) für die gesamtstädtische Ebene bereitstehen und dann auch modelltechnisch abgebildet werden können.

Mit Blick auf die beiden Szenarien in Verbindung mit den dort integrierten Entwicklungsflächen kommt die **Unsicherheitsquelle** des sog. „**Mischpixel-Ansatzes**“ hinzu. Dieser repräsentiert aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Planungen auf den entsprechenden Flächen notwendigerweise einen vereinfachten Ansatz, der zwar realistische Nutzungsanteile innerhalb der Fläche abbildet, diese aber zufällig auf der Fläche verteilt. Das in der Realität – also nach Vorhabenrealisierung – entstehende Nutzungsmosaik (Gebäude, ebenerdige Versiegelungen, ebenerdiges Grün, Bäume) wird damit nur (oder auch: immerhin) näherungsweise getroffen. Die Unsicherheiten nehmen dabei mit abnehmendem Verhältnis überbauter Grundstücksfläche zu unbebautem Freiraum zu. Das bedeutet, dass die Unsicherheiten bei Vorhaben wie beispielsweise bei einem einzelnstehenden Hochhaus auf einem großen Grundstück mit viel Freiraum am größten ausfallen (weil es innerhalb der Fläche eine vglw. große Variationsmöglichkeit gibt), während sie bei Vorhaben wie beispielsweise einem Gewerbegebiet mit einer GRZ von 0,8 sehr gering ausfallen (weil es innerhalb der Fläche vglw. geringe Variationsmöglichkeiten gibt). In aller Regel ähneln die Mischpixelflächen eher dem letzteren Typ mit eher kleinerem Variationspotential, so dass zwar kleinräumige Unsicherheiten bestehen, diese im gesamtstädtischen Kontext aber valide Ergebnisse liefern und eine Bewertung einer Bebauung mit ihren Auswirkungen zulassen. Auch für andere Unsicherheitsquellen muss zwischen der Referenzsituation und den Szenarien differenziert werden. So gilt bzgl. der Aktualität der Daten zum Beispiel: Je aktueller die Daten, desto geringer sind die Unsicherheiten. Kapitel 5.1.4 legt die jeweils verwendeten Datenquellen und -erhebungszeitpunkte detailliert dar. Mit Blick auf die Referenzsituation muss festgehalten werden, dass viele bauliche Vorhaben zum Zeitpunkt der Modellierung nicht in den Geodaten gesteckt haben, so dass eine umfangreiche Anpassung der Modelleingangsdaten mithilfe des Auftragsgebers vorgenommen wurde (siehe Tabelle 9). Damit bildet die Referenzsituation bereits die nahe Zukunft in 5 Jahren ab und erhält dadurch längere Gültigkeit.

Einige Datensätze wie das Digitale Gelände und Oberflächenmodell stammen in Jena aus dem Jahr 2014. Beim Geländemodell ist dies sicherlich vernachlässigbar. Das Oberflächenmodell enthält jedoch die Höhen der Bäume und Gebäude, so dass die Aktualität der Daten hier wichtiger ist. Fehlende Gebäudehöhen wurden mit dem AG abgestimmt und auf mittlere Standardhöhen der Gebäudetypen gesetzt.

Darüber hinaus existiert keine groß- oder kleinräumige Prognose über die Entwicklung von Versiegelungen oder das Absterben, Neupflanzen oder Wachstum von Bäumen für die Zukunft, die hätten Berücksichtigung finden können. Diese Unsicherheiten im Bestand (also der bereits gebauten Stadt) können nicht vollumfänglich aufgelöst werden. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang das Bemühen, stets die besten zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren Daten zu verwenden, was im Projekt erfolgt ist. Diese Ausführungen lassen sich grundsätzlich auch auf die Berücksichtigung der zukünftigen Stadtentwicklung übertragen. Die Szenarien enthalten zwar abgestimmte Annahmen darüber, wo in den nächsten 10-20 Jahren Entwicklungen stattfinden könnten und zumindest für einen Teil der Flächen liegen auch Informationen zu Art und Maß der baulichen Nutzung vor. Ob diese aber tatsächlich (in der geplanten bzw. im Modell angenommenen Weise) umgesetzt werden, ist mal mehr und mal weniger unsicher. Die skizzierten Umstände sind der Arbeit mit Szenarien jedoch immanent, die per Definition ja die Entscheidung unter Unsicherheit nicht vollends auflösen, sondern diese „nur“ evidenzbasiert unterstützen wollen. Hier muss also mit – gut hergeleiteten und vor allem auch gut abgestimmten – Annahmen gearbeitet werden, was im Projekt über den intensiven Kommunikationsprozess sichergestellt wurde.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass numerische Modellrechnungen – ebenso wie alle anderen Analysemethoden in der Umweltanalytik im Allgemeinen und der Angewandten Stadtklimatologie im Speziellen – mit gewissen Unsicherheiten verbunden sind. Es ist aber auch deutlich geworden, dass diese Unsicherheiten allenfalls kleinräumig relevant sind und folglich auf die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Analyse einen zu vernachlässigenden Einfluss haben dürften. Nichtsdestotrotz wird es die Aufgabe des gesamten Fachgebiets der kommenden Jahre sein, die bestehenden Unsicherheiten weiter zu reduzieren und die Modellergebnisse auf einem sehr hohen Niveau noch weiter zu verbessern.

## 6. Analyseergebnisse

Die projektrelevanten Modellausgabegrößen zum Themenkomplex Thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt wurden als **QGIS-Kartenpaket** (Version 3.28.7) visualisiert und inkl. Legenden übergeben. Die einzelnen Karten rasterbasierter Modellergebnisse der Parameter **Lufttemperatur**, **Kaltluftströmungsfeld** und **Kaltluftvolumenstrom** (Nachtsituation) sowie **Physiologisch Äquivalente Temperatur** (PET; Tagsituation) werden im Folgenden inhaltlich anhand von Beispielen beschrieben. Alle Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 10 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage (Kapitel 0). Sie gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m ü. Gr. (Lufttemperatur, Windfeld) bzw. 1,1 m ü. Gr. (PET) und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung). Für die Darstellung im QGIS Projekt wurden die Werte mittels einer bilinearen Interpolation geglättet. Die Klassenschritte in der Farblegende wurden so gewählt, dass die Unterschiede innerhalb der Stadt möglichst gut ablesbar sind.

Es handelt sich um georeferenzierte Rasterdaten im TIF-Format mit dem Raumbezug: ETRS 1989 UTM Zone 32N.

### 6.1 NACHTSITUATION

#### 6.1.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

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

Je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage bzw. Höhe des Standorts und den Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften kann die nächtliche Abkühlung merkbare Unterschiede aufweisen, was bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets auch für den Jenaer Raum mit seinen verschiedenen Flächennutzungen deutlich wird. So liegt die nächtliche bodennahe Lufttemperatur in der Referenzsituation bei Minimalwerten von ca. 9,9 °C über Sand-/Geröllflächen beispielsweise auf der südlichen Kammseite des Jenzig, auf der Ernst-Haeckel-Höhe, an der Diebeskrippe oder im Bereich des Jagdbergtunnels in Leutra. Maximalwerte von etwa 21,1 °C werden für Standgewässer (z.B. Schleichersee) erreicht. Hier wurde dem Modell eine Wassertemperatur in Höhe von 21 °C vorgegeben (siehe Kapitel 0). Die hochversiegelten Siedlungsbereiche erreichen im Maximum eine Temperatur von 18,7 °C, so z.B. im Gewerbegebiet „Unteraue“, am Kaufland in Jena Löbstedt oder in der Innenstadt (Ernst-Abbe-Platz, Marktplatz oder am Saaltor) sowie im Gewerbegebiet „Tatzendpromenade“ (westlich des neuen Zeiss-Standortes in Jena West). Damit beträgt die Temperaturspannweite 11,2 °C in der Nacht. Die mittlere Temperatur der Stadt liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,1 °C. Die Modellrechnung bestätigt folglich den bereits in den Grundlagen benannten Wärmeinseleffekt (Kapitel 2.2) und erlaubt darüber hinaus eine genauere räumliche

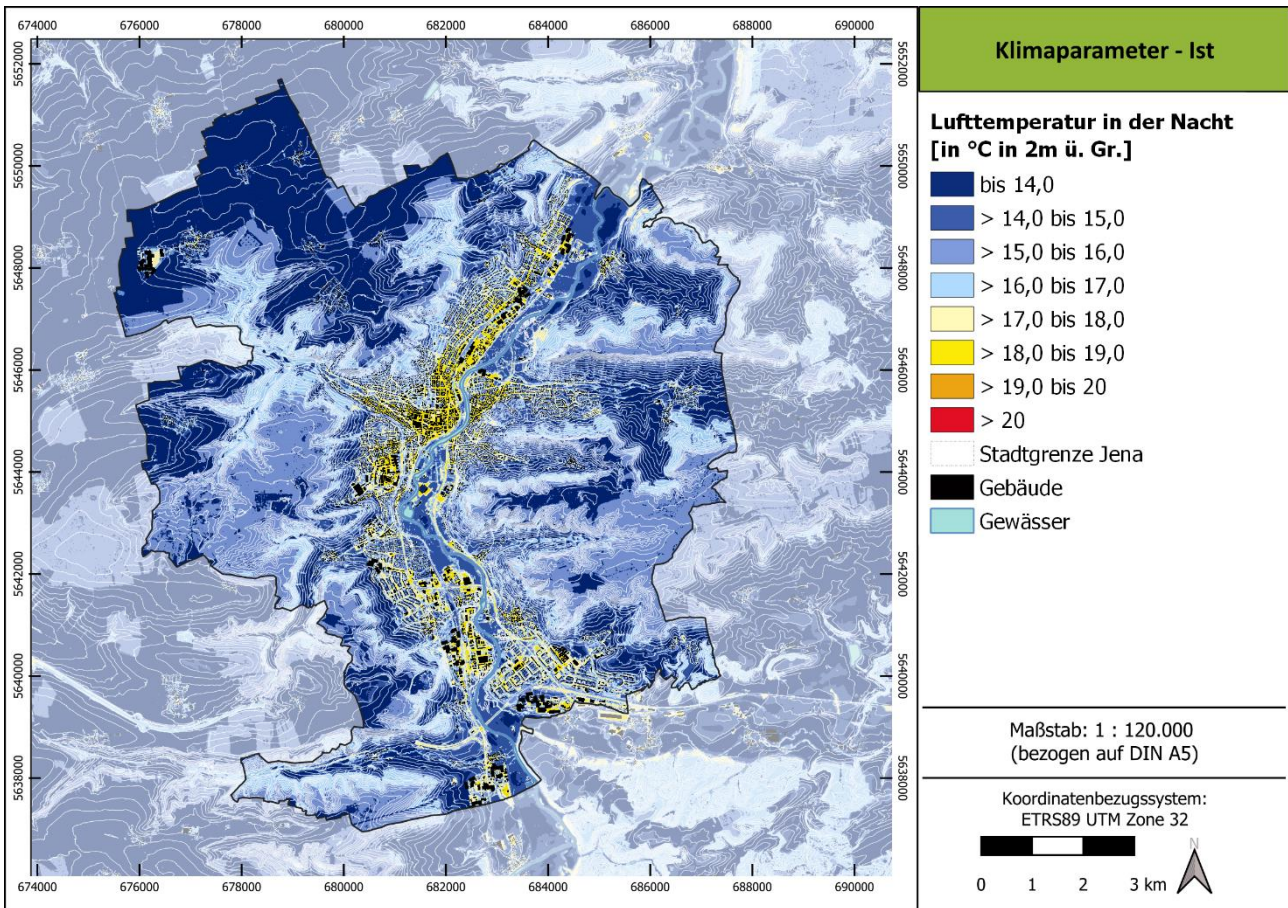


Abbildung 32: Nächtliche Lufttemperatur für die Referenzsituation.

Abgrenzung belasteter Bereiche. Abbildung 32 zeigt die nächtlichen Lufttemperaturen für das gesamte Stadtgebiet.

Die ländlichen Ortsteile auf den Höhenlagen weisen die niedrigsten Temperaturen in der Nacht für die Siedlungsbereiche auf. Dort liegt die nächtliche Temperatur in den Randbereichen bei 13 °C, diese nimmt dann zur Ortsmitte dann je nach Größe des Ortsteils auf bis zu 17 °C zu.

Deutlich stechen die hoch versiegelten Bereiche wie die Gewerbegebiete und die Innenstadt heraus. Die kleinteiligen Einfamilienhausbebauungen, bspw. unterhalb des Jenzigs oder unterhalb des Landgrafen, weisen Temperaturen von 15 °C bis 16,5 °C in der Nacht auf, die versiegelten Straßenbereiche sind mit über 17 °C deutlich wärmer.

Die großen Waldgebiete auf den Höhenlagen zeigen Temperaturen von 14,5 °C bis 16,5 °C auf. Sie kühlen in der Nacht aufgrund der Behinderung durch das Kronendach nicht so stark aus wie die Acker- oder Wiesenflächen, welche geringere Werte von 12 °C bis 14 °C aufweisen. Die innerstädtischen Wald- bzw. Parkareale wurden mit Temperaturen zw. 15 °C bis 17 °C wie bspw. der Johannisfriedhof oder das Waldstück „In der Gruntzke“ von FITNAH berechnet.

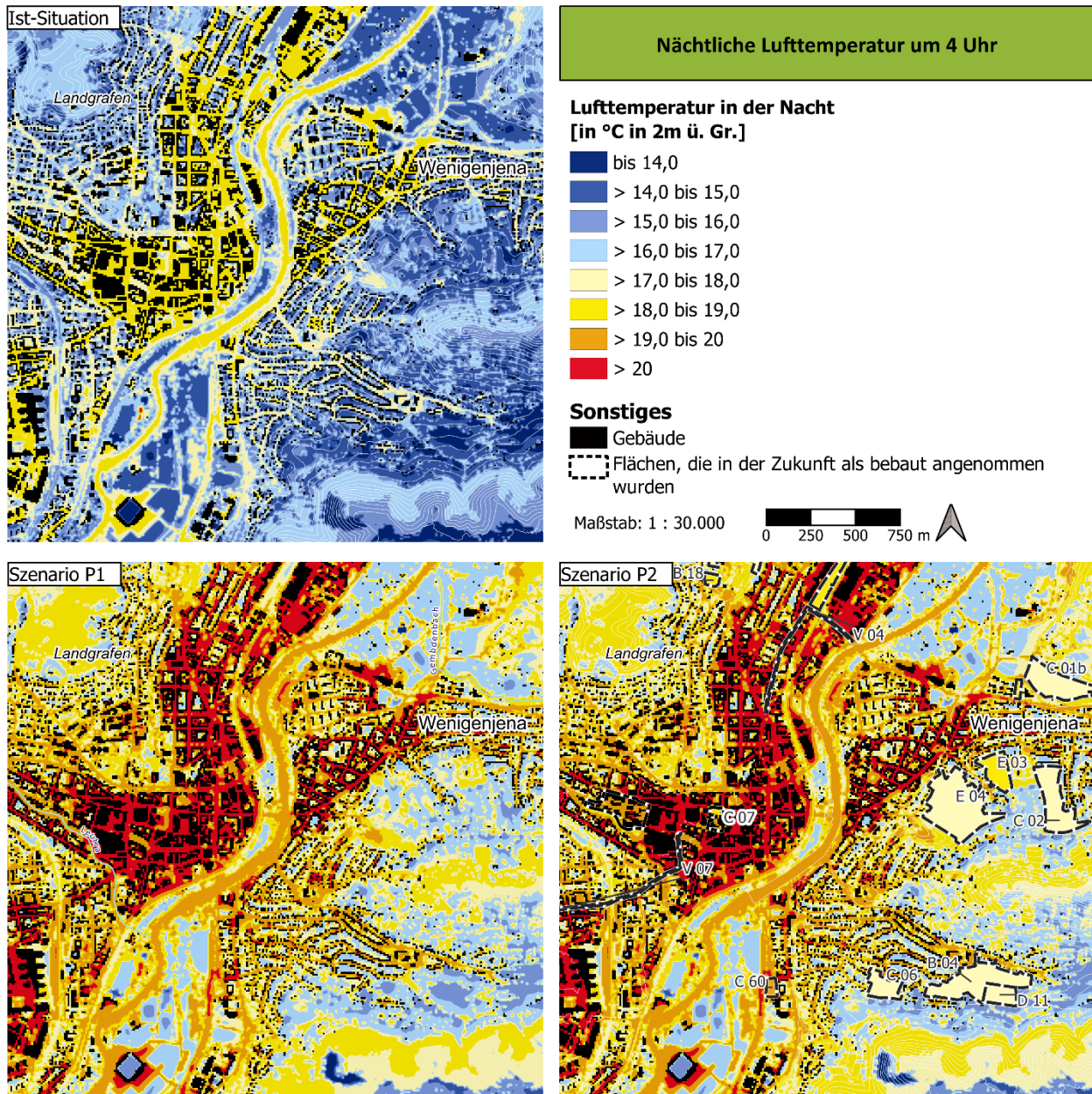


Abbildung 33: Zoom auf die nächtliche Lufttemperatur für die Referenzsituation, Zukunft P1 und Zukunft P2.

Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser sorgt für einen geringen Tagesgang der Wassertemperatur. Dieser beeinflusst folglich auch die darüber liegende 2 m-Lufttemperatur des Modells, die sich am Tage und in der Nacht vergleichsweise konstant verhält. Wie bereits zuvor weiter oben beschrieben, sind die Standgewässer mit knapp über 21 °C in der Nacht die wärmsten Bereiche, die Fließgewässer wie die Saale sind mit 18,1 °C deutlich kühler, aber somit ähnlich warm wie die stark versiegelten Siedlungsbereiche. Unmittelbar an die Gewässer angrenzende Gebiete werden nachts erwärmt, wobei sich die Reichweite auf wenige Meter beschränkt.

Aufgrund des im Modell angenommenen Klimawandels in der nahen Zukunft ist mit einer sommerlichen Temperaturzunahme von durchschnittlich +2 K gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 bis zum Jahr 2035 zu rechnen (RCP 8.5, 85. Perzentil, siehe Kapitel 4.4). Diese klimawandelbedingte Erwärmung zeigt sich gleichermaßen stark auf den Siedlungsflächen wie auf den Grün- und Freiflächen (siehe Abbildung 33),

wodurch der Wärmeinseleffekt in der Referenzsituation und den zwei Szenarien P1 und P2 unverändert bestehen bleibt.

In der Abbildung 33 ist die nächtliche Temperatur für die Referenzsituation und die zwei Zukunftsszenarien P1 und P2 auszugsweise dargestellt. Es ist, wie oben beschrieben, eine flächendeckende Temperaturzunahme in beiden Szenarien zu erkennen. Hier weisen nun viele Flächen der verdichteten Innenstadt, die Verkehrsflächen und die stark versiegelten Gewerbegebiete Temperaturbereiche über 20 °C in der Nacht auf.

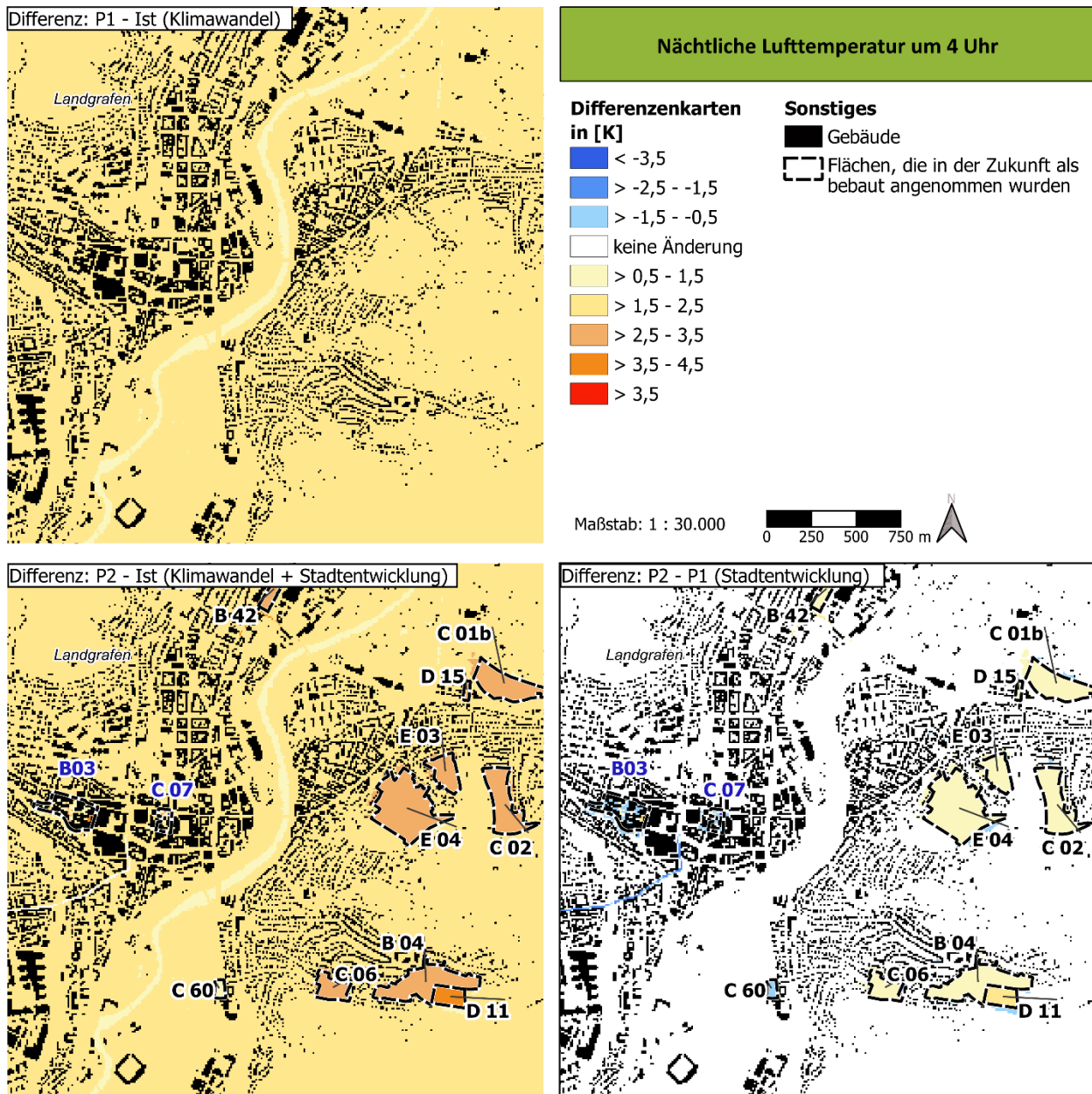


Abbildung 34: Differenzen der nächtlichen Lufttemperatur zwischen den einzelnen Modellrechnungen

Werden die **Differenzen zwischen den einzelnen Modellrechnungen** betrachtet, ist eine ungleichmäßige Temperaturänderungen erkennbar. Abbildung 34 zeigt zur Verdeutlichung verschiedene **Differenzkarten**:

- **P1 – Ist:** Temperaturdifferenz, die aus dem Klimawandel im Vergleich zur Ist-Situation resultiert (oben links),
- **P2 – Ist:** Temperaturdifferenz, die sich aus der Stadtentwicklung in der Zukunft P2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung) im Vergleich zur Referenzsituation ergibt (unten links),

- **P2 – P1:** Temperaturdifferenz, die sich aus der Stadtentwicklung in der Zukunft P2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung) im Vergleich zur Zukunft P1 (mit Klimawandel) ergibt (unten rechts).

Anhand der Differenzkarten ist zu erkennen, dass die **Temperaturänderung auf den FNP-Entwicklungsflächen überwiegend durch die bauliche Entwicklung bestimmt** wird. Die Entwicklungsflächen (hier beispielhaft östlich der Saale liegend), welche mit dem Mischpixelansatz modelliert wurden (siehe Kapitel 5.1.3) und bei dem keine klimaangepasste Bauweise umgesetzt wurde, zeigen dabei fast ausschließlich eine mittlere Temperaturzunahme von bis zu 5 K in der Nacht. Dies stellt jedoch eine Überschätzung der Temperaturzunahme dar, da hier die Modellklassen zufällig auf den Flächen verteilt wurden und dabei keine zusammenhängenden Grün- und Freiflächen entstanden sind, die eine größere Kühlwirkung erzeugen könnten. Nichtsdestotrotz sind innerhalb der Entwicklungsflächen auch Bereiche auszumachen, wo es zu einer Abkühlung in der Nacht kommt. Diese resultiert oftmals aus der Umwandlung von Bäumen oder versiegelter Fläche in Freifläche (Rasen), welche in der Nacht besser auskühlt.

Aufgrund des verwendeten Mischpixel-Ansatzes und den daraus resultierenden Ungenauigkeiten (siehe Kap. 5.3) erfolgt schließlich in den Karten zur nächtlichen Lufttemperatur eine zusammenfassende **Darstellung des jeweiligen Durchschnittswertes auf den FNP-Entwicklungsflächen**.

Betrachtet man hingegen die Entwicklungsfläche B03 „Bachstraße“ (westlich der Saale an der Leutra liegend), für die ein städtebauliches Konzept inklusive Grün- und Freiflächenplanung im Szenario P2 übernommen wurde, ist ersichtlich, dass es dort zwar klimawandelbedingt ebenfalls zu einer Temperaturerhöhung auf der Fläche kommt (Differenz P2 – Ist), die bauliche Umgestaltung jedoch zu einer Abkühlung von bis zu 3 K in der Zukunft führt (Differenz P2 – P1). Dies begründet sich in der im Konzept angenommenen umfangreichen Flächenentsiegelung und Durchgrünung der Fläche, insbesondere mit großen Bäumen. Selbiges gilt für die Fläche C07 „Eichplatz, Baufeld B“, welche durch die im Modell übernommenen Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen für die Zukunft P2 eine nächtliche Temperaturreduktion von ca. 1 K erfährt. Hier macht sich ein stadtklimaangepasster Stadtumbau positiv für die Nachtsituation bemerkbar, so dass die Temperaturerhöhung durch den Klimawandel abgeschwächt werden kann. Für die FNP-Entwicklungsflächen, die mit einer konkreten städtebaulichen Planung im Rechenmodell integriert wurden, erfolgt keine Darstellung eines Durchschnittswertes, sondern die Ergebnisse können direkt in den Karten abgelesen werden.

### 6.1.2 KALTLUFTVOLUMENSTROM

Lokalen Strömungssystemen wie Flurwinden oder Hangabwinden kommt eine besondere stadtplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis, sodass die Durchlüftung des Stadtkörpers herabgesetzt ist (siehe auch Kapitel 2.2). Die Abfuhr überwärmter und schadstoffbelasteter Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer und frischer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen. Weil die Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der **Kaltluftvolumenstrom**. Vereinfacht ausgedrückt stellt er das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt bspw. eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abbildung 35).

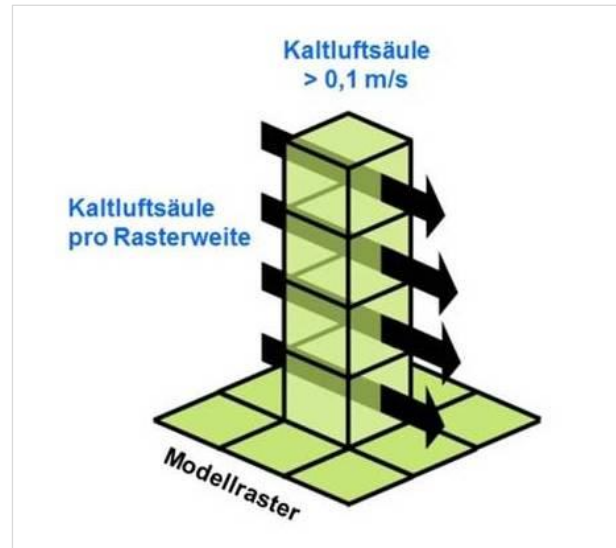


Abbildung 35: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.

Der modellierte Kaltluftvolumenstrom (Einheit  $\text{m}^3/\text{s}$ ) bezieht sich in dieser Arbeit auf einen 1 m breiten Querschnitt und repräsentiert damit streng genommen eine Kaltluftvolumenstromdichte (Einheit  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ). Zur Vereinfachung wird in diesem Bericht jedoch auch für die Kaltluftvolumenstromdichte der Begriff „Kaltluftvolumenstrom“ synonym verwendet.<sup>16</sup>

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

Strömungshindernisse wie Straßendämme oder Gebäude können luvseitig<sup>17</sup> markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Lee<sup>18</sup> zu bodennahen Geschwindigkeitsreduktionen, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strö-

<sup>16</sup> Der Kaltluftvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$  beschreibt die Menge an Kaltluft, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt der Rasterzelle (hier: 10 m breit) fließt. Um Ergebnisse verschiedener Modellauflösungen miteinander vergleichbar zu machen, bietet sich der Kaltluftvolumenstrom als Dichte (in  $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ) an, da seine Intensität nicht von der Rasterzellenbreite abhängt. Er wird auf 1m normiert.

<sup>17</sup> dem Wind zugewandte Seite

<sup>18</sup> dem Wind abgewandte Seite

mungsmaxima stehen kann. Die **Eindringtiefe von Kaltluft** in bebautes Gebiet hängt folglich von der Siedlungsgröße und -struktur sowie Bebauungsdichte und zudem von der anthropogenen Wärmefreisetzung und Menge einströmender Kaltluft ab. Bäume wirken ebenfalls bodennah als Strömungshindernis. Sie produzieren auch Kaltluft, aber nicht so viel wie Wiesen- und Freiflächen. Die Kaltluft entsteht über dem Kronendach, da dort die Wärmeausstrahlung in die Atmosphäre ungehindert erfolgt. Die Kaltluft über dem Kronendach sinkt dann in den Stammraum ein und verbleibt dort, wenn der Wald in einer ebenen Fläche liegt. Sie tritt jedoch, wenn sich der Wald am Hang befindet, an den Rändern aus. Wald am Hang führt zu einem schnelleren Fließen von Kaltluft, da diese, aufgrund ihrer Schwere und dem Gefälle folgend, fließt. Damit strömt wärmere Luft von oben nach und lässt die Kaltluft etwas wärmer an den Hanglagen sein, die aus dem Stammraum austritt (VDI 3787, Blatt 5 Entwurf 03/2024).

Der im Modell ermittelte nächtliche Kaltluftvolumenstrom zeigt in der Stadt Jena eine große Variabilität und reicht von „nicht vorhanden“ bis zu **maximalen Werten über  $197 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{s})$** . Der **Mittelwert** im Jenaer Stadtgebiet liegt bei  **$35,7 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{s})$**  (siehe auch Abbildung 36).

In der Stadt Jena fließt aufgrund des Reliefs viel Kaltluft die Ost- und West-Hänge der Saale sowie der Seitentäler herunter. Die Kaltluftvolumenströme, die dabei auf das Stadtgebiet in der Saaleaue ausgerichtet sind, sind dabei aus stadtklimatischer Sicht von besonderem Interesse. In den Seitentälern der Saale werden große Mengen Kaltluft erzeugt, hier fließen dann sehr hohe Kaltluftvolumina die Talsohle entlang hin zum Talaustritt in Richtung Saaleaue (siehe Prinzip „Berg-/ Talwindssystem“ in Abbildung 6). Die höchsten Kaltluftvolumina mit ca.  $150 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{s})$  sind rund um die Ortslagen Kunitz, Jenaprießnitz oder Wöllnitz (Pennickental) zu finden. Das Ammerbachtal, der Münchenrodaer Grund in Verbindung mit dem Mühlthal, das Rautal, das nördliche und südliche Leutra-Tal, Steinbachtal, das Gembdenbachtal und die Ortslage Drackendorf mit dem Hungergraben weisen ebenfalls hohe Kaltluftvolumenstromdichten mit bis zu  $100 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{s})$  auf. Oftmals sind die Seitentäler geringer bebaut als in der Saaleaue, da sie verhältnismäßig eng sind und wenig Platz zum Bauen bieten. Die Gebäude und Siedlungsflächen bremsen die Kaltluft ab und erwärmen diese.

Innerhalb des Berg-/ Talwindssystem tritt in Jena vielfach **großflächiger Hangabfluss** auf (siehe Prinzip „Flächenhafter Kaltluftabfluss“ in Abbildung 6). Dieser speist die linienhaften Kaltluftleitbahnen entlang der Seitentäler und sorgt für eine Abkühlung der angrenzenden Siedlungsflächen in der Nacht. Als Beispiel ist die Ortslage Wenigenjena am Südhang des Gembdenbachtals zu nennen. Hier kann die Kaltluft weit in die lockere, kleinteilige Bebauung eindringen. Ein weiteres Beispiel ist der Hang westlich von Winzerla, der sich zwischen Ammerbach und Trießnitz befindet. Auch dort zeigt sich ein hoher flächenhafter Hangabfluss. Hier stellen jedoch die hangparallelen Geschosswohnungsbauten ein größeres Strömungshindernis dar als die kleinteilige Bebauung im Gembdenbachtal. Daher kommt es in Winzerla zu einer stärkeren Abbremsung der Kaltluft hangabwärts.

Die Osthänge der Saaleaue befördern teilweise so viel Kaltluft den Hang herunter, dass diese Kaltluftvolumenströme die Saale überfließen. Das ist bspw. in Wöllnitz sowie zwischen Gembdenbachtal und Kunitz ersichtlich.

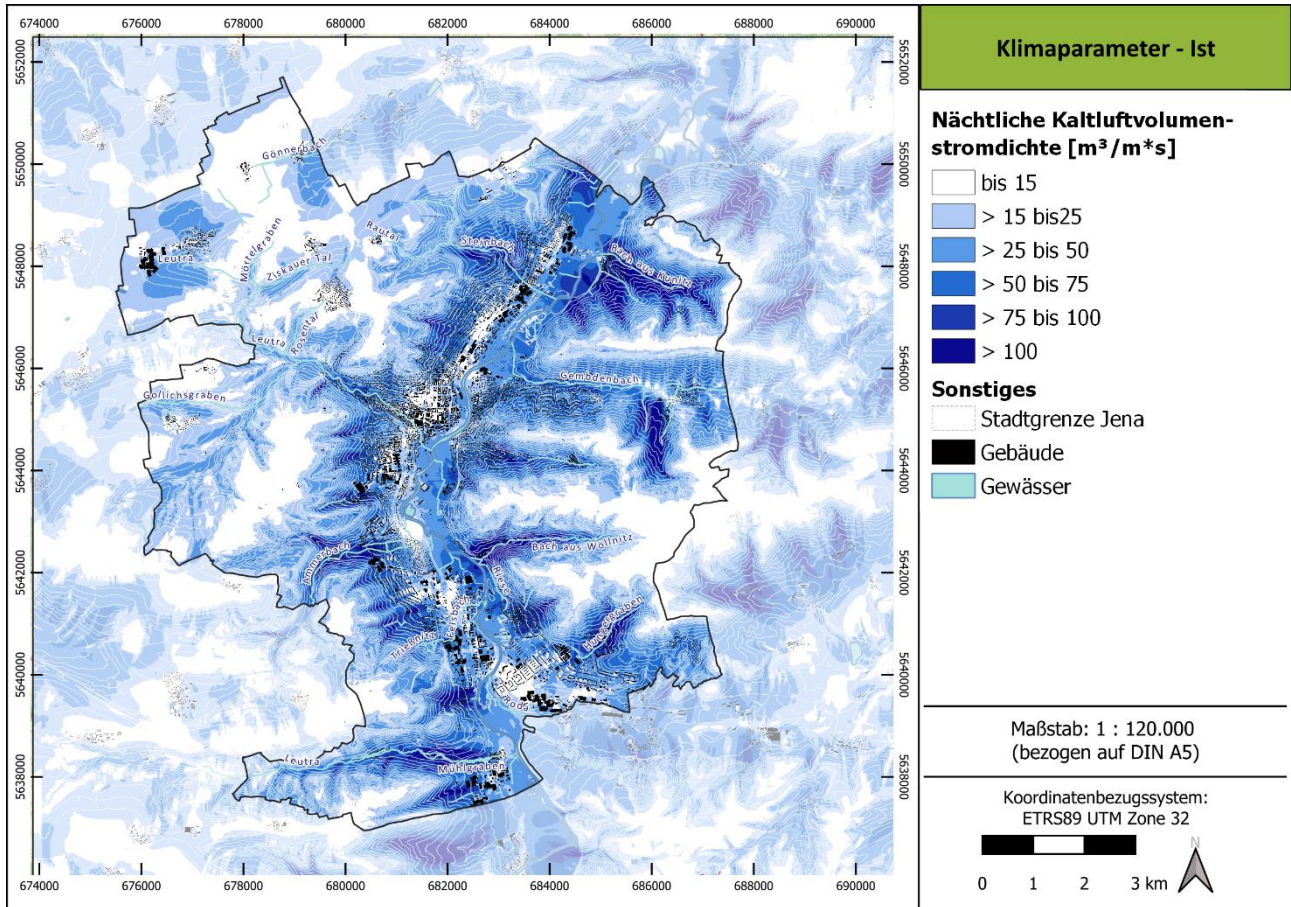


Abbildung 36: Kaltluftvolumenstromdichte in Jena für die Referenzsituation (4 Uhr).

Die Saaleaue ist im Gegensatz zu den Seitentälern breiter, dort befinden sich auch die Hauptsiedlungsgebiete von Jena. Die Seitentäler sowie die Ost- und Westhänge der Saale befördern die Kaltluft in die Saaleaue und füllen das Tal im Verlauf der Nacht mit Kaltluft auf. Aufgrund der dichteren Bebauung und der geringeren Geländeneigung innerhalb des Saaleals wird die Kaltluft jedoch stark abgebremst und verbleibt. In Bereichen besonders dichter Bebauung, v. a. im Innenstadtbereich, reduziert sich die Kaltluftvolumenstromdichte auf nur noch 5 bis 15  $m^3/(m*s)$  und kommt teilweise sogar ganz zum Erliegen. Die Kaltluftvolumenströme in der Saaleaue und im bebauten Gebiet sind insgesamt geringer als den Hängen. Dies zeigt sich bspw. am Eichplatz und auf dem Marktplatz, wo die Kaltluft nur noch wenig strömt. Der innerstädtische Johannisfriedhof und der Botanische Garten bremsen durch den dichten Baumbewuchs die Kaltluftströmung ebenfalls weiter ab, sorgen aber dennoch – aufgrund der Vorort produzierten Kaltluft – für Kühlung der unmittelbar umgebenden Häuser. Im Gewerbegebiet am Spitzweidenweg und an der Löbstedter Straße sind die Kaltluftvolumenströme ebenfalls vergleichsweise gering für Jena. Hier bremst die hangparallele Bebauung am Westhang mit Zeilenbauten die Kaltluftvolumenströme immer mehr ab. Auch im Gewerbegebiet „Tatzendpromenade“ sowie rund um das Heizkraftwerk Jena-Süd sind die Kaltluftvolumenströme nur gering mit wenigen 10er  $m^3/(m*s)$  ausgeprägt. Im Bereich des Geschosswohnungsbaus in Lobeda West zeigt sich ebenfalls ein geringer Kaltluftvolumenstrom. Die von Osten (aus Drackendorf) kommende Kaltluft wird bereits weiter oben am Hang durch das Universitätsklinikum mit seinen zusammenhängenden Gebäudekomplexen quer zum Hang abgebremst. Die querstehende hohe Riegelbebauung im Westen bremst darüber hinaus die westlich zulaufende Kaltluft.

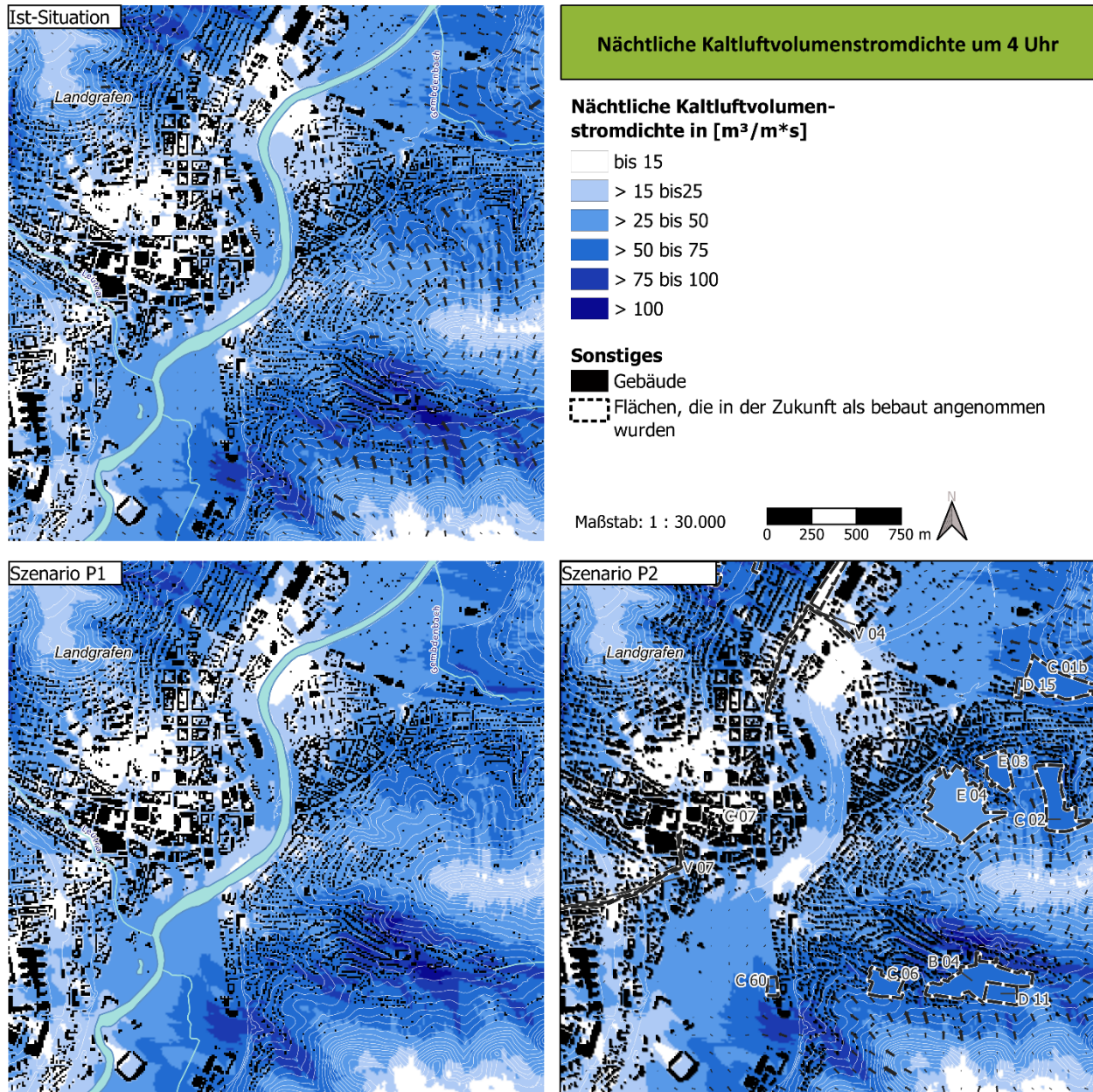


Abbildung 37: Kaltluftvolumenstromdichte für die Referenzsituation und die Zukunftsrechnungen P1 und P2.

Neben den orografisch bedingten Kaltluftabflüssen gibt es die kleinräumig entstehenden **Flurwindssysteme**, die jedoch von geringerer Bedeutung für Jena sind. Solche Kaltluftbewegungen entstehen durch Temperaturunterschiede zwischen kühlem Ausgleichsraum und warmen Siedlungskörper. Über letzterem steigt die warme Luft auf, wodurch ein Vakuum entsteht, das durch vergleichsweise kühlere Luft vom umgebenden Umland ausgeglichen wird. Solche Systeme sind bspw. im Gewerbegebiet in Lobeda Süd, an der Brüsseler Straße oder im Bereich „Am Volksbad / Knebelstraße“ zu finden.

Rauigkeitsarme Strukturen wie Bahntrassen oder breite Straßen (oftmals in Verbindung mit angrenzenden Freiflächen) sind teilweise durch hohe Volumenströme gekennzeichnet, transportieren in der Regel aber wärmere Luft als grüne Strukturen (die Kaltluft erwärmt sich während des Transports über diesen Flächen). Beispielhaft für Straßenzüge, die recht viel Kaltluft befördern, können die Straße „Am Steiger“, ein Teil des „Hufelandweges“ in Höhe der Nordschule, die Karl-Liebnecht-Straße als B7 im Bereich der „Erlenhöfe“ sowie die Drackendorfer Straße bzw. der NO nach SW ausgerichtete Teil der Straße „Am Klinikum“ genannt

werden. Die orografisch tiefliegende und größtenteils nah an den Siedlungsstrukturen befindliche Saale eignet sich weniger zum Kaltlufttransport in Richtung der Innenstadt, da sie generell viele Mäander innerhalb des Stadtgebietes von Jena aufweist.

Die Kaltluftdynamik verändert sich im Zuge des Klimawandels in der nahen Zukunft gegenüber der gegenwärtigen Situation geringfügig (siehe Abbildung 37). Auch wenn die Kaltvolumenströme sich mit dem Zukunftsszenario P1 nur geringfügig ändern, ist die Kaltluft – per Definition eine Luftmasse, die kälter als ihre Umgebung ist – im Vergleich zur Ist-Situation nun wärmer. Eine flächendeckende Änderung der Kaltluftvolumenstromdichte, wie beispielsweise bei der nächtlichen Lufttemperatur (siehe Abbildung 34), ist daher nicht zu beobachten.

Die Veränderungen zwischen den verschiedenen Szenarien werden in den **Differenzkarten zum Kaltluftvolumenstrom** in Abbildung 38 dargestellt. Geringfügige Änderungen im Kaltluftströmungsfeld zeigen sich in der **Differenzkarte P1 – Ist**. Diese ergeben sich **aus dem Klimawandelsignal**, welches die Dynamik der Ausgleichsströmung zwischen überwärmten Siedlungsbereichen und kühleren Grün- und Freiflächen an einigen Stellen erhöht (Verstärkung der (Flur-)Windsysteme). Während der Kaltluftvolumenstrom in der Stadt zum größten Teil gleich bleibt, ist in einigen Fällen eine Zunahme (blauer Farbton) des Kaltluftvolumenstromes ablesbar. Dies betrifft Bereiche, die sich in der nächtlichen Temperaturdifferenz (siehe Abbildung 34, unten links) wärmer als das angesetzte Klimawandelerhöhungssignal von +2 K darstellen und damit mehr Ausgleichsströmung erzeugen und anziehen. Hier werden die bestehenden Flur- und Strukturwindsysteme verstärkt, so dass es zu geringen Zunahmen der Kaltluftströmung kommt.

Die weitreichendere Änderung des Kaltluftvolumenstromes wird durch die FNP-Entwicklungsflächen im Zukunftsszenario P2 beeinflusst. In der **Differenzkarte P2 – P1** (unten rechts in der Abbildung 38) ist die **Wirkung der geplanten Neubebauung** zu sehen. Hier kommen im Modell Bäume und Gebäude als Strömungshindernisse hinzu und beeinflussen die Kaltluftvolumenströme großflächiger. Dabei zeigen die Modellergebnisse Verminderungen als auch Zunahmen der Kaltluftbewegungen, die auf eine Umlenkung der Kaltluft zurückzuführen sind. Der Kaltluftvolumenstrom ist eine dreidimensionale Größe, welche über 50 m vertikal integriert, d.h. zusammengerechnet (siehe Kaltluftsäule, Abbildung 35), und in den Karten in 2D dargestellt wird. Somit sind Kaltluftvolumenstromänderungen tw. auch in weiterer Entfernung der Entwicklungsflächen sichtbar, da die Volumenströme auch im Überdachniveau verändert (verringert/ erhöht) werden.

Die Bebauung auf den Entwicklungsflächen in der Zukunft P2 führt fast immer zu einer Reduktion des Kaltluftvolumenstroms, was an den Rot-Tönen in der Karte in der Abbildung 38 zu erkennen ist. Da für die FNP-Entwicklungsflächen i. d. R. der „Mischpixel-Ansatz“ auf Grundlage der „Flächenzwillinge“ angewandt wurde, gilt – wie auch schon bei den nächtlichen Temperaturdifferenzen – dass diese rechnerisch ermittelte Reduzierung der Kaltluft eher überschätzt ist. Zum einen erfolgt mit dem Mischpixel-Ansatz keine Abbildung einer städtebaulichen Struktur (zusammenhängende Gebäude mit bestimmter Kubatur und Ausrichtung sowie zusammenhängende Grünstrukturen mit dem Potenzial zur nächtlichen Kaltluftproduktion bzw. Kaltlufttransport) und zum anderen wurde mit Anwendung der Flächenzwillinge keine klimaangepasste Bauweise berücksichtigt (siehe dazu auch Kap. 5.3). Daher wird auch in diesem Fall auf den FNP-Entwicklungsflächen nur der Flächendurchschnitt in den Karten bzw. im QGIS-Projekt dargestellt. Die Berücksichtigung einer klimaangepassten Bauweise im Rahmen der konkretisierenden Planungen kann dazu beitragen, die Auswirkungen auf den Kaltluftvolumenstrom zu reduzieren.

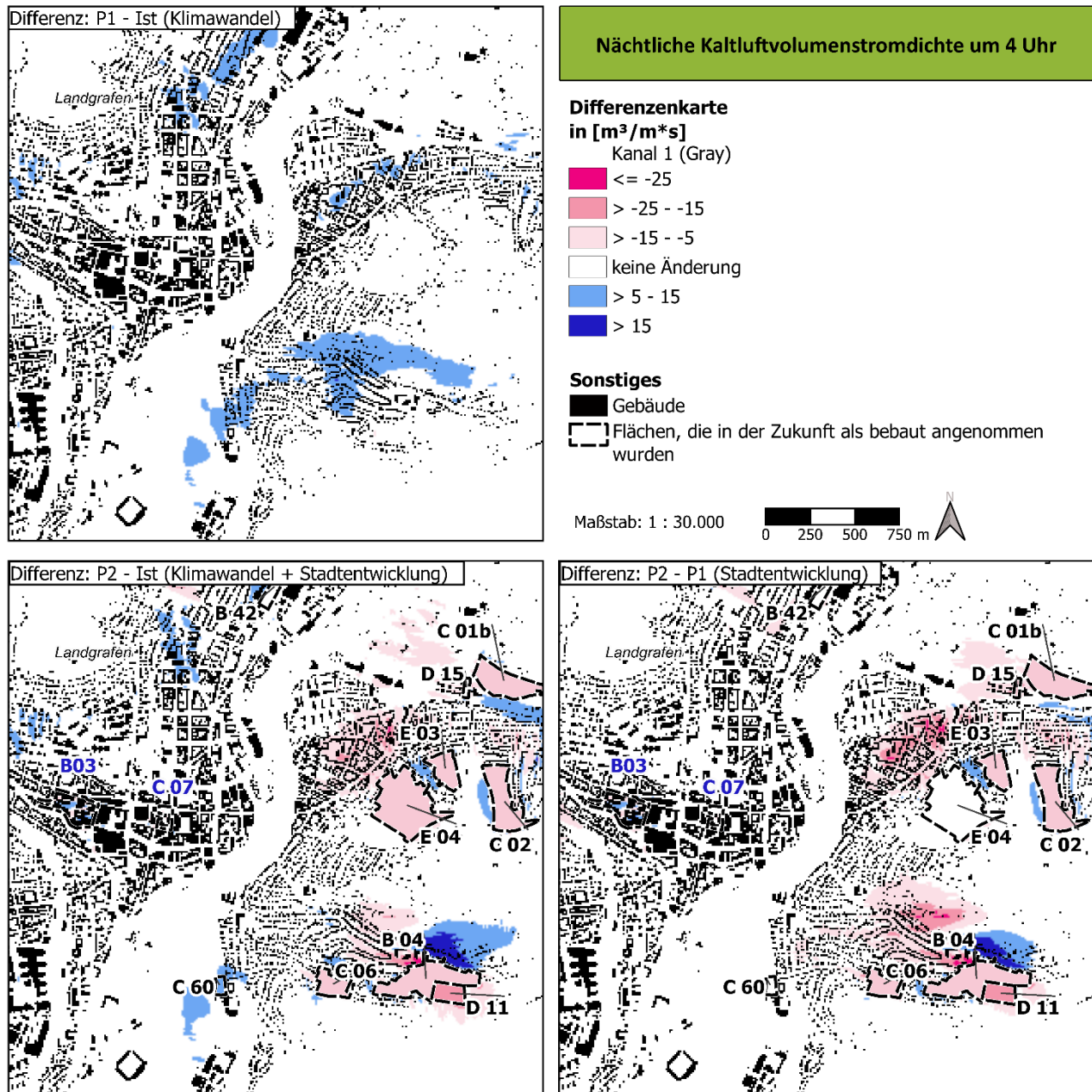


Abbildung 38: Differenzen des Kaltluftvolumenstromes zwischen den einzelnen Modellrechnungen

So verringern beispielsweise die Entwicklungsflächen B04 „An der Talschule“ und D11 „Erweiterung B04 An der Talschule“ in Ziegenhain den Kaltluftvolumenstrom um über mehr als  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{s})$ . Die Fläche D11 wirkt dabei bereits auf B04 ein und die Reduzierung der Kaltluft wird durch die beiden Flächen verstärkt. Da dort am Hang bereits viel Kaltluft fließt, ist die Abnahme des Kaltluftvolumenstroms durch die Bebauung jedoch vertretbar. Die Differenzenkarten der nächtlichen Temperatur zeigen eine leichte Zunahme unmittelbar auf der Entwicklungsfläche von etwas mehr als  $1,5 \text{ K}$  für B04 und mehr als  $2,5 \text{ K}$  für D11 (siehe Abbildung 34). Eine Temperaturerhöhung im Umfeld der beiden Flächen ist nicht zu verzeichnen, obwohl der Kaltluftvolumenstrom nordwestlich reduziert wird. Gleichzeitig, ist ersichtlich, dass es im Norden der Flächen B04 und D11 zu einer Zunahme des Kaltluftvolumenstromes kommt. Hier wird die am Südhang herabfließende Kaltluft beschleunigt und direkt entlang der Ziegenhainer Straße umgelenkt. Die Bebauung am Nordhang führt wie bereits beschrieben zu einer Abnahme des Kaltluftvolumenstroms und setzt damit das Herabströmen der Kaltluft zur Ziegenhainer Straße herab. Es kommt nicht mehr zum Zusammenfluss der beiden Hangabflüsse

aus Süd und Nord an der Ziegenhainer Straße. Der Kaltluftabfluss am Nordhang ist im unbebauten Zustand der FNP-Entwicklungsflächen stärker als der vom Südhang. Das Verhältnis dreht sich unter der Bebauung von B04 und D11 (ohne Berücksichtigung einer klimaangepassten Bauweise im Modell) um, so dass der Kaltluftvolumenstrom am Südhang nun der etwas Stärkere ist, was sich an der Erhöhung bemerkbar macht (blaue Farbe in den Differenzkarten). In den Differenzen der nächtlichen Lufttemperaturen 2 m ü. Gr. (in der Abbildung 34) machen sich die Zu- und Abnahmen der Kaltluft lediglich auf den Entwicklungsflächen selbst bemerkbar, was jedoch hauptsächlich an der gespeicherten Wärmeabgabe durch die versiegelten Flächen und Gebäude resultiert. Außerhalb der Entwicklungsflächen nehmen die Temperaturen weder *signifikant* zu noch ab. Trotz der dargelegten Veränderung des Kaltluftvolumenstromes sowie der nächtlichen Temperaturen wird für die beiden Entwicklungsflächen B04 und D11 im Ergebnis der Klimamodellierung eine *mittlere bioklimatische Situation* prognostiziert. Die Auswirkungen der Bebauung auf die Nachbarschaft sind *sehr gering*. Damit wurden beide Entwicklungsflächen in die Kategorie „hohe klimatische Verträglichkeit“ eingestuft. Die Wohnbauflächen sind stadtklimaverträglich umsetzbar. Um die im Modell prognostizierte bioklimatische Situation zu verbessern, wird die Berücksichtigung optimierender klimaökologischer Maßnahmen empfohlen (siehe Steckbriefe und Maßnahmenkatalog). Die zukünftige Bebauung (Baukörpergröße und -ausrichtung in Verbindung mit grünen Korridoren) sollte daher so gestaltet sein, dass die nächtlichen Kaltluftflüsse aus Südosten nach Nordwesten auch weiterhin ermöglicht werden.

Die Entwicklungsfläche B03 „Bachstraße“, die westlich der Saale liegt, zeigt in der Zukunftssituation P2 eine Verbesserung der Kaltluftsituation auf der Fläche. Hier wurde das städtebauliche Entwicklungskonzept mit dem vorhandenen Grünordnungsplan der Modellierung zugrunde gelegt. Obwohl es eine Nachverdichtung mit Gebäuden auf der Fläche gibt, sind auch weite Teile entsprechend des Grün- und Freiraumkonzeptes entsiegelt und begrünt worden. Außerdem sind die Gebäude in Südost-Nordwest Richtung ausgerichtet, was dem Fließen der Kaltluft an dieser Stelle zugutekommt. Diese kann nun besser über die Flächen hinwegströmen und sorgt damit für eine bessere Durchlüftung. Weitere Entwicklungsflächen, wie bspw. der Rückbau der Gebäude am Jägerberg (R01, nicht in der Abbildung sichtbar) zeigt eine ähnliche Verbesserung im Fließverhalten der Kaltluft.

## 6.2 TAGSITUATION

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen<sup>19</sup>.

In der vorliegenden Analyse wird zur Bewertung der Tagsituation der **humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr** herangezogen (Physiologisch Äquivalente Temperatur; (Matzarakis et al. 1999)). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit intuitiver nachvollzogen werden zu können<sup>20</sup>. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen human-biometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf **außenklimatische Bedingungen** und zeigt eine **starke Abhängigkeit von der**

---

<sup>19</sup> Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m<sup>2</sup> Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; siehe Jendritzky 1990).

<sup>20</sup> Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCL (Universeller thermischer Klimaindex).

**Strahlungstemperatur** (Kuttler 2013). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die **Bewertung des Aufenthalts im Freien und am Tage** einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine **absolute Bewertungsskala**, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. „Starke Wärmebelastung“ ab einer PET von 35 °C; Tabelle 18).

Tabelle 18: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 3787, Bl. 9 (12/2004))

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

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die PET in Jena vorgestellt.

Die **PET-Werte um 14:00 Uhr** zeigen eine starke Abhängigkeit der auftretenden Wärmebelastung am Tage von der **örtlichen Verschattungssituation**. Eine mäßige Wärmebelastung an wolkenlosen Sommertagen mit starker Sonneneinstrahlung weisen dementsprechend Waldbestände sowie durch von Bäumen und Gehölzen geprägte Flächen auf. Hier tragen die verminderte direkte Sonneneinstrahlung durch Schattenwurf der Vegetation und die Verdunstung von Wasser zum vergleichsweise geringen Belastungspotential bei.

Aufgrund ihrer Aufenthaltsqualität insbesondere in der Nachbarschaft stärker überbauter Quartiere kommt daher den innerstädtischen Grünflächen eine hervorgehoben wichtige Rolle zu. Dem Stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung am Tage die höchsten Werte aufweist. Dabei werden über Rasenflächen ähnlich hohe Temperaturen erreicht wie über versiegelten Arealen.

So stellen auch in Jena die Waldflächen große zusammenhängende kühle Flächen dar (siehe Abbildung 39). Dabei sind die geringsten Werte (unter 20 °C PET) nur ganz vereinzelt an Waldsäumen zu finden. Hier kommt es zu einer bodennah einsetzenden Ausgleichsströmung am Tag aus dem Wald heraus. Die Waldflächen liegen oftmals nur knapp über 23 °C PET und weisen damit per Definition (siehe Tabelle 18) eine schwache Wärmebelastung auf. Hier kann sich die Jenaer Bevölkerung am Tag gut bei/von der Hitze erholen. Der Johannfriedhof als innerstädtische Grünfläche zeigt tagsüber ebenso größtenteils behagliche Werte, die Wärmebelastung ist überwiegend nur schwach. Gleiches gilt für die baumbestandenen Teile des Friedensberges, der Rasenmühleninsel bzw. im Bereich der Saaleaue, welche folglich angenehme Aufenthaltszonen an einem Sommertag darstellen. Besonders wertvoll sind dabei all jene Flächen, die die Schattenwirkung von Bäumen und die an Gewässern stattfindenden Verdunstungsprozesse kombinieren, wie bspw. am Ostufer der Saale zwischen Camsdorfer Brücke und Wiesenbrücke (Wenigenjenaer Ufer).

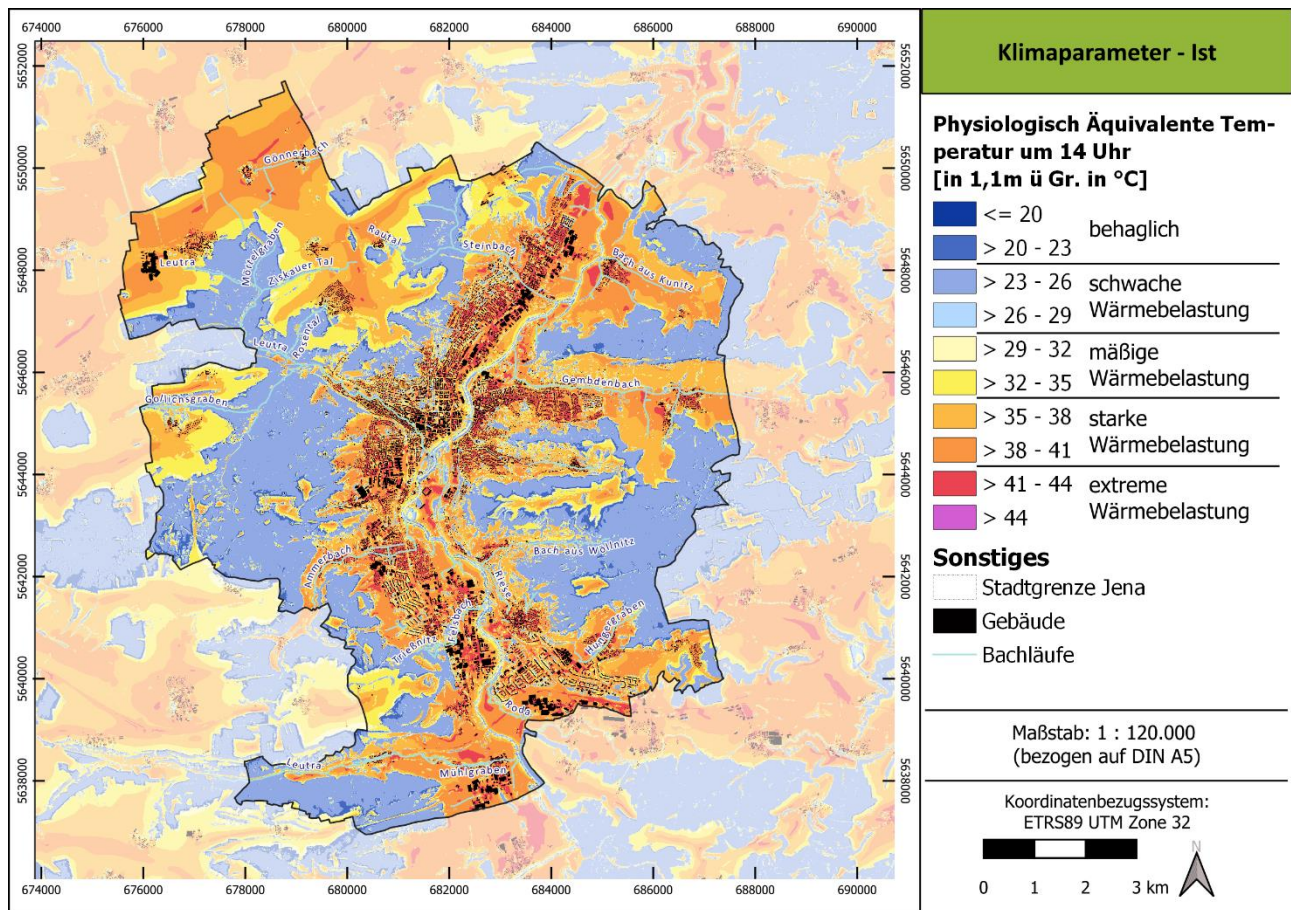


Abbildung 39: PET der Referenzsituation

Die höchsten PET-Werte zeigen sich in der Innenstadt und im Bereich von dicht bebauten und hoch versiegelten Blockstrukturen, bspw. entlang der Lutherstraße und rund um die Karl-Liebnecht-Straße. Die meisten Gewerbegebiete, darunter bspw. die „Tatzendpromenade“, die „Unteraue“ oder das Gewerbegebiet „Göschwitz“, mit einem sehr hohen Anteil an versiegelten Flächen und wenig Verschattung durch Großgrün, weisen ebenfalls eine starke bis extreme Wärmebelastung auf. Aber auch große innerstädtische Plätze, wie der Ernst-Abbe-Platz oder der Eichplatz, oder Straßen wie bspw. die Autobahn A4, die Stadtrödaer Straße, die Camburger Straße oder die Lobedaer Straße / Keßlerstraße zeigen im Ergebnis der Klimamodellierung der Ist-Situation eine starke bis extreme Wärmebelastung am Tag. Dies begründet sich auch hier im hohen Versiegelungsanteil und der fehlenden Verschattung durch Bäume.

Aber auch Einfamilien- oder Reihenhausbebauungen – mit meist eher kleinen Bäumen im Garten sowie vergleichsweise niedrigen Gebäuden – besitzen häufig aufgrund der fehlenden Verschattung eine starke bis extreme Wärmebelastung. Dies zeigt sich z. B. im Wohngebiet „Leibnizstraße“, in den Fuchslöchern (1. BA), in der „Ringwiese“, aber auch in den ländlichen Ortsteilen wie Kunitz oder Jenaprießnitz.

In Kleingartenanlagen zeigt sich am Tag ebenfalls eine starke Wärmebelastung, da auch hier großkronige Bäume für eine Verschattung fehlen. Ähnlich verhält es sich auf Sportplätzen. Der Sportkomplex Oberaue weist am Tag in der Ist-Situation eine starke bis extreme Wärmebelastung auf, lediglich die kleinen Gehölzflächen an der Saale zeigen ein behagliches Aufenthaltsklima bzw. eine schwache Wärmebelastung.

Die Schattenwirkung als vornehmlich PET-steuernder Parameter wird auch auf den Ackerflächen im Außenbereich deutlich. Durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung erreicht die thermische Belastung über unversiegelten Freiflächen fast ähnlich hohe Werte wie in der nicht bzw. wenig verschatteten Innenstadt. Beispiel-

haft sind hier die großräumigen Agrarflächen zwischen Isserstedt, Vierzehnheiligen und Krippendorf zu nennen, in welchen flächendeckend mindestens 33 °C PET, teilweise sogar höhere Werte auftreten. Damit zeigen die Ackerflächen bereits in der Ist-Situation oftmals eine starke Wärmebelastung.

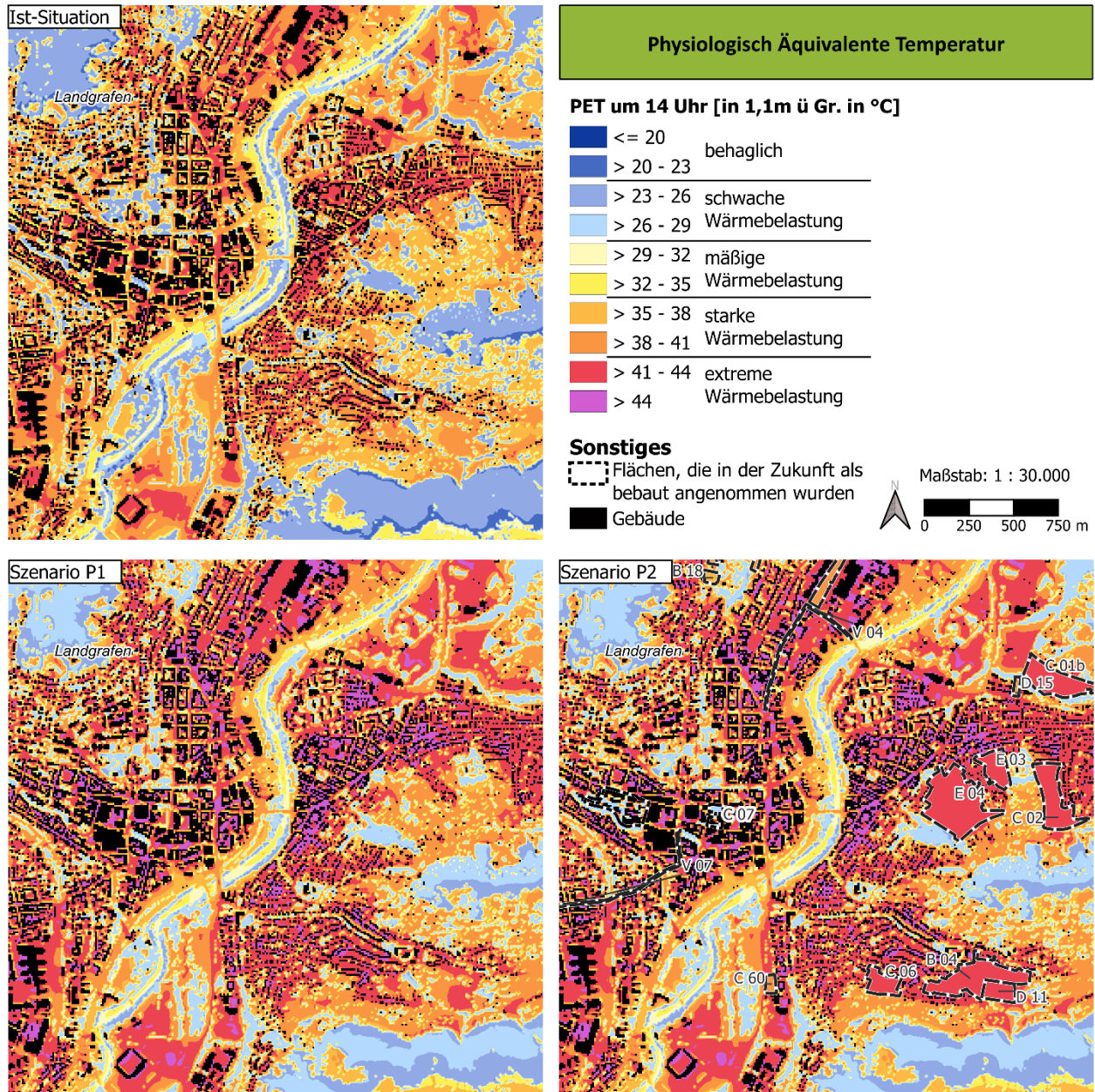


Abbildung 40: Zoom auf die PET für die Referenzsituation und die Zukunftsrechnungen P1 und P2.

Analog zur Nachtsituation erzielen begrünte Innenhöfe bzw. stark durchgrünte Wohngebiete in der Stadt auch tagsüber eine starke Kühlwirkung. Hier sind z.B. das Landgrafenviertel oder der Bereich Forstweg/ Kochstraße als positive Beispiele zu nennen. Auch die Grünräume zwischen dem Geschosswohnungsbau, bspw. im Bereich der Georg-Büchner-Straße (Jena-Ost) oder entlang der Bertold-Brecht-Straße (Winzerla) wirken sich positiv auf die PET aus. Dass Schatten spendende Bäume die Klimasituation am Tag wesentlich verbessern können, wird insbesondere auch in den Straßenräumen sichtbar. So erscheinen baumbestandene Alleen wie die Friedrich-Engels-Straße oder der Teichgraben in der Innenstadt in der PET weniger wärmebelastet als die stark versiegelten und nur geringfügig verschatteten Siedlungsbereiche.

Durch die beim Prozess der Verdunstung entstehende **Kühlwirkung**, wird die PET in **unmittelbarer Nähe zu Gewässern** in Jena abgesenkt. Aufgrund der Rasterweite von 10 m konnten jedoch nicht alle Fließgewässer in den Eingangsdaten berücksichtigt werden, was mit Blick auf die PET-Karten und die spätere Auswertung im Rahmen der Bewertungskarten und die Planungshinweiskarte (Kapitel 8.3 und 8.4) Beachtung finden muss. Die Saale ist durchgehend in den Eingangsdaten hinterlegt, die Bäche der Seitentäler hingegen sind, auch weil sie oftmals durch Baumbestand gesäumt werden und die Baumkronen die Bachläufe überragen, kaum in den Modelleingangsdaten zu finden.

Wie bereits bei der Lufttemperatur (siehe Kapitel 6.1.1) nimmt auch die PET am Tag **in der nahen Zukunft** im Zukunftsszenario P1 und P2 flächendeckend über das Stadtgebiet verteilt zu (Abbildung 40 und Abbildung 41). In Abbildung 40 sieht man die **Zunahme der PET** je Modellrechnung mit unterschiedlicher Intensität (Referenzsituation, P1 und P2). In vielen Teilen Jenas steigt bereits im Szenario P1 bedingt durch die **klimawandelbedingte Temperaturzunahme** von +2 K die Wärmebelastung. Hauptsächlich sind davon die Innenstadt, Straßenbereiche und die Gewerbegebiete betroffen. Aber auch in Einfamilien- und Reihenhaussiedlungen (östlich der Saale) sowie in Kleingartenanlagen steigt die PET in der Zukunft aufgrund von fehlender Verschattung durch Bäume. Ebenso steigt in den Waldflächen im Szenario P1 die Wärmebelastung – behagliche Bereiche gibt es dort nicht mehr, die Wärmebelastung ist nun mindestens schwach. Dieser Effekt zeigt sich gleichermaßen in der Saaleaue in Kombination mit der Baumverschattung oder auf dem Johannisfriedhof. Im Szenario P2 ist die Auswirkung der Bebauung in den Entwicklungsflächen, zusätzlich zum Klimawandel zu erkennen. Dies ist v. a. in den **Differenzen zur zweiten Zukunft P2** in Abbildung 41 ersichtlich. Hier besitzt – wie bei der nächtlichen Lufttemperatur – die Neubebauung einen größeren Einfluss auf die PET als das Klimawandelsignal (P1). Die Veränderung der PET in P2 gegenüber dem Ist-Zustand reicht je nach durchgeführter Nutzungsänderung auf den Entwicklungsflächen von -18,0 K bis +22,2 K PET auf den einzelnen 10m-Pixeln bei der Anwendung des Mischpixelansatzes. Im Mittel fallen diese Änderungswerte dann geringer aus. Aufgrund der steigenden Lufttemperatur und der Zunahme des Versiegelungsgrades erhöht sich die PET im Mittel in den meisten Entwicklungsgebieten gegenüber der heutigen Situation. Neben der PET-Veränderung sind hier auch darüberhinausgehende Veränderungen zu sehen, die oftmals auf Stauwirkungen und der Herabsetzung der Durchlüftung am Tag zurückzuführen sind, wie bspw. bei den Flächen B04 „An der Talschule“ und C02 „An der Trebe“ zu sehen ist. Durch die Neubebauung auf den Flächen kommt es tw. zu einer mittleren PET-Erhöhung von bis zu 8,5 K auf versiegelten Flächen und unbeschatteten Rasenflächen. Im Bereich von neu angenommenen Baumstandorten hingegen kommt es zu einer PET-Reduzierung von tw. über 10 K auf einzelnen Pixeln. Als gutes Beispiel kann an dieser Stelle wieder das städtebauliche Konzept der Fläche B03 „Bachstraße“ dienen, welches die höchsten PET-Reduktionen von über 15 K aufweist, sogar recht weitläufig für die Fläche. In der Bachstraße wird eine im Ist-Zustand „mäßige“ bis „starke“ Wärmebelastung durch den Umbau in der Zukunft P2 auf eine „schwache“ Wärmebelastung gesenkt, obwohl hier ebenfalls der Klimawandel wirkt. Die klimawandelbedingte Temperaturerhöhung kann auf der Fläche B03 am Tag kompensiert und sogar verbessert werden. Am Beispiel der Bachstraße ist erkennbar, dass durch die Integration von Baumstandorten eine klimawandelgerechte Flächenentwicklung erfolgen kann.

Auch an dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die **Mischpixelflächen** in ihrer **PET-Ausprägung überschätzt** werden, da infolge der zufälligen Verteilung der einzelnen Pixel auf den Entwicklungsflächen **keine städtebaulichen Strukturen** erzeugt wurden und **keine klimaangepasste Bauweise** berücksichtigt ist. Daher sind im Rahmen der Modellierung keine zusammenhängenden Baumgruppen entstanden, welche eine entsprechende Kühlwirkung hervorrufen könnten. Daher wird auch in diesem Fall auf den FNP-Entwicklungsflächen nur der **PET-Flächendurchschnitt** in den Karten bzw. im QGIS-Projekt dargestellt.

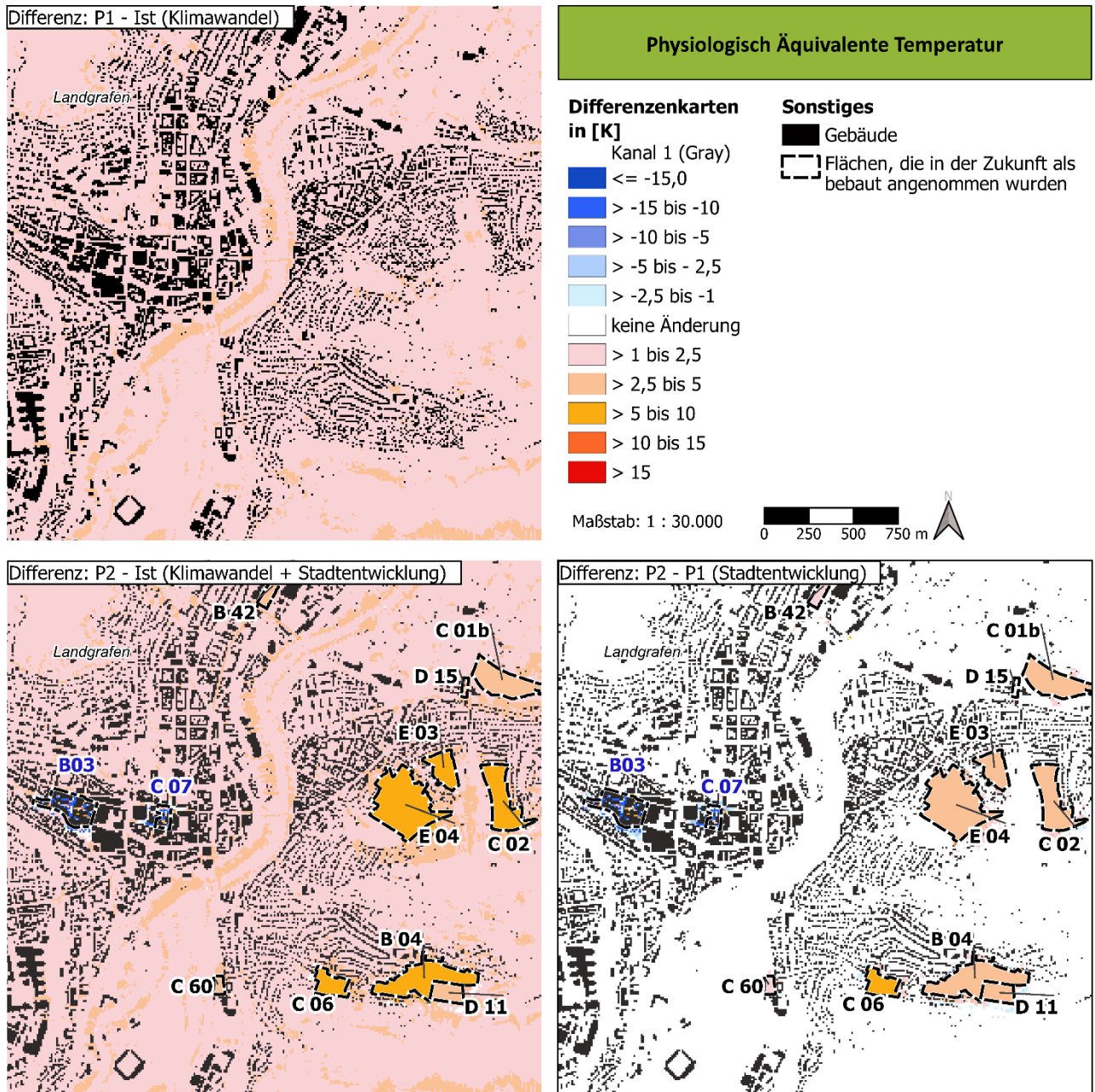


Abbildung 41: Differenzen der PET zwischen den einzelnen Modellrechnungen.

In den **Differenzkarten P1 – Ist** und **P2 – Ist** (Abbildung 41) ist des Weiteren die **Wirkung der Trockenheit** zu sehen. In der Zukunft P1 (wie auch in P2) wurde neben der Temperaturerhöhung von +2 K in der Klimamodellierung zusätzlich eine **erhöhte Trockenheit** angenommen, die dazu führt, dass die Verdunstungskühle der Wiesen und Ackerflächen sowie der Bäume über Rasen herabgesetzt wird. Dies führt zu einem erhöhten Anstieg der PET in den Zukunftsszenarien und zeigt sich in den Karten als gelbliche Bänder im Bereich von Grünflächen (> 2,5 K). In der Saaleaue betrifft dies die wasserabgewandte Seite der Waldsäume. Auch Wiesen- und Rasenflächen sind davon betroffen. Die Temperaturerhöhungen sind hier jedoch nicht so deutlich zu sehen, wie an den erwähnten Waldsäumen.

## 7. Zwischenprodukte

### 7.1 KLIMAANALYSEKARTEN

Gemäß der VDI Richtlinie 3787, Bl.1 hat die Klimaanalysekarte (KAK) die Aufgabe, „[...] die räumlichen Klimateigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darzustellen, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen“ (09/2015, S. 4). Die Klimaanalysekarte synthetisiert demnach die wesentlichen Aussagen der Analyseergebnisse – im vorliegenden Fall die Modellausgabegrößen – für die **Nachtsituation** in einer Karte und präzisiert bzw. pointiert das **Kaltluftprozessgeschehen** mit zusätzlichen Legendeninhalten zu den Themenfeldern Luftqualität, Überwärmung, Kaltluftentstehung und Kaltluftfluss. Obwohl die VDI dies nicht explizit erfordert, wurde im Rahmen des Projektes auch eine **Klimaanalysekarte für den Tag** auf der **Grundlage der PET** erarbeitet.

Des Weiteren heißt es in der Richtlinie: „Klimaanalysekarten bieten einen flächenbezogenen Überblick über die klimatischen Sachverhalte des betrachteten Raums und bilden die Grundlage zur Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen in einer Stadt“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015). Der Bezug auf die „Sachverhalte“ verdeutlicht eine ganz wesentliche Charaktereigenschaft der Klimaanalysekarte. Sie gehören demnach bewertungstheoretisch der **Sachebene** an. Diese beschreibt „[...] Gegebenheiten, statistische Zusammenhänge, Sachverhalte, Prognosen, Naturgesetze. Sachaussagen beschreiben die Umwelt wie sie ist oder war“ (Gaede und Härtling 2010, S. 32). Daraus folgt, dass aus den Klimaanalysekarten allein noch **keine unmittelbaren Wertaussagen** (z.B. über das Ausmaß von Belastungen im Wirkraum sowie Wertigkeiten des Ausgleichsraums) abgeleitet werden dürfen, um nicht in die Falle eines „Naturalistischen Fehlschlusses“ (Moore 1903) zu tappen. Der „Sprung“ auf die zweifelsohne benötigte Wertebene erfolgt im Rahmen der Bewertungskarten und der Planungshinweiskarte (Kapitel 8.3 und 8.4). Auf dieser zwar theoretischen, aber hochgradig praxisrelevanten fachlichen Basis wurden im vorliegenden Projekt folgende **Klimaanalysekarten jeweils für die Nacht- und Tagsituation** erstellt:

- Klimaanalysekarte für die Bestandssituation
- Klimaanalysekarte für das Szenario P1 „Starker Klimawandel (2035)“
- Klimaanalysekarte für das Szenario P2 „Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung (2035)“

**Eine Zusammenführung und planerische Inwertsetzung erfolgt im Rahmen der Planungshinweiskarte.**

#### 7.1.1 NACHTSITUATION

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der drei Klimaanalysekarten für die verschiedenen Szenarien wurde eine einheitliche Legende entwickelt (Abbildung 42). Diese gliedert sich in die Elemente Siedlungs- und Verkehrsflächen, Grün- und Freiflächen sowie die Kaltluftprozesse für die Nachtsituation. In den Grün- und Freiflächen ist die **gutachterlich klassifizierte Kaltluftvolumenstromdichte** [ $\text{m}^3/\text{ms}$ ] flächenhaft dargestellt. Dabei gilt grundsätzlich, je höher die Werte, desto dynamischer (oder auch hochwertiger) ist das Kaltluftpaket. Die räumliche Auflösung der Darstellung entspricht mit  $100 \text{ m}^2$  unmittelbar der Modellausgabe. Bei der Visualisierung erfolgte eine graphische Glättung über die Funktion „bilineare Interpolation“, die den Wert der vier nächstgelegenen Eingabezellen nutzt, um den Wert auf dem Ausgabe-Raster zu bestimmen. Der neue Wert für die Ausgabezelle ist ein gewichteter Durchschnitt dieser vier Werte. Im Siedlungsraum ist die **absolute Lufttemperatur für das 2 m Niveau** flächenhaft dargestellt. Hierbei gilt grundsätzlich, je höher die Werte, desto stärker ist die nächtliche Überwärmung ausgeprägt.

**Siedlungs- und Verkehrsflächen  
Lufttemperatur [°C] in 2m ü. Grund**

- bis 14,0
- > 14,0 bis 15,0
- > 15,0 bis 16,0
- > 16,0 bis 17,0
- > 17,0 bis 18,0
- > 18,0 bis 19,0
- > 19,0 bis 20
- > 20

angenehme Schlaftemperatur

Flächen, für die eine Bebauung modelliert wurde (Bauleitpläne)

**Grün- und Freiflächen  
Kaltluftvolumenstromdichte in m<sup>3</sup>/ms**

- bis 15
- > 15 bis 25
- > 25 bis 50
- > 50 bis 75
- > 75 bis 100
- > 100

**Kaltluftprozesse**

- Linienhafte Kaltluftleitbahn
- Linienhafte Strukturen, welche kalte Luft aus umliegenden Grünflächen in das überwärmte Stadtgebiet transportieren
- Überdurchschnittliche Kaltluftproduktion der Grünflächen in den Kaltluftleitbahneinzugsgebieten
- Einzugsgebiet der jeweiligen Kaltluftleitbahn<sup>1</sup>

**Windfeld in 2m ü. Grund  
Windgeschwindigkeit in [m/s]**

- > 0,2 bis 2,8

Abbildung 42: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten für die Nachtsituation

Die flächenhaften Darstellungen für den Siedlungsraum werden durch **vier Elemente des Kaltluftprozessgeschehens** grafisch überlagert, die mit individuellen Methoden abgeleitet worden sind (Tabelle 20). Das Strömungsfeld bzw. die **Fließrichtung der Kaltluft** wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 100 m aggregiert und ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,2 m/s mit einer Pfeilsignatur visualisiert. Kleinräumigere und/oder schwächere Windsysteme (z.B. Kanalisierungseffekte in größeren Zufahrtsstraßen im Übergang zwischen Siedlungs- und Freiflächen) werden aus der Karte nicht ersichtlich. Derartig detaillierte Informationen können aber aus den rasterbasierten Einzelkarten zu den bodennahen Windfeldern in Originalauflösung entnommen werden.

Für die Grün- und Freiflächen erfolgt die Darstellung der **Kaltluftproduktionsrate**. Die mit einer **überdurchschnittlichen Kaltluftproduktion** gekennzeichneten Flächen weisen eine **mittlere Kaltluftproduktionsrate von > 14,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h** auf. Diese Größe wurde anhand einer Mittelwertberechnung über alle Grün- und Freiflächen in der Stadt Jena bestimmt und kennzeichnet nun die Flächen, die besonders viel Kaltluft produzieren. Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in den Karten einige Kaltluftprozesse hervorgehoben, die in Jena von besonderer Bedeutung sind. Hierzu zählen insbesondere die **linienhaften Kaltluftleitbahnen**. Kaltluftleitbahnen verbinden kaltluftproduzierende Ausgleichsräume (Grün- und Freiflächen) und Wirkräume (Siedlungs- und Verkehrsflächen) miteinander und sind mit ihren meist hohen Kaltluftvolumenströmen elementarer Bestandteil des Kaltluftprozessgeschehens. Flächenentwicklungen innerhalb dieser räumlich begrenzten Leitbahnen können zu einer Verengung des Durchflussquerschnitts und einer Erhöhung der Rauigkeit führen mit der Folge einer Funktionseinschränkung bzw. einem Funktionsverlust (siehe Mayer und Höpfe 1987). Bauliche Entwicklungen sollten nur äußerst behutsam und in klimaangepasster Bauweise erfolgen. Eine fachgutachterliche Begleitung der Planung wird unbedingt empfohlen.

Tabelle 19: Legenden-Elemente und ihre Ableitungsmethoden zum Kaltluftprozessgeschehen in den Klimaanalysekarten

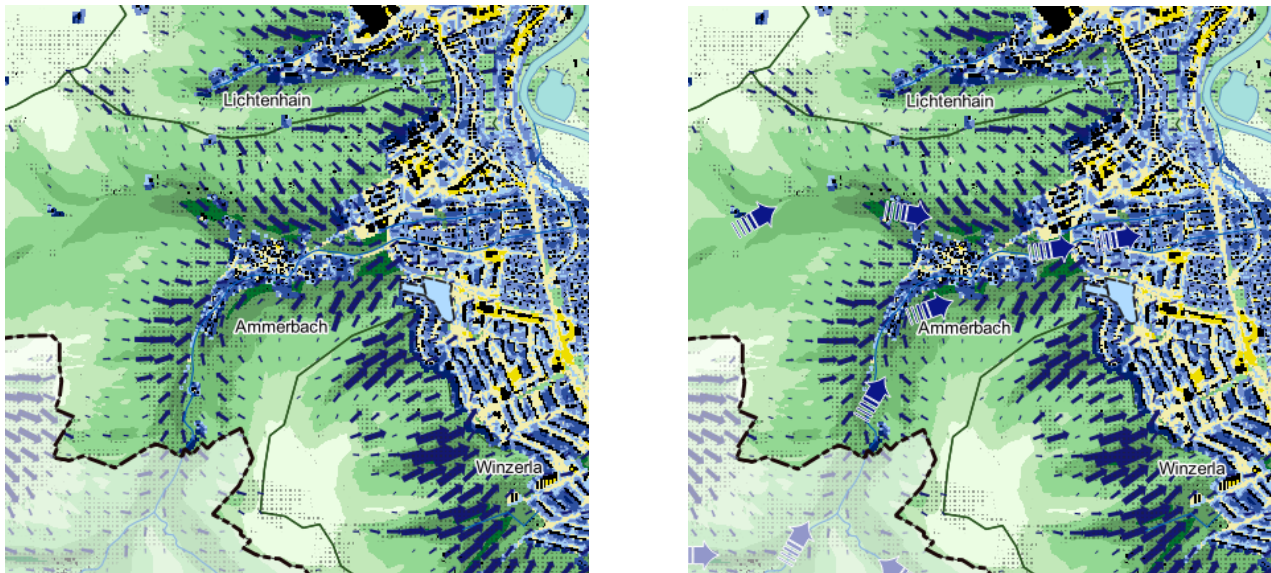
Legendenelement	Ableitungsmethode
Fließrichtung der Kaltluft	auf 100 m aggregiertes Windfeld mit einer Windgeschwindigkeit von > 0,2 m/s
Kaltluftproduktionsfläche	Flächen mit einer überdurchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate von für Ist und P1: > 14,71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h für P2: > 14,65 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Kaltluftleitbahn (linear)	gutachterlich auf der Basis der Kaltluftvolumenstromdichte, des Windfeldes, des Reliefs sowie der Nutzungsklassen

**Flächenhafte Kaltluftaustauschbereiche** sind in den Klimaanalysekarten für Jena nicht gesondert ausgewiesen. Sie sind über die Häufung von Windvektoren (Größe und Dichte der Windpfeile) am Hang erkennbar, die verdeutlichen, dass dort in der Nacht viel Kaltluft fließt. Diese flächenhaften Hangabflüsse spielen in Jena aufgrund der räumlich-topografischen Situation eine **entscheidende Rolle für die nächtliche Abkühlung**. Insbesondere an den Hängen der Seitentäler der Saale werden nachts große Mengen an Kaltluft produziert, die der Geländeneigung folgend die angrenzenden Siedlungsbereiche gut mit Kaltluft versorgen. Hangfolgende Kaltluftabflüsse reagieren aufgrund der zumeist gegebenen Ausweichmöglichkeiten der Luft deutlich robuster auf ein moderates Maß an baulichen Entwicklungen. Kleinräumige Arrondierungen des bestehenden Siedlungskörpers, die eine klimaangepasste Bauweise berücksichtigen, sind stadtklimaverträglich umsetzbar. Eine Einschränkung der klimaökologischen Funktionen ist hingegen bei besonders intensiven Flächenentwicklungen oder unter besonderen Nutzungsbedingungen (z.B. Bebauung einer ansonsten von Wald umschlossenen Freilandfläche an einem Hang oder hohe hangparallele Gebäude) nicht ausgeschlossen; derartige Entwicklungen sind möglichst zu vermeiden bzw. auf ein verträgliches Maß zu reduzieren. Die im Rahmen der FNP-Fortschreibung in Jena geplanten Entwicklungsflächen wurden alle individuell bezüglich ihrer stadtklimatischen Auswirkungen gutachterlich bewertet. Keine der Entwicklungsflächen wurden in die Kategorie „geringe“ oder „sehr geringe“ klimatische Verträglichkeit eingestuft (siehe Kapitel 8.4.2 Bewertung der FNP-Entwicklungsflächen).

In der Realität sind die hier vorgenommenen Abgrenzungen zwischen flächenhaftem Kaltluftabfluss und linearer Leitbahn nicht immer eindeutig und/oder gehen ineinander über, sodass den vorgenommenen gutachterlichen Einschätzungen immer auch ein Generalisierungseffekt innewohnt, der im konkreten Einzelfall ggf. noch einmal intensiver zu prüfen ist (z.B. durch ein mikroklimatisches Gutachten). In Jena speisen hangfolgende Kaltluftabflüsse die linienhaften Kaltluftleitbahnen in den Bachtälern. Da die linienhaften Leitbahnen nicht hart abgegrenzt werden können und im funktionalen Zusammenhang mit dem flächenhaften Kaltluftabfluss stehen, erfolgt die Darstellung als Pfeilsignatur, welche im Kernbereich der Leitbahn verortet ist. Die Ausweisung der Leitbahnen und Austauschbereiche erfolgte gutachterlich (das heißt „händisch“) unter Berücksichtigung der Kaltluftvolumenstromdichte, des Windfeldes, des Reliefs sowie der Nutzungsklassen. Abbildung 43 zeigt zur Verdeutlichung des Vorgehens einen Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für den Bereich Ammerbach – einmal mit und einmal ohne Darstellung der Kaltluftleitbahnen.

Es ist für die Ausweisungen in der Klimaanalysekarte zunächst unerheblich, ob in den Wirkräumen eine besondere Belastung vorliegt oder nicht, da die Funktionen des Kaltlufttransports für beide Fälle eine besondere Relevanz besitzen. So können vergleichsweise geringere Belastungen auftreten, gerade weil sie im Einwirkungsbereich der Kaltluft liegen bzw. können höhere Belastungen ganz besonders auf die Entlastungsfunktion

der Leitbahnen und Austauschbereiche angewiesen sein. Darüber hinaus ist die Ausweisung der beiden Kaltluftprozesselemente auch unabhängig von der tatsächlichen Flächennutzung im Siedlungsraum. Folglich sind zunächst auch solche Prozesse über die Pfeilsignaturen akzentuiert worden, die auf reine Gewerbeflächen oder Sondernutzungen zielen. Eine Berücksichtigung dieser Nutzungsstrukturen erfolgte im Rahmen der planerischen Inwertsetzung für die Bewertungskarten sowie die Planungshinweiskarte.



## Linienhafte Kaltluftleitbahn

Abbildung 43: Zwei Ausschnitte aus der Klimaanalysekarte zur Verdeutlichung der gutachterlichen Ableitung von linienhaften Kaltluftleitbahnen (links ohne und rechts mit entsprechender Ausweisung)

Im Folgenden werden die Inhalte der Klimaanalysekarten inhaltlich anhand von Beispielen beschrieben.

### KALTLUFTPROZESSE

Die ausgewiesenen linearen Kaltluftleitbahnen sind in Jena dieselben wie die in JenKAS beschriebenen Leitbahnen (bis auf das Saaletal; siehe Kapitel 2.4). Sie finden sich in den Seitentälern der Saale wieder. Es wurden 14 Leitbahnen ausgewiesen. Diese sind anhand der **Einzugsgebiete der Kaltluftleitbahnen** voneinander abgegrenzt. Ein Einzugsgebiet einer Leitbahn setzt sich aus dem Kaltluftentstehungsgebiet, der Leitbahn/Fließbahn und dem Einwirkungsbereich zusammen. Die einzelnen Einzugsgebiete werden durch die Fließrichtung der kalten Luft voneinander abgegrenzt. Die Ausweisung erfolgte anhand einer GIS-Reliefanalyse nach King 1973 und entspricht methodisch der Ausweisung von Flusseinzugsgebieten nach dem Wasserscheidenprinzip. Die Kaltluftleitbahnen bleiben auch in der Zukunft unter dem Klimawandel erhalten, jedoch befördern sie infolge der Temperaturerhöhung wärmere Kaltluft als in der gegenwärtigen Situation.

Es gibt Kaltluftleitbahnen, die ihren Ursprung außerhalb des Stadtgebietes von Jena haben. Hierzu gehört zum einen das südwestliche Leutratal, wo die Kaltluftleitbahn weiter westlich bei Schorba entspringt. Zum anderen ist es das ostseitig der Saale gelegene Gembdenbachtal. Dieses entspringt weiter östlich im Bereich Großlöbichau und befördert von dort bereits kalte Luft nach Jena hinein. Diese Leitbahnen sollten also auch außerhalb Jenas erhalten bleiben, um die volle Funktion für das Stadtgebiet weiterhin zu gewährleisten. Eine



Kaltluft kühlt zwar die bestehenden Siedlungsflächen am Hang, bspw. unterhalb des Landgrafen, sie ist jedoch in der Zukunft P1 und P2 so warm, dass die vergleichsweise kühlen Temperaturen der Ist-Situation von 15 bis 17°C nicht mehr erreicht werden. Die Flächen ordnen sich nachts nun eher bei 17 bis 19 °C ein.

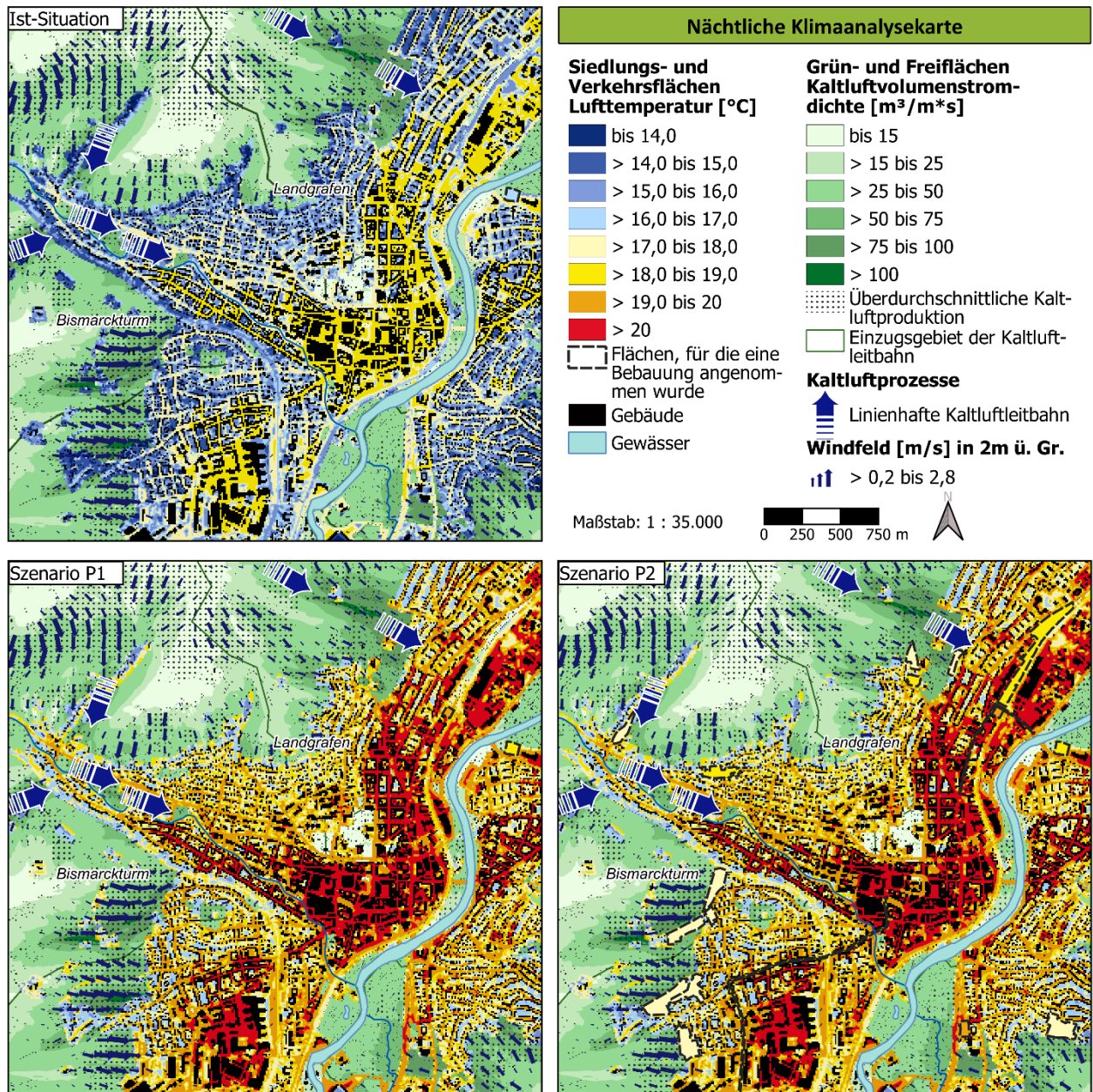


Abbildung 45: Zoom auf die Klimaanalysekarten der Referenzsituation und der Zukunftsrechnungen P1 und P2.

Die FNP-Entwicklungsflächen sind in der Klimaanalysekarte für die Zukunft P2 als eine flächige Darstellung integriert, hierbei erfolgt die Darstellung des Mittelwertes aus den darunterliegenden Rasterpixeln. In der Zukunft P2 ordnet sich beispielsweise die gewerbliche Entwicklungsfläche B42 „An der Saalbahn“ mit 18,5 °C im Flächendurchschnitt in der Nacht ein. Da auch hier der Mischpixelansatz angewandt wurde, ist die Aggregation auf einen Mittelwert die beste Möglichkeit, sich der Temperaturexprägung auf der Fläche zu nähern. Die Entwicklungsflächen für Wohnen D02 „Schweizerhöhe“, E02 „Galgenberg, westlicher Teil“, E01 „Südwestliche Vorstadt 2. Teil“, D03 „Mädertal“ und B06 „Lichtenhainer Oberweg“ am westlichen Stadtrand, die ebenfalls mit dem Mischpixelansatz modelliert wurden, zeigen in der Zukunft P2 im Durchschnitt nächtliche

Temperaturen von 17 bis 18 °C; sie stellen sich damit etwas günstiger dar als der östlich angrenzende bestehende Siedlungsraum, da sie unmittelbar von der Kaltluft am Hang profitieren und gut durchlüftet werden.

### 7.1.2 TAGSITUATION

Auch für die Klimaanalysekarte der Tagsituation wurde für die drei Modellrechnungen eine einheitliche Legende verwendet (Abbildung 46). Allerdings wird hier nicht zwischen Siedlungsflächen (Wirkraum) und Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum) unterschieden. Die Klimaanalysekarte Tag ist eng an den Klimaparameter der PET angelehnt und wird gleichermaßen für Wirk- und Ausgleichsraum dargestellt. Ausführliche Erläuterungen und Beispiele finden sich hierzu in Kapitel 6.2.

#### Physiologisch Äquivalente Temperatur [°C] in 1,1m ü. Gr.

<span style="color: blue;">■</span> <= 20	keine Wärmebelastung
<span style="color: blue;">■</span> > 20 - 23	
<span style="color: lightblue;">■</span> > 23 - 26	schwache Wärmebelastung
<span style="color: lightblue;">■</span> > 26 - 29	
<span style="color: yellow;">■</span> > 29 - 32	mäßige Wärmebelastung
<span style="color: yellow;">■</span> > 32 - 35	
<span style="color: orange;">■</span> > 35 - 38	starke Wärmebelastung
<span style="color: orange;">■</span> > 38 - 41	
<span style="color: red;">■</span> > 41 - 44	extreme Wärmebelastung
<span style="color: purple;">■</span> > 44	
<span style="border: 1px dashed black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Flächen, für die eine Bebauung modelliert wurde (Bauleitpläne)	

Abbildung 46: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten für die Tagsituation

## 8. Endprodukte

### 8.1 GRUNDLAGEN

Zentrales Produkt der Stadtklimaanalyse ist die **Planungshinweiskarte** (PHK). Gemäß der VDI Richtlinie 3787, Bl. 1 handelt es sich bei der Planungshinweiskarte um eine „*informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält*“ (VDI 3787, Blatt 1 09/2015, S. 5). Der Begriff der Planungsrelevanz wird in der Richtlinie noch weiter konkretisiert als: „Bewertung von (Einzel-)Flächen hinsichtlich ihrer **Klimafunktionen**, aus der Maßnahmen zum Schutz oder zur Verbesserung des Klimas abgeleitet werden. Planungsrelevant sind dabei alle thermischen und lufthygienischen Phänomene, die als teil- oder kleinräumige Besonderheiten oder Ausprägungen signifikant abweichen [...] und die Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen haben“ (VDI 2015,5-6).

Kerngegenstand der Planungshinweiskarte ist also die klimaökologische Bewertung von Flächen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bzw. auf **gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse**. Gemäß dem in der Richtlinie definierten Stand der Technik ist dabei zwischen Flächen im **Ausgleichsraum** (Grün- und Freiflächen mit ggf. schützenswerten Klimafunktionen) und Flächen im **Wirkraum** (mit potentiellen Handlungserfordernissen aufgrund von Belastungen) zu unterscheiden. Die Richtlinie schlägt eine 3-stufige Bewertung im Ausgleichsraum sowie eine 4-stufige Bewertung im Wirkraum vor, gibt qualitative Hinweise zu ihrer Ableitung und schlägt auch RGB-Farbcodes vor. Ferner wird empfohlen, den flächigen Bewertungen punktuell „raumspezifische Hinweise“ zu Begrünungsbedarfen im Stadt- und Straßenraum sowie zu verkehrlich bedingten Schadstoffbelastungspotentialen für Hauptverkehrsstraßen an die Seite zu stellen. Als „erweiterte Aufgaben“ definiert die VDI-Richtlinie seit ihrer letzten Überarbeitung die **Berücksichtigung des Klimawandels** sowie der Umweltgerechtigkeit. Eine über den Hinweis, dies ggf. über eigenständige Themenkarten zu lösen, hinausgehende Hilfestellung wird jedoch nicht gegeben.

Die Planungshinweiskarte entfaltet – anders als beispielsweise Luftreinhalte- oder Lärmaktionspläne – keinerlei rechtliche Bindungskraft ohne Beschluss in der Stadtpolitik und unterliegt auch keiner Planzeichenverordnung. Daraus folgt zum einen, dass begründet auch von den Vorschlägen in der Richtlinie abgewichen werden kann, solange der Grundgedanke erhalten bleibt. Zum anderen bedeutet dies, dass Inhalte und Hinweise vollumfänglich der Abwägung zugänglich sind. Inhalte können in Teilen in städtische Planwerke (z.B. dem Flächennutzungsplan oder insbesondere dem verbindlichen Bebauungsplan) übernommen werden (siehe Kapitel 0).

Da die Planungshinweiskarte die Informationen sowohl der Tag- und Nachtsituation als auch die der Referenzsituation und der Zukunftsrechnungen in *einer* Karte zusammenfasst, werden in einem vorgelagerten Schritt **Bewertungskarten für die Tag- und Nachtsituation** für jede Modellrechnung (also 6 Karten) erzeugt. Dieser Arbeitsschritt erfolgte in enger Abstimmung mit den beteiligten Akteuren (siehe Kapitel 3).

### 8.2 GEOMETRISCHE BASIS

Die auf Rasterebene ausgewerteten Modellergebnisse (siehe Kapitel 6) erlauben eine detaillierte Darstellung der wichtigsten klimaökologischen Prozesse im Untersuchungsgebiet. Bewertungen und daraus abgeleitete planerische Aussagen (z.B. zum Grad der thermischen Belastung innerhalb der Wirkungsräume sowie die humanbioklimatische Bedeutung bestimmter Areale im Ausgleichsraum) müssen sich hingegen auf eindeutig

im Stadtraum **abgrenzbare räumliche stadtklimatische Funktions-/Nutzungseinheiten** beziehen. Diese sog. „**Basisgeometrie**“ muss gleich mehrere Bedingungen erfüllen. Sie muss:

- flächendeckend für das Stadtgebiet vorliegen,
- möglichst aktuell sein und einer möglichst standardisierten Fortschreibung unterliegen,
- eine eindeutige Einteilung zwischen klimaökologischen Ausgleichs- und Wirkräumen erlauben und
- passfähig sowohl für den gesamtstädtischen Maßstab als auch für den hochauflösenden Analyseansatz sein, also weder zu kleinteilig noch zu grob ausfallen.

Ein entsprechender Datensatz existiert auf kommunaler Ebene nicht per se. Mit den im städtischen ALKIS definierten und räumlich zugewiesenen Nutzungsarten existiert aber eine gute Grundlage, die durch eine gutachterliche Tätigkeit in Zusammenarbeit mit der AG entsprechend weiterqualifiziert wurde. Die Modifikation betraf dabei sowohl die Zusammenfassung von sehr kleinräumigen Strukturen (vorrangig im Außenbereich bzw. Ausgleichsraum) als auch die Aufteilung größerer zusammenhängender Flächen in kleinere Funktionseinheiten (vorrangig im Wirkraum). Alle rasterbasierten Modellergebnisse wurden zur Erstellung der Klimaanalysekarten (zur Abgrenzung von Ausgleichs- und Wirkungsräumen) sowie der Bewertungskarten und der Planungshinweiskarte (zur Ableitung von Wertstufen) mithilfe eines statistischen, nicht gewichteten Raummittels aus allen die jeweiligen Flächen schneidenden Rasterpunkten übertragen. Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum, zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten. Da alle Teilflächen der Basisgeometrie einen größeren Flächeninhalt als 300 m<sup>2</sup> (also 3 Mal die Flächen einer einzelnen Rasterzelle des Modells) aufweisen, treten auf der Rasterebene innerhalb einer Fläche in aller Regel höhere und/oder niedrigere Werte auf, als in der statistischen Generalisierung zu erkennen ist (Abbildung 47).

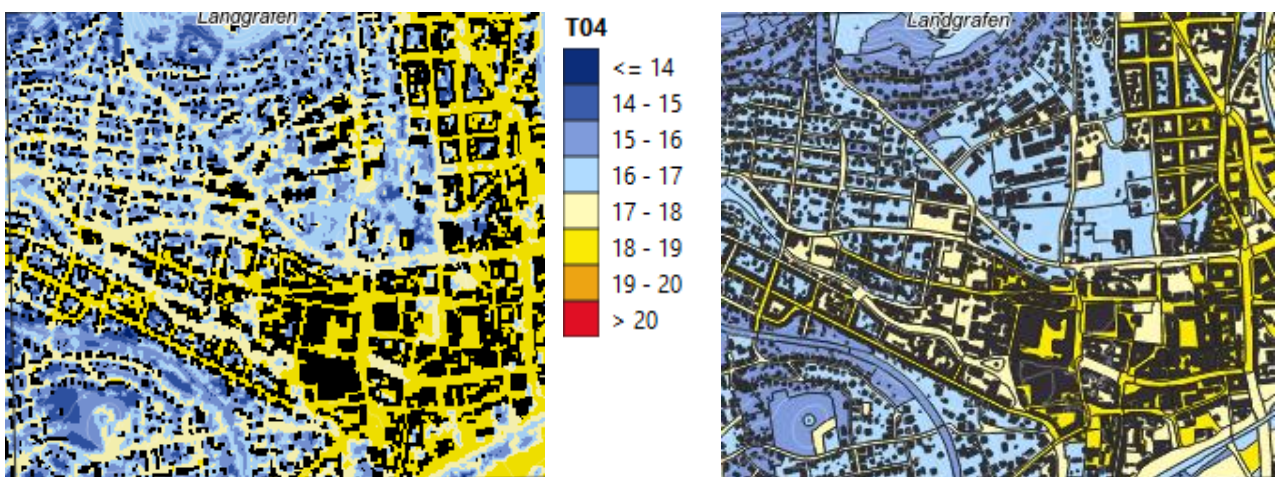


Abbildung 47: Links die rasterbasierten Ergebnisse der Klimaanalyse und rechts das Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Basisgeometrie.

## 8.3 BEWERTUNGSKARTEN

### 8.3.1 WIRKRAUM – METHODIK

Der **Siedlungsraum** zusammen mit dem **öffentlichen (Straßen-)Raum** stellt den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der Bewertungsklassen für die beiden Tageszeiten geschildert.

Wertgebend sind dabei die **PET um 14:00 Uhr für die Tagsituation** sowie die **bodennahe Lufttemperatur um 04:00 Uhr als Indikator für den nächtlichen Schlafkomfort** in den Gebäuden (siehe die Ausführungen in Kapitel 5.1.6 und VDI 3785, Bl. 1 (12/2008)). Bei den Rasterergebnissen sowie der Mittelwertbildung auf die Basisgeometrie handelt es sich zunächst um absolute Werte, die **ausschließlich für den gewählten meteorologischen Antrieb mit dem gesetzten Temperaturniveau gültig** sind. Tatsächlich existieren innerhalb der zu betrachtenden Strahlungswetterlage aber auch deutlich wärmere oder auch kühlere Situationen. Die Flächenbewertung muss nun den Anspruch haben, repräsentativ für die Grundgesamtheit dieser Situationen zu sein, was eine unmittelbare Bewertung auf der Basis der modellierten Absolutwerte – z.B. die Belastungsstufen an der Über- oder Unterschreitung einer Tropennacht festzumachen – fachlich verbietet.

In der VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 (12/2008) wird daher ein methodischer Standard zur statistischen Normalisierung der modellierten (in anderen Fällen auch gemessenen) Werte definiert. Bei dieser sog. **z-Transformation** wird die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab herangezogen. Mathematisch bedeutet dies, dass von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Die resultierenden z-Werte (dimensionslos, ohne Einheit) werden gemäß definiertem Standard mithilfe von statistischen Lagemaßen (Mittelwert = 0 sowie positive und negative Standardabweichungen davon als obere und untere S<sub>1</sub>-Schranke) in standardmäßig vier Bewertungskategorien zwischen „1 - sehr günstig“ und „4 - ungünstig“ eingestuft (Abbildung 48).

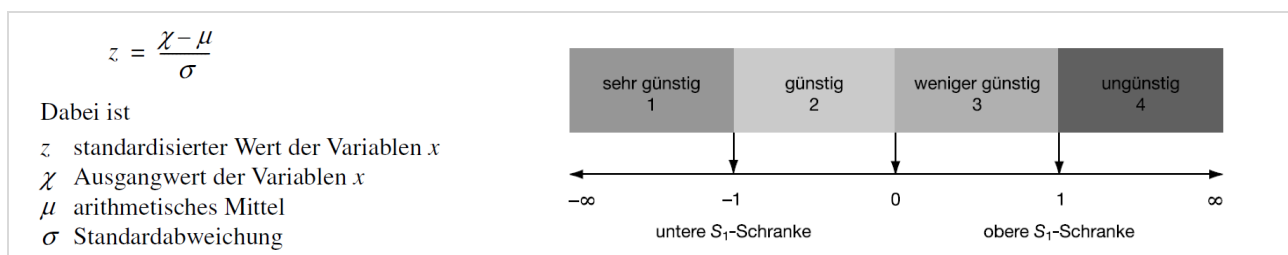


Abbildung 48: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen (Quelle: VDI 3785, Bl. 1, 12/2008)

Dem Bewertungsverfahren liegt also ein Ansatz zugrunde, bei dem nicht nach universell gültigen (ggf. rechtlich normierten) Grenzwerten gefragt wird, sondern bei dem das auftretende Wertespektrum konkret für den analysierten Raum den Bewertungsmaßstab bildet.

Durch die Abstraktion von konkreten Absolutwerten ist das Bewertungsverfahren passfähig für die Bewertung der thermischen Belastungssituation im Wirkraum. Die Methode ist jedoch optimiert zur **vergleichen den Bewertung von räumlich variablen Klimaparametern** innerhalb einer einzigen zeitlich-räumlichen Dimension. Sollen mehrere z.B. zeitliche Dimensionen miteinander verglichen werden, muss die Methode adaptiert werden. Durch die insgesamt drei zu betrachtenden Situationen (Referenzsituation, Zukunft P1 mit

Klimawandelsignal, Zukunft P2 mit Klimawandelsignal und Stadtentwicklung) mit ihren im Niveau voneinander abweichenden Temperaturfeldern ist dies im vorliegenden Fall gegeben. Daher wurden zunächst die Statistiken der beiden Extremsituationen der Referenzsituation (als kälteste Situation) und Zukunft P1<sup>21</sup> (als wärmste Situation, aber ohne Stadtentwicklung) miteinander verknüpft und eine neue Grundgesamtheit aus beiden gebildet. Diese diente dazu, die für die z-Transformation benötigten Werte (Mittelwert, Standardabweichung) abzuleiten. Zur Erzeugung dieser Werte wurden ausschließlich solche Gitterpunkte verwendet, die innerhalb des Wirkraums lagen, da sie die zu vergleichende Gebietskulisse zur Bewertung der thermischen Situation bilden. Die Werte im Ausgleichsraum blieben demnach unberücksichtigt. Für den Mittelwert der nächtlichen Temperatur um 4 Uhr ergibt sich somit eine mittlere Temperatur von 17,1 °C bei einer Standardabweichung von 1,7 im Wirkraum (siehe auch Tabelle 20).

Das an den Bandbreiten der auftretenden Werte orientierte Vorgehen eröffnet die Möglichkeit, Bewertungen für beliebige Konstellationen innerhalb dieses Möglichkeitskorridors auch im Nachgang zu der vorliegenden Analyse durchzuführen. Ein Beispiel hierfür ist das Szenario P2, das keinen Einfluss auf die Berechnung der z-Statistik hatte, dessen Temperaturfelder dank der skizzierten Vorgehensweise aber dennoch mit derselben Methode bewertet werden können wie die Bestandssituation und das Szenario P1. Auf dieser Basis können die von der VDI definierten Bewertungsstufen erzeugt und jede Fläche des Wirkraums für alle drei betrachteten Situationen mit einer entsprechenden Bewertung versehen werden.

Die in der VDI-Richtlinie vorgeschlagene 4-stufige Bewertung wurde für die Stadt Jena in eine **5-stufige Skala** überführt, ohne dabei die grundsätzliche Systematik aufzulösen. Dieses Vorgehen lässt sich damit begründen, dass durch die höhere Auflösung der Modelleingangsdaten und -ergebnisse eine höhere Genauigkeit erreicht wird, die ebenso in einer höheren Anzahl an Bewertungsklassen aufgehen kann, um die Unterschiede im Stadtgebiet sichtbar zu machen. Die Festlegung der zusätzlichen mittleren Klasse wurde darauf geachtet, die Klassengrenzen so festzulegen, dass es für die nächtliche Lufttemperatur und die PET jeweils gut zur statistischen Verteilung der Daten passt. Die in Abbildung 48 genannten Klassengrenzwerte wurden in Abstimmung mit der AG festgelegt (Tabelle 20).

Tabelle 20: Bewertungsstufen für die humanbioklimatische Situation im Wirkraum nach Tageszeit

Tageszeit	Mittelwert Standardabweichung	Bewertungsstufen	Mittlerer z-Wert	Gültig für folgende Strukturtypen
<b>Nacht-situation</b>	MW = 17,1 °C sd = 1,7	In Anlehnung an VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= mittel 4= ungünstig 5= sehr ungünstig	Lufttemperatur 4:00 Uhr z-Wert ≤ -1 z-Wert > -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 0,5 z-Wert > 0,5 und ≤ 1 z-Wert > 1	bewohnte Siedlungsflächen (Wohnbauflächen, gemischte Bauflächen, Pflegeeinrichtungen)
<b>Tag-situation</b>	MW = 38,8 °C sd = 5,2 Verkehrsflächen: MW = 38,8 °C sd = 4,9	In Anlehnung an VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= mittel 4= ungünstig 5= sehr ungünstig	PET 14:00 Uhr z-Wert ≤ -1 z-Wert > -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 0,5 z-Wert > 0,5 und ≤ 1 z-Wert > 1	Siedlung, Industrie/Gewerbe, Straßen und öffentliche Plätze

<sup>21</sup> Da das Szenario P2 die Stadtentwicklung hauptsächlich über den Mischpixelansatz abbildet und dieser oftmals zur Temperaturüberschätzung aufgrund der Methodik führt, wurde das Szenario P1 für die Ermittlung der Werte verwendet.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Ableitung der Bewertungsklassen und die Einstufung einer Siedlungsfläche in eine „ungünstige“ bioklimatische Situation nicht bedeutet, dass hier unerträglich hohe sommerliche Temperaturen zu erwarten sind, sondern dass diese Fläche im Vergleich zu anderen Flächen in der Stadt mit einer beispielsweise „günstigen“ oder „mittleren“ bioklimatischen Situation bezüglich ihrer Klimaparameter schlechter abschneidet. Die einzelnen Kategorien von einer „sehr günstigen“ bis „sehr ungünstigen“ bioklimatischen Situation beschreiben somit **keine absoluten Einstufungen** mehr, sondern bilden lediglich das **Spektrum der in Jena vorhandenen Bandbreiten an klimatischen Unterschieden** ab.

### 8.3.2 AUSGLEICHSRAUM - METHODIK

Als Ausgleichsräume werden **vegetationsgeprägte, unbebaute Flächen** bezeichnet, die vornehmlich in der Nacht durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft über funktionsfähige Austauschbeziehungen dazu in der Lage sind, lufthygienische oder humanbioklimatische Belastungen in Wirkräumen zu vermindern oder abzubauen oder durch ihre Schattenwirkung am Tage als wertvolle Naherholungsräume dienen können. Durch diese unterschiedlichen Kerneigenschaften der Ausgleichsräume zu unterschiedlichen Tageszeiten war es notwendig, die Tag- und Nacht-Situation in einem teilautomatisierten Verfahren getrennt zu bewerten und, wie bereits für den Wirkraum, in **fünf Stufen** von „sehr geringe“ bis „sehr hohe“ **bioklimatische Bedeutung (nachts)** bzw. **Aufenthaltsqualität (tags)** einzuteilen. Sowohl für den Ist-Zustand als auch die Zukunftsszenarien wurde hierbei jeweils dieselbe Methodik angewandt.

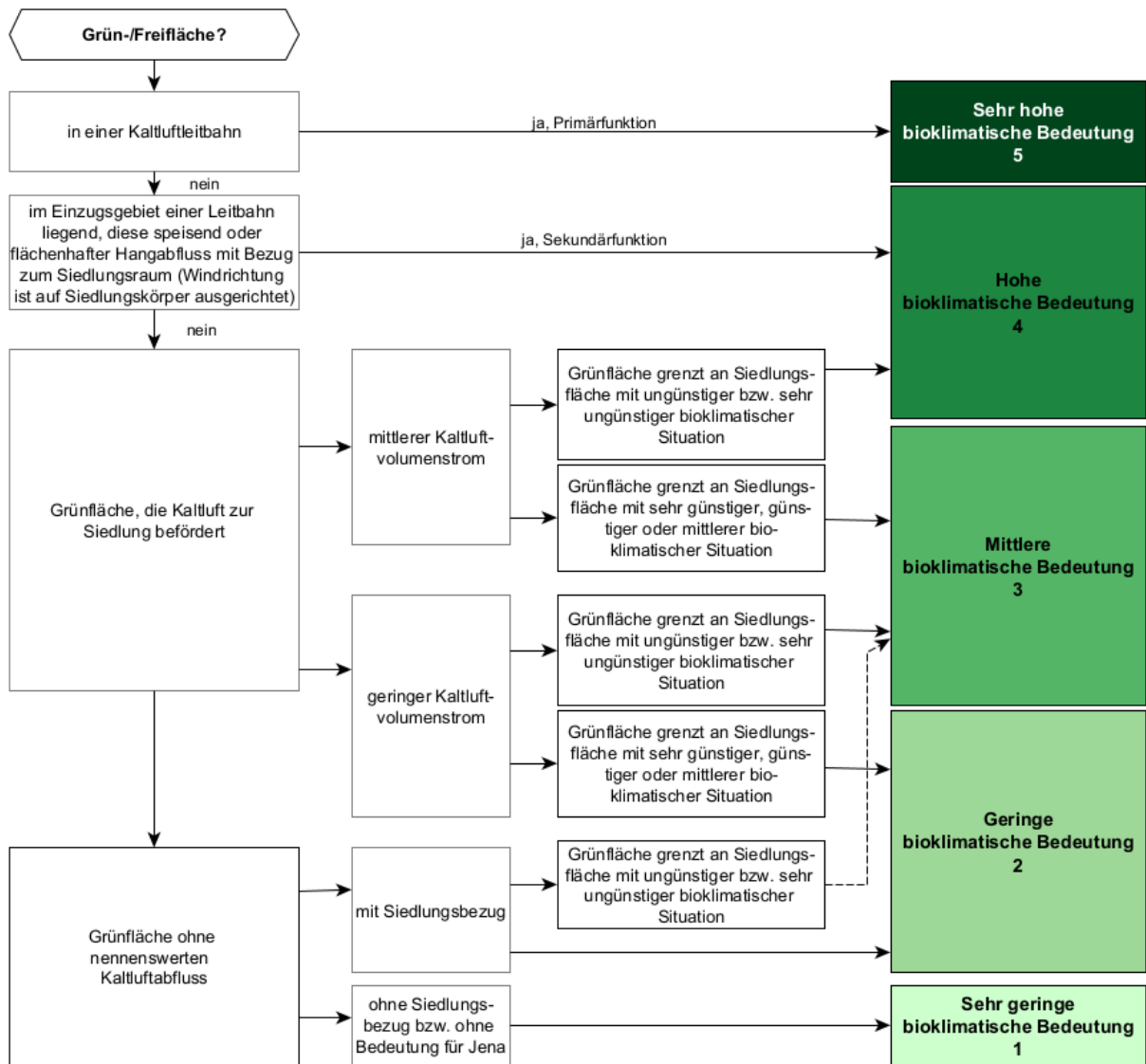
Für die **Bewertung von Grünflächen in der Nacht** rückt der **Kaltlufthaushalt** in den Fokus. So erhielten in Verbindung mit Kaltluftleitbahnen stehende Grünflächen eine „sehr hohe Bedeutung“, wenn sie einen unmittelbaren Siedlungsbezug aufweisen (Primärfunktion), eine „hohe Bedeutung“, wenn sie einen signifikanten Kaltluftabfluss aufweisen und eine Kaltluftleitbahn speisen (Sekundärfunktion). Sie besitzen eine „mittlere Bedeutung“, wenn sie Kaltluftproduktionsflächen darstellen, die die Kaltluftleitbahnen bzw. Kaltluftabflüsse speisen. Besitzen die Grünflächen einen geringen Kaltluftvolumenstrom, werden sie in die Kategorie der „geringen Bedeutung“ einsortiert. Hierbei spielt dann wieder die Lage der Grünflächen eine Rolle. Eine Grünfläche, die eine angrenzende Siedlungsfläche mit hoher thermischer Belastung mit Kaltluft versorgt, wird in ihrer bioklimatischen Bedeutung hochgestuft (siehe Abbildung 49).

Die folgende Abbildung 49 zeigt in schematisierter Form den dabei angewendeten hierarchischen Bewertungsschlüssel, wobei gilt:

- mittlerer Kaltluftvolumenstrom:  $\geq 20,0 \text{ m}^3/\text{m}^*\text{s}$  und Windgeschwindigkeit in allen drei Zeitschnitten  $\geq 0,2 \text{ m/s}$
- geringer Kaltluftvolumenstrom:  $< 20 \text{ m}^3/\text{m}^*\text{s}$
- angrenzend an wärmebelastete Siedlungsgebiete: Entfernung max. 10 m Luftlinie
- Siedlungsbezug: Entfernung bis 500 m Luftlinie

Als Lesehilfe des Bewertungsschlüssels kann folgendes Beispiel dienen: Für eine Grünfläche, die nicht Teil einer Kaltluftleitbahn bzw. eines Kaltluftabflusses ist und an Wohngebiete mit (sehr) ungünstiger humanbioklimatischer Situation angrenzt, gilt folgende Zuordnung:

- Die Fläche weist einen mittleren Kaltluftvolumenstrom auf → Sie besitzt eine hohe bioklimatische Bedeutung.
- Die Fläche weist einen geringen Kaltluftvolumenstrom auf → Sie besitzt eine mittlere bioklimatische Bedeutung.



Bewertung wurde anhand von gegenwärtigen Bebauungszustand angenommen und muss erneut durchgeführt werden, wenn sich an der für das Modell angenommenen Stadtstruktur etwas ändert und Entwicklungen erfolgen

Abbildung 49: Bewertungsalgorithmus für die Grünflächen in der Nacht.

Für die **Tagsituation** liegt die **PET als Bewertungsgröße im Ausgleichsraum** zugrunde. Hierbei greift wiederum die beschriebene Methodik der z-Transformation beim Wirkraum (siehe Kapitel 8.3.1 und Abbildung 48). Dabei liegt der Fokus auf einer möglichst hohen Aufenthaltsqualität in den Grün- und Freiflächen, um der Jenaer Bevölkerung Rückzugs- und Erholungsorte an Sommertagen zu bieten.

Tabelle 21 listet die festgelegten z-Werte und die zugehörigen PET-Bereiche für den Ist-Zustand und die Zukunftsszenarien für alle Ausgleichsflächen im Jenaer Stadtgebiet auf und stellt die in Anlehnung an VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 (12/2008) erarbeiteten Bewertungsstufen gegenüber.

Tabelle 21: Bewertungsstufen für die humanbioklimatische Bedeutung im Ausgleichsraum am Tag

Tageszeit	Mittelwert Standardabweichung	Bewertungsstufen für die Bioklimatische Aufenthalts- qualität	Mittlerer z-Wert	Gültig für folgende Strukturtypen
Tagsituation	MW = 31,8 °C sd = 6,8	In Anlehnung an VDI 3785, Bl.1 5 = sehr hohe 4 = hohe 3 = mittlere 2 = geringe 1 = sehr geringe	PET 14:00 Uhr z-Wert ≤ -1 z-Wert > -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 1 z-Wert > 1 und ≤ 1,5 z-Wert > 1,5	Grün- und Freiflächen

### 8.3.3 ZUSÄTZLICHE KARTENINHALTE

#### KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN

Analog zur Darstellung in den Klimaanalysekarten (Abbildung 45) ist auch in den nächtlichen Bewertungskarten das Kaltluftprozessgeschehen in Form von Pfeilsignaturen für Kaltluftleitbahnen und -abflüsse aufgetragen. Zusätzlich sind erneut Kaltluftentstehungsgebiete (Grünflächen mit einer überdurchschnittlich hohen Kaltluftproduktionsrate) durch eine Punktschraffur dargestellt, deren Methodik jener der Klimaanalysekarten entspricht (siehe Kapitel 7.1.1).

Neben diesen die Ausgleichflächen überlagernden Inhalten zu Kaltluftprozessen wird in den nächtlichen Bewertungskarten auch für den Wirkraum eine weitere Information zum Thema Kaltluft bereitgestellt. Der **Kaltlufteinwirkbereich** in schwarzer, rasterbasierter Schraffur zeigt an, wie weit Kaltluft in die bestehenden Siedlungsräume (Wohnen, Gewerbe, Sonderbauflächen, Straßen, Plätze usw.) eindringen kann (siehe Abbildung 50).

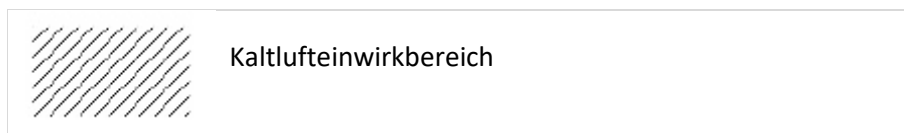


Abbildung 50: Legendensymbol der Kaltluftprozesse im Wirkraum.

Kaltlufteinwirkbereiche sind all jene Gebiete im Wirkraum, die den Wirkraummittelwert des Kaltluftvolumenstroms von 38,54 m<sup>3</sup>/(m\*s) (Zukunft P1: 39,57 m<sup>3</sup>/(m\*s), Zukunft P2: Zukunft P1: 40,10 m<sup>3</sup>/(m\*s)) und die entsprechende mittlere Windgeschwindigkeit von 0,2 m/s (für die Zukunft identisch) erreichen oder überschreiten.

#### WIRKRAUMKATEGORIEN

In den **Bewertungskarten für die Nachtsituation** werden Verkehrsräume wie Straßen, Plätze und Parkplätze, die Gewerbe- und Industriegebiete sowie die Sonderbauflächen für Forschung und Lehre in grau dargestellt. Da dort niemand wohnt und sich hier in der Nacht in der Regel keine Personen für längere Zeit aufhalten, wird für diese Flächen die Bewertung der bioklimatischen Situation in der Nacht nicht dargestellt (Abbildung 51). Dies begründet sich mit dem **Bewertungsfokus auf gesunden Schlafbedingungen** in der Nacht. Im Sinne einer Priorisierung des Handlungsbedarfs werden somit für die Nachtsituation nur die s. g. „bewohnten“ Flächen bewertet. Dazu zählen die Wohnbauflächen, die gemischten Bauflächen und die Pflegeeinrichtungen. Die Bewertungsergebnisse für die „unbewohnten“ Flächen wie bspw. Gewerbe- und Sonderbauflächen sind jedoch als Information im entsprechenden QGIS-Projekt verfügbar.

- Verkehrsraum und Plätze (ohne Bewertung)
- unbewohnt (ohne Bewertung, da keine Relevanz in der Nacht)

Abbildung 51: Symbologie zu weiteren Wirkraumkategorien: unbewohnt, Verkehrsraum.

### VULNERABLE EINRICHTUNGEN

Mit dem Ziel, insbesondere die vulnerablen Bevölkerungsgruppen vor Hitzebelastung zu schützen, erfolgt in den Bewertungskarten die Darstellung der vulnerablen Einrichtungen. Diese sind mit einem Icon adressgenau verortet (Abbildung 52).

- ▲ Kindertagesstätten
- Grund- und Gemeinschaftsschulen
- ✚ Uniklinikum
- Seniorenpflegeeinrichtungen

Abbildung 52: Symbologie zu den vulnerablen Einrichtungen.

Dabei erfolgt eine differenzierte Darstellung der vulnerablen Einrichtungen zwischen Tag- und Nachtsituation. Am Tag werden Kindertagesstätten, Grund- und Gemeinschaftsschulen, Einrichtungen des Universitätsklinikums sowie Seniorenpflegeeinrichtungen dargestellt, da sich hier Personen aufhalten, die besonders von Hitze betroffen sind. Hierzu zählen ältere Menschen mit stark eingeschränkter Gesundheit, Säuglinge, Kinder und kranke Menschen. Für die Nachtsituation erfolgte nur noch die Darstellung des Uniklinikums sowie der Seniorenpflegeeinrichtungen, da sich dort auch nachts Menschen aufhalten, während die Kitas und Schulen in der Nacht ungenutzt sind.

### 8.3.4 ERGEBNISSE BEWERTUNGSKARTEN VON IST-ZUSTAND UND ZUKUNFTSSZENARIEN

#### NACHTSITUATION

Abbildung 53 zeigt einen Ausschnitt der Bewertungskarten der Nachtsituation für Jena, in welcher u.a. die **Wirkräume** hinsichtlich ihrer thermischen Situation bewertet wurden. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertung der Flächen relativ zueinander und in einer Gesamtbetrachtung mit dem Zukunftsszenario P1 erfolgt (siehe Kapitel 8.3.1). In Abbildung 54 sind die Statistiken dafür zusammengefasst. Die Statistiken beziehen sich dabei auf die Flächengröße.

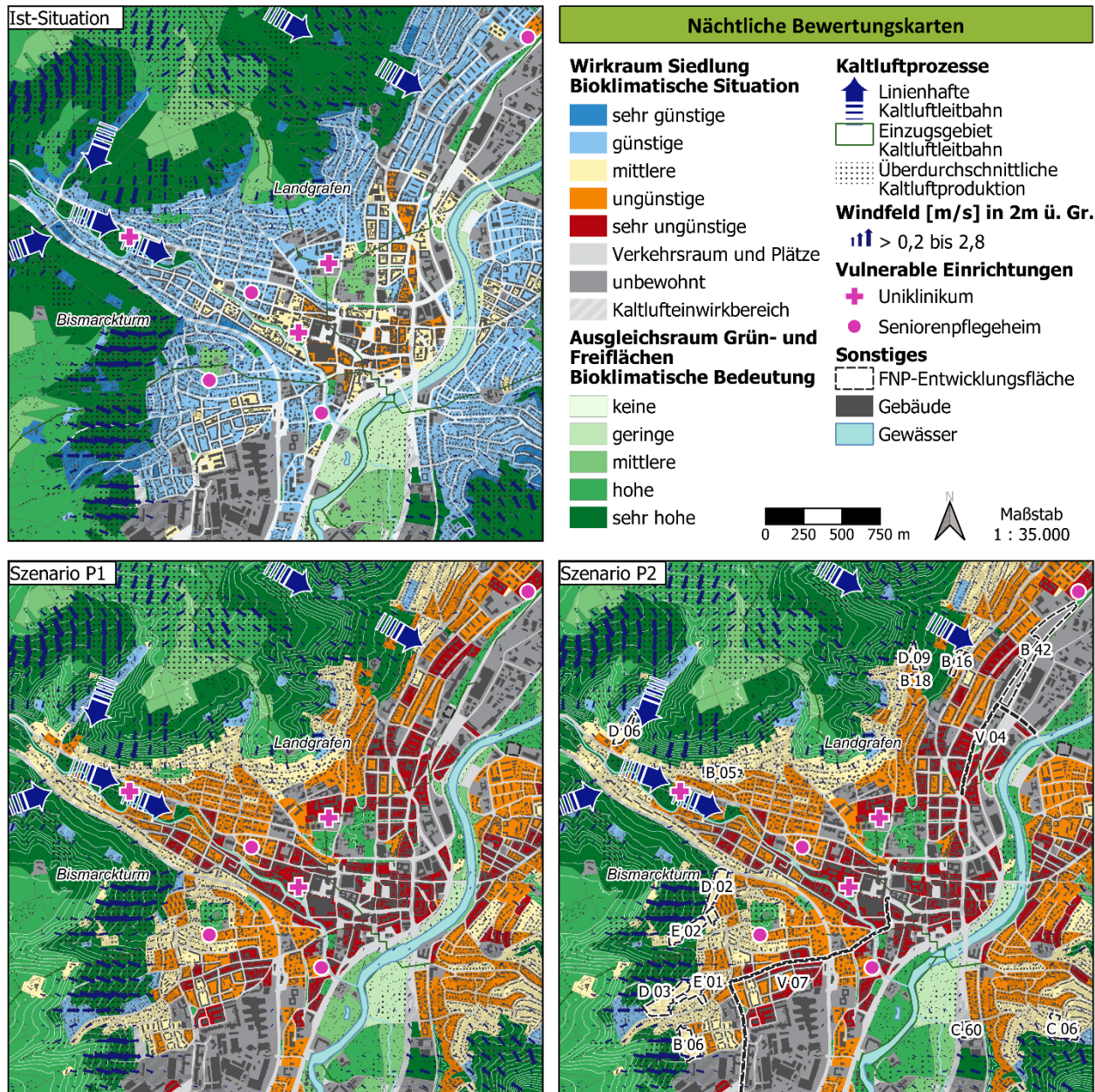


Abbildung 53: Zoom auf die Bewertungskarten Nacht für die Referenzsituation und die Zukunftsszenarien P1 und P2.

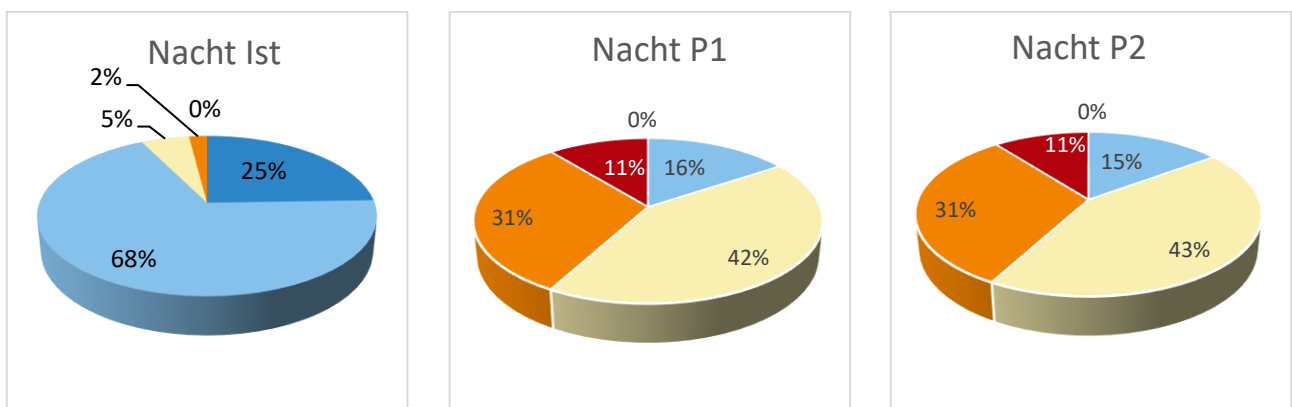
Etwa 25 % der Wohngebiete (Flächen gemischter Nutzung, Wohnbauflächen und Pflegeeinrichtungen) in Jena sind im **Ist-Zustand** durch eine „sehr günstige“ bioklimatische Situation in der Nacht bewertet. In dieser Klasse finden sich hauptsächlich die auf der Höhe gelegenen ländlichen Ortsteile wie bspw. Isserstedt, Krippendorf, Closewitz, Lützeroda, Cospeda, Jenaprießnitz oder Drackendorf. Im Jenaer Stadtgebiet im Saaletal sind es v. a. Flächen, die am Siedlungsrand liegen oder locker bebaute Einfamilienhausgebiete. Diese Flächen weisen einen hohen Schlafkomfort auf, da eine überwiegend lockere Bebauung die nächtliche Durchlüftung begünstigt.

Der größte Teil des Siedlungsgebietes (68 %) liegt in der Ist-Situation in der „günstigen“ Klasse. Diese klimatisch günstig bewerteten Gebiete sind über das gesamte Stadtgebiet verteilt und befinden sich sowohl auf den Hochebenen, an den Hängen sowie in der Saaleaue. Sie sind gut mit Kaltluft versorgt (Kaltlufteinwirkbereich) oder besitzen einen höheren Grünanteil und sind weniger versiegelt. In der Innenstadt gehören hierzu insbesondere Siedlungsflächen, die direkt an innerstädtische Grünflächen, wie bspw. den Johannisfriedhof

oder den Frommannschen Garten, angrenzen. Aber auch die Geschosswohnungsbauten in Winzerla und Lobeda sowie in Jena-Nord – Zeilenstrukturen mit relativ viel Abstandsgrün – weisen im Ist-Zustand eine vergleichsweise günstige Nachtsituation auf.

Etwa 5 % der Wohngebiete sind in der Referenzsituation in die „mittlere“ bioklimatische Bewertungsklasse eingeordnet. Hierzu gehören dichter bebaute Siedlungsflächen mit einem höheren Versiegelungsanteil, wie z.B. die nördliche Innenstadt (Teile des Damenviertels), Blockstrukturen der westlichen Innenstadterweiterung (Lutherstraße, Bachstraße), Wohnblöcke im Bereich Wenigenjena (nordwestlich der Karl-Liebknecht-Straße) sowie entlang des Magdelstiegs. Aber auch in den Kernzonen der historischen Ortslagen, z. B. Burgau oder Altlobeda, finden sich Flächen mit einer „mittleren“ nächtlichen Wärmebelastung.

Nur etwa 2 % der bewohnten Siedlungsflächen weisen im Ist-Zustand eine „ungünstige“ thermische Situation in der Nacht auf. Diese zeigt sich in den für Wohnen genutzten Gebieten hauptsächlich in der zentralen Innenstadt, an der Saalbahnhofstraße und der Dornburger Straße. Hier sind höhere Versiegelungsgrade bei einer geringeren Durchgrünung vorzufinden. Die Kaltluft von den Hängen reicht nicht mehr bis in die Innenstadt hinein, da sie vorher bereits auf dem Weg zur Innenstadt abgebremst und auch erwärmt wird. Außerhalb der Innenstadt werden nur vereinzelt Siedlungsflächen in diese „ungünstige“ Klasse eingeordnet, bspw. in Kunitz zwischen Kirchstraße und Lange Straße. Hier stehen die Häuser sehr dicht bei gleichzeitig höherem Versiegelungsgrad. Die solare Energie wird bereits tagsüber in den versiegelten Flächen und Gebäuden aufgenommen, gespeichert und in der Nacht als Wärme wieder an die Umgebung abgegeben. Teile des Uniklinikums in Lobeda sind ebenso mit der „ungünstigen“ Situation in der Nacht bewertet. Auch hier gibt es viele versiegelte Flächen, die die tagsüber gespeicherte Energie in Wärme umwandeln und nachts abgeben.



Bioklimatische Situation im Siedlungsraum (Wirkraum):

■ 1 - sehr günstige ■ 2 - günstige ■ 3 - mittlere ■ 4 - ungünstige ■ 5 - sehr ungünstige

Abbildung 54: Statistiken für den Wirkraum in der Nacht. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2. In den Statistiken sind nur Flächen enthalten, wo sich Personen auch in der Nacht aufhalten wie bspw. Wohngebiete, Flächen gemischter Nutzung und Pflegeeinrichtungen.

Wie in Abbildung 54 zu sehen ist, tritt die Bewertungsklasse der „sehr ungünstigen“ thermischen Situation in der Referenzsituation in Jena nicht auf. Die „sehr ungünstige“ Klasse zeigt sich erst im **Zukunftsszenario P1** infolge des prognostizierten Klimawandels im Stadtgebiet Jena mit ca. 11 % Flächenanteil an den Wohngebieten. Dieser Modellrechnung wurde eine Temperaturerhöhung von +2 K zugrunde gelegt. Hierbei fällt auf, dass nicht nur die bereits in der Ist-Situation als „ungünstig“ eingestuften Wohngebiete in eine „sehr ungünstige“ Situation rutschen, sondern teilweise auch Flächen, die vorher als „günstig“ oder „mittel“ bewertet wurden. Das ist damit zu begründen, dass diese Flächen häufig jeweils an der Klassengrenze, sowohl in der

Ist-Situation als auch im Szenario P1 liegen. Flächen mit einer „sehr ungünstigen“ Situation treten v. a. dort auf, wo nicht in unmittelbarer Umgebung Grün- und Freiflächen liegen, die Kaltluft produzieren und zur Verfügung stellen können. Die Grünflächen an der Saale liefern zwar Kaltluft, diese erreicht jedoch nicht die höher gelegenen Siedlungsgebiete. Diese Grünflächen sind die tiefsten Punkte im Stadtgebiet und die Kaltluft fließt dem Gefälle folgend hin zur Saale und verharrt dort in einem Kaltluftsee, außer es entwickeln sich Strukturwindssysteme. Diese entstehen zwischen Saale und den umgebenden Wiesen, da die Saale mit ca. 19 °C Wassertemperatur wärmer als die Grünflächen ist und ein Strukturwindsystem einerseits zur Saale initiiert. Andererseits wird ein Strukturwindsystem auch zwischen Saalegrünflächen und Siedlungskörper gebildet, wo die Temperaturunterschiede tw. noch größer sind, wie bspw. in der Innenstadt „Am Volksbad“ oder an der „Paradiesstraße“. Diese auf den Siedlungskörper gerichteten Strukturwindssysteme sind nicht so wirkungsvoll wie die hangbedingten Kaltluftabflüsse. Sie tragen zur Belüftung der Innenstadt bei, wirken jedoch sehr kleinräumig. Daher bleiben die Quartiere in der Innenstadt auch in der Nacht stark wärmebelastet (oftmals „sehr ungünstige“ Situation in P1 und P2).

Die ländlichen Ortsteile zeigen auch im Zukunftsszenario P1 überwiegend eine „günstige“ bis „mittlere“ bioklimatische Situation in der Nacht auf. Eine „sehr ungünstige“ Situation lässt sich in den weiter außerhalb des Saaletals liegenden Ortsteilen *nicht* bzw. nur auf sehr wenigen und kleinen Teilflächen (bspw. in Kunitz, Wogau oder Ilmnitz) finden.

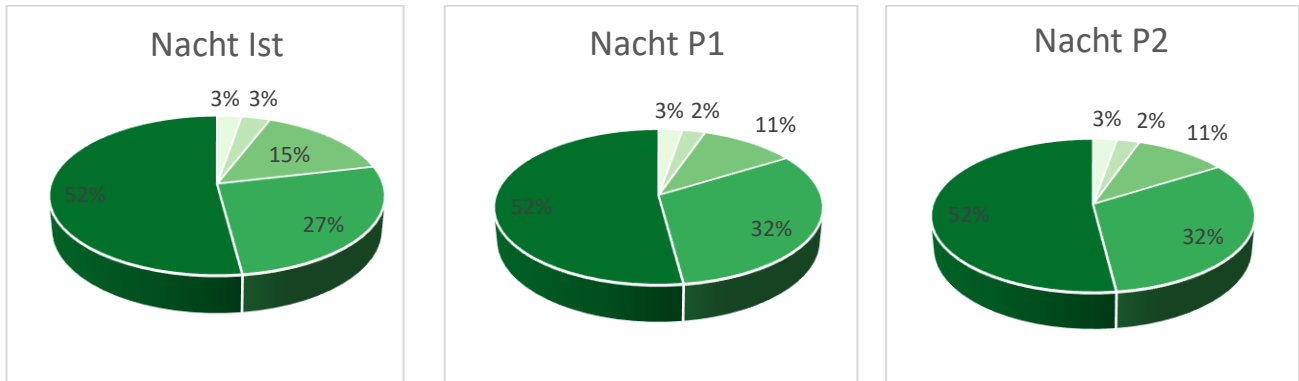
Die „ungünstige“ Klasse tritt unter der Annahme des Klimawandels (Szenario P1) nun zu etwa einem Drittel (31 %) in Jenas Wohngebieten auf. Die Flächen dieser Kategorie schließen sich räumlich an die wärmebelastete Innenstadt an und liegen i.d.R. etwas weiter vom Stadtrand entfernt, so dass die Kaltluft nicht mehr ausreichend in diese Gebiete hineinwirken kann. Die im Ist-Zustand noch „günstigen“, eher locker bebauten Siedlungsflächen in Stadtrandlage rutschen nun in P1 in den meisten Fällen in die „mittlere“ Kategorie.

Die „sehr günstige“ Bewertungsklasse ist im P1-Szenario (mit Klimawandel) nicht mehr vertreten. Die „günstige“ Klasse, die in der Referenzsituation noch 68 % Flächenanteil an den Wohnquartieren ausgemacht hat, ist nun auf 16 % geschrumpft. Sie findet sich hauptsächlich in den westlich der Saale liegenden ländlichen Ortsteilen (z.B. Cospeda, Lützeroda, Vierzehnheiligen), im südlichen Leutratatal sowie vereinzelt an den Siedlungsrändern (z.B. Winzerla, Lichtenhain, Kernberge). Die Kaltluft ist unter dem Klimawandel nun wärmer, so dass die nächtliche Temperaturerhöhung in den Siedlungsgebieten infolge einer Durchlüftung nicht mehr ausreichend kompensiert werden kann.

Im **Zukunftsszenario P2**, wo neben dem Klimawandel auch die Stadtentwicklung berücksichtigt wird, zeigt sich insgesamt eine ähnliche prozentuale Verteilung der Flächen in den Bewertungsklassen wie im Szenario P1. Die mit „günstig“ und „mittel“ bewerteten Siedlungsflächen bleiben in der Summe (58 %) konstant mit einer leichten Zunahme der „mittleren“ und einer geringen Abnahme der „günstigen“ Kategorie. Auch die Summe aus „ungünstigen“ und „sehr ungünstigen“ Siedlungsflächen (42 %) bleibt im Vergleich zum Szenario P1 gleich. Dies kann damit begründet werden, dass die Modellierung der FNP-Entwicklungsflächen teilweise zu Auswirkungen auf bestehende Nachbarschaftsflächen führt, was zu einer leichten Erhöhung der „mittleren“ Klasse führt. Für genauere Details sei an dieser Stelle auf die **Steckbriefe für die FNP-Entwicklungsflächen** verwiesen. Hier werden die Auswirkungen auf die bestehenden Siedlungsflächen detailliert untersucht und erläutert.

Neben der thermischen Situation des Wirkraumes wird in den Bewertungskarten auch die **klimaökologische Bedeutung der Flächen im Ausgleichsraum** thematisiert und eingeschätzt. In der Ist-Situation wurden dabei 52 % aller Ausgleichsflächen im Stadtgebiet als Grünflächen mit einer „sehr hohen“ bioklimatischen Bedeutung ausgewiesen (siehe Karten in Abbildung 53 und statistische Auswertungen in Abbildung 55). Entspre-

chend der hierarchischen Zuweisung entfällt der Großteil dieser Flächen auf die Kernbereiche der Kaltluftleitbahnen und der dazugehörigen Kaltluftabflüsse am Hang, die eine Leitbahn speisen. Da Jena viele Seitentäler zur Saale im Stadtgebiet enthält, die als Kaltluftleitbahnen klassifiziert wurden, ist der hohe prozentuale Flächenanteil darauf zurückzuführen.



Bioklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum):

- 1 - sehr geringe
- 2 - geringe
- 3 - mittlere
- 4 - hohe
- 5 - sehr hohe

Abbildung 55: Statistiken für den Ausgleichsraum in der Nacht. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2.

Grünflächen mit einer „hohen“ bioklimatischen Bedeutung finden sich zu rund einem Viertel (27 %) innerhalb der Jenaer Stadtgrenzen wieder und liegen vorrangig in der nahen Peripherie o. g. Kaltluftprozesse. In diese Kategorie fallen darüber hinaus auch innerstädtische Grünflächen, die die Kaltluft weiter in die Stadt befördern, wie bspw. der Grünzug am Lommerweg, der Sportplatz an der Hugo-Schrade-Straße in Winzerla oder kleinräumige innerstädtische Kaltluftentstehungsgebiete wie die Parkanlage am Alexander-Puschkin-Platz oder der Schillergarten im Schillergässchen.

15 % aller Ausgleichsflächen entfallen auf die „mittlere“ Bewertungskategorie. Flächen, die in diese Kategorie eingeordnet wurden, sind mittlere Kaltluftlieferanten oder befördern geringere Mengen an Kaltluft zu wärmebelasteten Siedlungsflächen. Dazu zählen bspw. der Johannisfriedhof, der Botanische Garten, der Friedensberg oder die Grünflächen in der Saaleaue. Weiter entfernt liegende Kaltluftentstehungsflächen im Wald oder auf Ackerflächen gehören hier ebenfalls in diese Kategorie. Nur jeweils 3 % der Ausgleichsflächen sind der „geringen“ oder der „sehr geringen“ Bedeutung zugeordnet. Die Flächen in der „sehr geringen“ Kategorie sind Grünflächen, die die Kaltluftströme aus der Stadt Jena in die benachbarten Gemeinden befördern, daher nicht in Jena wirksam werden und dementsprechend auch keinen Bezug zum bewohnten Wirkraum in Jena aufweisen. Diese Flächen befinden sich hauptsächlich im Norden von Jena.

Die im Ist-Zustand mit „sehr hoch“ bewerteten Ausgleichsflächen bleiben auch im **Klimawandelszenario P1** mit 52 % erhalten. Da hier Grünflächen enthalten sind, die eine Kaltluftleitbahn darstellen oder diese über einen hohen Kaltluftabfluss speisen und dies unter Klimawandelbedingungen erhalten bleibt, ist diese Klasse stabil. Im **Zukunftsszenario P2** (mit Klimawandel und zukünftiger Stadtentwicklung) erfolgt keine nennenswerte Veränderung der prozentualen Verteilung der Grünflächen in den einzelnen Kategorien. Auch mit der Modellierung der FNP-Entwicklungsflächen bleibt der Anteil an Grünflächen mit „sehr hoher“ und „hoher“ bioklimatischer Bedeutung erhalten, obwohl sich infolge der geplanten baulichen Entwicklung die Grundgesamtheit der Grünflächen verringert. Da es insgesamt sehr großflächige Wald- und Ackerflächen außerhalb des bebauten Siedlungskörpers gibt, ist die Änderung der Flächenanteile, die durch die Bebauung der kleinteiligen FNP-Entwicklungsflächen entstehen, nur äußerst gering (in der ersten Nachkommastelle sichtbar).

Die Bedeutung der Grünflächen nimmt unter Klimawandelbedingungen weiter zu, wie an dem Zuwachs der „hohen“ Bedeutungsklasse zwischen Ist und P1 zu sehen ist, da deren Funktionen eng mit der Nähe zum (belasteten) Siedlungsraum verwoben sind. Die „mittlere“ und „geringere“ Bedeutungsklasse nehmen weiter ab. Grünflächen werden jeweils in die nächste Kategorie gestuft, wenn sie in der Nähe zu belastetem Siedlungsraum in der Nacht liegen, der unter der Annahme des Klimawandels weiter zunimmt.

### TAGSITUATION

In der Tagsituation steht die Aufenthaltsqualität im Außenraum in Innenhöfen, auf Grün- und Freiflächen sowie Plätzen und Straßen im Vordergrund. Der Bewertungsparameter ist hier die PET um 14 Uhr, die mit der oben beschriebenen Methodik der z-Transformation bewertet wurde (siehe Kapitel 8.3.1 und 8.3.2).

In der Abbildung 56 werden die Bewertungskarten Tag für die verschiedenen Szenarien auszugsweise dargestellt. Die zugehörigen Statistiken finden sich in den Abbildung 57 und Abbildung 58.

In der statistischen Auswertung ist auch hier in der **Ist-Situation** ersichtlich, dass der überwiegende Teil (58 %) aller Siedlungsgebiete (Wohnen, Gewerbe, Sonderbauflächen, Forschung & Entwicklung) im Wirkraum in der „sehr günstigen“ (7 %) oder in der „günstigen“ (51 %) Klasse zu finden ist. Das Muster der räumlichen Verteilung stellt sich jedoch ein wenig anders dar als das in der Nacht. Da die PET sehr stark von der Verschattung durch Bäume oder Gebäude und von der Durchlüftung am Tag abhängt, sind hier viele Innenstadtbereiche der „günstigen“ Kategorie zugeordnet, da die höheren Gebäude verschatten und dadurch die direkte Sonneneinstrahlung reduzieren. Das zeigt sich bspw. beim Universitätsklinikum am Teichgraben/ Nonnenplan/ Kollegiengasse, im Bereich nördlich der Johannisstraße oder westlich der Zwätzengasse. Aber auch der Geschosswohnungsbau in Winzerla oder Neu-Lobeda zeigt infolge der Verschattung durch die höheren Gebäude und durch die Bäume auf dem Abstandsgrün in der Referenzsituation eine vergleichsweise „günstige“ Aufenthaltsqualität. Die Zeilenbauten in Löbstedt (nördlich der Zitzmannstraße) weisen sogar eine „sehr günstige“ Aufenthaltsqualität auf. Dies ist insbesondere auf die vielen Bäume auf den Abstandsgrünflächen zurückzuführen.

Etwa 40 % des Wirkraumes ist im Ist-Zustand der „mittleren“ bioklimatischen Situation am Tag zugeordnet. Hierzu gehören bspw. die kleinteiligen Einfamilien- und Reihenhausbaugebiete in Wenigenjena am nordexponierten Hang. Hier besitzen die Häuser zwar oftmals dazugehörige Gärten, diese sind jedoch nur mit wenigen größeren Bäumen bestanden, so dass die Sonne ungehindert auf die Gartenanlagen scheint und dies folglich zu einer höheren Wärmebelastung führt als die zuvor erwähnten Zeilenbauten in Löbstedt mit dem intensiveren Baumbestand. Dies trifft auch für weitere Einfamilien- und Reihenhaussiedlungen zu, wo das vielleicht gar nicht so erwartet wird, so zum Beispiel in Drackendorf, Alt-Lobeda, Wöllnitz oder in Teilen der Ringwiese in Winzerla. Der „mittleren“ Kategorie sind darüber hinaus viele Gewerbeflächen wie bspw. die Tatzendpromenade, Unteraue, Spitzweidenweg, Zwätzen-Ost, Göschwitz oder Lobeda-Süd zugeordnet. Auf diesen Flächen fehlen oftmals (große) Bäume, die durch ihre Verschattung und Verdunstungskühle für ein angenehmeres Aufenthaltsklima sorgen könnten. Stattdessen sind diese Flächen i.d.R. stärker versiegelt, so dass hier viel Sonnenstrahlung reflektiert und als Wärmeenergie gespeichert wird.

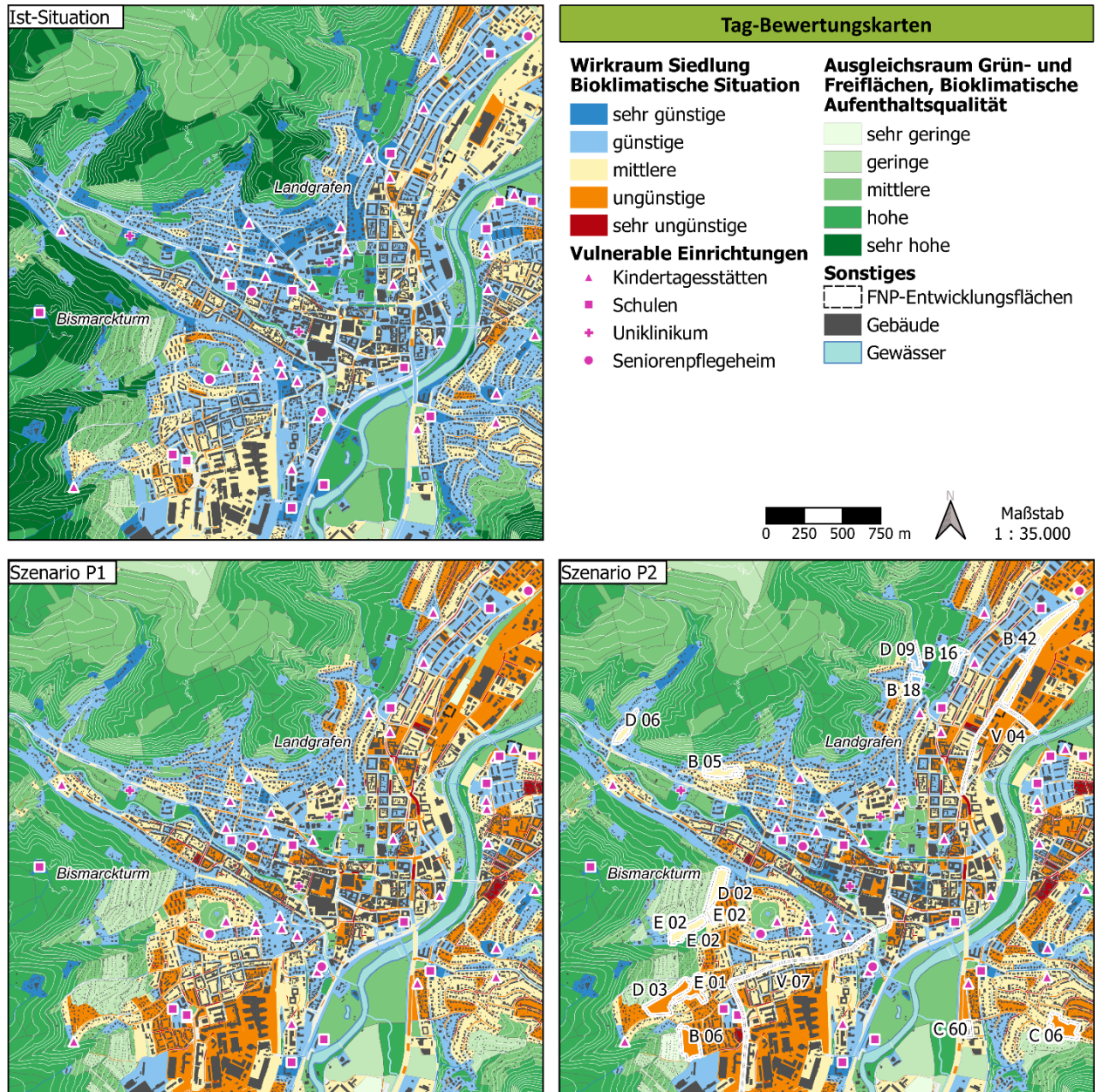
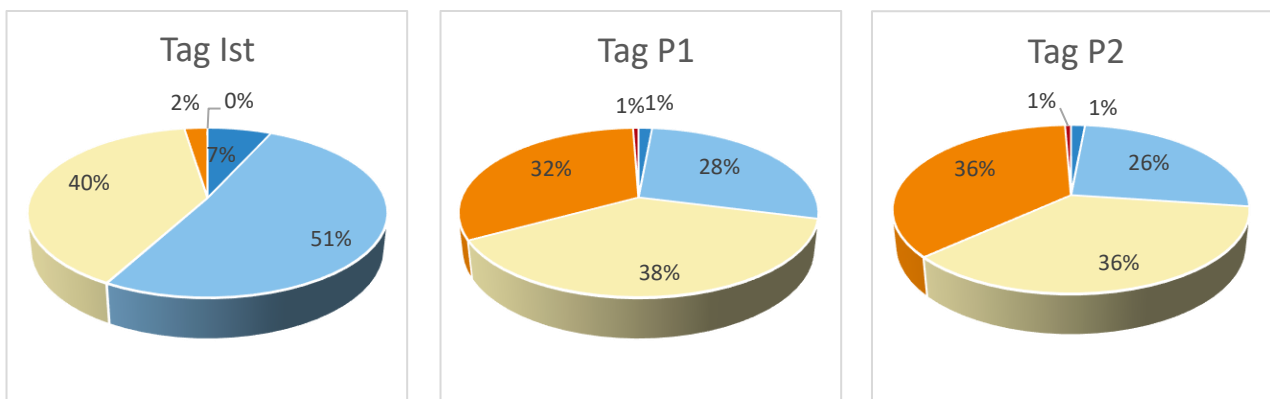


Abbildung 56: Zoom auf die Bewertungskarten Tag für die Referenzsituation, Zukunft P1 und P2.

Die „ungünstige“ Bewertungsklasse tritt im Wirkraum in der Referenzsituation nur zu einem Anteil von etwa 2 % auf. Sie ist dabei nicht – wie in der Nachtsituation – hauptsächlich in der Innenstadt vorzufinden, sondern zeigt sich vereinzelt im gesamten Stadtgebiet, darunter insbesondere in dichter bebauten Siedlungsflächen mit einem geringen Anteil an Großgrün, bspw. in Jena-Nord zwischen Freiligrathstraße und Friedensstraße oder östlich und westlich der Ernst-Pfeiffer-Straße in Jena-Süd. Aber auch in den ländlichen Ortsteilen östlich der Saale zeigt sich in Teilen die „ungünstige“ Klasse – insbesondere auf Flächen mit einer geringen Verschattung, die im dichter bebauten Ortskern liegen. Hier staut sich die Wärme und eine Durchlüftung, die sonst auch tagsüber entstehen kann, ist nicht vorhanden bzw. wird stark behindert.

Unter Annahme des prognostizierten Klimawandels im **Szenario P1** tritt nun erstmalig die schlechteste Bewertungsklasse („sehr ungünstig“) am Tag mit einem geringen Flächenanteil von 1 % auf. Diese Flächen finden sich jedoch nicht in der Innenstadt von Jena wieder, da hier die Verschattung durch Gebäude die PET

nicht so stark ansteigen lässt. Baublöcke mit einer „sehr ungünstigen“ bioklimatischen Situation am Tag zeigen sich bspw. östlich der Saale zwischen Camsdorfer Straße und Maurerstraße oder im Bereich der Tautenburgerstraße in Wenigenjena. Hier ist der Versiegelungsanteil hoch, es gibt keine Verschattung durch Bäume und der Schattenwurf der Gebäude um 14 Uhr ist gering und/oder wird nicht im Bereich des bewerteten Blocks wirksam. Baublöcke dieser Belastungsklasse, die im Siedlungskern, im Stadtteilzentrum usw. liegen, weisen oftmals eine sehr hohe Wärmebelastung auf. Lagebedingt sind die Durchlüftungsverhältnisse am Tag eingeschränkt und die Hitze staut sich. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass viele der Flächen mit einer „sehr ungünstigen“ Situation an der definierten Klassengrenze zu einer „ungünstigen“ Situation liegen – hier können geringfügige Unterschiede in der PET zu einer anderen Klassenzuordnung führen.



Bioklimatische Situation im Siedlungsraum (Wirkraum):

■ 1 - sehr günstige ■ 2 - günstige ■ 3 - mittlere ■ 4 - ungünstige ■ 5 - sehr ungünstige

Abbildung 57: Statistiken für den Wirkraum am Tag. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2.

Im **Klimawandelszenario P1** nimmt die „ungünstige“ thermische Belastungsklasse am Tag stark zu und erhöht sich zulasten der „mittleren“ Klasse auf 32 %. Dabei ist wieder ersichtlich, dass dies flächendeckend geschieht. Die Flächen der „mittleren“ Belastungsklasse in der Referenzsituation wandern nun größtenteils in die „ungünstige“ Klasse, da der hohe Versiegelungsgrad und die geringe Verschattung durch Bäume sich mit dem prognostizierten Klimawandel noch stärker auf die Wärmebelastung auswirken. Dennoch bleiben einige Siedlungsblöcke in ihrer Bewertung gegenüber der Ist-Situation gleich und zeigen weiterhin eine „mittlere“ bioklimatischen Situation am Tag, wie bspw. die Gebäude an der Neugasse Ecke Grietgasse oder auch der Sonnenhof am Lödergraben. Hier steigt die PET klimawandelbedingt zwar ebenfalls an, in der Referenzsituation liegen diese Flächen jedoch an der unteren Klassengrenze und im Szenario P1 an der oberen Grenze, aber immer noch innerhalb derselben Bewertungsklasse. Im Bereich des Sonnenhofs führt die Gebäudeverschattung zu einer weniger starken PET-Zunahme am Tag.

Die „mittlere“ Belastungsklasse reduziert sich im Szenario P1 nur geringfügig von 40 % auf 38 %, die „günstige“ thermische Belastungsklasse verringert sich hingegen deutlich. Mit dem prognostizierten Klimawandel und der im Modell enthaltenen Temperaturerhöhung um 2 K finden sich nur noch 28 % von vormals 51 % in dieser „günstigen“ Bewertungsklasse. Die in der Referenzsituation noch als „sehr günstig“ bewertete Flächen wandern in P1 fast vollständig in die „günstige“ Klasse. Es bleiben aber auch mit dem angenommenen Klimawandel von +2 K verschiedene Siedlungsflächen in der „günstigen“ bioklimatischen Situation, u. a. westlich der Dornburger Straße im Bereich des Nordfriedhofes. Hier sind die Wohnbauflächen mit Bäumen bestanden, die angrenzenden Grünflächen ebenso, so dass die Situation am Tag infolge der Verschattung und der

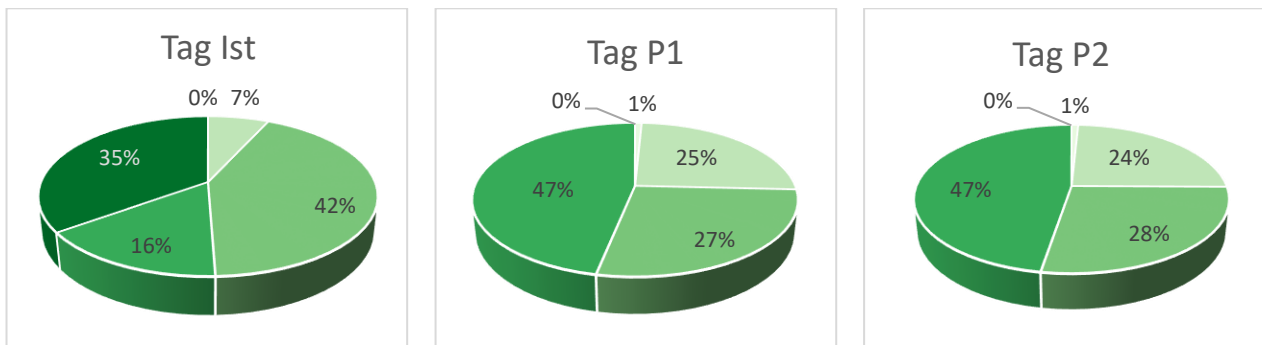
Verdunstungskühle angenehm ist. Die Gebäudeverschattung wirkt sich ebenfalls positiv aus. Die auch in P1 weiterhin „sehr günstigen“ Siedlungsflächen besitzen i. d. R. nur einen sehr geringen Teil an bebauter und versiegelter Fläche mit oftmals hohen Gebäuden und der Anteil an Großgrün ist sehr hoch, so z.B. im Bereich des Instituts für Geowissenschaften und der Kita am Burgweg. Als weiteres positives Beispiel können hier auch die Punkthochhäuser an der Gotthard-Neumann-Straße in Jena-Nord genannt werden – die Hochhäuser in Verbindung mit viel Grün und vor allem einem dichten Baumbestand führen auch im Zukunftsszenario P1 weiterhin zu einer „sehr günstigen“ bioklimatischen Situation.

Im **Szenario P2** verändert sich die bioklimatische Situation auf den FNP-Entwicklungsflächen infolge der angenommenen Stadtentwicklung. Einige der FNP-Entwicklungsflächen werden im Szenario P2 mit einer „ungünstigen“ bioklimatischen Situation am Tag bewertet. Dies führt zu einer anteiligen Erhöhung der „ungünstigen“ Bewertungsklasse von 32 % auf 36 %. Hier muss jedoch wieder darauf hingewiesen werden, dass diese vergleichsweise „ungünstige“ Wärmebelastungsklasse durch die Anwendung des Mischpixelansatzes in ihrem Ergebnis überschätzt ist. Infolge der zufälligen Nutzungsverteilung über die Polygonfläche werden hier keine zusammenhängenden Baumkronen oder Gebäude modelliert, die einen entsprechenden Schattenwurf entfalten und für Abkühlung sorgen könnten. Darüber hinaus wurde in der Modellierung der Entwicklungsflächen noch keine klimaangepasste Bauweise berücksichtigt. Für genauere Details sei an dieser Stelle auf die detaillierten Erläuterungen zur Methodik im Kapitel 8.4.2 und in den Steckbriefen verwiesen.

Der **Ausgleichsraum** ist in den Bewertungskarten (Abbildung 56) ebenfalls ausschnittsweise dargestellt. Die statistische Auswertung hierzu zeigt Abbildung 58. Die Bewertung der bioklimatischen Aufenthaltsqualität auf den Grünflächen am Tag erfolgt ebenfalls auf Basis der PET und besitzt damit eine starke Abhängigkeit der auftretenden Wärmebelastung von der örtlichen Verschattungssituation. Dabei fällt auf, dass die „sehr hohe“ bioklimatische Aufenthaltsqualität in der Ist-Situation mit 35 % Flächenanteil vertreten ist, in den weiteren Szenarien P1 und P2 dann jedoch verschwindet. In dieser besten Bewertungsklasse sind in der Referenzsituation v. a. die Waldflächen in den höheren Lagen oder auf den Höhenrücken zu finden. Keine innerstädtisch gelegene Grünfläche konnte im Ist-Zustand mit einer „sehr hohen“ Aufenthaltsqualität bewertet werden. Innerstädtische Grünflächen besitzen i. d. R. keinen Waldcharakter, sondern sind überwiegend grüne Offenbereiche in Form von Wiesen mit mehr oder weniger dichten Baumgruppen. So wurde bspw. am Friedensberg die südöstliche Teilfläche, wo vergleichsweise viele Bäume stehen, mit einer „hohen“ Aufenthaltsqualität bewertet, während der überwiegende restliche Teil dieser Grünfläche nur in die „mittlere“ Aufenthaltsqualität eingeordnet wurde. Es gibt aber eine Reihe von Grünflächen im städtischen Kerngebiet, die – aufgrund der vorhandenen Verschattung – eine „hohe“ bioklimatische Aufenthaltsqualität aufweisen. Dazu gehören u.a. große Bereiche der Saaleaue, der Nordfriedhof, der Johannisfriedhof, der Botanische Garten, die Grünfläche östlich der Ortslage Winzerla oder der Drackendorfer Park. Die Hälfte aller Grünflächen im Stadtgebiet von Jena wird im Ist-Zustand der „sehr hohen“ oder „hohen“ bioklimatischen Aufenthaltsqualität am Tag zugeordnet.

Etwa 42 % der Ausgleichsflächen sind mit einer „mittleren“ Aufenthaltsqualität am Tag bewertet. Dies sind meist Wiesenflächen mit vereinzelt bzw. eher kleineren Bäumen oder Baumgruppen. Hierzu zählen viele Sportplätze wie bspw. der Sportplatz am Jenzig, das Universitätssportzentrum in der Oberaue, der Sportplatz an der Theobald-Renner-Straße, aber auch der Freizeitbereich rund um das Ostbad. Darüber hinaus werden auch viele Kleingartenanlagen tagsüber nur in der „mittleren“ Kategorie bewertet – dies begründet sich in dem vergleichsweise geringen Anteil an großen Bäumen, die für Verschattung sorgen. Eine „geringe“ bioklimatische Aufenthaltsqualität weisen nur 7 % der Grünflächen im Stadtgebiet von Jena auf. Keine Grünfläche wird der „sehr geringen“ bioklimatischen Aufenthaltsqualität zugeordnet.

Die Bewertungsklasse „sehr gering“ tritt erst im **Szenario P1** mit einem sehr geringen Flächenanteil von nur 1 % auf, bei dem eine klimawandelbedingte Temperaturerhöhung von +2 K angenommen wurde. Diese Grünflächen lassen sich bspw. im Bereich der nicht verschatteten und teilweise versiegelten Freiflächen am Ernst-Abbe-Stadion finden. Generell zeigt sich, dass die bioklimatische Aufenthaltsqualität am Tag durch den Klimawandel im Ausgleichsraum abnimmt. Die Flächen mit einer „geringen“ Aufenthaltsqualität nehmen von vormals 7 % (Ist) auf 25 % (P1) zu. Hier sind viele Ackerflächen, offene Wiesenflächen und Sportplätze, aber auch einige Gartenanlagen (z. B. die KG-Anlagen „Schweizerhöhe“, „Obstbau Südwest“ oder „Unter dem Cospoth“) einsortiert.



Bioklimatische Aufenthaltsqualität der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum):

- 1 - sehr geringe
- 2 - geringe
- 3 - mittlere
- 4 - hohe
- 5 - sehr hohe

Abbildung 58: Statistiken für den Ausgleichsraum am Tag. Verteilung der Bewertungsklassen für die Referenzsituation (Ist) und die Zukunftsszenarien P1 und P2.

Die „sehr hohe“ Bewertungsklasse verschwindet im Szenario P1 gänzlich. Jedoch kann fast die Hälfte der Grün- und Freiflächen in Jena weiterhin einer „hohen“ bioklimatischen Aufenthaltsqualität zugeordnet werden. Dort sind dann auch die Waldflächen einsortiert, aber auch innerstädtische Grünflächen wie bspw. der Johannisfriedhof, der Grünzug am Fürstengraben und baumbestandene Teile der Saaleaue. Eine „mittlere“ Aufenthaltsqualität zeigt sich auf weiten Flächen in der Saaleaue oder an den Hängen der Seitentäler, auch der Botanische Garten und der Friedenbergr wurden im Szenario P1 so bewertet.

Im **Zukunftsszenario P2**, wo neben dem Klimawandel die FNP-Entwicklungsflächen als bebaut angenommen wurden, kommt es zu keiner signifikanten Änderung der Flächenanteile in den Aufenthaltsqualitätsklassen, obwohl sich die Grundgesamtheit der Grünflächen verringert. Da es insgesamt sehr großflächige Wald- und Ackerflächen außerhalb des bebauten Siedlungskörpers gibt, ist die Änderung der Flächenanteile, die durch die kleinteiligen FNP-Entwicklungsflächen entstehen, nur äußerst gering (in der ersten Nachkommastelle sichtbar).

## 8.4 PLANUNGSHINWEISKARTE

### 8.4.1 METHODIK FÜR WIRKRAUM UND AUSGLEICHSRaum

Die Planungshinweiskarte basiert auf den Ergebnissen des **Zukunftsszenarios P2 mit Klimawandelsignal und zusätzlicher Stadtentwicklung** und berücksichtigt damit die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels. Damit steht mit der Planungshinweiskarte ein **Vorsorgeinstrument** bereit, welches der Stadtplanung erlaubt, sich durch den Einsatz von entsprechenden Maßnahmen – insbesondere im Rahmen von zukünftigen (Bau-)Vorhaben – an den Klimawandel anzupassen und eine klimagerechte Stadtentwicklung umzusetzen. Als generalisierende Karte verbindet sie dabei alle vorangestellten Klimaanalyse-Darstellungen. Sie identifiziert und analysiert Ausgleichs- und Belastungsräume und gibt erste **Empfehlungen zum planerischen Umgang aus stadtklimatologischer Sicht**. Detaillierte flächenkonkrete Informationen zu einzelnen Klimaparametern und zur bioklimatischen Situation für Tag bzw. Nacht in den einzelnen Szenarien (Ist / P1 / P2) sind den Klimaanalyse- und Bewertungskarten sowie den vorangestellten Kapiteln im Bericht zu entnehmen. Die stadtklimatologischen Ergebnisse sind im Rahmen von Planungsprozessen als ein Belang neben weiteren Belangen abzuwägen.

Die klimatische Planungshinweiskarte unterscheidet bezüglich ihrer Darstellungen in den **Wirkraum (Siedlungs- und Verkehrsflächen)** und den **Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen)** und stellt hierfür entsprechende Handlungsansätze bereit. Darüber hinaus werden die gutachterlichen Bewertungsergebnisse der **stadtklimatischen Verträglichkeit der FNP-Entwicklungsflächen** in die Karte integriert.

#### Wirkraum: Siedlungsflächen und öffentlicher Raum

Für den Wirkraum werden aus der Gesamtbewertung der bioklimatischen Situation verschiedene Handlungsprioritäten abgeleitet. Dazu wurde die **Tag- und Nachtsituation aus den Bewertungskarten** des Szenarios P2 (siehe vorangehendes Kapitel 8.3.4) miteinander kombiniert und als Ergebnis in einer **4-stufigen Skala** zusammengefasst (Abbildung 59).

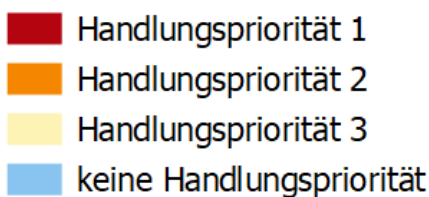


Abbildung 59:  
4-stufige Bewertungsskala  
für den Wirkraum in der  
Planungshinweiskarte

Dabei erfolgte eine Unterscheidung in: Wohngebiete, Gewerbegebiete und Plätze sowie die Verkehrsflächen. Für diese verschiedenen Nutzungskategorien erfolgte in der Gesamtbewertung eine **unterschiedliche Gewichtung** von Tag- und Nachtsituation

(siehe auch Abbildung 60). Zu den Wohngebieten – sprich den **bewohnten Gebieten** – zählen Wohnsiedlungen, aber auch Gebiete gemischter Nutzung sowie Gebiete mit Pflegeeinrichtungen. Hier wurde der Fokus auf die Nachtsituation und die nächtliche Überwärmung gelegt, welche ausschlaggebend für gesunde Schlafbedingungen ist. Die Nachtsituation wurde daher mit 70 % stärker gewichtet als die Tagsituation, welche mit nur 30 % in die Gesamtbewertung eingeflossen ist. In den **unbewohnten Gebieten** – also den Gewerbeflächen, Schulen, Kitas, Einrichtungen für Forschungen Lehre – und auf den öffentlichen Plätzen wurde hingegen die Tagsituation mit 70 % stärker berücksichtigt und die Nachtsituation ist nur mit einem Anteil von 30 % eingegangen. Da sich in den Gewerbegebieten, Schulen, Kindergärten und Forschungseinrichtungen die Menschen zum Arbeiten und Lernen vorrangig am Tag aufhalten, ist dies hier die wichtigere Situation zur Ableitung von Handlungsprioritäten. Der Nachtsituation wird weniger Bedeutung beigemessen. Für die **Verkehrsflächen** (Straßen- und Bahnverkehr) liegt der Gesamtbewertung allein die Tagsituation zugrunde, da

sich hier in der Regel keine Personen für längere Zeit in der Nacht aufhalten und die Tagsituation ausschlaggebend für die bioklimatische Aufenthaltsqualität auf diesen Flächen ist.

Wohnsiedlung						
Wohnsiedlungen		Bioklimatische Situation Nacht 70%				
		1 - sehr günstige	2 - günstige	3 - mittlere	4 - ungünstige	5 - sehr ungünstige
bioklimatische Aufenthaltsqualität Tag 30%	1 - sehr günstige	1	2	2	3	4
	2 - günstige	1	2	3	3	4
	3 - mittlere	2	2	3	4	4
	4 - ungünstige	2	3	3	4	5
	5 - sehr ungünstige	2	3	4	4	5

Bioklimatische Situation: 1 = sehr günstig, 2 = günstig, 3 = mittlere, 4 = ungünstig, 5 = sehr ungünstig

Gewerbe und Plätze						
		Bioklimatische Situation Nacht 30%				
		1 - sehr günstige	2 - günstige	3 - mittlere	4 - ungünstige	5 - sehr ungünstige
bioklimatische Aufenthaltsqualität Tag 70%	1 - sehr günstige	1	1	2	2	2
	2 - günstige	2	2	2	3	3
	3 - mittlere	2	3	3	3	4
	4 - ungünstige	3	3	4	4	4
	5 - sehr ungünstige	4	4	4	5	5

Bioklimatische Situation: 1 = sehr günstig, 2 = günstig, 3 = mittlere, 4 = ungünstig, 5 = sehr ungünstig

Straßen	
bioklimatische Aufenthaltsqualität Tag	1 - sehr günstige
	2 - günstige
	3 - mittlere
	4 - ungünstige
	5 - sehr ungünstige

Abbildung 60: Verknüpfung der Tag- und Nachtbewertung für den Wirkraum mit unterschiedlicher Bewertung (Gewichtung) für Wohnsiedlungen, Gewerbegebiete/Plätze und Straßen.

Nach der erfolgten Zusammenführung der Bewertungsklassen für Tag und Nacht, wurde die dabei entstandene 5-Stufigkeit aus Tag- und Nachtkombination darauffolgend in **4 Handlungsprioritäten** übersetzt:

Tabelle 22: Definition der Handlungsprioritäten zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation.

Einordnung des Wirkraumes	Ergebnis der Tag-Nacht-Kombination
Handlungspriorität 1	Klasse 5 „sehr ungünstig“
Handlungspriorität 2	Klasse 4 „ungünstig“
Handlungspriorität 3	Klasse 3 „mittel“
Keine Handlungspriorität	Klasse 2 „günstig“ und Klasse 1 „sehr günstig“

Dabei sollen die Handlungsprioritäten keine vorgegebene Reihenfolge darstellen, die abuarbeiten ist, sie sollen vielmehr helfen, die bestehenden Siedlungsflächen nach ihrer thermischen Belastung einzuschätzen

und relativ miteinander zu vergleichen. Die Bewertung nach Handlungsprioritäten soll eine Hilfestellung geben, auf welchen Flächen Maßnahmen zur stadtklimatischen Anpassung besonders wichtig und bevorzugt anzugehen sind. Konkrete Handlungsempfehlungen unterscheiden sich nach den lokalen Gegebenheiten und müssen individuell erarbeitet werden.

**Bauliche Entwicklungen** werden dabei als **Chance zur Anpassung an den Klimawandel** verstanden und genutzt. Im Zuge des Stadtumbaus können Ziele und Maßnahmen zur Klimaanpassung frühzeitig in informellen Planungsprozessen berücksichtigt bzw. über Bebauungspläne verbindlich festgesetzt werden. Private Bauherren sollen im Baugenehmigungsverfahren hinsichtlich einer klimaresilienten Bauweise sensibilisiert werden. Siedlungsflächen mit einer (sehr) hohen bioklimatischen Belastung in Verbindung mit einer hohen Bevölkerungsdichte sollten vorrangig an den Klimawandel angepasst umgebaut werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Handlungsprioritäten erläutert.

### Handlungspriorität 1 – klimatischer Sanierungsbereich

Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind hier notwendig und prioritär.

Es besteht ein **sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen**.

Im Rahmen baulicher Entwicklungen / Überplanung soll eine **Verbesserung der klimatischen Situation** erzielt werden. Eine Verschlechterung der klimatischen Situation im direkten Umfeld ist auszuschließen. Ein planerisches Konzept zur Klimaanpassung ist erforderlich. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist durch ein **mikro-klimatisches Gutachten** nachzuweisen.

In diese Kategorie fallen bebaute Flächen mit klimatischen Nachteilen. Es handelt sich dabei vorrangig um verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch stark belastet sind. Dazu zählen auch bebaute Bereiche, in denen der Luftaustausch maßgeblich durch Bauwerke behindert ist. Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig.

Diese bestehenden Siedlungsflächen befinden sich überwiegend nicht oder nur in geringem Maße in einem Kaltlufteinwirkungsbereich. Daher ist hier besonders wichtig, die Aufheizung am Tag zu begrenzen. Dies verbessert die Aufenthaltsqualität tagsüber und führt zu einer schnelleren Abkühlung in den Nachtstunden.

Im Rahmen des Stadtumbaus können Maßnahmen zur Verbesserung der Situation darin bestehen, Verschattungen zu etablieren, z.B. durch Anpflanzung von Großbäumen, Sonnensegel im öffentlichen Raum, ggf. auch durch Gebäude, Grünanteil insgesamt erhöhen, Fassaden-/Dachbegrünung, großflächige Versiegelungen vermeiden, Auswahl von Materialien, die weniger Aufheizeffekte aufweisen, z.B. Holz oder helle Fassadenfarben. Im Bereich von Straßen sollte geprüft werden, ob die Pflanzung von (großkronigen) Straßenbäumen möglich ist.

Bei Baumaßnahmen/Verdichtungen im Gebiet ist eine klimawandelgerechte Bauweise vorzusehen. Dabei sollte eine Versiegelung von Flächen nur im notwendigen Umfang erfolgen und erforderliche ebenerdige Parkplätze sind mit Bäumen zu überstellen. Es sollten Materialien und Farben zur Anwendung kommen, die einen geringen Aufheizeffekt aufweisen, der Einsatz von Fassaden- und/oder Dachbegrünung sollte geprüft und die Durchlüftungssituation beachtet werden. Alle Maßnahmen sollten in einem Konzept zur klimaangepassten Bauweise zusammengeführt werden. Über ein klimatisches Gutachten ist nachzuweisen, dass durch das Bauvorhaben keine weitere Verschlechterung der klimatischen Situation im direkten Umfeld verursacht wird. Eine Verbesserung der klimatischen Situation ist anzustreben.

Darüber hinaus sollten Ausgleichsräume fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein (Urbane Klimaoasen). Die genannten Maßnahmen zur Klimaanpassung sollen im Rahmen der Projektentwicklung insgesamt einen sehr hohen Stellenwert einnehmen.

## Handlungspriorität 2 – klimatischer Optimierungsbereich

Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind hier notwendig.

Es besteht ein **hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen**.

Bauliche Entwicklungen sollten mindestens zum Erhalt, möglichst aber zu einer Verbesserung der klimatischen Situation auf der Fläche führen. Eine Verschlechterung der klimatischen Situation im direkten Umfeld ist zu vermeiden. Ein planerisches Konzept zur Klimaanpassung ist erforderlich. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist durch eine **qualitative Stellungnahme zur klimaangepassten Optimierung der Planung** nachzuweisen.

Hierbei handelt es sich um Flächen, die sich zum Teil im Bereich (schwacher) Kaltlufteinflüsse befinden (betrifft vor allem ländliche Ortsteile). Bei diesen Flächen wäre vor allem darauf zu achten, dass vorhandene Kaltluftabflüsse nicht weiter behindert werden. Zusätzliche bauliche Anlagen sollten sehr behutsam in die bestehende Baustruktur integriert werden, eine Riegelwirkung gegenüber den Kaltluftabflüssen sollte unbedingt vermieden werden, das gilt auch für entsprechende Vegetationsstrukturen (keine Hecken quer zum Hang).

Im Rahmen des Stadtumbaus können für diese bestehenden Siedlungsflächen, die sich außerhalb eines Kaltlufteinflusses befinden, Maßnahmen, die zu Verschattung führen, wie das Anpflanzung von Großbäumen, Sonnensegel im öffentlichen Raum, ggf. auch durch Gebäude, die Aufenthaltsqualität am Tag verbessern. Durch eine Erhöhung des Grünanteils, Fassaden-/Dachbegrünung, Vermeidung großflächiger Versiegelungen, Auswahl von Materialien, die weniger Aufheizeffekte aufweisen, z.B. Holz, helle Fassadenfarben, lassen sich die Aufheizeffekte am Tag begrenzen und führen insgesamt zu einer schnelleren Abkühlung in der Nacht. Im Bereich von Straßen sollte geprüft werden, ob die Pflanzung von (großkronigen) Straßenbäumen möglich ist.

Neubebauungen (Überplanungen bebauter Flächen) sind unbedingt so vorzunehmen, dass mindestens keine Verschlechterung der Kaltluftabflüsse im Vergleich zur Bestandssituation eintritt. Vorzugsweise sind durch klimawandelangepasste Bauweisen Verbesserungen zu erzielen. Im Kaltlufteinflussbereich sind die Gebäudestellungen so vorzunehmen, dass der Kaltluftabfluss möglichst wenig behindert wird.

Alle Maßnahmen sollten in einem Konzept zur klimaangepassten Bauweise zusammengeführt werden. Über eine qualitative Stellungnahme zur klimaangepassten Optimierung ist nachzuweisen, dass durch das Bauvorhaben keine weitere Verschlechterung der klimatischen Situation im direkten Umfeld verursacht wird.

Für Gewerbegebiete außerhalb von Kaltlufteinwirkungsbereichen können dagegen (zugunsten einer dichten Bebauung zur effektiven Ausnutzung von Gewerbeflächen oder sonstiger umweltschützender Belange) geringfügige Verschlechterungen auf der Fläche in Kauf genommen werden, solange damit kein negativer Einfluss auf benachbarte bewohnte Gebiete oder Gemeinbedarfsflächen verbunden ist (ggf. Nachweispflicht). Klimatische Anpassungsmaßnahmen, die einer effektiven Flächenausnutzung nicht entgegenstehen, wie z.B. Dach-/Wandbegrünung, Auswahl von Materialien, die weniger Aufheizeffekte aufweisen, z.B. Holz, helle Fassadenfarben sollen umgesetzt werden. Zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Freien sollen punktuell, vorzugsweise durch Großgrün, verschattete Bereiche geschaffen werden. Großflächige Versiegelungen sind zu vermeiden, Alternativen sollten geprüft werden (begrünte Parkhäuser anstelle großer Parkplätze).

Die genannten Maßnahmen zur Klimaanpassung sollen im Rahmen der Projektentwicklung insgesamt einen hohen Stellenwert einnehmen.

### Handlungspriorität 3 – klimatischer Erhaltungsbereich

Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation werden empfohlen. Für bauliche Entwicklungen sind klimaökologische Mindeststandards zu beachten. Die **bioklimatische Situation ist zu erhalten** und nach Möglichkeit zu verbessern.

Hierbei handelt es sich um locker bebaute und vergleichsweise gut durchlüftete Bereiche, in denen in der Zukunft nur eine mäßige Überwärmung zu erwarten ist. Die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Nachverdichtung ist als eher gering einzustufen, sofern ortsübliche Gegebenheiten nicht überschritten werden.

Bei Neubebauungen (Überplanungen bebauter Flächen) ist darauf zu achten, dass keine Verschlechterung der Kaltluftabflüsse im Vergleich zur Bestandssituation eintritt. Nach Möglichkeit sind durch klimawandelangepasste Bauweisen Verbesserungen zu erzielen. Im Kaltlufteinflussbereich sind die Gebäudestellungen so vorzunehmen, dass der Kaltluftabfluss möglichst wenig behindert wird.

Eine Verbesserung der Aufenthaltssituation am Tag kann durch Begrünungsmaßnahmen, die Verringerung des Versiegelungsgrades und Verschattungsmaßnahmen herbeigeführt werden. Es besteht hier jedoch keine hohe Priorität, innerhalb der Bestandssituation Maßnahmen zu ergreifen.

Die genannten Maßnahmen zur Klimaanpassung sollen im Rahmen der Projektentwicklung insgesamt einen mittleren Stellenwert einnehmen.

### keine Handlungspriorität

Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation haben **keine Priorität**, sollten jedoch immer geprüft werden.

Bei Nachverdichtungen oder neuer Bebauung sind mögliche Auswirkungen auf Luftleitbahnen oder Kaltlufteinzugsgebiete zu beachten.

In diese Kategorie fallen locker bebaute und durchgrünte Siedlungen oder Siedlungsränder, die relativ windoffen und gut durchlüftet sind und nachts entsprechend abkühlen.

Geringfügige bauliche Maßnahmen, wie Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken, die die ortsüblichen Gegebenheiten nicht überschreiten, ziehen keine wesentlichen klimatisch-lufthygienischen Änderungen nach sich.

Bei größeren baulichen Entwicklungen sind mögliche Auswirkungen auf Luftleitbahnen oder Kaltlufteinzugsgebiete zu beachten. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.

**Ausgleichsraum: Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen, Wald**

Für die bestehenden Grün- und Freiflächen erfolgt mit der Planungshinweiskarte die Bewertung des **Erhaltungsbedarfs der stadtklimatischen Funktion**. Diese bestimmt sich durch die bioklimatische Bedeutung der Grünflächen und erfolgt ebenfalls durch ein Verschneiden von Tag- und Nachtbewertung aus dem Zukunftsszenario P2 (siehe dazu auch Kapitel 8.3.2). Aufgrund der entscheidenden Klimafunktion und -wirksamkeit (Kaltluftentstehung, Kaltluftfluss) wird die Nachtsituation dabei sehr viel stärker gewichtet als die bioklimatische Aufenthaltsqualität der Flächen am Tag. Die Nachtsituation fließt daher mit 80 % und die Tagsituation mit 20 % in die Gesamtbewertung ein (siehe Abbildung 61). Anschließend wurden auch hier die 5 Bewertungsklassen der Tag-Nacht-Kombination in eine **4-stufige Skala zum Erhaltungsbedarf** überführt. Die Einordnung wurde wie folgt vorgenommen:

Tabelle 23: Definition des Erhaltungsbedarfs der stadtklimatischen Funktion.

Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion	Bioklimatische Bedeutung der Grünfläche (Ergebnis der Tag-Nacht-Kombination)
sehr hoher	Klasse 5 „sehr hohe“
hoher	Klasse 4 „hohe“
mittlerer	Klasse 3 „mittel“
geringer	Klasse 2 „gering“ und Klasse 1 „sehr gering“

Ausgleichsraum		Bioklimatische Bedeutung in der NACHT 80 %				
		1 - sehr geringe	2 - geringe	3 - mittlere	4 - hohe	5 - sehr hohe
Bioklimatische Aufenthaltsqualität am TAG 20%	1 - sehr geringe	1	2	3	3	4
	2 - geringe	1	2	3	4	4
	3 - mittlere	1	2	3	4	5
	4 - hohe	2	2	3	4	5
	5 - sehr hohe	2	3	3	4	5
<b>Bioklimatische Bedeutung:</b> 1 = sehr gering, 2 = gering, 3 = mittlere, 4 = hohe, 5 = sehr hohe						

Abbildung 61: Matrix zur Verknüpfung der Tag- und Nachtsituation im Ausgleichsraum.

**sehr hoher Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion**

In diese Klassen fallen Grünflächen, die im Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn liegen oder einen flächenhaften Hangabfluss mit Bezug zum Siedlungsraum speisen. Sie besitzen eine sehr hohe Bedeutung für die nächtliche Abkühlung und darüber hinaus eine mittlere bis sehr hohe bioklimatische Aufenthaltsqualität am Tag. Bauliche Entwicklungen – im Bereich der kompakten Stadt als kleinräumige Arrondierungen des bestehenden Siedlungskörpers – sind maßvoll zu gestalten und sollten nur unter **Erhalt der grundsätzlichen Klimafunktionen** erfolgen. Negative Auswirkungen auf angrenzende Siedlungsflächen sind zu vermeiden.

Im Falle baulicher Eingriffe ist ein planerisches Konzept zur Klimaanpassung erforderlich. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist durch ein **mikroklimatisches Gutachten** nachzuweisen.

### hoher Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion

In diese Klassen fallen Kaltluftentstehungsgebiete oder flächenhafte Kaltluftabflüsse am Hang, die eine Leitbahn speisen, siedlungsnah sowie innerstädtische Park- und Grünanlagen, aber auch siedlungsferne Grünflächen mit hohem Verschattungsanteil (Wald). Sie besitzen eine hohe Bedeutung insbesondere für die nächtliche Abkühlung von angrenzenden Siedlungsflächen mit (sehr) ungünstiger bioklimatischer Situation. Bauliche Eingriffe sind maßvoll zu gestalten und sollten nur unter **Erhalt der grundsätzlichen Klimafunktionen** erfolgen. Negative Auswirkungen auf angrenzende Siedlungsflächen sind zu vermeiden.

Im Falle baulicher Eingriffe ist ein planerisches Konzept zur Klimaanpassung erforderlich. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist durch eine **qualitative Stellungnahme zur klimaangepassten Optimierung der Planung** nachzuweisen.

### mittlerer Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion

In diese Klassen fallen Grünflächen mit mittlerem Kaltluftvolumenstrom und mittlerer Windgeschwindigkeit sowie Grünflächen mit einem geringen Kaltluftvolumenstrom im Nahbereich von Siedlungsflächen mit mittlerer bis sehr ungünstiger bioklimatischer Situation.

Bauliche Entwicklungen sollten unter **Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen** erfolgen. Negative Auswirkungen auf angrenzende Siedlungsflächen sind zu vermeiden. Für größere bauliche Vorhaben wird eine qualitative Stellungnahme zur klimaangepassten Optimierung der Planung empfohlen.

Insbesondere innerstädtische Grünstrukturen sind zu erhalten und im Sinne des Prinzips der Klimaoasen qualitativ zu verbessern.

### geringer Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion

In diese Klasse fallen Grünflächen, die nur geringe Mengen an Kaltluft zum Siedlungsraum befördern und/oder keinen Siedlungsbezug besitzen.

Bauliche Entwicklungen sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.

Insbesondere innerstädtische Grünstrukturen sind zu erhalten und im Sinne des Prinzips der Klimaoasen qualitativ zu verbessern.

## 8.4.2 BEWERTUNG DER FNP-ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

In der **Planungshinweiskarte** sind die FNP-Entwicklungsflächen hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Wirkung dargestellt, d. h. für alle **69 FNP-Entwicklungsflächen** wurde im Rahmen des Stadtklimakonzeptes eine **gutachterliche Bewertung der Auswirkungen auf das Schutzgut Klima** vorgenommen. Dabei wurde für die Flächen eine Unterscheidung im Detaillierungsgrad der gutachterlichen Bewertung und in der methodischen Vorgehensweise vorgenommen. Die Erfassung der Flächen sowie deren Integration in die Klimamodellierung erfolgten im **Juli 2021** und entsprechen quantitativ und qualitativ dem damals vorliegenden Kenntnisstand. Für **55 Entwicklungsflächen** wurde eine **detaillierte gutachterliche Bewertung** durchgeführt und die Ergebnisse in einem **Steckbrief** zusammengefasst. Dies erfolgte für alle Entwicklungsflächen mit der **Erforderlichkeit einer Umweltprüfung** im Rahmen FNP-Fortschreibung gemäß BauGB. Darüber hinaus wurden gutachterliche Steckbriefe für die potentiellen Wohnbauflächen aus übergeleiteten Bebauungsplänen (mit Baurecht) erstellt. Weiterhin werden Flächen in einem Steckbrief gutachterlich untersucht und bewertet, die in der Klimamodellierung im Zukunftsszenario P2 eine „**ungünstige**“ **bioklimatische Situation** auf der Fläche erwarten lassen. Des Weiteren wurde eine Bewertung mit Steckbrief zusätzlich für drei neue Entwicklungsflächen

für Wohnen (nach Alternativenprüfung zum StR-Beschluss 20/0468-BV) durchgeführt, die zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht bekannt waren und daher in den Modellrechnungen nicht berücksichtigt werden konnten. Dies betrifft die Flächen: D16 „Leutra, südlich der Ortslage“, D17 „Ammerbach, westlich der Ortslage“ und D18 „Wohnen am neuen Weingut, Kunitz“. Für diese Flächen erfolgte eine verbal-argumentative Stellungnahme durch den Gutachter. In den Klimaanalyse- sowie den Bewertungskarten sind für das Zukunftsszenario P2 jeweils die Ergebnisse der Klimamodellierung des aktuellen baulichen Bestandes (D18), der bestehenden Grünfläche (D16) bzw. der geplanten Kleingartenfläche (D17) dargestellt.

Für **14 Entwicklungsflächen** erfolgte keine vertiefende gutachterliche Bewertung in einem Steckbrief. Dabei handelt es sich um Flächen, für die im Rahmen von Planverfahren bereits eine Umweltprüfung erfolgt ist oder für die unter bestimmten Voraussetzungen keine Umweltprüfung erforderlich ist (vereinfachtes / beschleunigtes Planverfahren, Innenentwicklung, Arrondierungen im Außenbereich). Zum Teil liegen für diese Flächen konkrete plan- bzw. projektbezogene mikroklimatische Gutachten vor, die detailliertere Aussagen treffen, als es im vorliegenden Stadtklimakonzept möglich ist.

Zu diesen Flächen ohne Steckbrief gehören:

- B03 „Bachstraße“
- B13 „Nördlich Karl-Liebknecht-Straße“
- B15 „Wohnen am alten Weinberg“
- B17 „Quartier 22“
- B19 „Wohnbebauung Oßmaritzer Straße“
- B44 „Neue Carl-Zeiss-Promenade“
- B80 „KG-Ersatzfläche Lobeda-Ost, nördlich Novalisstraße“
- C07 „Eichplatz“ (Baufelder A + B)
- C08 „Theobald-Renner-Straße“
- E05 „Hausbergviertel“
- R01 „Renaturierung Jägerberg“
- sowie die Straßenbahnentwicklungsflächen V05, V06 und V07.

Diese Entwicklungsflächen wurden jedoch trotzdem in die Modellrechnungen integriert. Die Modellergebnisse können direkt aus den Klimaanalyse- bzw. Bewertungskarten und schließlich der Planungshinweiskarte abgelesen werden. Genauere Informationen finden sich in der **Übersicht aller FNP-Entwicklungsflächen in Anhang 10.2**.

Die im Rahmen des Stadtklimakonzepts erfolgte Bewertung der Auswirkungen auf das Schutzgut Klima versteht sich als Grundlage für die Umweltprüfung zur **Ermittlung der voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen**, die durch ein bauliches Vorhaben zu erwarten sind.

Um die Auswirkungen der FNP-Entwicklungsflächen auf das Schutzgut Klima zu bewerten, soll ein Vergleich des Ist-Zustandes mit den voraussichtlichen Auswirkungen bei Umsetzung des Vorhabens erfolgen. Die Stadtklimamodellierung wurde daher für drei Szenarien durchgeführt (siehe dazu Kapitel 0), um die Auswirkungen des Klimawandels von den direkten Auswirkungen der geplanten Bebauung zu separieren. Somit liegen für jede Entwicklungsfläche Aussagen zur klimatischen Situation für den Ist-Zustand, für das Zukunftsszenario P1 (mit Klimawandelsignal) und für das Zukunftsszenario P2 (mit Klimawandel und baulicher Entwicklung) jeweils für Tag (14 Uhr) und Nacht (4 Uhr) vor. Im Rahmen der detaillierten gutachterlichen Bewertung werden

diese Informationen im Steckbrief zu den FNP-Entwicklungsflächen separat aufgeführt. Für die Entwicklungsflächen ohne Steckbrief liegen diese Informationen ebenfalls vor und können den Klimaanalyse- sowie den Bewertungskarten entnommen werden.

Um die FNP-Entwicklungsflächen zu bewerten, wurde eine Bewertungsmatrix erarbeitet, ähnlich der für den Wirk- und Ausgleichsraum. Konkrete Bewertungsmaßstäbe werden weder in der Richtlinie über die strategische Umweltprüfung (SUP), noch im neu geregelten BauGB oder den VDI-Richtlinien bereitgestellt. Daher sind die Vorschriften des BauGB, die die Berücksichtigung der umweltschützenden Belange in der planerischen Abwägung zum Gegenstand haben, als maßgebend anzusehen. Der Untersuchungsumfang bzw. die Untersuchungstiefe sind dabei auf **erhebliche, abwägungsrelevante Umweltauswirkungen** begrenzt. Die geplanten baulichen Entwicklungen haben das Ziel der Bereitstellung **gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse**. Das hier zugrunde liegende Stadtklimakonzept liefert dafür eine gute Basis für die Einschätzung zu einem frühzeitigen Punkt, um planerisch darauf hinzuwirken.

Die **Bewertungsmatrix** berücksichtigt **zwei wesentliche Bewertungskriterien** für die Einschätzung der FNP-Entwicklungsflächen bzgl. ihrer stadtklimatischen Verträglichkeit:

- die **klimatischen Auswirkungen auf der Fläche selbst** und
- die **klimatischen Auswirkungen auf die Nachbarflächen**.

#### Klimatische Auswirkungen auf der FNP-Entwicklungsfläche

Ein wesentliches Kriterium für die Gesamtbewertung der Auswirkungen auf das Schutzgut Klima sind die zu erwartenden Auswirkungen auf der Fläche selbst. Hierfür wird das Zukunftsszenario P2 (Klimawandelsignal +2 K und geplante Entwicklung) zugrunde gelegt, wie es auch für die Bewertung der Wirk- und Ausgleichsraumflächen in den Bewertungskarten sowie im nächsten Schritt für die Planungshinweiskarte erfolgt ist (siehe Kapitel 8.3.1 sowie 8.3.2 und 8.4.1). Diese Bewertung soll eruieren, ob hier zukünftig mit der geplanten baulichen Entwicklung stadtklimatische Probleme zu erwarten sind. Die **kombinierte Bewertung von Tag- und Nachtsituation** bildet den Bewertungsmaßstab, welcher die einzelnen Entwicklungsflächen unter Berücksichtigung einer angenommenen Bebauungsdichte/-höhe („Mischpixel-Ansatz“) in eine **5-stufige Skala der thermischen Belastung** einteilt („sehr günstige“ bis „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation). Bei bewohnten Entwicklungsflächen (Wohnen, gemischte Nutzung und Pflegeeinrichtungen) wird die Nachtsituation, bei unbewohnten Entwicklungsflächen (Gewerbe, Kitas, Schulen, etc.) und öffentlichen Plätzen die Tagsituation stärker gewichtet (gleiches Vorgehen wie im Wirkraum siehe Kapitel 8.4.1). Bei Verkehrsflächen entscheidet die Tagsituation über die Bewertung (siehe Abbildung 60). Einige Entwicklungsflächen sind auf Grün- und Freiflächen geplant. Hierbei wird der Verlust einer Kaltluftentstehungsfläche oder einer Grünfläche mit hohem Kaltluftabfluss nicht grundsätzlich negativ bewertet, solange damit kein negativer Einfluss auf die Nachbarbebauung verbunden ist.

Bei der Kategorisierung der Flächen bzgl. ihrer bioklimatischen Situation muss berücksichtigt werden, dass die Einstufung **nicht auf absoluten Temperaturwerten** basiert. Da es für die Bewertung der bioklimatischen Belastung keine Grenzwerte gibt, erfolgt die Identifizierung hitzegefährdeter Siedlungsräume in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (12/2008). Dabei werden **alle Siedlungsflächen – inklusive der FNP-Entwicklungsflächen – in Relation zueinander bewertet**, indem eine z-Transformation erfolgt (siehe Kapitel 8.3.1 und 8.3.2). Die Einstufung einer Siedlungsfläche in eine „ungünstige“ bioklimatische Situation bedeutet daher nicht, dass hier unerträglich hohe sommerliche Temperaturen zu erwarten sind, sondern dass diese Fläche im Vergleich zu anderen Flächen in der Stadt schlechter abschneidet. Die Bewertungsklassen beschreiben somit die vorhandenen Bandbreiten an klimatischen Unterschieden in Jena.

In der klimatischen Bewertung im Zukunftsszenario P2 ist neben den Auswirkungen der künftigen Bebauung auch der Klimawandel berücksichtigt. Dieser manifestiert sich in einem bereits eingepreisten starken Klimawandelsignal von +2 K verbunden mit einer Reduzierung der Bodenfeuchte. Somit ist die Einstufung der Entwicklungsflächen bzgl. ihrer bioklimatischen Situation auch vom prognostizierten Klimawandel beeinflusst. Aus den in der Klimamodellierung ermittelten Zahlenwerten lassen sich die jeweiligen Anteile des Temperaturanstiegs, die durch den Klimawandel bzw. durch die zusätzliche Bebauung verursacht werden, ablesen (siehe Ergebnisse Zukunftsszenario P1 und P2 im Kapitel 6.1 und 6.2, bspw. Abbildung 34). Der Klimawandel erhöht die Temperatur flächendeckend für Jena, nicht nur für den Wirkraum, sondern auch für den Ausgleichsraum. Die geplante Entwicklung der FNP-Flächen führt zu weiteren Temperaturänderungen im Szenario P2, welche aber im Vergleich zur klimawandelbedingten Temperaturerhöhung (Differenz P1-Ist) geringer ausfallen. Auf der Renaturierungsfläche am Jägerberg oder im Bereich der Kleingartenersatzflächen ist eine Verbesserung der nächtlichen Temperaturen im Vergleich zum Szenario P1 (mit Klimawandel) zu erwarten. Dies trifft auch auf baulich bereits vorge nutzte Flächen zu, wie bspw. B06 „Lichtenhainer Oberweg“, C09 „Hugo-Schrade-Straße“ oder D12 „An der Isserstedter Straße“. Auch dort zeigt sich mit der geplanten baulichen Entwicklung eine Verbesserung der nächtlichen bioklimatischen Situation gegenüber Szenario P1. Für einen großen Teil der FNP-Entwicklungsflächen ist eine bauliche Entwicklung mit einem Temperaturanstieg am Tag und/oder in der Nacht verbunden. Diese Veränderung fällt auf den einzelnen Flächen jedoch sehr unterschiedlich aus und hängt sehr stark von der Ausgangssituation und von der Art und Weise der modellierten Bebauung ab. Der verwendete „Mischpixelansatz“ in Verbindung mit den gewählten Flächenzwillingen nähert sich dem zu erwartenden Ergebnis gut an, zeigt aber auch die Grenzen des methodischen Ansatzes (siehe Kapitel 5.3). In vielen Fällen zeigen die Modellergebnisse eine zusätzliche Wärmebelastung am Tag und in der Nacht, da zum einen mit den Flächenzwillingen **keine klimaoptimierte Bauweise** berücksichtigt wurde und zum anderen mit Anwendung des Mischpixelansatzes **keine klimaaktiven zusammenhängenden Grünflächen** modelliert sind. Im Gegensatz dazu steht die sehr stark durchgrünte Entwicklungsfläche B03 „Bachstraße“ als Positivbeispiel, die zeigt, dass durch eine stadtklimatisch angepasste Bauweise über ein Grünflächenkonzept (→ städtebauliche Planung wurde im Modell integriert) Verbesserungen herbeizuführen sind und die Temperaturerhöhung durch den Klimawandel kompensiert werden kann.

### Klimatische Auswirkungen auf die Nachbarflächen

Neben den Auswirkungen auf der Fläche selbst, wurden die FNP-Entwicklungsflächen auch hinsichtlich ihrer **Wirkung auf die Nachbarschaft** analysiert. Auch hier werden die Ergebnisse der Klimamodellierung im Zukunftsszenario P2 in Form der **Tag-Nacht-Kombination** zugrunde gelegt. Dabei erfolgt eine individuelle gutachterliche Untersuchung der einzelnen angrenzenden bestehenden Siedlungsflächen, für die eine Änderung der bioklimatischen Situation ablesbar ist. Der Fokus liegt hierbei auf angrenzenden *bewohnten* Flächen bzw. Flächen besonderer funktionaler Prägung (Kitas, Schulen, etc.). Das Einzugsgebiet für die Betrachtung der Nachbarflächen wird individuell gutachterlich festgelegt und ist dabei abhängig von den in den Differenzkarten ersichtlichen Veränderungen (Differenz P2 minus P1) und der Veränderung der Flächenbewertung in der Tag-Nacht-Kombination zwischen dem Szenario P1 und dem Szenario P2. Es erfolgt eine **gutachterliche Bewertung zum Ausmaß** (betroffene Flächengröße im Verhältnis zur Größe der Entwicklungsfläche, wie viele Wohnhäuser sind betroffen, sind vulnerable Einrichtungen betroffen, etc.) und zur Intensität der Auswirkungen (Veränderung der Temperaturen am Tag und in der Nacht).

Es wurden daher Kategorien von „keine/sehr geringe“ bis „hohe“ Auswirkungen entwickelt, die das Ausmaß der Auswirkung auf die Nachbarschaftsfläche bewerten. Dies erfolgte durch eine gutachterliche Gesamteinschätzung:

- **„Keine/sehr geringe“ Auswirkungen** auf die Nachbarschaft liegen vor, wenn sich die Temperaturen am Tag bzw. in der Nacht nur sehr geringfügig erhöhen und sich insbesondere nachts weiterhin im Spektrum einer angenehmen Schlaftemperatur befinden, wenn nur kleine Flächen mit wenigen Wohneinheiten/-häusern und keine vulnerablen Einrichtungen betroffen sind und die Nachbarschaftsfläche nicht eine „ungünstige“ bioklimatische Situation (Tag-Nacht-Kombination) zeigt.
- **„Geringe“ Auswirkungen** auf die Nachbarschaft liegen vor, wenn die Fläche größer ist bzw. wenn mehrere Nachbarschaftsflächen (mit sehr geringen Auswirkungen) und somit mehr Wohneinheiten/-häuser betroffen sind. Es sind keine vulnerablen Einrichtungen berührt und keine der Nachbarschaftsflächen zeigt eine „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation (Tag-Nacht-Kombination).
- **„Mittlere“ Auswirkungen** auf die Nachbarschaftsfläche liegen vor, wenn die betroffene Nachbarschaftsfläche groß ist und damit recht viele Wohneinheiten/-häuser betroffen sind, wenn vulnerable Einrichtungen berührt sind und hierbei eine erhebliche Verschlechterung der bioklimatischen Situation zu erwarten ist. Keine der Nachbarschaftsflächen wird mit einer „sehr ungünstigen“ bioklimatischen Situation (Tag-Nacht-Kombination) bewertet.
- **„Hohe“ Auswirkungen** liegen vor, wenn die betroffene Nachbarschaftsfläche sehr groß ist oder mehrere Teilflächen betroffen sind, bei der sich starke Temperaturänderungen sowohl am Tag als auch in der Nacht zeigen, die schließlich zu einer „sehr ungünstigen“ bioklimatischen Situation (Tag-Nacht-Kombination) führen.

Die gutachterliche Einschätzung der Nachbarschaftsauswirkung berücksichtigt, ob es sich bei der Veränderung tatsächlich nur um eine marginale Verschlechterung handelt. Dies ist der Fall, wenn z.B. die Werte nahe des Klassengrenzbereiches im Szenario P1 liegen und daher „schnell“ in eine schlechtere Bewertungsklasse im Szenario P2 rutschen, obwohl sich die Temperatur im Vergleich zum Klimawandelszenario P1 nur geringfügig erhöht hat. Hier kommt es ggf. zu Abweichungen der Bewertung der Nachbarschaftsauswirkungen.

Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit

Mit den beiden oben genannten Kriterien der klimatischen Auswirkung auf der Entwicklungsfläche selbst sowie auf die Nachbarschaft wird eine **Gesamtbewertung zur stadtklimatischen Verträglichkeit** für die Entwicklungsflächen vorgenommen. Dazu wurde eine **Bewertungsmatrix** herangezogen, welche die beiden Kriterien zu einer Gesamtbewertung zusammenführt und Bewertungsklassen für die Einschätzung der Entwicklungsflächen von einer „sehr geringen“ bis „sehr hohen“ klimatischen Verträglichkeit bzw. einer „Verbesserung bzw. dem Erhalt der stadtklimatischen Funktion“ erzeugt (siehe Tabelle 24). Die Matrix stellt einen **Orientierungsmaßstab zur Einschätzung** der Beeinträchtigung des Schutzgutes Klima bei baulicher Umsetzung der Entwicklungsflächen dar. Diese Gesamtbewertung findet sich in den **Steckbriefen der einzelnen FNP-Entwicklungsflächen** wieder und wird dort über einen Textbaustein erläutert.

Tabelle 24: Matrix zur Gesamtbewertung der klimatischen Verträglichkeit der FNP-Entwicklungsflächen.

Entwicklungsfläche (Tag-Nacht-Kombination) im Szenario P2:	sehr günstig	günstig	mittel	ungünstig	sehr ungünstig
Auswirkung auf die Nachbarflächen:					
keine / sehr gering	1	1	2	3	3
gering	1	2	3	3	4
mittel	2	3	3	4	4
hoch	3	4	4	5	5
<b>Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit: 1 = sehr hoch, 2 = hoch, 3 = mittel, 4 = gering, 5 = sehr gering</b>					

In der **Planungshinweiskarte** wird das Ergebnis aus der **Gesamtbewertung der FNP-Entwicklungsflächen** aus dem Steckbrief kartographisch dargestellt. Die Darstellung der stadtklimatischen Verträglichkeit erfolgt in den nachfolgenden **drei Kategorien**:




-  Die geplante Entwicklung führt zu einer **Verbesserung der stadtklimatischen Funktion**. Optimierende klimaökologische Maßnahmen sind **nicht erforderlich**.
-  In der Gesamteinschätzung wird die Entwicklungsfläche in der Kategorie **"sehr hohe" oder "hohe" klimatische Verträglichkeit** eingestuft. Die geplante Entwicklung ist **stadtklimaverträglich umsetzbar**. Um die im Modell prognostizierte bioklimatische Situation zu verbessern, wird die Berücksichtigung optimierender klimaökologischer **Maßnahmen** empfohlen (siehe Maßnahmenkatalog).
-  In der Gesamteinschätzung wird die Entwicklungsfläche in der Kategorie **"mittlere" klimatische Verträglichkeit** eingestuft. Die geplante Entwicklung ist unter der Voraussetzung einer klimaangepassten Bauweise **stadtklimaverträglich umsetzbar**. Um die im Modell prognostizierte bioklimatische Situation zu verbessern, sind im weiteren Planungsprozess **optimierende klimaökologische Maßnahmen** vorzusehen (siehe Maßnahmenkatalog). Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen ist durch eine **gutachterliche Stellungnahme** nachzuweisen.

Abbildung 62: Einteilung der FNP-Entwicklungsflächen hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Verträglichkeit bei Umsetzung.

Wenn die geplante Entwicklung zu einer **Verbesserung der stadtklimatischen Funktion** führt, kann auf optimierende klimaökologische Maßnahmen verzichtet werden. Diese Flächen werden in der Planungshinweiskarte mit einer grünen Umrandung dargestellt.

Die zweite Kategorie mit hellblauer Umrandung beinhaltet Entwicklungsflächen, die mit einer **„sehr hohen“ oder „hohen“ klimatischen Verträglichkeit** bewertet wurden. Diese geplanten Entwicklungen werden als **stadtklimaverträglich umsetzbar** eingeschätzt. Um die im Modell prognostizierte bioklimatische Situation zu verbessern, wird die Berücksichtigung **optimierender klimaökologischer Maßnahmen empfohlen**.

Entwicklungsflächen mit einer **„mittleren“ klimatischen Verträglichkeit** werden in der dritten Kategorie mit gelber Umrandung dargestellt. Die hier eingeordneten Flächen sind unter der **Voraussetzung einer klimaangepassten Bauweise** stadtklimaverträglich umsetzbar. Zur Verbesserung der prognostizierten bioklimatischen Situation sind im weiteren Planungsprozess optimierende klimaökologische Maßnahmen vorzusehen. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen ist durch eine **gutachterliche Stellungnahme** nachzuweisen.

Entsprechend der Ergebnisse zur Gesamtbewertung (siehe Bewertungsmatrix Tabelle 24), welcher die Klimamodellierung im Zukunftsszenario P2 zugrunde liegen, wurden **keine der FNP-Entwicklungsflächen** in die Kategorie **„geringe“ oder „sehr geringe“ klimatische Verträglichkeit** eingestuft. Daher wird auf die Darstellung dieser beiden Kategorien in der Planungshinweiskarte verzichtet. Es erfolgt dort nur ein entsprechender Hinweis zum Umgang mit den nicht besetzten Kategorien. Die gutachterliche Gesamtbewertung der FNP-Entwicklungsflächen mit einer „sehr hohen“, „hohen“ bzw. „mittleren“ klimatischen Verträglichkeit bestätigt die vorangegangenen Ersteinschätzungen der Stadtverwaltung. Alle FNP-Entwicklungsflächen wurden im Rahmen der zugrunde liegenden Fachkonzepte (Wohnbauflächenkonzept oder Gewerbeflächenkonzept) in einem **umfangreichen verwaltungsübergreifenden Prüfprozess** vorab untersucht und bewertet. Hierbei wurden Aspekte wie Lage/Erreichbarkeit, bestehende Flächennutzung, bestehendes Baurecht, Erschließung sowie Belange des Natur- und Umweltschutzes – darunter Artenschutz, Boden, Landschaftsbild, Altlasten, Klimaschutz/Mikroklima (Grundlage: JenKAS), etc. – berücksichtigt. Abschließend wurden **nur geeignete Flächen mit vorrangig günstigen Kriterien** im Planungsprozess weiterverfolgt.

**Planungsempfehlungen für die bauliche Umsetzung** der FNP-Entwicklungsflächen sowie zur Maßnahmenberücksichtigung finden sich ebenfalls im Steckbrief. Dort werden Planungsempfehlungen gelistet, die eine klimaangepasste Bauweise auf der jeweiligen Fläche unterstützen können. Eine detailliertere Beschreibung, was unter der jeweiligen Maßnahme zu verstehen ist und welche Wirkung sie entfaltet, kann im **Maßnahmenkatalog** (Kapitel 8.5) nachgelesen werden. Dabei gibt es in Anlehnung an das Bewertungsergebnis für die jeweilige Entwicklungsfläche keine festgeschriebene Anzahl an Maßnahmen, die umgesetzt werden sollte. Alle Maßnahmen sind prinzipiell geeignet, um die stadtklimatischen Bedingungen zu verbessern. Es sollte daher je nach Bewertungsergebnis eine Vielzahl an Maßnahmen, deren Umsetzung auf Realisierbarkeit und Wirkung geprüft werden. Die wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der Nachtsituation ist bei Entwicklungsflächen in Hanglage die Gebäudekörperstellung. Generell sollte der Erhalt eines hohen, vorzugsweise zusammenhängenden Grünanteils bei geringer Versiegelung angestrebt werden.

In der Planungshinweiskarte kann für die FNP-Entwicklungsflächen abgelesen werden, mit welcher Intensität Klimaanpassungsmaßnahmen bei einer zukünftigen Bebauung verfolgt und wie eine bauliche Entwicklung aus Sicht des Stadtklimas ggf. fachlich begleitet werden sollte. Das kann anhand einer gutachterlichen Stellungnahme mit den durch die Stadtklimaanalyse erarbeiteten Grundlagendaten (Klimaparameter, Klimaanalysekarten, Bewertungskarten) qualitativ erfolgen. Bei besonders großen Entwicklungsvorhaben, die in thermisch belasteter Nachbarschaft liegen, kann ggf. mit einem mikroklimatischen Gutachten der Nachweis zur stadtklimaverträglichen Umsetzung geführt werden. Dies empfiehlt sich ab dem Zeitpunkt, wenn bereits konkrete Vorhaben in Form von städtebaulichen Entwürfen vorliegen. Vorher gilt es, die in den Steckbriefen aufgeführten Hinweise in die Planung einfließen zu lassen und im Rahmen der nachfolgenden Planungsebene weiter zu detaillieren.

Die Ergebnisse der FNP-Entwicklungsflächen sind im Kapitel 8.4.5 dargelegt.

### 8.4.3 ZUSÄTZLICHE KARTENINHALTE

#### URBANE KLIMAOASEN

In der Planungshinweiskarte erfolgte die nachrichtliche Übernahme der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „**Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum**“, welches durch die Stadt Jena gemeinsam mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena und der ThINK GmbH im Zeitraum 2018 bis 2020 erarbeitet wurde. Im Rahmen des Forschungsfeldes GREEN URBAN LABS beschäftigte sich das Stadtentwicklungsprojekt mit der Frage, wie die lokale Anpassung an den Klimawandel durch neue und die Qualifizierung vorhandener Grün- und Parkanlagen stadtplanerisch umgesetzt werden kann. Die Bereitstellung kühlender begrünter Erholungsräume ist von wachsender Bedeutung für das lokale Klima und das Wohlbefinden und damit die Gesundheit der Einwohnerinnen und Einwohner von Jena.

Das Kernstück einer langfristig wirksamen Grünflächen-Entwicklungsstrategie stellt somit ein zusammenhängendes, **flächendeckendes Netz aus Klimakomfortinseln** dar. Im Rahmen des Projektes wurden zum einen bestehende Grünstrukturen identifiziert, die zu Klimakomfortinseln qualifiziert werden sollen, zum anderen wurden auch Bereiche zur Schaffung neuer Klimakomfortinseln vorgeschlagen. Die für einen Erhalt bzw. eine Qualifizierung empfohlenen urbanen Klimaoasen wurden mit einer eigenen Punkt-Signatur in die Planungshinweiskarte integriert (Abbildung 63). Diese Grünflächen besitzen eine **sehr hohe Bedeutung als Aufenthalts- und Erholungsraum am Tag**, sie leisten einen wichtigen Beitrag zur Gesundheitsvorsorge und sind folglich zu erhalten und weiter zu qualifizieren.

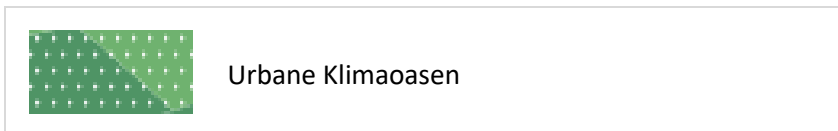


Abbildung 63: Symbologie der Urbanen Klimaoasen in der Planungshinweiskarte.

## BEVÖLKERUNGSDICHTE

In der Planungshinweiskarte ist eine zusätzliche **Information zur Bevölkerungsdichte** überlagert, die **für die bewohnten Siedlungsbereiche** mit einer Schraffur angibt, ob dort für Jena überdurchschnittlich viele Menschen wohnen. Diese Information kann dazu genutzt werden, um auf diesen Flächen prioritär Maßnahmen zur Klimaanpassung durchzuführen und damit einen positiven Effekt für möglichst viele Einwohnerinnen und Einwohner zu erzielen. Gleichzeitig zeigt sich damit eine Mehrfachbelastung, wenn thermisch ungünstige Siedlungsbereiche (hohe Handlungspriorität) mit einer hohen Einwohnerdichte aufeinandertreffen. Dieser Indikator kann bei Fortschreibung der statistischen Bevölkerungsdaten im QGIS-Projekt stetig aktualisiert werden.

Die Darstellung von bewohnten Siedlungsflächen mit einer überdurchschnittlich hohen Einwohnerdichte erfolgt als überlagerte Schraffur (siehe Abbildung 64) auf Basis der statistischen Blöcke. Die Stadt Jena besitzt eine Einwohnerdichte von 963 EW/km<sup>2</sup> (entspricht 9,63 EW/ha). Zur Eruiierung von Bereichen mit einer überdurchschnittlich hohen Einwohnerdichte erfolgte eine Auswertung aller statistischen Blöcke mit Einwohnerzahlen > 3 Personen. Diese Flächen wurden in vier Quantile kategorisiert (Aufteilung in vier Kategorien bei gleicher Anzahl von Flächen). Das obere Viertel der statistischen Blöcke mit einer Einwohnerdichte ab 135 EW/ha wurde dabei als „überdurchschnittlich hoch“ festgelegt.

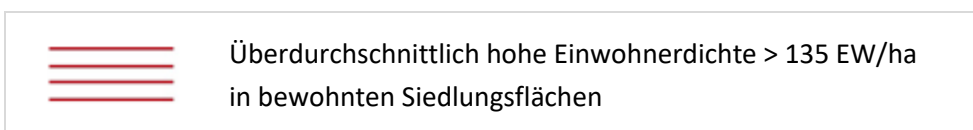


Abbildung 64: Symbologie der Einwohnerdichte.

### 8.4.4 ERGEBNISSE PLANUNGSHINWEISKARTE

Der Planungshinweiskarte liegt das Szenario P2 mit Klimawandel und Stadtentwicklung als Basis für die Bewertung zugrunde. Es erfolgt die Verknüpfung von Tag- und Nachtsituation mit unterschiedlicher Gewichtung in Abhängigkeit, ob es sich um bewohnte oder unbewohnte Siedlungsflächen oder ob es sich um Grünflächen handelt. Es zeigen sich folglich für den **Wirkraum** Hot-Spots in Abhängigkeit von der Nutzung und dieser unterschiedlichen Gewichtung der Tageszeiten (siehe PHK und Zoom in Abbildung 66).

Vergleicht man beispielweise den Gewerbestandort „Tatzendpromenade“ mit dem nördlich angrenzenden Wohnquartier zwischen Mittelstraße und Jansonstraße zeigen sich in der PHK unterschiedliche Einschätzungen zur Handlungspriorität, obwohl beide Flächen in der Nacht mit einer „sehr ungünstigen“ und am Tag mit einer „ungünstigen“ bioklimatischen Situation bewertet wurden. Der gewerbliche Standort ist in der Planungshinweiskarte mit der Handlungspriorität 2 gekennzeichnet, wohingegen für das Wohnquartier die höchste Handlungspriorität 1 ausgewiesen wird. Dies begründet sich in der unterschiedlichen Gewichtung von Tag und Nacht bei der Verknüpfung der Einzelbewertungen: Im Wohnquartier überwiegt die Situation in der Nacht (erholsamer Schlaf) und für den Gewerbestandort ist die Tagsituation wichtiger (gesunde Arbeitsverhältnisse). Die Methodik wird im Kapitel 8.4.1 ausführlich erläutert.

Im Ergebnis besitzen nur etwa 2 % der Wirkraumflächen die höchste **Handlungspriorität 1**. Diese Flächen finden sich insbesondere im Bereich der Jenaer Innenstadt und daran nördlich angrenzend, in dichter bebauten Wohnblöcken entlang der Lutherstraße oder der Karl-Liebknecht-Straße, in Jena-Nord zwischen Merseburger Straße und Camburger Straße und im Bereich des Universitätsklinikums in Jena-Lobeda. Aber auch die Kernbereiche von ländlichen Ortsteilen wie bspw. Lobeda-Altstadt, Winzerla, Löbstedt, Zwätzen oder Kunitz zeigen Flächen mit der höchsten Handlungspriorität. Von den 105 Flächen in dieser Kategorie mit insgesamt ca. 53 ha Gesamtfläche sind der überwiegende Teil mit etwa 83 % bewohnte Flächen (Wohnen, gemischte Nutzung, Pflegeeinrichtungen), hingegen nur 6 % entfallen auf Industrie- und Gewerbeflächen. Straßenverkehrsflächen machen ungefähr einen Anteil von 11 % in dieser Kategorie aus. Dazu gehören bspw. Abschnitte der Karl-Liebknecht-Straße, Am Anger, der Dornburger Straße, der Camburger Straße, der Mühlenstraße oder der Kreuzungsbereich Lobedaer Straße/ Keßlerstraße. Hier sind Maßnahmen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität am Tag von Bedeutung, z. B. Beschattung durch Bäume im Straßenraum.

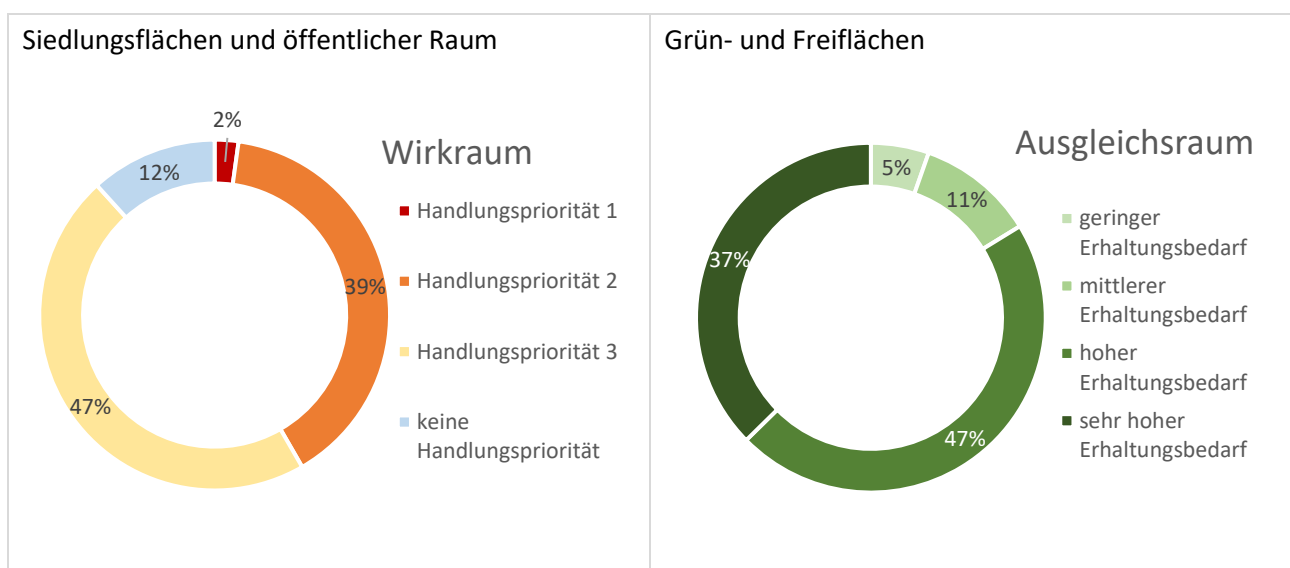


Abbildung 65: Statistik zur Planungshinweiskarte für den Wirk- und Ausgleichsraum.

Etwa 39 % der Wirkraumflächen sind in die **Handlungspriorität 2** eingeordnet. Diese 966 Flächen mit einer Gesamtgröße von ca. 955 ha finden sich im gesamten Stadtgebiet wieder und beinhalten alle Nutzungskategorien. Die bewohnten Flächen (Wohnen, gemischte Nutzung und Pflegeeinrichtungen) machen in dieser zweiten Kategorie einen Anteil von ungefähr 36 % aus. Dazu gehört der überwiegende Teil der Jenaer Innenstadt. Diese Flächen finden sich außerdem im Damenviertel und zu großen Teilen in Jena-Nord, darüber hinaus in Wenigenjena südlich der Karl-Liebknecht-Straße, im Tümping-Viertel, im Hausberg-Viertel oder östlich der Wöllnitzer Straße. Es sind auch zahlreiche geschlossene Wohnblöcke rund um die Lutherstraße und am Magdelstieg hier einsortiert. Zu nennen sind hier aber auch Flächen mit Geschosswohnungsbau (Zeilenbauweise) in Winzerla, z. B. westlich der Anna-Siemsen-Straße, im Bereich der Ziegesarstraße oder am Salvador-Allende-Platz in Lobeda-Ost. Die gewerblichen Flächen sind in dieser Kategorie ebenfalls mit einem großen Anteil von etwa 35 % vertreten. Hier finden sich bspw. die Gewerbeflächen an der Löbstedter Straße, die Tatzendpromenade, der Burgaupark, die Gewerbeflächen an der Göschwitzer Straße, in Lobeda-Süd oder in Maua-West. Diese Flächen ordnen sich i.d.R. aufgrund der schlechten bioklimatischen Situation am Tag (hoher Versiegelungsgrad, geringer Grünanteil, wenig bis keine Verschattung) in diese Handlungspriorität. Dies betrifft gleichermaßen eine große Anzahl an Straßenflächen, Flächen für ruhenden Verkehr und Plätze (z.B. Ernst-Abbe-Platz), die hier mit ca. 16 % der Fläche zu Buche schlagen. Mit immerhin etwa 6 % sind dieser

Handlungspriorität auch Flächen besonderer funktionaler Prägung (z.B. Einrichtungen für Forschung und Lehre oder Gemeinbedarf) zugeordnet. Dazu gehören bspw. der Inselplatz, die Feuerwehr, die Ernst-Abbe-Hochschule, große Flächen am Beutenberg, der Schulstandort Wenigenjena, das Friedrich-Löffler-Institut in Jena-Nord oder der Stadion-Neubau.

Der größte Anteil des Wirkraumes entfällt mit 47 % auf die **Handlungspriorität 3**. Diese Flächen sind v. a. an den Siedlungsrändern, tw. in den Ortslagen zu finden. Den größten Anteil machen hier mit etwa 62 % die bewohnten Flächen aus. Diese Flächen besitzen auch in Zukunft eine vergleichsweise günstige bioklimatische Situation, daher ist der Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen hier eher gering.

**Keine Handlungspriorität** wurde für insgesamt 12 % der Wirkraumflächen ermittelt. Diese überwiegend bewohnten Flächen (ca. 50 %) liegen in den ländlichen Ortslagen, insbesondere westlich der Saale (z. B. Vierzehnheiligen, Lützeroda, Closewitz), meist am Siedlungsrand oder es betrifft einzelne Gebäude bzw. Splittersiedlungen im Wald.

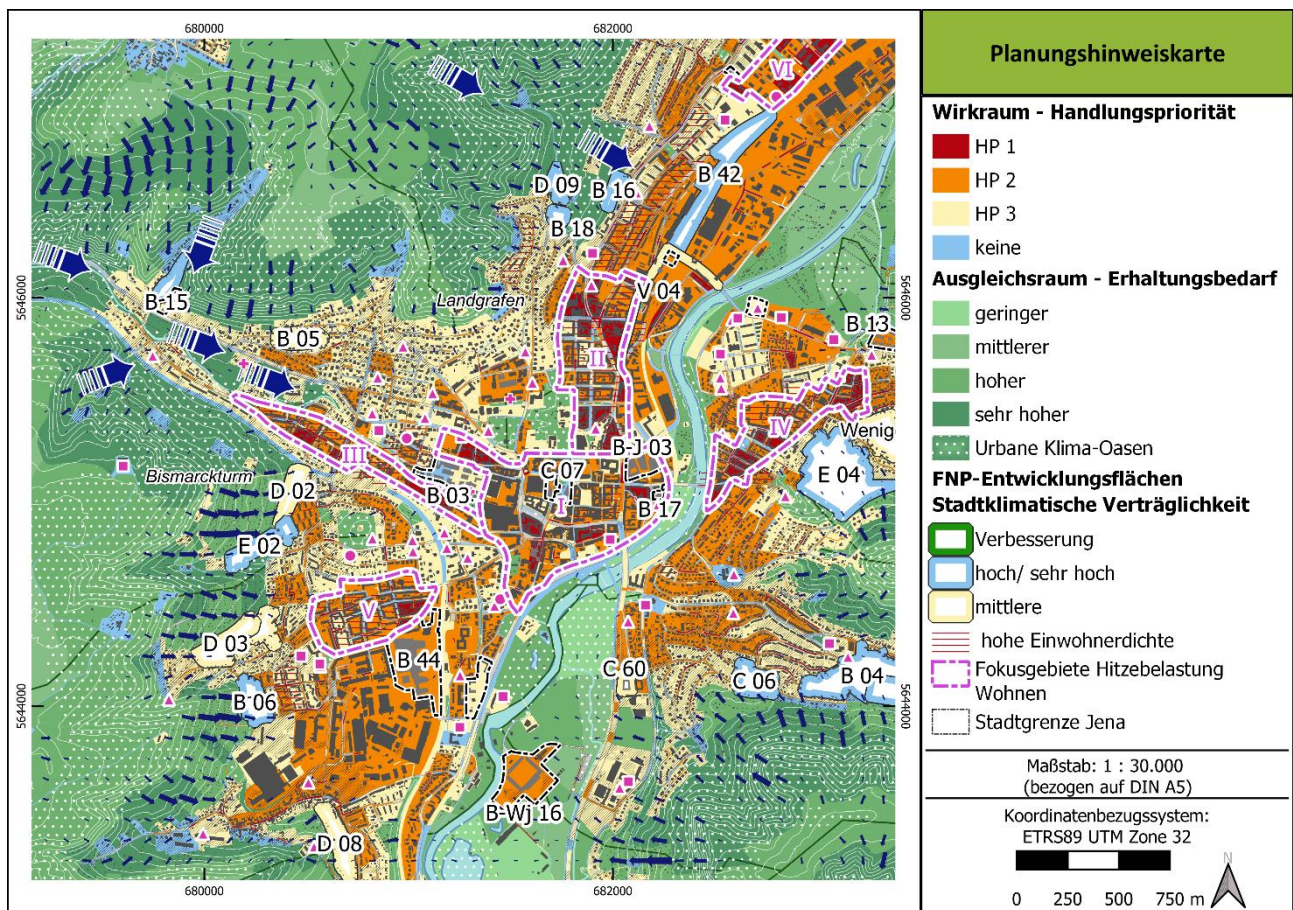


Abbildung 66: Zoom auf die klimatische Planungshinweiskarte.

Der **Erhaltungsbedarf der Grün- und Freiflächen** wurde insgesamt sehr hoch eingeschätzt, wie auch die Statistik in Abbildung 65 zeigt. Über ein Drittel der Ausgleichsraumflächen (37 %) ist mit einem **sehr hohen Erhaltungsbedarf** bewertet, fast die Hälfte (47 %) weist einen **hohen Erhaltungsbedarf** auf. Somit wurden insgesamt 84 % aller Grünflächen in Jena den oberen zwei Bewertungskategorien zugeordnet. In diese beiden Klassen fallen Grünflächen, die im Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn liegen oder eine Leitbahn bzw. einen flächenhaften Hangabfluss mit Bezug zum Siedlungsraum speisen. Aber auch siedlungsnah und innerstädtische Park- und Grünanlagen (z. B. Johannisfriedhof, Botanischer Garten, Leutra-Grünzug am Lommerweg,

Friedensberg und Teile der Saaleaue) sind diesen Kategorien zugeordnet. Einen hohen Erhaltungsbedarf besitzen darüber hinaus diverse Gartenflächen und siedlungsferne Wälder.

Einen **mittleren Erhaltungsbedarf** weisen hingegen nur 11 % der Ausgleichsraumflächen auf. Hierbei handelt es sich bspw. um Ackerflächen oder eher am Stadtrand von Jena liegende Grün- und Freiflächen, die aufgrund ihrer Lage keinen Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse in der Stadt besitzen. Einen **geringen Erhaltungsbedarf** wurde nur für 5 % der Ausgleichsraumflächen festgestellt.

#### 8.4.5 ERGEBNISSE DER FNP-ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

Die Planungshinweiskarte bewertet die **stadtklimatische Verträglichkeit** der zukünftig geplanten FNP-Entwicklungsflächen in den Kategorien „Verbesserung der stadtklimatischen Funktion“, „sehr hohe bzw. hohe“ und „mittlere“ stadtklimatische Verträglichkeit. Die Abbildung 67 zeigt die Verteilung je Bewertungsklasse bezogen auf die Fläche.

Etwa 48 % der FNP-Entwicklungsflächen (mit Bezug zur Flächengröße) weisen eine **„mittlere“ stadtklimatische Verträglichkeit** auf. Diese Flächen sind unter der **Voraussetzung einer klimaangepassten Bauweise** stadtklimaverträglich umsetzbar. Um die in der Modellierung prognostizierte bioklimatische Situation zu verbessern, sind im weiteren Planungsprozess optimierende klimaökologische Maßnahmen vorzusehen. Ein Überblick über alle Maßnahmen findet sich im **Maßnahmenkatalog** (Kapitel 8.5). Darüber hinaus werden flächenkonkrete Planungshinweise für eine klimaangepasste Bauweise in den **Einzelsteckbriefen** benannt. Da, wie in Kapitel 5.1.3 und im Ergebniskapitel 6 beschrieben, der für die Modellierung verwendete Mischpixelansatz eher zu einer Überschätzung der Temperaturzunahme in der Nacht und am Tag führt, kann über eine klimaangepasste Bauweise auf den FNP-Flächen die prognostizierte Wärmebelastung reduziert und stadtklimatische Funktionen erhalten bzw. verbessert werden. Generell sollte auf allen FNP-Entwicklungsflächen eine stadtklimatisch angepasste Bauweise erfolgen und die Berücksichtigung optimierender klimaökologischer Maßnahmen geprüft werden.

Mit einer „mittleren“ stadtklimatischen Verträglichkeit der geplanten Bebauung wurde bspw. die Fläche D03 „Mädertal“ bewertet. Es handelt sich hier um eine Vorbehaltsfläche für Wohnen auf einer Kleingartenfläche in Jena West/Zentrum. Auf der Fläche selbst wird als Ergebnis der Klimamodellierung (ohne Klimaanpassungsmaßnahmen) im gesamtstädtischen Vergleich eine „mittlere“ bioklimatische Situation prognostiziert. Die geplante kleinteilige Bebauung erlaubt nachts weiterhin ein Fließen der Kaltluft hangabwärts in Richtung Stadt. Die Tagsituation stellt sich infolge eines höheren Versiegelungsgrades, einer erhöhten Wärmespeicherung der Baukörper und einer geringen Verschattung durch Bäume vergleichsweise ungünstig dar. Durch die angrenzende Wohnbaufläche E01 „Südwestliche Vorstadt 2. Teil“ kommt es zur gegenseitigen Beeinflussung und einer kumulativen Auswirkung der geplanten Bebauung auf die östlich angrenzende Nachbarschaft. Die nächtliche Situation kann hier durch eine geeignete Gebäudestellung, die über den Mischpixelansatz in der Modellierung noch nicht berücksichtigt ist, verbessert werden. Auch die Tagsituation hat durch die in der Modellierung angenommene geringe Verschattung Potenzial zur Verbesserung der klimatischen Situation auf der Fläche. Hier sollten mehr Bäume (großkronige Laubbäume) gepflanzt werden, jedoch so, dass die nächtliche Kaltluftströmung nicht negativ beeinflusst wird. Um die Wirksamkeit der geplanten Maßnahmen – auch und insbesondere in ihrem Zusammenspiel – nachzuweisen, wird für Entwicklungsflächen mit einer „mittleren“ stadtklimatischen Verträglichkeit eine gutachterliche Stellungnahme empfohlen.

Die gewerbliche FNP-Entwicklungsfläche B41 „Erweiterung JenA4 Lobeda-Süd LS 2“ wurde ebenfalls mit einer „mittleren“ stadtklimatischen Verträglichkeit bewertet. Da Gewerbeflächen per se stärker versiegelt sind (angenommen wurde im Mischpixelansatz eine Versiegelung durch Gebäude und Wege/ Straßenverkehrsflächen von 68 %), kommt es hier zu einer starken Wärmebelastung auf der Fläche und im gesamtstädtischen

Vergleich wird als Ergebnis der Klimamodellierung (ohne Klimaanpassungsmaßnahmen) eine „ungünstige“ bioklimatische Situation prognostiziert. Hier sollte v. a. die Tagsituation durch entsprechende Klimaanpassungsmaßnahmen (geringere Versiegelung, Schaffung von zusammenhängendem Grün, Verschattung durch großkronige Bäume, Dach- und Fassadenbegrünung, etc.) bei einer baulichen Entwicklung verbessert werden.

Etwa 44 % der FNP-Entwicklungsflächen weisen eine „**sehr hohe**“ bzw. „**hohe**“ **stadtklimatische Verträglichkeit** auf. Dies betrifft oftmals Flächen am Siedlungsrand, die – wenn sie am Hang liegen – nachts eine sehr gute Durchlüftung und Kaltluftversorgung besitzen. Hier sind bspw. die geplanten Wohnbauflächen C06 „Treunert-/ Hildebrandstraße“, E04 „Gänseberg“ oder B16 „Singer Höhen“ sowie die geplante Gewerbefläche B42 „An der Saalbahn (am nördlichen Spitzweidenweg)“ zu nennen. Auch viele Entwicklungsflächen in den Ortschaften Münchenroda, Isserstedt, Lützeroda oder Closewitz haben diese Gesamtbewertung erhalten. Neben den beiden geplanten Wohnbauflächen D14 „An der Siedlung, Isserstedt“ und D18 „Am neuen Weingut, Kunitz“ wurden insbesondere die beiden Kleingartenersatzflächen B80 „Kleingartenersatzfläche Lobeda-Ost“ und D81 „Kleingartenersatzfläche Bertold-Brecht-Straße, Winzerla“ mit einer „sehr hohen“ stadtklimatischen Verträglichkeit bewertet.

Für etwa 8 % der FNP-Entwicklungsflächen wird eine „**Verbesserung der stadtklimatischen Funktion**“ prognostiziert. Hierbei handelt es sich um die Renaturierungsfläche R01 „Renaturierung Jägerberg“. Durch die Entsiegelung und den Rückbau einzelner Gebäude, die als Querriegel eine Hinderniswirkung für die Kaltluftströmung sind, kommt es insbesondere zu einer Verbesserung der nächtlichen Situation.

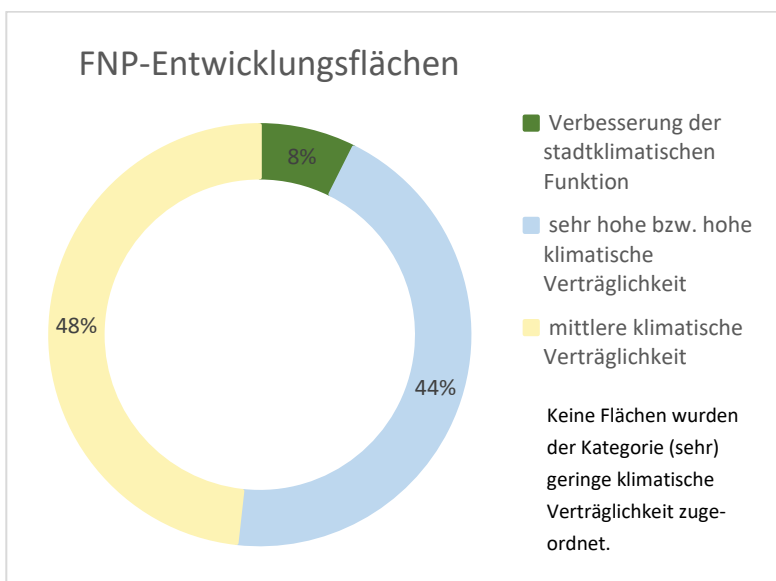


Abbildung 67: Statistische Auswertung für die FNP-Entwicklungsflächen. Die Auswertung erfolgt basierend auf der Flächengröße.

**Keine der FNP-Entwicklungsflächen** wurden in die Kategorie „**geringe**“ oder „**sehr geringe**“ **stadtklimatische Verträglichkeit** eingestuft. Alle Entwicklungsflächen wurden im Rahmen der zugrunde liegenden Fachkonzepte (z.B. Wohnbauflächenkonzept oder Gewerbeflächenkonzept) in einem umfangreichen verwaltungsübergreifenden Prüfprozess vorab untersucht und bewertet. Hierbei wurden Aspekte wie Lage/Erreichbarkeit, bestehende Flächennutzung, bestehendes Baurecht, Erschließung sowie Belange des Natur- und Umweltschutzes – darunter Artenschutz, Boden, Landschaftsbild, Altlasten, Klimaschutz/Mikroklima (Grundlage: JenKAS), etc. – berücksichtigt. Abschließend wurden nur geeignete Flächen mit vorrangig günstigen Kriterien im Planungsprozess weiterverfolgt, so dass die Kategorien "geringe" und "sehr geringe" klimatische Verträglichkeit nicht besetzt sind.

Im Ergebnis kann aus gutachterlicher Sicht zusammengefasst werden, dass keine der FNP-Entwicklungsflächen aus klimatischen Gesichtspunkten fallengelassen werden muss. **Alle Flächen sind stadtklimatisch umsetzbar**, so dass an deren weiterer Entwicklung planerisch festgehalten werden kann. Ein Verbleib in den Fachkonzepten zu Wohnen und Gewerbe sowie die Aufnahme in den Flächennutzungsplan der Stadt Jena sind aus gutachterlicher Sicht möglich.

Wie im Kapitel 8.5 "Maßnahmenkatalog Stadtklima" erläutert, ist klimaangepasstes Bauen am einfachsten bei Neubauten umzusetzen. Die geplanten Flächenentwicklungen bieten daher die Möglichkeit, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen, um gesunde Lebensbedingungen in der Stadt Jena auch in Zukunft zu gewährleisten. Maßnahmen zur Klimaanpassung können somit frühzeitig in den weiteren Planungsprozess eingebunden und über verbindliche Bebauungspläne festgesetzt werden.

### 8.4.6 FOKUSGEBIETE HITZEBELASTUNG

#### ZIELSTELLUNG

Die Siedlungsflächen, die in Jena eine hohe thermische Belastung aufweisen, sind auch diejenigen, für die hitzereduzierende Maßnahmen prioritär geprüft und angewandt werden sollen. Dabei sollen bauliche Entwicklungen (Stadtumbau) als Chance zur Anpassung an den Klimawandel verstanden und genutzt werden. Die klimatische Planungshinweiskarte (PHK) liefert hierzu grundlegende Handlungsempfehlungen. Im Sinne einer zielgerichteten Umsetzung dieser Planungsempfehlungen innerhalb des baulichen Bestandes erfolgt die räumliche Zusammenfassung (Clusterung) in so genannten „Fokusgebieten Hitzebelastung Wohnen“. Diese Fokusgebiete können eine Grundlage für die Anwendung folgender **Instrumente zur Umsetzung einer klimaangepassten Bauweise** sein (siehe auch Kapitel 2.5):

- **Erarbeitung kommunaler Satzungen** und örtlicher Bauvorschriften, insbesondere für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen im Bestand (für Flächen mit oder ohne B-Plan) z.B. Stellplatzsatzung, Entwässerungssatzung, Freifächensatzung, etc.

Mit einer **(Freiflächen-)Gestaltungssatzung** kann die stadträumlich und klimatisch wichtige Begrünung verbessert werden, indem auf die Gestaltung der Baugrundstücke eingewirkt wird – und zwar unabhängig davon, ob für ein Gebiet ein Bebauungsplan vorliegt oder es sich um einen unbeplanten Innenbereich oder einen Außenbereich handelt. Eine Satzung kann für das ganze Stadtgebiet, aber auch für abgegrenzte, besonders belastete Bereiche erstellt werden. Die Fokusgebiete könnten hierfür die Grundlage sein.

- **Anwendung des besonderen Städtebaurechts** und Ausweisung von Gebieten der Städtebauförderung (Inanspruchnahme von Fördermitteln), z.B. städtebauliche Sanierungsmaßnahme

**Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen** nach BauGB (§§ 136 ff.) sind Teil des besonderen Städtebaurechts und bieten Kommunen ein wirksames Planungsinstrument, um Bestandsquartiere klimaresilient umzubauen und langfristig aufzuwerten. Sie dienen der Verbesserung des Zustandes in Bestandsgebieten, die Missstände aufweisen. Seit der Novellierung des Baugesetzbuches 2012 können städtebauliche Missstände auch mit fehlender Klimaanpassung begründet werden. Die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung werden explizit angesprochen (vgl. § 136 [2] Satz 1 und [3] Absatz h). Die Ausweisung von Sanierungsgebieten kann folglich auch mit Maßnahmen zur Klimaanpassung begründet werden. Das Stadtklimakonzept – mit der PHK und der Ausweisung von hitzebelasteten Fokusgebieten – kann als neutrale Grundlage für einen objektiven Nachweis des stadtklimatischen Missstandes und für die Formulierung klimatischer Zielstellungen dienen. Auch wenn klimaökologische Belange i.d.R. bei städtebaulichen Sanierungs- und Entwicklungsmaßnahmen i.d.R. nicht im Vordergrund stehen, wird im Sinne des Wohls der Allgemeinheit eine Berücksichtigung in entsprechenden Planungen empfohlen.

- Erarbeitung bzw. Fortschreibung **sektoraler Konzepte**, z.B. städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung oder integrierte Stadtteilentwicklungskonzepte

Jena verfolgt den Weg einer integrierten Stadtentwicklung, indem Planungsprozesse ganzheitlich gestaltet werden – Siedlungsstruktur, Mobilität, Wirtschaft, Umwelt und soziale Belange werden im Zusammenhang betrachtet. **Integrierte Stadtteilentwicklungskonzepte** definieren für bestimmte räumliche oder thematische Schwerpunkte konkrete Maßnahmenpakete, die schrittweise umzusetzen sind. Diese Konzepte bieten den Rahmen, mögliche Maßnahmen der Klimaanpassung im Detail zu untersuchen und – im Zusammenspiel mit anderen Belangen und den konkreten Rahmenbedingungen – auf Machbarkeit zu überprüfen. Die Fokusgebiete können ein Indikator für städtische Bereiche sein, für die neue integrierte Stadtteilentwicklungskonzepte aufgestellt oder vorhandene Konzepte (z.B. StEK Ost, StEK West/Zentrum, StEK Nord) fortgeschrieben werden.

Darüber hinaus besteht über das Instrument eines „**Städtebaulichen Rahmenplans Klimaanpassung**“ die Möglichkeit, konkrete Handlungsbedarfe und -optionen für besonders betroffene Teilräume – also die Fokusgebiete – zu entwickeln und dabei sozioökonomische und sonstige Faktoren, die einen Einfluss auf die künftige Verwundbarkeit (Vulnerabilität) gegenüber sommerlicher Extremhitze in einzelnen Stadtquartieren ausüben, zu berücksichtigen. Der Rahmenplan verfolgt dabei einen integrativen Ansatz, der nicht allein auf klimatischen Informationen fußt.

- Ausweisung **städtischer Förderprogramme** zur Klimaanpassung

Die Stadt Jena unterstützt mit dem **Förderprogramm „Grüne Oasen“** Begrünungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden (Dach, Wand, Fassade), Entsiegelungsmaßnahmen sowie die Begrünung von Vorgärten, Hof- und Freiflächen sowie das Anlegen insektenfreundlicher Grünflächen. Dieses Förderprogramm gilt es zukünftig fortzuführen und auszubauen – besonders hitzebelastete Bereiche könnten hier verstärkt in den Fokus genommen werden. Über dieses bestehende Förderprogramm hinaus besteht in Zukunft ggf. die Möglichkeit, weitere Bundes- oder Landesmittel zur Förderung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu akquirieren und diese insbesondere innerhalb der Fokusgebiete einzusetzen.

#### METHODIK ZUR ABLEITUNG DER „FOKUSGEBIETE HITZEBELASTUNG WOHNEN“

Grundlage für die Ableitung der „Fokusgebiete Hitzebelastung Wohnen“ bildet die klimatische Planungshinweiskarte (PHK). Diese weist für die bestehenden Siedlungsflächen (= Wirkraum) unterschiedliche Handlungsprioritäten zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation aus und berücksichtigt dabei den prognostizierten Klimawandel sowie zukünftig geplante bauliche Entwicklungen (Zukunfts-Szenario P2) im Sinne einer Vorsorgestrategie. Für die Clusterung von klimatisch besonders belasteten Bereichen werden insbesondere die bewohnten Siedlungsflächen mit der Handlungspriorität 1 (klimatischer Sanierungsbereich) und der Handlungspriorität 2 (klimatischer Optimierungsbereich) in den Blick genommen, da für diese Flächen im Rahmen des Stadtklimakonzepts ein hoher bzw. sehr hoher Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen festgestellt wurde.

Die Ausweisung von Fokusgebieten mit besonders hoher klimatischer Belastung erfolgt für **bewohnte Siedlungsbereiche**. Alle Siedlungsflächen wurden in den Modelleingangsdaten einer Nutzungskategorie zugeordnet. Dabei unterscheiden sich primär bewohnte (Wohnen, gemischte Nutzung, Pflegeeinrichtungen) von unbewohnten (Gewerbe, Flächen besonderer funktionaler Prägung wie z.B. Institute, Bildungseinrichtungen, Schwimmbäder, etc.) Flächen. Mit dem Ziel, gesunde Lebensverhältnisse für die Menschen in der Stadt bereit zu stellen und insbesondere nachts für Abkühlung und einen erholsamen Schlaf zu sorgen, wird den bewohnten Flächen gegenüber den unbewohnten prinzipiell eine höhere Handlungspriorität eingeräumt. Dies soll jedoch nicht suggerieren, dass auf den unbewohnten Flächen, die vorrangig tagsüber genutzt werden, keine Aktivitäten zur Klimaanpassung erforderlich wären. Insbesondere die **Gewerbeflächen** sind i.d.R. dicht be-

baut, hoch versiegelt und weisen nur wenig klimatisch ausgleichendes Grün auf. Daher ist auch der überwiegende Teil dieser Flächen in der PHK mindestens der Handlungspriorität 2 zugeordnet, für die ein hoher Bedarf an Maßnahmen zur Klimaanpassung besteht. Dieser Bedarf besteht aber meist für alle gewerblich genutzten Flächen gleichermaßen, so dass eine Ausweisung von räumlich abgegrenzten Fokusgebieten hier nicht zweckmäßig ist. Da die gewerblichen Bestandsgebiete jedoch ein erhebliches Potenzial zur Anpassung an den Klimawandel darstellen, wurden sie im nachfolgenden Unterkapitel „Hitzeangepasste Entwicklung von Gewerbeflächen“ gesondert in den Blick genommen (siehe Kapitel 0).

Das Gesundheitsrisiko durch anhaltend hohe Temperaturen während Hitzeperioden betrifft die Bevölkerung in unterschiedlicher Weise. Insbesondere physiologische Faktoren wie das Lebensalter oder chronische Erkrankungen haben hier einen wesentlichen Einfluss. In den s.g. **vulnerablen Einrichtungen** – wie Kindertagesstätten, Grund- und Gemeinschaftsschulen, Pflegeeinrichtungen und dem Universitätsklinikum – konzentrieren sich Menschen mit einer starken Sensitivität gegenüber Hitzebelastung. Diese Einrichtungen spielen somit eine wichtige Rolle bei der Herausarbeitung von Handlungsprioritäten zur Verbesserung der bioklimatischen Situation in der Stadt und wurden in der Clusterung der Fokusgebiete entsprechend berücksichtigt. Für die Ableitung zweckmäßiger Fokusgebiete, die der zuvor genannten Zielstellung dienlich sein können, wurden folgende Fragestellungen berücksichtigt und in eine Gesamtbewertung integriert:

- a) Wo sind **Flächen der Handlungspriorität 1** in der PHK gehäuft zu finden?
- b) Finden sich im Umfeld dieser Flächen **Siedlungsbereiche der Handlungspriorität 2**, die eine ähnliche (städte-)bauliche Struktur aufweisen und klimatisch vergleichbar sind?

Für die Ermittlung der Handlungspriorität zur Verbesserung der stadtklimatischen Funktion bündelt die Planungshinweiskarte die Bewertung für die Tag- und die Nachtsituation und führt damit klimatische Einzelinformationen (nächtliche Temperatur, PET am Tag) zusammen. Es wird angenommen, dass ähnliche baulich-räumliche Strukturen (z.B. Blockrandbebauung) i.d.R. zu ähnlichen klimatischen Belastungen führen. Zur Ermittlung einer besonders hohen Betroffenheit gegenüber Hitze wurden die bewohnten Flächen der Handlungspriorität 2 mit einer ähnlichen Raumstruktur (→ Raumtyp „formatio jenensis“) noch einmal bzgl. ihrer nächtlichen bioklimatischen Situation betrachtet. Bei einer „sehr ungünstigen“ Flächenbewertung wurde sie i.d.R. dem Fokusgebiet zugerechnet.

- c) Wie stellt sich die **städtebauliche Struktur** im Detail dar?
  - Welche Baustruktur liegt vor? Offen/geschlossen, EFH, GWB, Block, Zeile, etc.
  - Gibt es im direkten Umfeld Grünflächen? Mit welchen Qualitäten?
  - Gibt es „Urbane Klimaoasen“? Mit welcher Bewertung und welchem Entwicklungsziel?

Die Zuordnung der verschiedenen Stadtstrukturtypen erfolgte in Anlehnung an die **Raumtypen** der „formatio jenensis“<sup>22</sup>. Hier wurde die Stadtstruktur von Jena analysiert und die einzelnen Stadtteile in Gebiete mit gleichen oder ähnlichen Qualitäten unterteilt.

- d) Welche **Nutzung** liegt auf der Fläche? Sind die Flächen bewohnt oder unbewohnt?
- e) Gibt es auf diesen Flächen eine **überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte**?

Diese wurde im Projekt mit > 135 EW/ha festgelegt (siehe Kap. 0 Bevölkerungsdichte) und wird in der PHK auf Ebene der statistischen Blöcke als Schraffur überlagert. Hier sollten Maßnahmen zur Klimaanpassung prioritär durchgeführt werden.

**Hinweis:** Die Aussagen zur Einwohnerdichte wurden auf Basis der statistischen Blöcke in das Projekt integriert bzw. als Zusatzinformation in der PHK überlagert. Die statistischen Blöcke sind dabei nicht

---

<sup>22</sup> „formatio jenensis – Standard für die Gestaltung des öffentlichen Raumes“, Schriften zur Stadtentwicklung Nr. 2, Stadt Jena 2013

deckungsgleich mit den Blöcken der Basisgeometrie, welche der klimatischen Bewertung zugrunde liegen. Ein Verschnitt beider Informationen konnte daher nicht erfolgen. Die Schraffur zur überdurchschnittlich hohen Einwohnerdichte stellt somit nur einen Hinweis zur Ermittlung einer erhöhten Betroffenheit dar.

f) Gibt es auf diesen Flächen **vulnerable Einrichtungen**?

Aus diesen Fragestellungen heraus erfolgte die räumliche Abgrenzung und Zusammenfassung von zweckmäßigen Clustern. Diese Fokusgebiete enthalten aufgrund der räumlichen Aggregation ggf. auch Flächen, die Grünflächen (also Ausgleichsraum) sind, die eine geringere klimatische Belastung aufzeigen oder keine Wohnnutzung aufweisen (z.B. Gewerbe, Institute, Schulen, Kitas, etc.).

### HITZEANGEPASSTE ENTWICKLUNG VON GEWERBEFLÄCHEN

Gewerbegebiete, welche in Jena zusammen mit dem großflächigen Einzelhandel (GEH) ca. 20 % der bebauten Siedlungsfläche ausmachen, sind neben den bewohnten Flächen ebenfalls von zunehmender Überhitzung betroffen. Diese Flächen sind neben der dichten und großflächigen Baustruktur durch einen hohen Anteil an Rangier-, Lager- und Stellplatzflächen geprägt und weisen mit durchschnittlich 60 % einen hohen Versiegelungsgrad auf. Entsprechend ist der Anteil von unversiegelten Flächen sowie Grünflächen sehr gering, was die Verletzlichkeit der Standorte im Hinblick auf Hitze- aber auch Starkregenereignisse stark erhöht. Daraus können, insbesondere bei längeren Hitzeperioden, entsprechende gesundheitliche Belastungen für die werktätige Bevölkerung und u.U. eine Reduzierung ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit resultieren. Durch die Aufheizung der versiegelten Außenbereiche und großen Dachflächen, insbesondere älterer Gebäude mit geringem Dämmstandard, kann ein erheblicher Kühlbedarf entstehen, der im Hinblick auf Emissionen und Kosten ein beträchtliches zusätzliches Schadenspotenzial für die Unternehmen darstellt.

Gewerbegebiete besitzen erhebliche Potenziale für eine zukunftsfähige Stadtentwicklung. Aspekte wie Aufenthaltsqualität, Standortimage oder urbane Produktion können hier durch den Einsatz von Maßnahmen zur Klimaanpassung positive Wirkung erfahren – für den Gewerbestandort selbst, aber auch für angrenzenden Stadtquartiere und die Gesamtstadt. Attraktive Standorte gewinnen für viele Unternehmen an Relevanz mit Blick auf die Gewinnung von Fachkräften – auch im Kontext des Wettbewerbs mit anderen Unternehmen. Die Anpassung von gewerblichen Bestandsgebieten an die Folgen des Klimawandels, welche immer auch mit Kosten verbunden sind, bietet somit erhebliche Chancen für die Unternehmen wie auch für die Kommune und ihre Wirtschaftsförderung.

Die Planungshinweiskarte als zentrales Produkt der Stadtklimaanalyse weist den überwiegenden Anteil der gewerblichen Bestandsflächen im Jenaer Stadtgebiet der Handlungspriorität 2 zur Verbesserung der stadtklimatischen Funktion zu. Für die Bewertung der bioklimatischen Belastung der Gewerbeflächen und dem daraus resultierenden Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wurde im Rahmen der Stadtklimaanalyse vorrangig die Tagsituation (Gewichtung: Tag 80 %, Nacht 20 %) zugrunde gelegt. Als tagsüber besonders **belastete gewerbliche Bestandsgebiete** können folgende genannt werden:

- Brückenstraße
- Camburger Straße Teil 2
- Östliche Camburger Straße
- Saalepark I
- Unteraue
- Mittlerer Spitzweidenweg
- Tatzendpromenade
- Am Reifsteine/ Burgaupark
- Tankstelle und Erweiterung Burgau

- Gewerbegebiet Göschwitz
- Neue Schenke
- Maua Süd

Für eine klimaangepasste Entwicklung in Gewerbegebieten bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Im Fokus stehen Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung – vorrangig für Menschen, die tagsüber an den Standorten tätig sind, aber auch für Kunden- und Besucherverkehr. Ziel ist die Schaffung gesunder Arbeitsverhältnisse und der Erhalt der Produktivität – durch behagliche Arbeitsbedingungen in den Innenräumen in Verbindung mit attraktiven Außenanlagen zur Erholung in den Pausen. Die Einzelmaßnahmen für eine klimaangepasste Bauweise können dem Maßnahmenkatalog im Bericht entnommen werden (siehe Kapitel 8.5). Nachfolgend werden einzelnen Maßnahmen im Überblick aufgezeigt.

#### **Maßnahmen im Gebäudeumfeld:**

- Gebäudeausrichtung: Berücksichtigung der Kaltluftbewegung, Luftaustausch entlang Kaltluftbahnen weiterhin ermöglichen, abriegelnde Bebauung vermeiden
- Erhalt und Erweiterung von Grünflächen
- Schaffung kleinräumiger Grünzüge, die Kaltluft produzieren und den Luftaustausch fördern (Berücksichtigung der Kaltluftbewegung)
- Anpflanzen von Bäumen (Schattenwurf, Verdunstung, Transpiration), Verwendung klimawandelangepasster Arten
- Konzeption der Grünflächen in Kombination mit Regenwassermanagement, z.B. Regenwassernutzung und -versickerung vor Ort zum Rückhalt (Starkregenvorsorge) und gleichzeitiger Wasserversorgung der Pflanzen
- Anlegen von Wasserflächen
- Übergangsbereiche zwischen Kaltluftflächen und Bebauung möglichst offen gestalten, um einen guten Luftaustausch zu fördern
- Flächenentsiegelung: Verringerung des Versiegelungsgrades insgesamt und Reduzierung der Vollversiegelung von betrieblichen Funktionsbereichen
- Teilversiegelung und Begrünung von Stellplatzanlagen

#### **Maßnahmen am Gebäude:**

- Gebäudekubatur: kompakte Gebäude sparen Energie, hohe Gebäude sparen Fläche, reduzieren den Versiegelungsanteil und ermöglichen Kaltluftbewegung
- Grundrisszonierung: Anordnung der Raumfunktionen nach optimaler Belichtung und Belüftung
- Gebäudedämmung: ein hoher Dämmstandard für Wände, Dach, Boden und Fenster spart Energie
- Material- und Farbwahl unter den Gesichtspunkten der minimalen Aufheizung
- Bauliche Verschattungselemente an Fenstern, Fassade und Dach
- Dach- und Fassadenbegrünung
- Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage oder Passivkühlung (z.B. Erdwärmetauscher, Nutzung der Abwärme von Produktionsprozessen, Nutzung von gespeichertem Regenwasser)

### **FOKUSGEBIETE WOHNEN IN JENA – KURZBESCHREIBUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN**

Aus der Stadtklimaanalyse für die Stadt Jena wurden nachstehend aufgeführte „Fokusgebiete Hitzebelastung Wohnen“ abgeleitet. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt und wesentliche Aspekte der bioklimatischen Situation erläutert. Prinzipiell besteht in diesen Fokusgebieten, aufgrund der hohen bis sehr hohen bioklimatischen Belastung, ein sehr hoher Bedarf an Maßnahmen zu Reduzierung des urbanen Hitzestresses. Im **Maßnahmenkatalog** (siehe Kapitel 8.5) finden sich 21 Einzelmaßnahmen mit grundlegenden Aussagen zu ihren Wirkungen, Synergien und Konflikten. Diese betreffen die verschiedenen Ebenen der Stadt – von der Gesamtstadt über die Stadtviertel bzw. Stadtquartiere bis hin zum Grundstück mit seinen Gebäuden. Prinzipiell besteht das Ziel, möglichst viele dieser Maßnahmen innerhalb der Fokusgebiete umzusetzen, jedoch

müssen in einer nachfolgenden detaillierteren Planungsebene entsprechend des Stadtstrukturtyps individuelle, raumkonkrete Maßnahmenpakete erarbeitet werden.

### I. Fokusgebiet Innenstadt

Die Jenaer Innenstadt ist in ihrer heterogenen Struktur geprägt durch einen hohen Versiegelungsgrad und eine starke bauliche Verdichtung. Sie ist dem städtebaulichen Raumtyp „Altstadt“ zugeordnet. Auch wenn das Wohnen in diesem Fokusgebiet in Teilen eine untergeordnete Rolle spielt, weisen gerade die bewohnten Blöcke in der PHK eine „ungünstige“ bis „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation auf.

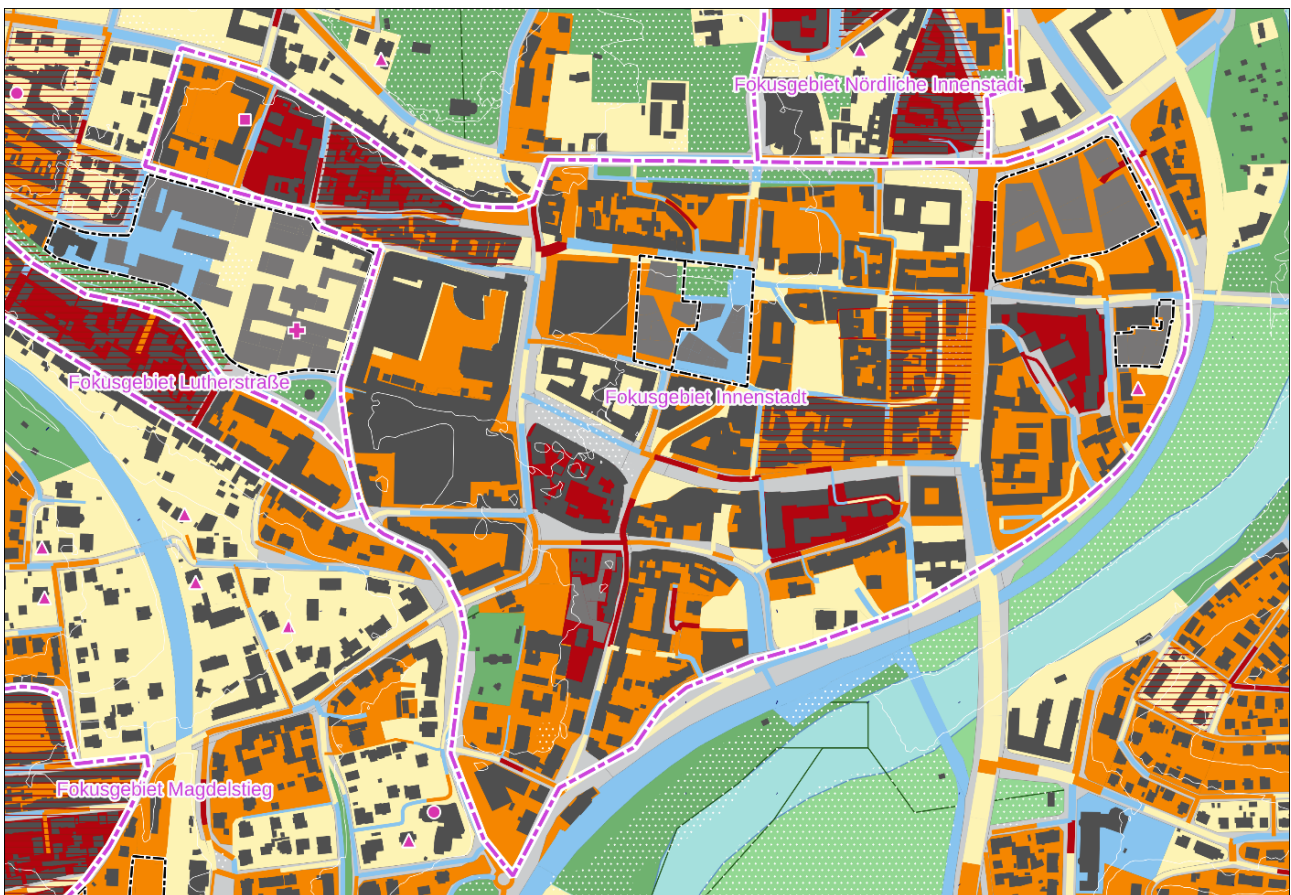


Abbildung 68: Fokusgebiet Innenstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte.

Die dicht stehenden Baukörper geben nachts ihre tagsüber gespeicherte Wärme ab und verstärken den Wärmeineffekt. In der Nacht zeigen alle Flächen im Fokusgebiet eine „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation (siehe Bewertungskarte Nacht – Zukunft P2 mit Klimawandel und Stadtentwicklung). Die Kaltluft kann im bodennahen Bereich aufgrund der hohen Oberflächenrauigkeit und der geringen Geländeneigung nachts nur sehr begrenzt bis in die Innenstadt vordringen und für entsprechende Abkühlung sorgen. Weiterhin pro-

duzieren nur wenige zusammenhängende Grünflächen innerhalb des Fokusgebietes, z.B. entlang des Fürstengrabens oder im Schillergarten, in der Nacht vor Ort Kaltluft. Der Botanische Garten oder die Saale-Aue, welche als größere Kaltluftproduzenten zwar direkt an das Fokusgebiet angrenzen, können aufgrund der begrenzten Reichweite nur bedingt zur Abkühlung beitragen. Fußläufig erreichbar fungieren sie jedoch als wichtige Erholungsbereiche für die Jenaer Bevölkerung und insbesondere die Bewohner der angrenzenden Fokusgebiete.

Am Tag zeigt sich für die bioklimatische Belastung im Fokusgebiet ein differenzierteres Bild. Als besonders hitzebelastet treten hier der Ernst-Abbe-Platz, der Theater-Vorplatz und der Löbdergraben (zwischen Uni-Hauptgebäude und Rotem Turm) hervor. Die großen Bäume am Teichgraben, am Löbdergraben (zwischen der alten Post und der Fischergasse), am Eichplatz oder auf dem Marktplatz hingegen zeigen ihre positiven Effekte durch Verschattung und Verdunstungskühle, was im Ergebnis zu einer vergleichsweise „günstigen“ bioklimatischen Situation am Tag führt. Viele der Baublöcke im Fokusgebiet weisen eine „mittlere“ bioklimatische Situation am Tag auf. Dies begründet sich oftmals im Schattenwurf der hohen, dicht stehenden Gebäude. In baulich geschlossenen Innenhöfen tritt infolge mangelnder Durchlüftung und der Wärmerückstrahlung der besonnten Fassadenflächen die höchste Überhitzung auf.

Die künftige Neubebauung am Eichplatz schneidet in der Klimamodellierung mit einem vergleichsweise guten Gesamtergebnis ab. Für diese Nachverdichtungsfläche wurde der Gestaltungsplan für die Freianlagen (ARGE Bruun & Möllers und Ingenieurbüro LOPP, 2019) in die Klimamodellierung integriert, welche einen großen Anteil an Großgrün (Stadtgarten, Baumallee Rathausgasse, Großbäume Kollegiengasse) aufweist. Darüber hinaus reduzieren die geplanten hohen Gebäude aufgrund der Verschattung die PET am Tag, was insgesamt zu einer „günstigen“ bioklimatischen Situation führt.

Es befinden sich zwei vulnerable Einrichtungen innerhalb des Fokusgebietes. Für die Kindertagesstätte „Glühwürmchen“ in der Frauengasse wurde die bioklimatische Situation in der Nacht als „sehr ungünstig“ bewertet, am Tag hingegen wurde die Fläche der „mittleren“ Kategorie zugeordnet. Sie profitiert hier klimatisch vom großen Baumbestand, der für eine Verschattung des Außenbereiches sorgt. Da sich die nächtliche Überwärmung – gerade in längeren Hitzeperioden – auch auf die Benutzung des Gebäudes am Tag auswirkt, sollten Maßnahmen am Gebäude vorgenommen werden, die ein Aufheizen am Tag weitestgehend minimieren, z.B. außenliegende Verschattung, Fassadenbegrünung, nächtliches Querlüften, etc.

Die Integrierte Gesamtschule „Grete Unrein“ in der August-Bebel-Straße unterrichtet Schüler der Klassenstufen 5 bis 13 und gehört daher nicht vorrangig zu den Einrichtungen mit der vulnerablen Bevölkerungsgruppe der jüngeren Kinder (Grundschüler), auch wenn sie in der PHK als solche vermerkt wurde. Die Fläche wurde – zusammen mit der westlich angrenzenden Wohnbebauung – in der PHK der Handlungspriorität 2 zugeordnet. Die bioklimatische Situation wurde nachts auf der Fläche als „sehr ungünstig“ bewertet, tagsüber wurde die Schulfläche der „mittleren“, die Wohnbaufläche der „günstigen“ Kategorie zugeordnet. Aufgrund dieser Bewertung und dem Erfordernis zur Umsetzung einer klimaangepassten Bauweise erfolgte die Integration dieser Fläche in das „Fokusgebiet Innenstadt“.

Im Fokusgebiet finden sich mehrere „Urbane Klimaoasen“: Nr. 146U (Hof Phyletisches Museum), Nr. 153U (Teichgraben), Nr. 156U (Unterlauengasse), Nr. 159U (Eichplatz) und Nr. 166U (Fürstengraben). Für alle diese Klimaoasen, welche gerade in diesem stark hitzebelasteten Fokusgebiet eine große Bedeutung für die Erholung der Bewohnerschaft besitzen, wird eine weitere Qualifizierung und Aufwertung empfohlen. Konkrete Handlungsempfehlungen finden sich in den Steckbriefen<sup>23</sup> zu den einzelnen Klimaoasen.

---

<sup>23</sup> Abschlussbericht zum ExWoSt-Projekt „Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas“, Anhang G – Steckbriefe der bestehenden urbanen Klimaoasen (UKOs) in Jena

### Handlungsempfehlungen:

- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten; wirken am effektivsten (Reduktion der gefühlten Temperatur von bis zu 8 °C), sind aber aufgrund der kleinräumigen Stadtstruktur oft schwer umsetzbar
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- Dachbegrünung; Wirkung beschränkt sich auf die nähere Umgebung der Begrünung, Anwendung daher insbesondere auf niedrigen Gebäuden
- Begrünte Dachterrassen als private bzw. halböffentliche Rückzugsräume
- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume auf Plätzen
- Errichtung von Wasserspielplätzen und (Trink-)Brunnen
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern)
- Teilentsiegelung von Straßen und Plätzen
- Verwendung heller Oberflächen
- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

## II. Fokusgebiet Nördliche Innenstadt

Das Fokusgebiet „Nördliche Innenstadt“ wird dem Raumtyp „Stadterweiterung in geschlossener Bauweise“ zugeordnet. Die zentrale städtebauliche Struktur wird durch das Damenviertel mit seiner vier- bis sechsgeschossigen Blockrandbebauung bestimmt. Diese Bereiche dienen dem Wohnen, die Einwohnerdichte ist hier überdurchschnittlich hoch. Das Damenviertel zeigt eine klare Gliederung der Verkehrsräume. Diese unterscheiden sich mikroklimatisch in ihrer Verlaufsrichtung (Nord-Süd, Ost-West). Straßen mit einer Vielzahl an großen Bäumen, wie z.B. die Käthe-Kollwitz-Straße oder die St.-Jakob-Straße, wurden in der PHK mit einer „günstigen“ bioklimatischen Situation bewertet. Die Dornburger Straße hingegen weist tagsüber in weiten Teilen eine starke Hitzebelastung auf.

Die geschlossene Baulinie der gründerzeitlichen Struktur trennt die belebten Straßenräume von den eher ruhigen Innenhöfen. Die Blockinnenhöfe sind unterschiedlich stark durchgrünt, versiegelt und durch Mauern und Nebengebäude fragmentiert. Hier lassen sich im Ergebnis der Klimamodellierung auch unterschiedliche Ergebnisse in der bioklimatischen Belastung ablesen. So zeigen die stärker durchgrünter und weniger bebauten Höfe (z.B. zwischen Thomas-Mann-Str./Nollendorfer Str./Am Planetarium oder Am Planetarium/Theo-Neubauer-Str./Sophienstraße) bessere bioklimatische Bedingungen. Tagsüber konnte hier sogar eine „günstige“ bioklimatische Situation ermittelt werden. Der überwiegende Teil der Blöcke im Damenviertel wurde mit Blick auf die nächtliche Temperatur der „sehr ungünstigen“ Bewertungskategorie zugeordnet, während diese am Tag im gesamtstädtischen Vergleich mit größtenteils „mittleren“ Bewertungsergebnissen abschneiden. Die Bewertung in der jeweils besseren Kategorie zeigt das Potenzial, welches in der Anwendung von Klimaanpassungsmaßnahmen steckt.

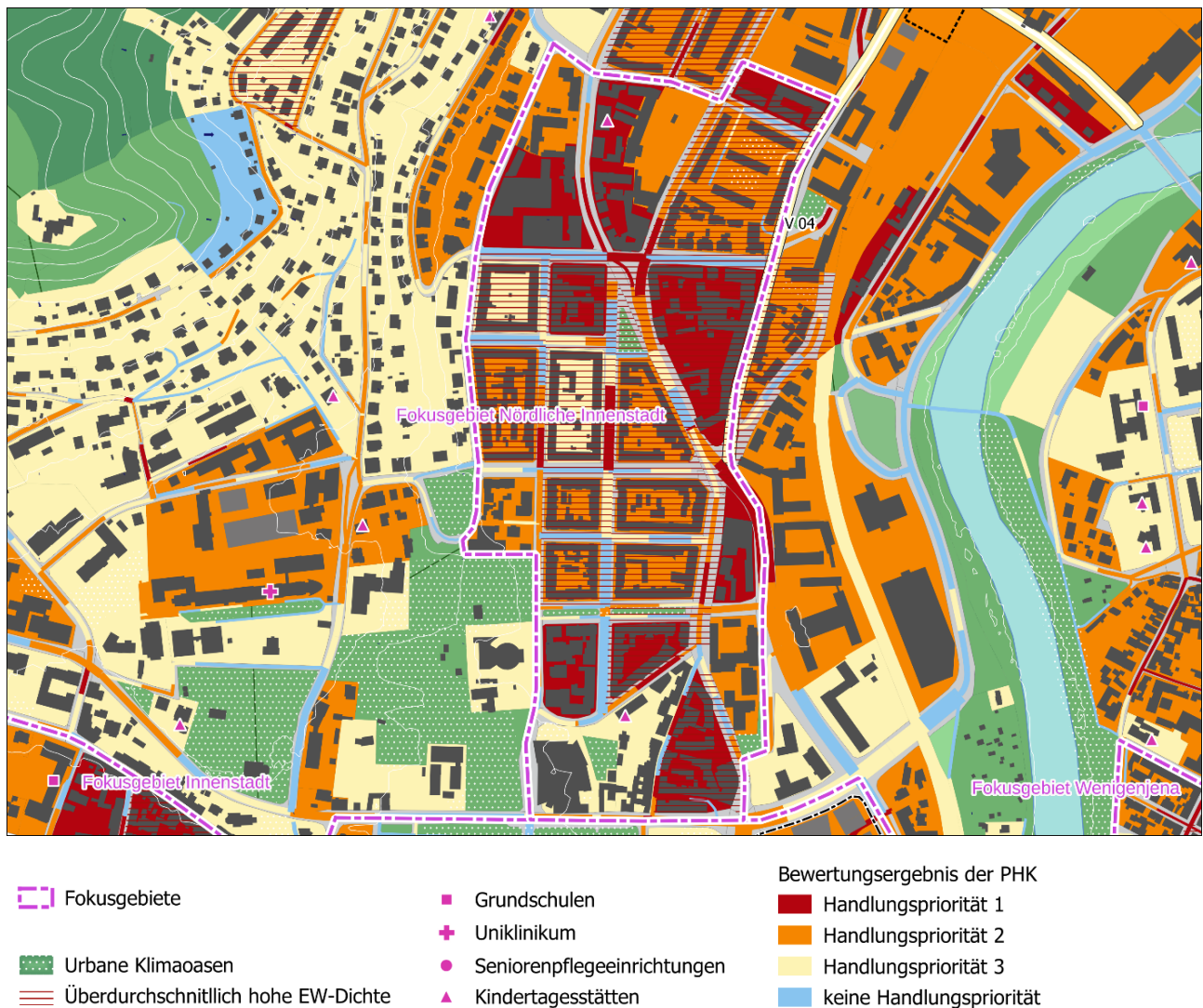


Abbildung 69: Fokusgebiet Nördliche Innenstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Die Blockrandbebauung weist im Vergleich zu anderen Siedlungstypen einen geringeren Energiebedarf aus. Dies begründet sich in der kompakten Bauweise und der daraus resultierenden geringen Außenfläche der Gebäude. Ein Großteil der Wände liegt an den benachbarten Gebäuden und hat somit einen verminderten Wärmetransport. Dies führt im Winter zu einem geringeren Heizbedarf und ist im Sinne des Klimaschutzes positiv zu bewerten. In den Sommermonaten hingegen resultiert daraus eine schnellere Überhitzung der Gebäude verbunden mit einem höheren potenziellen Kühlbedarf.

Zur Verbesserung der bioklimatischen Situation im Bereich der Gründerzeitstrukturen sollte eine Entsiegelung der Innenhöfe angestrebt werden. Bäume und Fassadenbegrünungen verringern die solare Einstrahlung auf (versiegelten) Flächen und Fassaden und damit die Wärmerückstrahlung und -speicherung. Die Kühlwirkung durch Evapotranspiration erhöht sich und sorgt für angenehme Aufenthaltsbedingungen für die Bewohner im Außenraum. Die Dächer der Gründerzeitgebäude eignen sich nur bedingt für eine Dachbegrünung, jedoch auf flacheren Nebengebäuden in den Höfen können begrünte Dächer – ggf. auch als begrünte Dachterrassen – positive klimatische Effekte erzeugen. Neben der Intensivierung und Qualifizierung des Grüns sollten unbedingt auch gebäudebezogene Maßnahmen geprüft werden. Dazu zählen bspw. die energetische Sanierung der Gebäudehülle in Verbindung mit außenliegender Verschattung und Nachtlüftung.

Bäume sind das wirksamste Mittel, um den Straßenraum zu kühlen – in ihrem Schatten ergeben sich angenehme Aufenthalts- und Bewegungsräume. Wo es möglich ist, sollte der Bestand an Straßenbäumen daher erweitert werden. Oft stehen Kronen- und Wurzelraum jedoch in Konflikt mit oberirdischen Verkehrsflächen oder unterirdischen Leitungstrassen, was eine Reorganisation der ober- und unterirdischen Infrastruktur erforderlich machen kann. Es sollten klimawandelangepasste Baumarten gewählt werden, die sich für den Straßenraum eignen. Neu strukturierte und teilentsiegelte Straßenräume ermöglichen die Speicherung und Rückhaltung von Regenwasser und stellen dabei ein Potenzial im Sinne der Starkregenvorsorge dar.

Um das gründerzeitliche Damenviertel herum (südlich, östlich und nördlich angrenzend) befinden sich vorrangig gemischt genutzte Blöcke, die sich durch eine dichte, eher heterogene Bebauungsstruktur auszeichnen. Der Versiegelungsgrad ist nutzungsbedingt hoch, zusammenhängende Grünflächen und Bäume sind nur sehr begrenzt vorhanden. Dies resultiert folglich in einer „ungünstigen“ bioklimatischen Situation tagsüber wie auch nachts. Zur Verbesserung der klimatischen Situation sollte der Versiegelungsanteil in diesen Bereichen minimiert werden. Es wird empfohlen, oberirdische Stellplätze zugunsten von mehr Grün zu reduzieren und die oberirdisch erforderlichen Flächen nur teilversiegelt auszuführen (Rasengittersteine, etc.). Auf Flächen mit Potenzial für eine bauliche Nachverdichtung bzw. Nutzungsintensivierung (z.B. im Bereich Dornburger Straße/Nollendorfer Straße/Spitzenweidenweg) könnte im Sinne der „Doppelten Innenentwicklung“ mit der Umsetzung einer klimaangepassten Bauweise eine merkliche Verbesserung der bioklimatischen Situation erzielt werden.

Im Südwesten des Fokusgebietes befindet sich die Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek (ThULB) in Verbindung mit dem angrenzenden Frommannschen Garten und einer gemischt genutzten Randbebauung entlang der Zwätzengasse und des Bibliothekswegs. Aufgrund der Verschattung durch Gebäude und den großen Anteil an großen Bäumen stellt sich die bioklimatische Situation am Tag in diesem Bereich vergleichsweise günstig dar, während nachts auch hier der Wärmeineffekt deutlich spürbar und die thermische Belastung hoch ist.

Die Wohnblöcke nördlich der Clara-Zetkin-Straße (bis Höhe Scharnhorststraße), welche stadtstrukturell zwar noch zum Raumtyp der Stadterweiterung in geschlossener Bauweise gehören und in der Klimamodellierung ähnliche klimatische Bedingungen aufweisen, zeigen im Detail doch eine differenzierte städtebauliche Struktur (höherer Grünanteil, mehr Bäume<sup>24</sup>) und wurden daher – mit dem Ziel einer Priorisierung – nicht dem Fokusgebiet „Nördliche Innenstadt“ zugeordnet.

Im Fokusgebiet finden sich zwei vulnerable Einrichtungen. Die kommunale Kindertagesstätte „Janusz Korczak“ am Bibliotheksweg zeigt eine erhöhte Wärmebelastung – insbesondere für die Nachtsituation, die bioklimatische Situation wurde hier mit „ungünstig“ bewertet. Im Rahmen des Projektes zur „Untersuchung der Wärmebelastung an kommunalen Kindertagesstätten und Grundschulen der Stadt Jena“<sup>25</sup> wurde jedoch festgestellt, dass für das Kita-Gebäude mit der außenliegenden Verschattung an allen sonnenbeschienenen Fassaden, der optimalen Albedo der Gebäudehülle und dem vorhandenen Wärmedämmstandard bereits viele Maßnahmen umgesetzt wurden, um einer sommerlichen Überhitzung entgegen zu wirken. Am Tag profitiert der Außenraum klimatisch vom großen, alten Baumbestand, der für eine weitreichende Verschattung des Außenbereiches sorgt und somit zu einer vergleichsweise „günstigen“ bioklimatischen Situation führt. Die Kindertagesstätte „Kinderschirm“ an der Dornburger Straße hingegen liegt in einem Bereich der Handlungspriorität 1. Die gemischt genutzte Baufläche, der die Kita zugeordnet ist, wurde in der Nacht mit einer „sehr ungünstigen“ und am Tag mit einer „ungünstigen“ bioklimatischen Situation bewertet. Hier besteht ein

---

<sup>24</sup> In den Modelleingangsdaten wurden aufgrund der räumlichen Auflösung (10m-Raster) nicht alle Bäume erfasst.

<sup>25</sup> Abschlussbericht „Untersuchung der Wärmebelastung an kommunalen Kindertagesstätten und Grundschulen der Stadt Jena, ThINK, Nov. 2017

sehr hoher Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen wie beispielsweise einer Entsiegelung und Begrünung des Außenraumes sowie der Installation von Verschattungselementen.

Im Fokusgebiet findet sich eine Reihe an „Urbane Klimaoasen“: Nr. 169U (Frommannscher Garten), Nr. 170U (Gerbergasse/Saalbahnhofstr.), Nr. 171U (Bibliotheksplatz/Bibliotheksweg), Nr. 179U (Käthe-Kollwitz-Str.), Nr. 206U (Sophienstr./Theo-Neubauer-Str.), Nr. 213U (südlich Clara-Zetkin-Str.) und Nr. 496U (Hintereingang ThULB). Für alle diese Klimaoasen, welche gerade in diesem hitzebelasteten Fokusgebiet eine große Bedeutung besitzen, wird eine weitere Qualifizierung und Aufwertung empfohlen. Konkrete Handlungsempfehlungen finden sich in den Steckbriefen<sup>23</sup> zu den einzelnen Klimaoasen. Das Fokusgebiet „Nördliche Innenstadt“ besitzt den Vorteil, dass eine Vielzahl an grünen Klimaoasen mit bereits im Bestand hoher Aufenthaltsqualität, z.B. Johannisfriedhof, Botanischer Garten, Griesbachgarten und die Saale-Aue, in fußläufiger Entfernung für die Bewohner erreichbar sind.

#### **Handlungsempfehlungen:**

- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume und Bewegungsflächen im öffentlichen Straßenraum
- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- Dachbegrünung; Wirkung beschränkt sich auf die nähere Umgebung der Begrünung, Anwendung daher insbesondere auf niedrigen Gebäuden, z.B. in den Innenhöfen
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern), punktuelle Begrünung mit Großbäumen
- Erhöhung des Grünanteils durch begrünte Loggien, Balkone und Dachterrassen
- Erhalt und Qualifizierung der halböffentlichen Vorgärten
- Verwendung heller Oberflächen für Gebäude und befestigte Flächen
- Entsiegelung großflächiger Parkplätze und gewerblicher Nebennutzflächen
- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen

### **III. Fokusgebiet Lutherstraße**

Auch das Fokusgebiet „Lutherstraße“ wird dem städtebaulichen Raumtyp „Stadterweiterung in geschlossener Bauweise“ zugeordnet. Ähnlich dem Fokusgebiet „Nördliche Innenstadt“ ist auch dieses Gebiet geprägt von einer gründerzeitlichen vier- bis sechsgeschossigen Blockrandbebauung, die vorrangig für Wohnen genutzt wird. Der überwiegende Teil der Blöcke im Fokusgebiet besitzt eine überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte.

Allen Blöcken innerhalb des Fokusgebietes wurde die Handlungspriorität 1 oder 2 in Bezug auf die Verbesserung der stadtklimatischen Situation zugewiesen. Insbesondere in der Nacht wurde die bioklimatische Situation als „ungünstig“ bis „sehr ungünstig“ bewertet. Die Kaltluft, die zum einen über die lineare Leitbahn aus dem Mühlthal, zum anderen von den südwestlich gelegenen Hängen in Richtung Stadtgebiet strömt, kann im Bereich der mehr oder weniger vollständig geschlossenen Blockstrukturen nur begrenzt für nächtliche Abkühlung sorgen. Basierend auf dem jeweiligen Versiegelungs- und Durchgrünungsgrad der einzelnen Innenhöfe stellt sich die bioklimatische Belastung der einzelnen Blöcke leicht differenziert dar. Zusammenhängende Kaltluftproduktionsflächen finden sich hier insgesamt nur in sehr geringem Umfang. Blöcke bzw. Innenhöfe mit einem größeren Baumbestand zeigen eine geringere Wärmebelastung und wurden für die Tagsituation mit einer „mittleren“ bioklimatischen Situation bewertet.

Für eine Verbesserung der bioklimatischen Situation sollten die Innenhöfe – soweit möglich – entsiegelt und begrünt werden. Große Bäume verbessern durch ihre Verschattung und Verdunstungskühle die bioklimatische Situation am Tag und erhöhen insgesamt die Aufenthaltsqualität für die Bewohner.

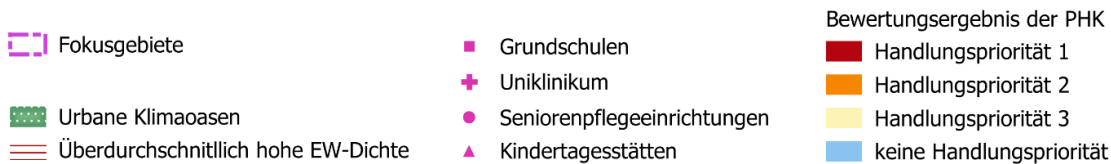
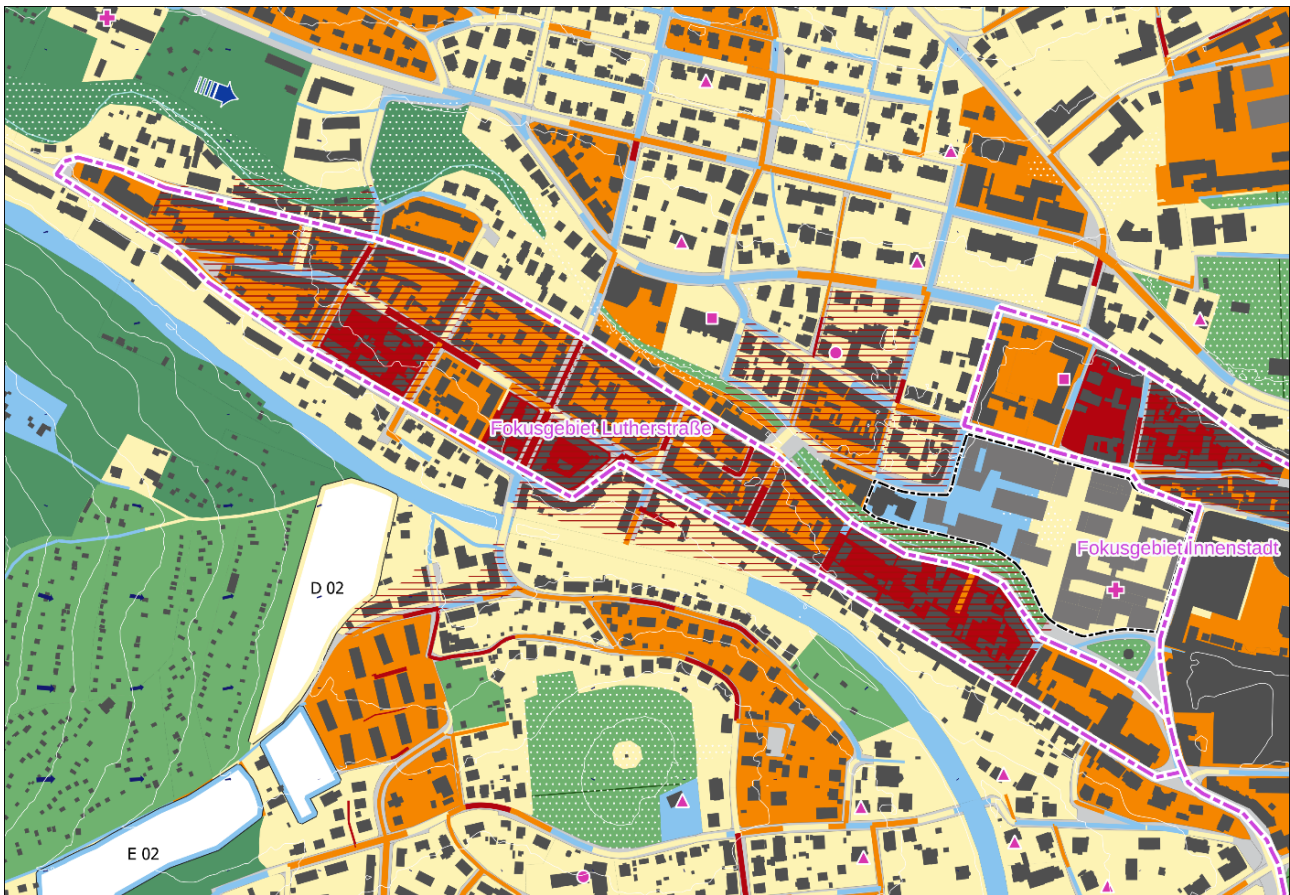


Abbildung 70: Fokusgebiet Lutherstraße, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Die Straßenräume innerhalb des Fokusgebietes weisen insgesamt eine geringe Aufenthaltsqualität auf – sie sind vorrangig Verkehrsflächen für den fahrenden und den ruhenden Verkehr. Straßenbegleitgrün ist, bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Westendstraße), nicht vorhanden. Einzig der Schattenwurf der Gebäude (Tagsituation, 14 Uhr) führt zu einer gewissen Reduzierung der Wärmebelastung in der ost-west-verlaufenden Lutherstraße. Die nord-süd-gerichteten Straßenräume hingegen weisen durch die fehlende Verschattung im Vergleich eine höhere Wärmebelastung am Tag auf.

Neben den Maßnahmen zur Entsiegelung und Begrünung der Innenhöfe werden im Fokusgebiet „Lutherstraße“ unbedingt Maßnahmen zur – nicht allein klimatischen – Aufwertung der Straßenräume empfohlen. Aus dem monofunktionalen Verkehrsraum sollte ein multifunktionaler Aufenthalts- und Bewegungsraum für die Anwohner werden. Dies erfordert jedoch eine grundlegende Neuordnung der verkehrlichen Erschließung und des Straßenraumes. Um den Anteil an Bäumen und Pflanzstreifen für die Versickerung und Speicherung von unbelastetem Oberflächenwasser zu erhöhen, müssten die Stellplätze reduziert und/oder alternativ an

dezentraler Stelle (Parkgarage o.ä.) konzentriert werden. Im Zusammenhang mit alternativen Verkehrskonzepten ist die Nutzung der oft parallel verlaufenden Verkehrsachsen zu prüfen, um Straßen zu verkehrsberuhigten oder verkehrsfreien Flächen zu entwickeln.

Im Fokusgebiet befinden sich keine vulnerablen Einrichtungen, die einer besonderen Berücksichtigung bedürfen.

„Urbane Klimaoasen“ sind innerhalb des abgegrenzten Fokusgebietes nicht vorhanden. Jedoch profitieren die Bewohner von den großen und wichtigen grünen Klimaoasen Nr. 161U und Nr. 188U entlang der Leutra, welche direkt im Norden an die hitzebelasteten Wohngebiete anschließen. Insbesondere die Klimaoase Nr. 188U zwischen Cospedaer Grund und Loderstraße wurde i. R. des Grüne-Klimaoasen-Projektes „stark überdurchschnittlich“ (UKO-Score) bewertet, welche mit ihrer hohen Aufenthaltsqualität und Erholungsfunktion – insbesondere an heißen Tagen – in ihren vorhandenen Ausdehnungen unbedingt erhalten bleiben sollte. Der unbebaute Grünzug entlang des Lommerwegs sollte aufgrund seiner hohen klimatischen Bedeutsamkeit auch zukünftig von Bebauung bzw. Nachverdichtung freigehalten und wenn möglich weiter ausgebaut werden.

#### **Handlungsempfehlungen:**

- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume und Bewegungsflächen im öffentlichen Straßenraum
- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- Dachbegrünung; Wirkung beschränkt sich auf die nähere Umgebung der Begrünung, Anwendung daher insbesondere auf niedrigen Gebäuden, z.B. in den Innenhöfen
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern), punktuelle Begrünung mit Großbäumen
- Erhöhung des Grünanteils durch begrünte Loggien, Balkone und Dachterrassen
- Verwendung heller Oberflächen für Gebäude und befestigte Flächen
- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

#### **IV. Fokusgebiet Wenigenjena**

Das Fokusgebiet „Wenigenjena“ ist ebenfalls dem städtebaulichen Raumtyp „Stadterweiterung in geschlossener Bauweise“ zugeordnet. Die überwiegend drei- bis fünfgeschossige Blockrandbebauung als Mischung verschiedener Bauzeiten und Baustile wird hauptsächlich durch das Wohnen bestimmt. Entlang der Karl-Liebknecht-Straße findet sich in Teilen eine Mischnutzung mit Kleingewerbe und Gastronomie. Aufgrund der hohen baulichen Dichte weisen viele der Blöcke folglich eine überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte auf. Innerhalb des Fokusgebietes ist ein großer Teil der Blöcke der Handlungspriorität 1 zugeordnet. Diese Flächen zeigen insbesondere nachts eine starke Überwärmung und wurden daher im gesamtstädtischen Vergleich überwiegend mit einer „sehr ungünstigen“ bioklimatischen Situation bewertet. Die bauliche Dichte und der Anteil der versiegelten Flächen sind hoch, die Blockinnenhöfe weisen i.d.R. nur einen geringen Grünanteil auf.

Neben den o.g. Flächen wurden auch Blöcke mit der Handlungspriorität 2 in das Fokusgebiet integriert. Dazu gehören Bereiche mit einer überdurchschnittlich hohen Einwohnerdichte, darüber hinaus aber auch die drei Wohnbauflächen südlich der Magnus-Poser-Straße (westlich der Schulstraße), die sich strukturell nur unwesentlich von den östlich angrenzenden klimatisch belasteten Flächen unterscheiden. Auch hier wurde nachts

eine „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation dargelegt. Tagsüber profitieren diese drei Wohnbauflächen von der Nähe zum Wenigenjenaer Ufer und dem großen klimatisch wirksamen Baumbestand im Westen. Hinweise zur Verbesserung der bioklimatischen Situation können dem Fokusgebiet „Nördliche Innenstadt“ entnommen werden, welches ähnliche baulich-räumliche Rahmenbedingungen aufweist.

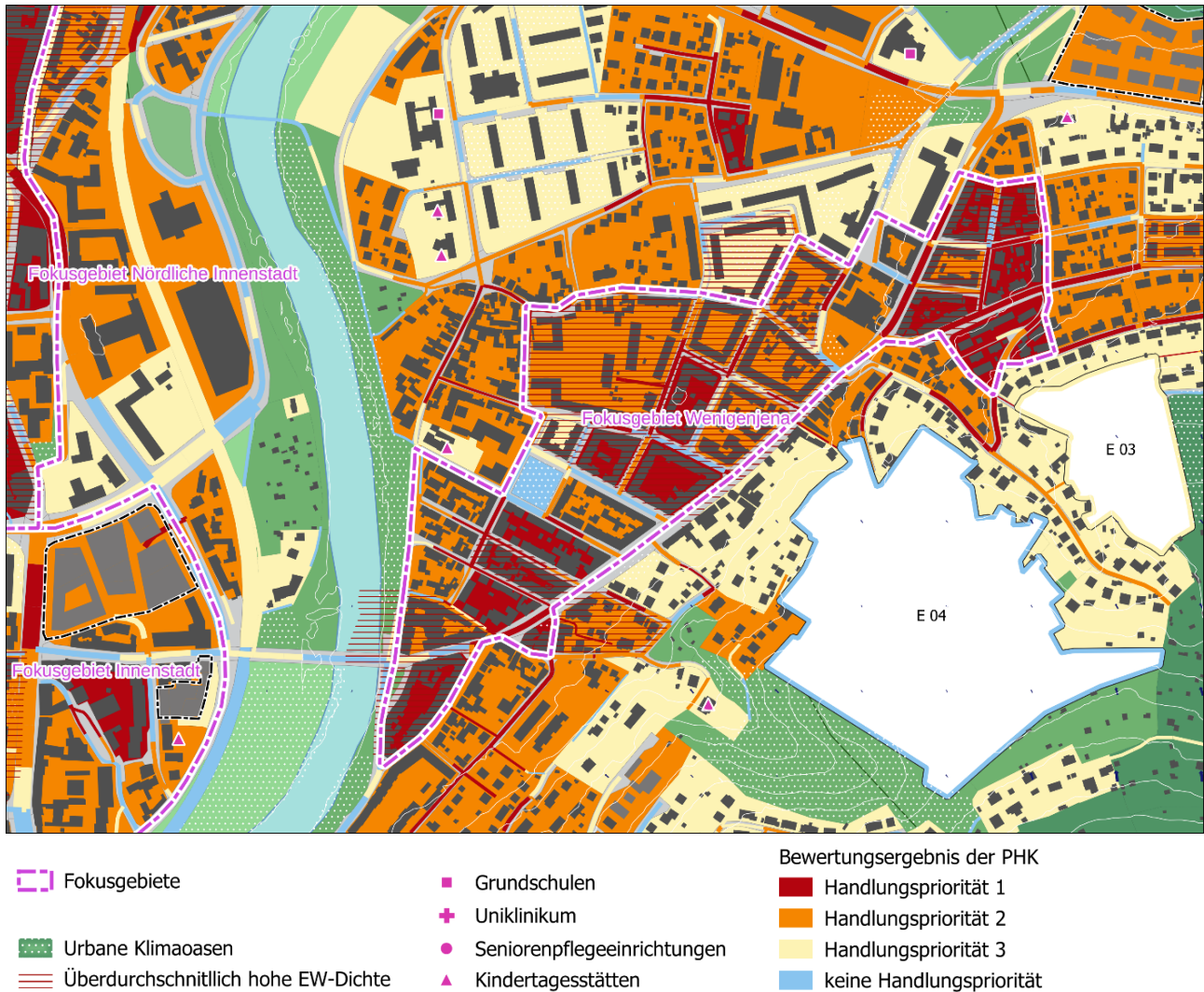


Abbildung 71: Fokusgebiet Wenigenjena, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Ein großer Teil der Straßenräume im Fokusgebiet weist eine „ungünstige“ bis „sehr ungünstige“ bioklimatische Bewertung auf – hierzu gehören neben der stark befahrenen Karl-Liebnecht-Straße bspw. die Carl-Born-Straße, die Geschwister-Scholl-Straße, die Beutnitzer Straße oder die Straße Am Steinborn. Hingegen zeigen Straßen mit großem Baumbestand, wie bspw. die Breite Straße oder die Schenkstraße, als Ergebnis der Klimaanalyse vergleichsweise „günstige“ Bewertungen am Tag. Diese sollten als Vorbild für eine zukünftige Straßenraumgestaltung im Fokusgebiet dienen. Im Bereich der Karl-Liebnecht-Straße werden weitere Begrünungsmaßnahmen empfohlen. Insbesondere ab Höhe Am Steinborn Richtung Norden zeigt sich eine sehr starke Wärmebelastung und folglich eine „sehr ungünstige“ Bewertung am Tag. Neben dem Pflanzen von Bäumen in Verbindung mit Versickerungsmulden bzw. bepflanzten Tiefbeeten sollte die Verwendung von Rasengleisen geprüft werden.

Vulnerable Einrichtungen, die einer gesonderten Betrachtung bedürfen, gibt es im Fokusgebiet nicht.

Das Fokusgebiet weist insgesamt nur eine geringe Ausstattung mit öffentlichen sowie privaten Grünflächen auf. Jedoch profitiert das klimatische belastete Gebiet von der unmittelbaren Nähe zur Saale-Aue, dem Camsdorfer und dem Wenigenjenaer Ufer. „Urbane Klimaoasen“ gibt es innerhalb des Fokusgebietes nur zwei. Der Spielplatz am Wenigenjenaer Platz (Nr. 168U) wurde i.R. des Klimaoasenprojektes „stark überdurchschnittlich“ (UKO-Score) bewertet und sollte mit seinem klimatisch wichtigen Großbaumbestand dauerhaft erhalten bleiben. Auch die grüne Klimaoase Nr. 177U (Schlippenstr. Ecke Karl-Liebknecht-Str.) sollte als Aufenthalts- und Erholungsraum im Stadtquartier weiter qualifiziert werden.

### Handlungsempfehlungen:

- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume und Bewegungsflächen im öffentlichen Straßenraum
- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten
- (abschnittsweise) begrünte Straßenbahntrassen
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- Dachbegrünung; Wirkung beschränkt sich auf die nähere Umgebung der Begrünung, Anwendung daher insbesondere auf niedrigen Gebäuden, z.B. in den Innenhöfen
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern), punktuelle Begrünung mit Großbäumen
- Erhöhung des Grünanteils durch begrünte Loggien, Balkone und Dachterrassen
- Erhalt und Qualifizierung der halböffentlichen Vorgärten
- Verwendung heller Oberflächen für Gebäude und befestigte Flächen
- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

## V. Fokusgebiet Magdelstiege

Das Fokusgebiet „Magdelstiege“ mit seiner überwiegend vier- bis sechsgeschossigen Blockrandbebauung spannt sich beidseitig des Magdelstiegs von Höhe Westbahnhofstraße bis zur Tatzendpromenade auf und kann – wie eine Vielzahl der Fokusgebiete Hitze – dem städtebaulichen Raumtyp „Stadterweiterung in geschlossener Bauweise“ zugeordnet werden. Das Wohnen stellt in diesem Bereich die Hauptnutzung dar, entlang des Magdelstiegs finden sich auch wenige gemischt genutzte Blöcke, die u.a. Einzelhandel und Gastronomie in der Erdgeschosszone aufweisen.

Die Planungshinweiskarte zeigt hier hauptsächlich Flächen, die der Handlungspriorität 2 zugeordnet wurden. Hier besteht ein hoher Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen. Infolge der dichten Baustruktur besitzen viele Blöcke eine überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte. Die damit verbundene hohe Betroffenheit der Bevölkerung führte zur Ableitung eines Fokusgebietes. Die einzelnen Wohnblöcke zeigen in Abhängigkeit von ihrer Größe, dem Versiegelungsanteil und dem vorhandenen Anteil an Grün auch leicht differenzierte Ergebnisse in der Bewertung der bioklimatischen Situation. Viele Blöcke entlang des Magdelstiegs sowie nördlich der Otto-Schott-Straße zeigen eine besonders starke nächtliche Überwärmung und wurden der „sehr ungünstigen“ Bewertungsklasse zugeordnet. Hier geben die tagsüber aufgeheizten Gebäude ihre Wärme in der Nacht an die Umgebung ab. Die von den westlichen Hängen in das Stadtgebiet einströmende Kaltluft wird durch die dichte Bebauung ausgebremst und kann nur noch sehr begrenzt bis in das Fokusgebiet vordringen und dort für Abkühlung sorgen.

Die bioklimatische Situation am Tag (14 Uhr) wurde für den größten Teil der Flächen im Fokusgebiet der „mittleren“ Bewertungsklasse zugeordnet. Dies begründet sich in den verhältnismäßig hohen Gebäuden, die zusammen mit dem Bestand an Großbäumen tagsüber für Verschattung sorgen.

Im Fokusgebiet befinden sich keine vulnerablen Einrichtungen, die einer besonderen Berücksichtigung bedürfen.

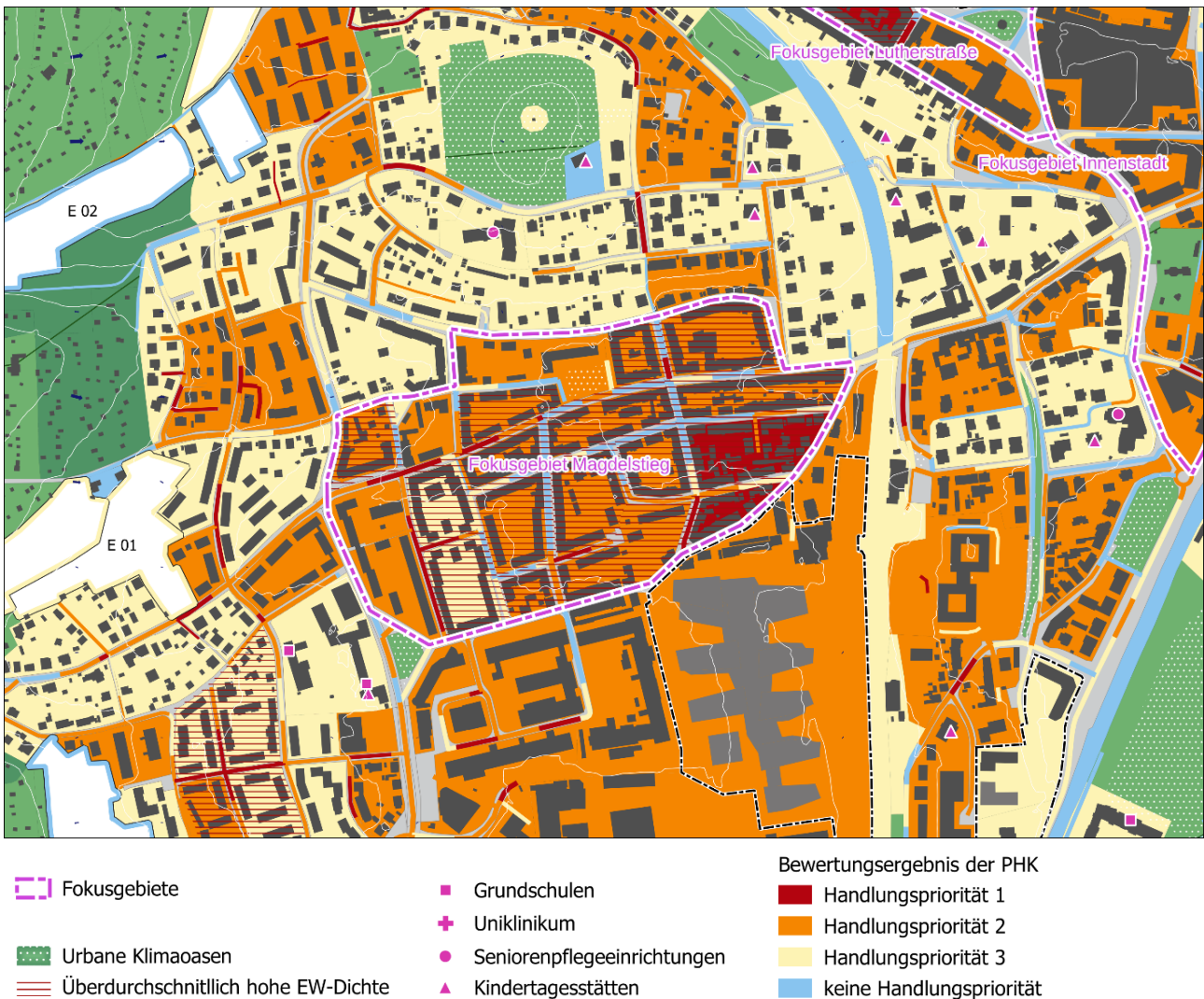


Abbildung 72: Fokusgebiet Magdelstiege, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Innerhalb des Fokusgebietes konnte nur eine „Urbane Klimaoase“ identifiziert werden. Die grüne Klimaoase Nr. 143U am Fichteplatz sollte mit ihrem Großbaumbestand dauerhaft als grüner Stadtplatz erhalten bleiben. Insgesamt weist das Fokusgebiet am Magdelstiege ein Defizit an öffentlichen Grünräumen auf, daher sollte eine verstärkte Entsiegelung und Begrünung der Innenhöfe, vor allem mit großen Bäumen, zur klimatischen Verbesserung des Wohnumfeldes in den Blick genommen werden.

### Handlungsempfehlungen:

- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume und Bewegungsflächen im öffentlichen Straßenraum
- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern)
- Baumpflanzungen in den größeren Innenhöfen, z.B. westlich und östlich der Gustav-Fischer-Str.
- Erhöhung des Grünanteils durch begrünte Loggien, Balkone und Dachterrassen
- Erhalt und Qualifizierung der halböffentlichen Vorgärten und Grünanlagen
- Verwendung heller Oberflächen für Gebäude und befestigte Flächen

- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

## VI. Fokusgebiet Jena-Nord

Dieses Fokusgebiet ist dem stadtstrukturellen Raumtyp „Stadterweiterungssiedlung nach 1990“ zugeordnet und umfasst einen Großteil des Bebauungsplanes B-Lb 03.1 „Camburger Straße Teil 1, 1. Änderung“.

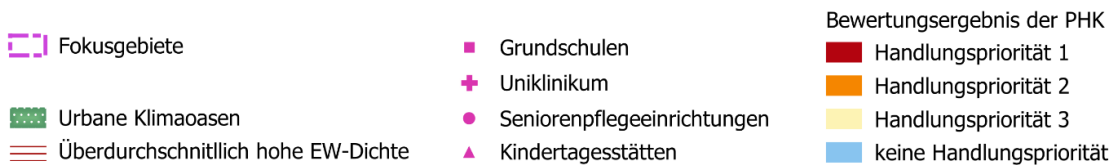
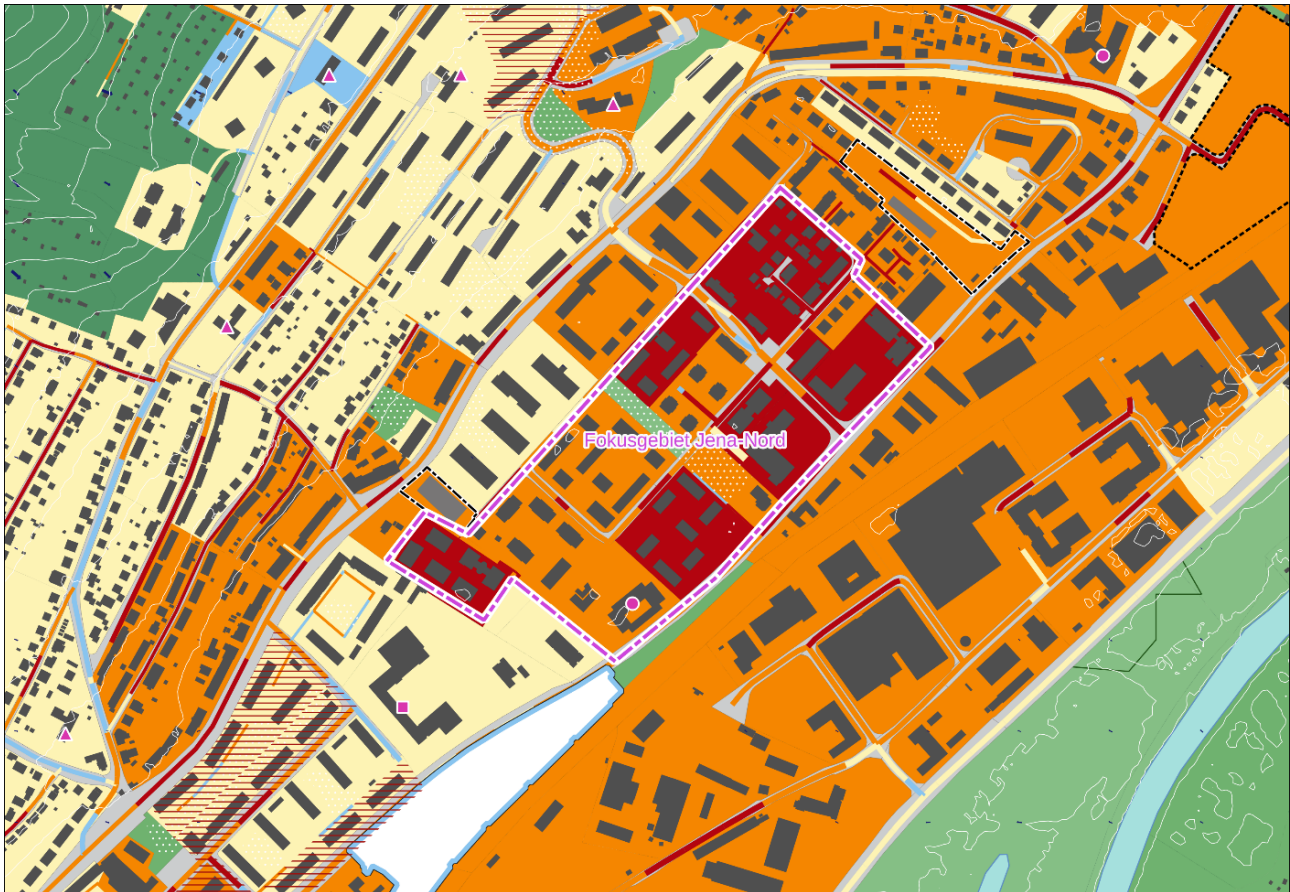


Abbildung 73: Fokusgebiet Jena-Nord, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Die Mischgebietsflächen entlang der Camburger Straße, aber auch verschiedene Flächen mit Geschosswohnungsbau zwischen Merseburger und Zeitzer Straße sind besonders klimatisch belastet und wurden in der PHK den Handlungsprioritäten 1 und 2 zugeordnet. Eine überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte ist hier nicht zu finden, jedoch eine Häufung klimatisch belasteter Flächen. Der Versiegelungsanteil ist hier vergleichsweise hoch, der Grünanteil eher gering. Es fehlt insbesondere an großen Bäumen und sonstigen baulichen Verschattungselementen bzw. ist das Grün in Teilbereichen noch nicht so weit entwickelt, dass es klimawirksam ist (die zumeist noch kleinen Bäume konnten im 10m-Raster nicht berücksichtigt werden). Dies führt zu einer überwiegend „ungünstigen“ bioklimatischen Situation am Tag.

Die Straßenräume im Fokusgebiet – die Lützner Straße, die Zeitzer Straße wie auch die Altenburger Straße – besitzen wenig bis keine Straßenbäume und werden durch die eher aufgelockerte Baustruktur nicht durch Gebäude verschattet. Im Ergebnis weisen diese Verkehrsflächen am Tag eine „ungünstige“ bis „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation auf.

In der Nacht zeigen fast alle Flächen im Fokusgebiet eine „sehr ungünstige“ bioklimatische Situation. Die Gebäude und die versiegelten Flächen geben die tagsüber gespeicherte Wärme ab und führen zu einer Überwärmung. Die Kaltluft kann nachts nur sehr begrenzt bis in das Fokusgebiet vordringen und für entsprechende Abkühlung sorgen. Im Gebiet selbst finden sich nur wenige zusammenhängende Grünflächen mit Potenzial zur nächtlichen Kaltluftproduktion. Maßnahmen zur Klimaanpassung sind hier besonders wichtig und – im Rahmen baulicher Entwicklungen – bevorzugt anzugehen.

Im Süden des Fokusgebietes befindet sich das Vitanas Senioren Centrum „Im Saaletal“, welches eine s.g. vulnerable Einrichtung (Service Wohnen, Tagespflege und stationäre Pflege) darstellt. Der Bereich weist v. a. in der Nacht eine vergleichsweise „ungünstige“ bioklimatische Situation auf, die bioklimatische Situation am Tag hingegen bewegt sich im gesamtstädtischen Vergleich im Mittelfeld. Die bislang noch recht kleinen Bäume entlang der Camburger Straße können langfristig für eine Verschattung des Außenraumes sowie der Südfassade dienen und die klimatische Situation verbessern. Darüber hinaus wird empfohlen, den sommerlichen Wärmeschutz des Objektes zu prüfen und ggf. weitere bauliche Maßnahmen zur Verschattung vorzusehen.

Das Fokusgebiet beinhaltet die „Urbane Klimaoase“ (UKO) Nr. 503U, welche im Rahmen des Projektes „Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas“ die Bewertung „schwach überdurchschnittlich“ erhielt. Es handelt sich um einen vorhandenen Grünbereich mit relativ wenig Bäumen. Die Grünfläche ist dauerhaft zu erhalten und ggf. durch weitere Baumpflanzungen zu qualifizieren.

#### **Handlungsempfehlungen:**

- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume und Bewegungsflächen im öffentlichen Straßenraum
- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- (Teil-)Entsiegelung der Stellplatzflächen, insbesondere im Bereich der gemischt genutzten bzw. Einzelhandelsflächen an der Camburger Straße
- Erhöhung des Anteils an Großbäumen zwischen den Gebäuden
- Errichtung von weiteren Verschattungselementen im Außenraum, z.B. begrünte Pergolen
- Erhöhung des Grünanteils durch begrünte Loggien, Balkone und Dachterrassen
- Pflege und insbesondere Bewässerung der vorhandenen Gründächer (Regenwassernutzung)
- Verwendung heller Oberflächen für Gebäude und befestigte Flächen (wo nicht bereits umgesetzt)
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

## VII. Fokusgebiet Lobeda-Altstadt

Das Fokusgebiet „Lobeda-Altstadt“ stellt in Bezug auf die anderen Fokusgebiete eine raumstrukturelle Besonderheit dar. Es handelt sich um einen historischen Ortskern, der dem städtebaulichen Raumtyp „Altstadt“ zugeordnet werden kann. Die alte Ortsmitte wird durch ländliche Gehöfte, die Kirche, das alte Schloss, das Vereinshaus „Zum Bären“ und dekorative Stadthäuser geprägt. Alt-Lobeda gehört zu den bevölkerungsreichsten Ortskernen von Jena, eine überdurchschnittlich hohe Einwohnerdichte (im gesamtstädtischen Vergleich) findet sich hier jedoch nicht.



Abbildung 74: Fokusgebiet Lobeda-Altstadt, Auszug aus der klimatischen Planungshinweiskarte

Für die überwiegend gemischt genutzten Flächen wurde in der Planungshinweiskarte zum größten Teil die Handlungspriorität 1 festgelegt. Dies begründet sich im Wesentlichen in der nächtlichen Überwärmung – die bioklimatische Situation wurde für die Nacht überwiegend mit „sehr ungünstig“ bewertet. Aber auch für die Tagsituation wurden die Siedlungsflächen wie auch die Straßenräume überwiegend der „ungünstigen“ Kategorie zugeordnet. Obwohl die Kaltluft nachts von den östlich angrenzenden Hängen gut in den Ortskern einströmen und diesen überströmen kann, führt dies nicht zu der gewünschten Abkühlung. Es besteht daher in diesem Fokusgebiet ein sehr hoher Bedarf an Klimaanpassungsmaßnahmen. Klimatische Verbesserungen können durch Entsiegelung und Begrünungsmaßnahmen erzielt werden. Handlungsbedarf besteht vor allem

auch hinsichtlich der (klimatischen) Qualität der innerörtlichen Straßen, Freiflächen und Plätze. Neben Entsiegelung und der Erhöhung des Grünanteils, welche aufgrund der kleinteiligen Stadtstruktur nur schwer umzusetzen sind, sollten unbedingt auch gebäudebezogene Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz in Betracht gezogen werden. Durch eine energetische Sanierung der Gebäudehülle in Verbindung mit außenliegender Verschattung und Nachtlüftung können – neben der Einsparung von CO<sub>2</sub> – klimatische Verbesserungen erzielt werden.

Im Fokusgebiet „Lobeda-Altstadt“ befinden sich keine vulnerablen Einrichtungen.

„Urbane Klimaoasen“ wurden innerhalb des Fokusgebietes nicht identifiziert. Die Ortslage Alt-Lobeda profitiert von seiner Einbettung in den angrenzenden Landschaftsraum – die nahe gelegenen vielfältigen Grünräume der Saale, die Wiesenhänge, Gartenstrukturen und die bewaldeten Höhen.

#### **Handlungsempfehlungen:**

- Baumpflanzungen zur Verschattung stark besonnener Freiräume und Fassaden, vor allem in sonnenexponierter Süd-West-Ausrichtung, Verwendung hitzeangepasster Baumarten; wirken am effektivsten (Reduktion der gefühlten Temperatur von bis zu 8°C), sind aber aufgrund der kleinräumigen Stadtstruktur oft schwer umsetzbar
- Fassadenbegrünung insbesondere an west- und südorientierten Fassaden
- Dachbegrünung; Wirkung beschränkt sich auf die nähere Umgebung der Begrünung, Anwendung daher insbesondere auf niedrigen (Neben-)Gebäuden
- Schaffung verschatteter Aufenthaltsräume auf Plätzen
- (Teil-)Entsiegelung und differenzierte Begrünung der Hinterhöfe (Pergolen, Fassaden, Mauern)
- Teilentsiegelung von Straßen und Plätzen
- Verwendung heller Oberflächen
- Energetische Gebäudesanierung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. Verbesserung von Wärmedämmung und Verglasung, außenliegende Verschattung, etc.
- Nachtlüftung (Nutzerverhalten) bzw. Einbau intelligenter Lüftungsanlagen
- Gebäudekühlung auf Basis regenerativer Energiequellen

## 8.5 MAßNAHMENKATALOG STADTKLIMA

Die Planungshinweiskarte zeigt Bereiche in der Stadt auf, in denen Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation erforderlich bzw. empfehlenswert sind. Der nachstehende Maßnahmenkatalog zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgestaltung auf und soll dazu dienen, die Planungshinweise zu konkretisieren.

Die Auswahl bestimmter **Maßnahmensets** aus dem **Portfolio der 21 Einzelmaßnahmen** hängt vom Flächentyp und den Bewertungen in der Planungshinweiskarte bzw. den Bewertungskarten ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt, Aufenthaltsqualität). Die Maßnahmen sind stickpunktartig und durch Bilder illustriert in Tabelle 25 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

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

Die jeweilige Wirkung hängt stark von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen, ihrer Lage im Stadtgebiet sowie der betrachteten vertikalen und horizontalen Entfernung von der Maßnahme ab.

So hängt beispielsweise ...

- die Beschattungsintensität von Stadtbäumen von der Pflanzdichte und dem Kronendurchmesser ab.
- der konkrete Nutzen einer Maßnahme von ihrer Verortung in thermisch belasteten und bewohnten Gebieten ab.
- die kühlende Wirkung eines Gründaches auf die bodennahe Atmosphäre von der Gebäudehöhe (vertikale Entfernung) ab.
- die lokal spürbare, kühlende Wirkung von Springbrunnen oder Bäumen von deren horizontalen Entfernung zum Aufenthaltsbereich des Menschen ab.

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

Der **Grünanteil** im Stadtgebiet sollte erhalten und insbesondere in thermisch belasteten Bereichen möglichst erhöht werden (→ *M01: Innen-/Hinterhof-Begrünung*, → *M02: Öffentliche Grünräume schaffen*, → *M04: Entsiegelung / Versiegelungsanteil minimieren*). **Wasserversorgte strukturreiche Grünflächen** (mit Bäumen, Sträuchern) wirken sich durch ihre Verdunstung positiv auf das Umgebungsklima aus und erhöhen durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität (→ *M07: Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren*). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können, ab einer gewissen Größe, als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekte zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und zur Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen). Insbesondere die siedlungsnahen Waldgebiete Jenas oder Grünflächen entlang der Saale stellen für die Stadt wichtige und schützenswerte Naherholungsräume dar (→ *M08 Schutz*

bestehender Parks, Grün- und Waldflächen). Darüber hinaus sind aber auch kleinere Parkanlagen schützenswert und neu zu entwickeln, da diese neben ihrer humanbioklimatischen Gunstwirkung am Tage, nachts auch als „Trittsteine“<sup>26</sup> für Kaltluft dienen, die ein weiteres Eindringen dieser Ausgleichströmungen bis weit in den Siedlungsraum hinein begünstigen (→ *M15: Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen*).

Neben ihrem Potential zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.) übernehmen **Bäume** (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an (→ *M05: Klimaangepasste und zukunftsgerichtete Verkehrsraumgestaltung vorantreiben*). Im Bereich von Leitbahnen sollten Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und daher möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden (→ *M12: Optimierung des großskaligen Kaltlufttransports, von Strömung und Durchlüftung*). Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Bei Standorten unmittelbar an Gebäuden sind großkronige Laubbäume den Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden. Umfangreiche Informationen und Entscheidungshilfen zur Auswahl von Stadt- und Straßenbäumen inkl. einer Baumartenempfehlungsliste können dem Konzept „**Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel**“<sup>27</sup> entnommen werden.

Maßnahmen zur **Verschattung** verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung am Tage. Beschattete Straßen, Fuß- und Radwege oder (Park-)Plätze speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten versiegelten Freiflächen (→ *M06: Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien*). Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeinseleffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden (→ *M18: Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen*).

Die in der Stadt Jena vorhandenen größeren **Gewässer** wie die Saale wirken sich überwiegend positiv auf die thermische Situation aus. Die am Tage stattfindende Verdunstung bezieht Energie aus der umgebenden Luft und kühlt diese ab (Verdunstungskühlung). Je größer die Wasseroberfläche und je höher ihre Temperaturdifferenz zur umgebenden Luft, desto stärker ist die kühlende Wirkung. Dabei erzielt bewegtes Wasser einen stärkeren Kühleffekt als stehendes Gewässer, da durch Bewegung die verdunstungsfähige Oberfläche vergrößert und der Austausch mit den tieferen, kühleren Wasserschichten verstärkt wird. Durch ihre geringe Rauigkeit wirken Gewässer überdies teils als hindernisarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen<sup>28</sup> Wetterlagen der Transport von Kalt- und Frischluft stattfindet. Obwohl während längerer Hitzeperio-

---

<sup>26</sup> „Trittstein für Kaltluft“: Gemeint sind im Stadtgebiet verteilte, kleine Grün- oder Freiflächen, über denen sich nächtliche Kaltluft bildet und herantransportierte Luft reibungsarm abfließen kann und somit im Siedlungsgebiet zu einer thermischen Entlastung beiträgt.

<sup>27</sup> „Bäume in Jena. Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel. Stadtbaumkonzept“, Schriften zur Stadtentwicklung Nr. 7, ThINK, Hrsg. Stadt Jena 2016

<sup>28</sup> „Fremdbürtige“, durch großräumige Luftströmungen bestimmte Witterung (= Gegenteil von autochthon)

den in der Nacht Gewässer durch deren Trägheit phasenweise wärmer sein können als umgebener Siedlungsraum, überwiegen insgesamt die genannten Vorteile. Daher ist der Schutz bestehender Gewässer, deren Erweiterung (z.B. über die Offenlegung eingehauster Kanäle und Flussläufe) und die Neuerschließung von Gewässern stets zu berücksichtigen (→ *M09: Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen*). Diese Maßnahme hat enge Synergien zur Regenwasserspeicherung und zur Etablierung von Bewässerungssystemen (→ *M10: Regenwasserspeicherung und Bewässerungssysteme*), wo etwa durch das Anlegen von Regenwasserteichen, aber auch die Etablierung von Versickerungsmulden auf Grünflächen ebenfalls verdunstungsfähige Strukturen entstehen können, die zum humanbioklimatischen Komfort am Tage beitragen und durch ausgeklügelte Bewässerungssysteme den Schutz vorhandener Grünräume sicherstellen.

**Klimaangepasstes Bauen** enthält viele der bisher genannten Maßnahmen und ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei Nachverdichtung sind Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Berücksichtigung stadtklimatischer Belange möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die **Gebäudeausrichtung** zu optimieren und damit den direkten Hitzeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlafzimmern (oder auch Arbeitszimmer/Büroräume) der sommerliche Hitzeintrag minimiert wird (→ *M21: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes*). Umso mehr gilt dies für sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Alten- und Pflegeheime. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → *M13: Optimierung der Gebäudetypologie und -stellung für kleinskaligen Luftaustausch*). Auch die Verwendung geeigneter **Baumaterialien** lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die Albedo<sup>29</sup> kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden, so ist die Reflexion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ *M03: Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten*). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie **Dach- und Fassadenbegrünung**, energetische Sanierung oder technische Gebäudekühlung sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ *M16: Dachbegrünung*, → *M17: Fassadenbegrünung*, → *M19: Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen*, → *M20: Technische Gebäudekühlung*).

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

Neben der aus Wohnungsknappheit ggf. notwendigen Nachverdichtung sollte der Aspekt einer möglichen **Entdichtung** im Stadtgebiet jedoch weiterhin im Blickpunkt verbleiben (→ *M14*). Neue Versiegelung von Flächen für weitere Stellplätze ist zukünftig zu vermeiden. Alternativ sollten unterirdische Parkräume (Tiefgaragen mit Dachbegrünung) oder Parkhäuser mit Dach- und Fassadenbegrünungen etabliert werden.

---

<sup>29</sup> Albedo bezeichnet das Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung)

Auf Brachflächen oder hochversiegelten Stadtplätzen, die perspektivisch entwickelt oder klimaangepasst ausgestaltet werden sollen (wie bspw. der Ernst-Abbe-Platz), die sich jedoch aktuell in der Planung befinden, bieten sich **temporäre Maßnahmen** der klimaangepassten Ausgestaltung während der Sommermonate an. Schattenspendende Kübelbäume und Rollrasen gepaart mit Sitzgelegenheiten tragen zur Belebung des öffentlichen Raums durch größeren Aufenthaltskomfort bei und bringen den Themenkomplex „Stadtklima“ ins Gespräch. Der Dialog mit Anwohnern kann dabei helfen, die Handlungsbedarfe im Wirkraum und Schutzprioritäten im Ausgleichsraum aus der Planungshinweiskarte weiter zu priorisieren.

In dicht bebauten Siedlungsgebieten lassen sich Erholungsräume über sogenannte **„Pocket Parks“** auch auf kleinem Raum einrichten. Schattenspendende Bäume, Sitzgelegenheiten und ansprechende Pflanzungen schaffen einen Raum zum Verweilen und Entspannen, insbesondere für Menschen, die keinen eigenen Garten oder Balkon besitzen. Als positives Beispiel kann hier der Pocket Park der Sparkasse Jena in der Ludwig-Weimar-Gasse genannt werden. Weitere Beispiele finden sich mittlerweile in zahlreichen Städten wie Bochum<sup>30</sup>, Nürnberg<sup>31</sup>, Bonn<sup>32</sup> oder Düsseldorf<sup>33</sup>. In Jena wird dieser Planungsansatz bereits über das Projekt „Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas“<sup>34</sup> verfolgt (siehe auch Kapitel 8.4.3.1 Urbane Klimaoasen).

---

<sup>30</sup> <https://www.bochum.de/Pressemeldungen/30-Mai-2023/Eine-kleine-grosse-Erfolgsgeschichte-3.-Pocket-Park-eroeffnet>

<sup>31</sup> [https://www.nuernberg.de/internet/soer\\_nbg/pocketpark\\_pestadel.html](https://www.nuernberg.de/internet/soer_nbg/pocketpark_pestadel.html)

<sup>32</sup> <https://www.bonn.de/pressemitteilungen/mai-2022/klimaanpassung-im-kleinformat-pocket-park-in-duisdorf-neugestaltet.php>

<sup>33</sup> <https://www.duesseldorf.de/aktuelles/news/detailansicht/newsdetail/pocketpark-stadt-macht-aus-schotter-parkplatz-ein-quartierswaeldchen>

<sup>34</sup> <https://umwelt.jena.de/de/gruene-klimaoasen>

Tabelle 25: Empfehlungen allgemeiner stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Jena.

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM		
<p><b>01 Innen-/Hinterhofbegrünung</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhung des Vegetationsanteils und der Versickerungsfähigkeit des Bodens</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts</li> <li>Erhöhung der Aufenthaltsqualität</li> <li>Regenwasserversickerung und Schaffung von Lebensräumen für Flora und Fauna. (Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Biodiversität)</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Innen- und Hinterhöfe</li> </ul>	
<p><b>02 Öffentliche Grünräume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaffen</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts</li> <li>Vernetzung von Grünflächen und damit Synergien zum Mobilitäts-/Radwegenetz</li> <li>Regenwasserversickerung (Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Biodiversität)</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)</li> </ul>	

Bild: Verschatteter Innenhof des HKI am Beutenberg Campus (Quelle: Stadt Jena)

Bild: Pocket Park in der Ludwig-Weimar-Gasse (Quelle: © Matthias Eimer)

**MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM**

<b>03</b>	<b>Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten</b>	<b>Kurzerläuterung</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Helle Farben (insbesondere von Dächern) zur Erhöhung der Reflexstrahlung/ Verminderung der Absorption und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern</li> </ul>

<b>Wirkung</b>	<b>Räumliche Umsetzung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dächer, Fassaden (Neubau und Bestand)</li> <li>▪ ggf. Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze</li> </ul>



Bild: Helle reflektierende Fassade in der Leo-Sachse-Straße (Quelle: Stadt Jena)

<b>04</b>	<b>Entsiegelung / Versiegelungsanteil minimieren</b>	<b>Kurzerläuterung</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rasen- oder Pflanzflächen oder Teilentsiegelung (Rasengittersteine etc.)</li> <li>▪ niedrige Anzahl oberirdischer Stellplätze zugunsten von Grünflächen</li> </ul>

<b>Wirkung</b>	<b>Räumliche Umsetzung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und insb. nachts</li> <li>▪ Niederschlagsrückhalt und dadurch Synergien zum Niederschlagswassersmanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe</li> </ul>

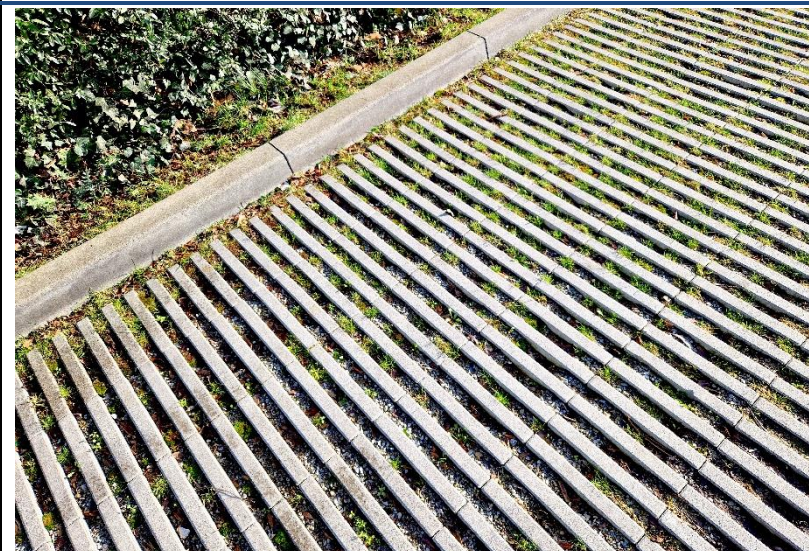


Bild: Wasserdurchlässiger Oberflächenbelag für Stellplätze (Quelle: Stadt Jena)

**MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM**

**05  
Klimaangepasste und  
zukunftsgerichtete  
Verkehrsraumgestaltung  
vorantreiben**

**Kurzerläuterung**

- Blaue und/oder grüne Maßnahmen für den Verkehrsraum
- Erhöhung des Vegetationsanteils im Verkehrsraum (Bäume, Alleen, Begleitgrün, Rasengitter, etc.)
- Schaffung von offenen Wasserflächen (z.B. Brunnenanlagen auf Plätzen)
- Im Innenstadtbereich: Teilverschattete Fußgängerzonen etablieren und Parkplatzangebot zugunsten von (baumbestandenen) Grünflächen minimieren
- s. auch Forschungsprojekt „BlueGreenStreets: Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere“



**Wirkung**

- Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber bei Pflanzung neuer Bäume durch Verschattung, bei Entsigelung durch Verdunstung und lokale Kaltluftentstehung
- Regenwasserversickerung und -rückhalt. Dadurch Synergien zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Überflutungsvorsorge (Entlastung des Kanalnetzes bei Starkregen, Grundwasserneubildung, Verdunstungskühlleistung) und zur Biodiversität



**Räumliche Umsetzung**

- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze



Bilder: Sankt Kjelds Square in Kopenhagen (Quelle: © Mikkel Eye, SLA)

**MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM**

<p><b>06</b></p> <p><b>Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung, Sonnensegel, auch Gebäude selbst können durch kluge Positionierung verschatten)</li> <li>▪ Möblierungsangebote im Schatten schaffen</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei Einsatz von Vegetation) insb. tagsüber und nachts</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude im Wohn- und Arbeitsumfeld</li> </ul>	<p>Bild: Verschatteter Straßenraum am Teichgraben (Quelle: Stadt Jena)</p>
<p><b>07</b></p> <p><b>Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mikroklimatische Vielfalt von Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts</li> <li>▪ Regenwasserversickerung und Schaffung von Lebensräumen für Flora und Fauna. Dadurch Synergien zur Biodiversität</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grün- und Freiflächen</li> <li>▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze</li> </ul>	<p>Bild: Neu gestaltete „Urbane Klimaoase“ an der Schützenhofstraße (Quelle: © Christian Haecker)</p>

**MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM**

<p><b>08</b></p> <p><b>Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schutz von Parks, Grün- und Waldflächen aufgrund ihrer Bedeutung für das Stadtklima und vieler weiterer Funktionen (siehe unten)</li> </ul>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bedeutung für den städtischen Kaltlufthaushalt, da durch Kaltluftproduktion und -transport die Abkühlung benachbarter Siedlungsbereiche unterstützt wird</li> <li>▪ Regenwasserversickerung und -rückhalt. Synergien zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, Überflutungsvorsorge, Erholung und Biodiversität.</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)</li> </ul>



Bild: Wenigenjenaer Ufer (Quelle: © Sebastian Reuter)

<p><b>09</b></p> <p><b>Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Stillgewässer und sonstiger Wasserflächen</li> <li>▪ Rauigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird</li> </ul>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) -&gt; Hohe Aufenthaltsqualität</li> <li>▪ Oberflächennahe Temperatur kann nachts oberhalb der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässer</li> <li>▪ Grün- und Freiflächen</li> </ul>

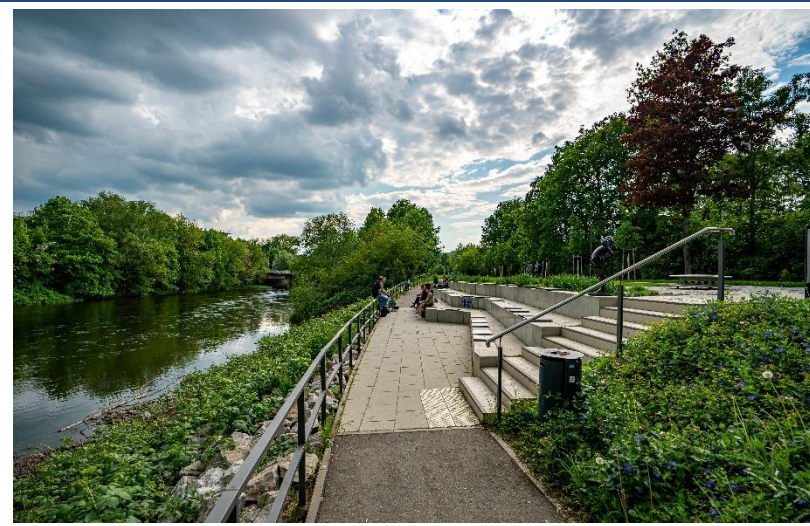


Bild: Lacheterrasse auf der Landfeste (Quelle: © Christian Haecker)

## MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

<p><b>10</b></p> <p><b>Regenwasserversickerung, -speicherung und Bewässerungssysteme</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schaffung wasserdurchlässiger Beläge durch (Teil-)Entsiegelung in Kombination mit der Etablierung von Regenwasserteichen, Versickerungsmulden und Rigolensystemen</li> </ul>	 <p>Bild: Regenwasserretention am Beutenberg Campus (Quelle: Stadt Jena)</p>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber durch Verdunstung</li> <li>▪ Regenwasserversickerung und -rückhalt und damit Synergien zur gezielten Wasserspeicherung und Bewässerung von Stadtgrün sowie zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grün- und Freiflächen</li> <li>▪ Straßen, Wege, Plätze</li> </ul>	
<p><b>11</b></p> <p><b>(Temporäre) Saisonale klimaanangepasste Umgestaltung öffentlicher Räume</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umwandlung hochgradig versiegelter Innenstadtplätze im Sommer durch Etablierung von Rollrasen, Strauchgewächsen und Kübelbäumen zu städtischen Klimaoasen</li> <li>▪ Gesellschaftlicher Dialog zum Stadtklima-Thema; Sichtbar- und Erlebbarmachung nachhaltiger Ideen und Projekte (s. auch Projekt „Pop-Up-Innenstadt“ in Ludwigsburg)</li> </ul>	 <p>Bild: Temporäres Grün – Parklet in der Sophienstraße (Quelle: Stadt Jena)</p>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftentstehung</li> <li>▪ Gesellschaftliche Etablierung des Themas Klima und Dialogmöglichkeit mit den Anwohnern</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plätze, Brachflächen (auch als Übergangslösung bis langfristige Flächenentwicklung bzw. -entsiegelung erfolgt)</li> </ul>	

**MAßNAHMENCLUSTER II: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG**

<p><b>12 Optimierung des großskaligen Kaltlufttransports, von Strömung und Durchlüftung</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)</li> <li>Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klima-ökologische Belange anpassen</li> </ul>
---	--

<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung</li> <li>Reduktion des Wärmestaus</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Neubau, Gebäudekomplexe</li> <li>Grün- und Freiflächen</li> <li>Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze</li> </ul>
--	---

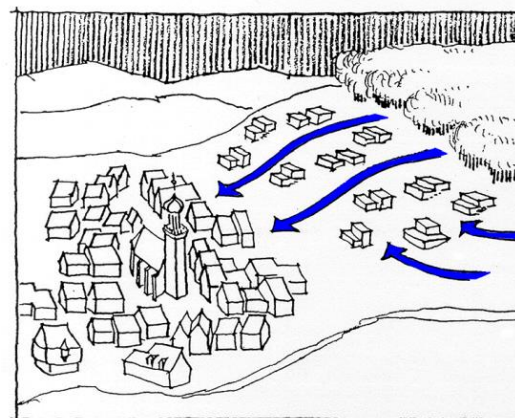


Bild: Gut durchströmbare Gebäude am Hang.  
Quelle: Klimafibel Stuttgart (<https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/?p=73&p2=6.2.4>)

<p><b>13 Optimierung der Gebäude-typologie und -stellung für kleinskaligen Luftaustausch</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeanordnung parallel oder geöffnet zu anliegenden Grün- und Parkanlagen.</li> <li>Durchfahrten oder -gänge und allgemein wenig überbaute Fläche halten das kleinskalige Strömungsgeschehen auch für nahe Bestandsquartiere aufrecht</li> </ul>
--	--

<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz kleinerer, innerstädtischer Luftaustauschsysteme</li> <li>Synergie zum Thermischen Wohlbefinden: Verschattung anliegender Straßen und Plätze durch durchdachte Baukörperstellung</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Neubau im Umfeld bestehender Grünflächen oder Parks</li> </ul>
---	---

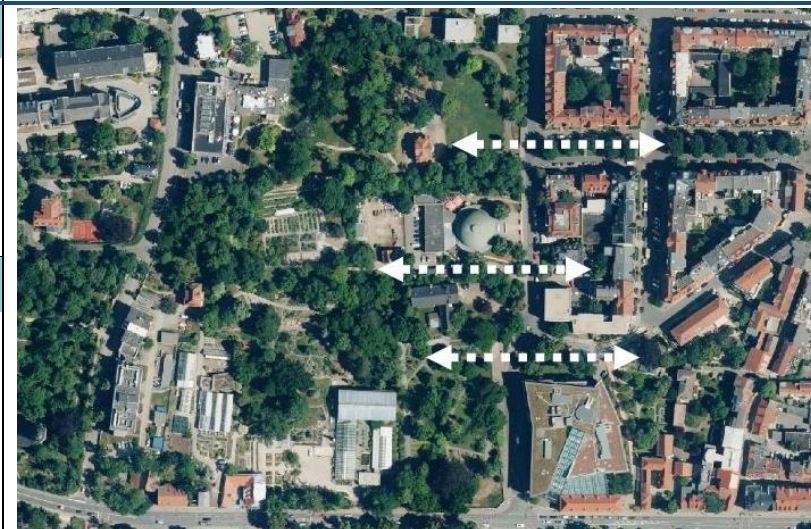




Bild: Kleinräumige Vernetzung und Luftaustausch am Botanischen Garten und Griesbachgarten (Quelle: Stadt Jena, Luftbild © GDI-Th dl-de/by-2-0)

## MAßNAHMENCLUSTER II: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

<p><b>14 Entdichtung (Rückbau)</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts</li> <li>▪ Verbesserung der Durchlüftung</li> <li>▪ Synergien zum Niederschlagswassermanagement</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gebäude(-teile), z.B. in Blockinnenhöfen</li> <li>▪ Nebengebäude</li> <li>▪ Garagen</li> <li>▪ Lagerhallen</li> <li>▪ ggf. Industrie- und Gewerbebrachen</li> <li>▪ Bahnanlagen</li> </ul>	
<p>Bild: Blockinnenhöfe mit unterschiedlich dichter Bebauung, Versiegelung und Grünanteil im Damenviertel (Quelle: Stadt Jena, Luftbild © GDI-Th dl-de/by-2-0)</p>		
<p><b>15 Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, extensives Grünland, Felder, Kleingärten und Parklandschaften, die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben</li> <li>▪ Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft</li> </ul>	
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schutz vor stärkerer Überwärmung</li> <li>▪ Erhalt und Ausbau von Kaltluftentstehungsgebieten und Durchlüftung</li> <li>▪ Synergien zur Biodiversität und zur Aufenthaltsqualität am Tage</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grün- und Freiflächen</li> </ul>	
<p>Bild: Schrägluftbild mit Blick auf den Friedensberg von Westen (Quelle: © Hajo Dietz, Nürnberg Luftbild)</p>		

## MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

### 16 Dachbegrünung

#### Kurzerläuterung

- Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)

#### Wirkung

- Verdunstungskühlung
- Verbesserung des Innenraumklimas: Thermische Regulierung durch Gründächer (wärmedämmend im Winter, geringere Aufheizung im Sommer)
- Synergien zum Klimaschutz, da Gründachaufbau isolierend, ähnlich einer Dämmung, wirkt, somit Einsparung technischer Gebäudekühlung /-heizung
- Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich
- Schaffung von Ersatzlebensraum und damit Synergien zur Biodiversität
- Regenwasserrückhalt und damit Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung

#### Räumliche Umsetzung

- Flachdächer
- ggf. flach geneigte Dächer
- Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen), siehe Lübecker Gründachpotentialkataster
- Bewässerung muss sichergestellt werden.



Bild: Extensive Dachbegrünung auf Garagen (Quelle: Stadt Jena)



Bild: Gründach in Kunitz, Preisträger „Grüne Oasen“ 2016 (Quelle: Stadt Jena)

**MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM**

<p><b>17 Fassadenbegrünung</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)</li> </ul>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas -&gt; Steigerung der Aufenthaltsqualität</li> <li>▪ Synergien zur Biodiversität sowie zu Lärm- und Gebäudeschutz</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)</li> </ul>
<p><b>18 Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, benachbarte Gebäude, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie</li> </ul>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei vorhandener Vegetation) tagsüber und nachts -&gt; Erhöhung der Aufenthaltsqualität</li> <li>▪ Verbesserung des Innenraumklimas</li> <li>▪ Synergien zum Klimaschutz</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bestandsgebäude</li> <li>▪ Neubauten sind entsprechend § 14 GEG mit einem ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz zu errichten (rechnerischer Nachweis erforderlich)</li> </ul>



Bild: Fassadenbegrünung im Gewerbegebiet Am Felsbach (Quelle: Stadt Jena)



Bild: Bewegliche Glaslamellen am Fraunhofer Institut Jena (Quelle: Stadt Jena)

**MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM**

19	<b>Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen</b>	<b>Kurzerläuterung</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dämmung von Gebäuden, helle Farbgebung (Erhöhung des Albedo-Wertes), geeignete Raumlüftung, Nutzung von Prozessabwärme</li> </ul>

<b>Wirkung</b>	<b>Räumliche Umsetzung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ in erster Linie Klimaschutzmaßnahme durch Reduktion des Energiebedarfs</li> <li>▪ Verbesserung des Innenraumklimas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gebäude (Bestand)</li> </ul>



Bild: Symbolbild Energetische Sanierung (Quelle: © ginasanders/123RF.com)

20	<b>Technische Gebäudekühlung</b>	<b>Kurzerläuterung</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Möglichst ressourcenschonende Lösung</li> <li>▪ Adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird</li> <li>▪ Erdkältenutzung</li> <li>▪ Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder Abwärme angetrieben werden</li> </ul>

<b>Wirkung</b>	<b>Räumliche Umsetzung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kühlung des Innenraums von Gebäuden durch eine möglichst nachhaltige Gebäudeklimatisierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gebäude, in denen passive Maßnahmen zur Klimatisierung nicht ausreichend angewendet werden können (siehe Maßnahmencluster Nr. 21)</li> </ul>

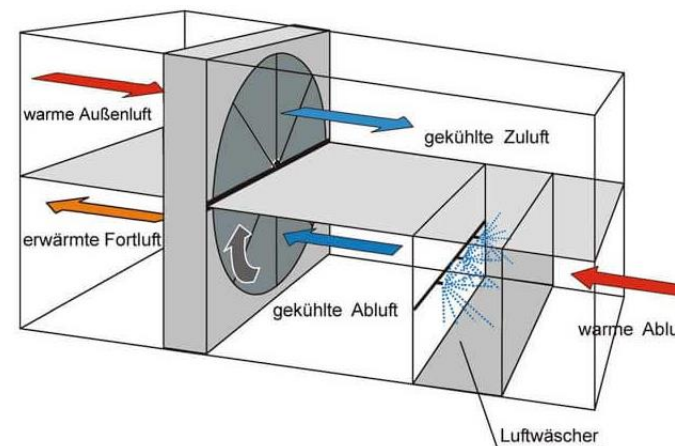


Bild: Schematische Darstellung der adiabaten Abluftkühlung (Quelle: Deutsches Architektenblatt: <https://www.dabonline.de/2012/06/01/coole-sache/>)

**MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM**

<p><b>21</b></p> <p><b>Anpassung des Raumnutzungskonzeptes</b></p>	<p><b>Kurzerläuterung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Optimierung der Gebäudegeometrie und -ausrichtung sowie der Orientierung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden oder Westen ausrichten (z.B. Schlaf- und Arbeitsräume oder von Risikogruppen genutzte Zimmer, z.B. in Pflegeeinrichtungen)</li> </ul>
<p><b>Wirkung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen)</li> </ul>	<p><b>Räumliche Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (z.B. Erziehungseinrichtungen, Betreutes Wohnen oder in der Altenpflege)</li> <li>▪ vorwiegend im Neubau umsetzbar</li> </ul>



Bild: Aufnahme eines nach West ausgerichteten Büroraums.  
(Quelle: © Gregor Meusel, GEO-NET)

## 8.6 STADTKLIMAMANAGEMENTSYSTEM

Das Stadtklimamanagementsystem ist die digitale Version der Stadtklimaanalyse. Es beinhaltet sämtliche Produkte inkl. deren (Meta-)Daten und steht der Stadtverwaltung Jena in Form von gelayouteten GIS-Projekten (QGIS 3.28.7) zur Verfügung.

Das Stadtklimamanagementsystem bietet gegenüber den reinen Kartendarstellungen (als Plot, PDF oder Bild-datei) einige Vorteile:

- Die komplexen flächenbezogenen Informationen können über einige Mausklicks direkt abgerufen werden.
- Die Informationen können mit weiteren Daten (z.B. neuen Entwicklungsvorhaben) überlagert und über Geodatenverarbeitungsprozesse miteinander verknüpft werden.
- Einige Informationen können bei Verfügbarkeit von Aktualisierungen direkt ersetzt werden (z.B. demographische Daten zur Bevölkerungsdichte).

Kernelemente des Stadtklimamanagementsystems sind folgende Kartenprojekte (siehe Anhang 10.4):

- die digitale **Planungshinweiskarte**,
- die **Bewertungskarten** für die Tag- und Nachtsituation in 3 Szenarien,
- die **Klimaanalysekarten** für die Tag- und Nachtsituation in 3 Szenarien und
- die **Klimaparameter** aus dem FITNAH-Modell.

Folgende QGIS-Projekte und Ordner sind im Rahmen des Stadtklimakonzeptes entstanden und wurden an die Stadt Jena übergeben (siehe Abbildung 75).

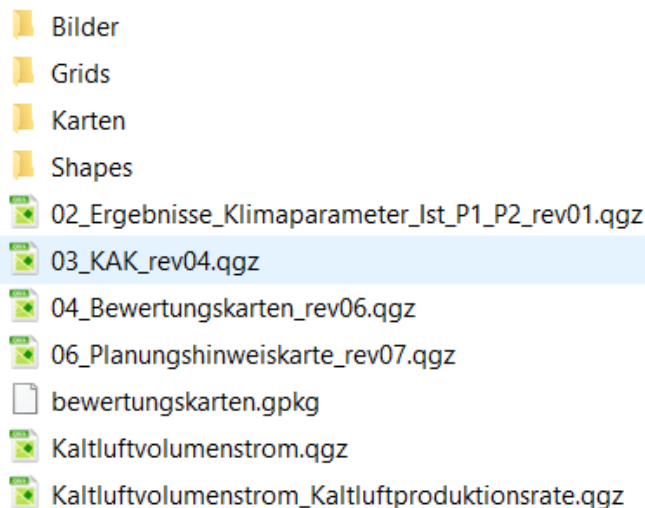


Abbildung 75: Übersicht der QGIS-Projekte und Datenordner.

Die flächenhaften Darstellungen basieren für die Bewertungs- und die Planungshinweiskarte auf der **Basisgeometrie**, in der alle relevanten Informationen zu jeder der knapp 5.200 Teilflächen enthalten sind. Insgesamt umfasst das Basisgeometrie-Shape mehr als 70 Einzelinformationen zur Flächennutzung für Status Quo und das Zukunftsszenario P2, die Ergebnisse der Modellrechnungen (u.a. Wind- und Temperaturdaten) für den Status Quo und die zwei Szenarien P1 und P2, die Bewertungsstufen aus den Bewertungskarten, die

Handlungsprioritäten der Planungshinweiskarte sowie sonstige Sachdaten, wie z.B. Flächengröße oder Flurstücksnummer (siehe Tabelle 28 für den gesamten Metadatensatz im Anhang 10.3).

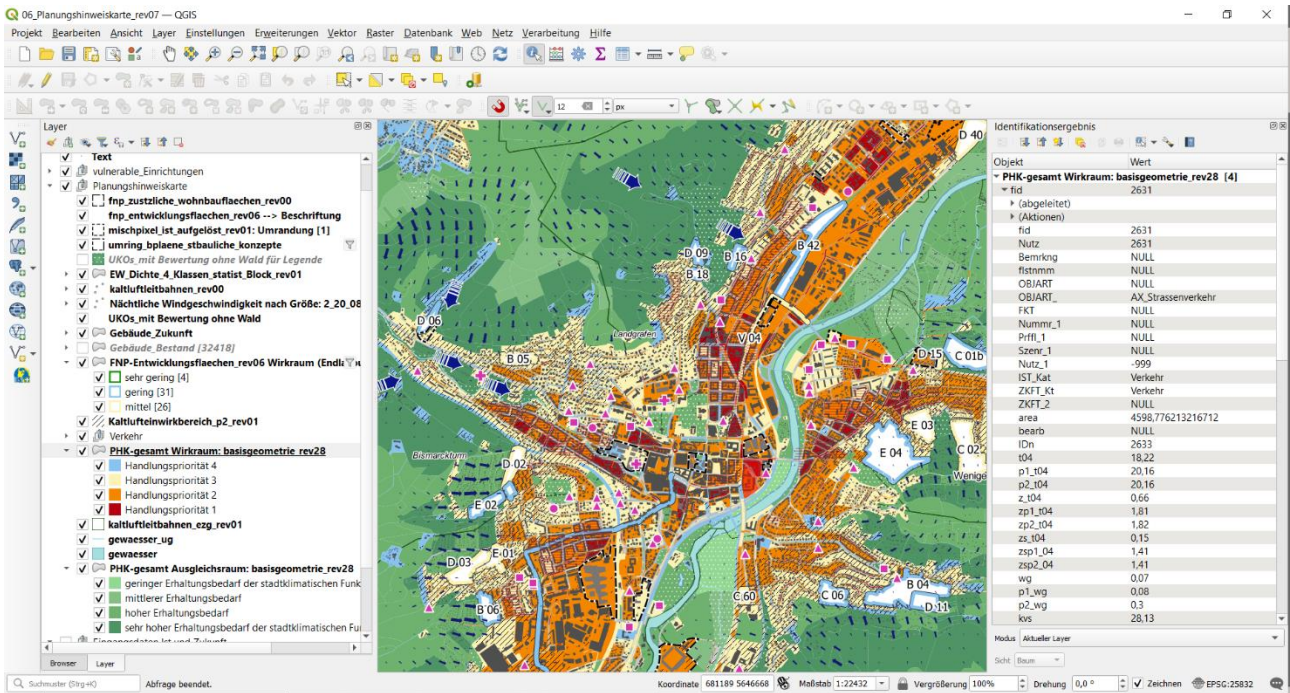


Abbildung 76: QGIS-Projekt für die Planungshinweiskarte mit Auszug aus der Basisgeometrie (rechts).

## 9. LITERATURVERZEICHNIS

- Beck, Christoph; Fritsch, Marisa; Linder, Marco; Völkel, Johanna; Beckmann, Sabrina; Hiete, Michael et al. (2020): Indoor and outdoor ambient air temperatures during summer 2019 in Augsburg, Germany.
- Boden, T.; Andres, R.; Marland, G. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions (1751 - 2014) (V. 2017) (Environmental System Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem (ESS-DIVE) (United States), osti:1389331; doi:10.3334/CDIAC/00001\_V2017; cdiac:doi 10.3334/CDIAC/00001\_V2017). Online verfügbar unter <https://www.osti.gov/biblio/1389331>.
- Bundesministerium der Justiz (12.08.2004): Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung). ArbStättV. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/arb-st\\_ttv\\_2004/BJNR217910004.html](https://www.gesetze-im-internet.de/arb-st_ttv_2004/BJNR217910004.html), zuletzt geprüft am 04.01.2024.
- CAISSIE, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. In: *Freshwater Biol* 51 (8), S. 1389–1406. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x.
- der Heiden, Matthias an; Muthers, Stefan; Niemann, Hildegard; Buchholz, Udo; Grabenhenrich, Linus; Matzarakis, Andreas (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 62 (5), S. 571–579. DOI: 10.1007/s00103-019-02932-y.
- DWD: Climate Data Center (CDC). Beobachtungsdaten und Grids. Online verfügbar unter [https://open-data.dwd.de/climate\\_environment/CDC/](https://open-data.dwd.de/climate_environment/CDC/), zuletzt geprüft am 05.01.2023.
- DWD (2024): Wetterlexikon. Klima. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101334&lv3=101462>, zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- ISO 7243:2017, 08/2017: Ergonomics of the thermal environment Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index, zuletzt geprüft am 05.01.2024.
- Fanger, P. O. (1970): *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.
- Fürst, Dietrich; Scholles, Frank (Hg.) (2008): *Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung*. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn.
- Gaede, Michael; Härtling, Joachim W. (2010): *Umweltbewertung und Umweltprüfung*. Dr. A 1. Braunschweig: Westermann (Das geographische Seminar).
- Giorgi, F.; Jones, C.; Asrar, G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. Online verfügbar unter [https://cordex.org/wp-content/uploads/2012/11/cordex\\_giorgi\\_wmo-1.pdf](https://cordex.org/wp-content/uploads/2012/11/cordex_giorgi_wmo-1.pdf), zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Gross, G. (1987): Effects of deforestation on local climate and nocturnal drainage flow.
- Gross, G. (2012a): Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing. In: *metz* 21 (2), S. 173–181. DOI: 10.1127/0941-2948/2012/0291.
- Gross, G. (2017): Some effects of water bodies on the n environment–numerical experiments. In: *Journal of Heat Island Institute International*. Online verfügbar unter [https://www.heat-island.jp/web\\_journal/JGM8SpecialIssue/2-1\\_gross.pdf](https://www.heat-island.jp/web_journal/JGM8SpecialIssue/2-1_gross.pdf), zuletzt geprüft am 27.09.2024.

- Gross, G.; and Frey, T.; Trute, P. (2002): On the applicability of numerical models for calculating local winds in complex terrain; Die Anwendung numerischer Simulationsmodelle zur Berechnung der lokalen Windverhaeltnisse in komplexem Gelaende. In: *DEWI-Magazin* (20). DOI: winds.
- Gross, Günter (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. In: *Beitr. Phys. Atmosph.* (62), S. 57–72.
- Gross, Günter (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. In: *Fluid Dyn. Res.* 10 (4-6), S. 483–498. DOI: 10.1016/0169-5983(92)90035-U.
- Gross, Günter (1993): Air Flow Around and Through Individual Trees. In: D. Barsch, I. Douglas, F. Joly, M. Marcus, B. Messerli und Günter Groß (Hg.): *Numerical Simulation of Canopy Flows*, Bd. 12. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer Series in Physical Environment), S. 34–91.
- Gross, Günter (2012b): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. In: *metz* 21 (4), S. 399–412. DOI: 10.1127/0941-2948/2012/0363.
- Gross, Günter (2014): On the Parametrization of Urban Land Use in Mesoscale Models. In: *Boundary-Layer Meteorol* 150 (2), S. 319–326. DOI: 10.1007/s10546-013-9863-5.
- Gross, Günter (2016): Dispersion of traffic exhausts emitted from a stationary line source versus individual moving cars – a numerical comparison. In: *metz* 25 (4), S. 479–487. DOI: 10.1127/metz/2016/0797.
- Gross, Günter (2021a): A numerical study on the effects of natural ventilation on summer nighttime indoor temperatures in an urban area. In: *metz* 30 (3), S. 227–236. DOI: 10.1127/metz/2021/1066.
- Gross, Günter (2021b): On the importance of a viscous surface layer to describe the lower boundary condition for temperature. In: *metz* 30 (3), S. 271–278. DOI: 10.1127/metz/2021/1073.
- HLNUG (Hg.) (2022): *Interaktive Entscheidungshilfe – Checklisten und Einführung in Methoden der Stadtklimaanalyse*. Unter Mitarbeit von Infrastruktur & Umwelt, Professor Böhm und Partner. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Fachzentrum Klimawandel und Anpassung. Online verfügbar unter [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/Handlungshilfen/Interaktive\\_Entscheidungshilfe\\_Stadtklimaanalysen.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/Handlungshilfen/Interaktive_Entscheidungshilfe_Stadtklimaanalysen.pdf), zuletzt geprüft am 01.10.2024.
- Hoffmann, Kristin; Bivour, Wolfgang; Früh, Barbara; Koßmann, Meinolf; Voß, Peter-Hinrich (2014): *Klimauntersuchungen in Jena für die Anpassung an den Klimawandel und seine erwarteten Folgen*. Ein Ergebnisbericht. Hg. v. DWD. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main (Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 243). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2014081210079>, zuletzt geprüft am 29.11.2023.
- Hübener, Heike; Spekat, Arne; Bülow, Katharina; Früh, Barbara; Keuler, Klaus; Menz, Christoph et al. (2017): *ReKliEs-De Nutzerhandbuch*. Online verfügbar unter <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmp/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- IPCC (Hg.) (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, zuletzt geprüft am 16.10.2024.
- Jacob, Daniela; Petersen, Juliane; Eggert, Bastian; Alias, Antoinette; Christensen, Ole Bøssing; Bouwer, Laurens M. et al. (2014): Erratum to: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections

- for European impact research. In: *Reg Environ Change* 14 (2), S. 579–581. DOI: 10.1007/s10113-014-0587-y.
- Jendritzky, Gerd (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Hannover: ARL (Beiträge, 114).
- Jendritzky, Gerd (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Wilfried Endlicher und Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe (Hg.): Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke: Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut, S. 108–118. Online verfügbar unter <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/2633/108.pdf?sequence=1>, zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Kaspar, Frank; Mächel, Hermann; Jacob, Daniela; Kottmeier, Christoph (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Susanne Schuck-Zöllner, Daniela Jacob und Guy P. Brasseur (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 17–26. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3_3).
- Klimanavigator (2017): Die RCP-Szenarien für den aktuellen 5. IPCC-Sachstandsbericht. Online verfügbar unter <https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/012038/index.php>, zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Kosow, Hannah; Gaßner, Robert (2008): Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. Berlin: IZT (Werkstattbericht / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, 103). Online verfügbar unter [https://www.izt.de/media/2022/10/IZT\\_WB103.pdf](https://www.izt.de/media/2022/10/IZT_WB103.pdf), zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Kuttler, Wilhelm (2013): Klimatologie. 2., aktualisierte und erg. Aufl. Paderborn: Schöningh (utb-studi-e-book, 3099). Online verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838540597>.
- Laurent, C.; Guillermo, J.; Williams, A.; Oulhote, Y.; Zanobetti, A.; Allen, J. G.; Spengler, J. D. (2018): Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. In: *PLoS medicine* 15 (7), e1002605. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002605.
- Linke, C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamolldaten des Bund-Länder-Fachgespräches. Bund Länder Fachgespräch "Interpretation regionaler Klimamolldaten". Potsdam.
- Matzarakis, Andreas; Mayer, H.; Iziomon, M. G. (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. In: *International Journal of Biometeorology* 43 (2), S. 76–84. DOI: 10.1007/s004840050119.
- Mayer, H.; Höpfe, P. (1987): Thermal comfort of man in different urban environments. In: *Theor Appl Climatol* 38 (1), S. 43–49. DOI: 10.1007/BF00866252.
- Moore, G. E. (1903): Principia Ethica: Cambridge University Press.
- Oke, Timothy R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J. A. (2017): Urban climates. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piani, C.; Haerter, J. O.; Coppola, E. (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. In: *Theor Appl Climatol* 99 (1-2), S. 187–192. DOI: 10.1007/s00704-009-0134-9.

- Sandholz, S., Sett, D. (2019): Erfahrungen und Bedarfe von Akteuren der Stadtplanung im Hinblick auf Vulnerabilität gegenüber Hitzestress: Ergebnisse einer Haushalts-Umfrage zum ... Bonn (collections.unu.edu). Online verfügbar unter [http://collections.unu.edu/eserv/UNU:7510/ZURES\\_workingpaper2\\_ErgebnisseHHUmfrage\\_UNU-EHS-1.pdf](http://collections.unu.edu/eserv/UNU:7510/ZURES_workingpaper2_ErgebnisseHHUmfrage_UNU-EHS-1.pdf), zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Schär, Christoph; Frei, Christoph; Lüthi, Daniel; Davies, Huw C. (1996): Surrogate climate-change scenarios for regional climate models. In: *Geophysical Research Letters* 23 (6), S. 669–672. DOI: 10.1029/96GL00265.
- Stachowiak (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer Verlag.
- Themeßl, M. J.; Gobiet, A.; Leuprecht, A. (2011): Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. In: *Int. J. Climatol.* 31 (10), S. 1530–1544. DOI: 10.1002/joc.2168.
- THINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena. ExWoSt-Modellprojekt. Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS. Unter Mitarbeit von U. Kurmutz, M. Gude, J. Maercker, D. Knopf und S. Knetsch. Jena (Schriften zur Stadtentwicklung, 3). Online verfügbar unter [https://jenkas.de/sites/default/files/2020-08/JenKAS-Handbuch\\_einer\\_klimawandelgerechten\\_Stadtentwicklung\\_Web.pdf](https://jenkas.de/sites/default/files/2020-08/JenKAS-Handbuch_einer_klimawandelgerechten_Stadtentwicklung_Web.pdf), zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- Urban, Herwig; Steininger, Karl W. (2015): Manufacturing and Trade: Labour Productivity Losses. In: Steininger, K., König, M., Bednar-Friedl, B., Kranzl, L., Loibl, W., Prettenhaler, F. (eds) *Economic Evaluation of Climate Change Impacts*. Springer Climate. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12457-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12457-5_16), zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- VDI 3783, Blatt 7 (05/2017): Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder. VDI 3783/7. Fundstelle: Beuth Verlag.
- VDI 3785, Blatt 1 (12/2008a): Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.
- VDI 3785, Blatt 1 (12/2008b): Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima 2008.
- VDI 3787, Blatt 1 (09/2015): Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.
- VDI 3787, Blatt 2 (11/2008): Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. Fundstelle: VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi\\_3787\\_blat\\_2-umweltmeteorologie\\_methoden\\_zur\\_human\\_biometeorologischen\\_bewertung\\_von\\_klima\\_und\\_lufthy\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3787_blat_2-umweltmeteorologie_methoden_zur_human_biometeorologischen_bewertung_von_klima_und_lufthy_/), zuletzt geprüft am 23.10.2020.
- VDI 3787, Blatt 5 (Entwurf 03/2024): Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft 2003.
- VDI 3787, Blatt 8 (09/2020): Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel.
- VDI 3787, Blatt 9 (12/2004): Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen.
- Wilms, F. E. P. (2006): Szenarien sind Systeme. Arbeitsbericht Prozess- und Produkt-Engineering: Arbeitsbericht Prozess- und Produktengineering: Methoden. Online verfügbar unter <https://www.acade->

nia.edu/20427866/Szenarien\_sind\_Systeme\_Working\_Paper\_des\_Forschungszentrums\_f%C3%BCr\_Prozess\_und\_Produkt\_Engineering\_2006\_13\_Dornbirn\_2006, zuletzt geprüft am 27.09.2024.

WMO (1996): Climatological normals (CLINO) for the period 1961 - 1990. Normales climatologiques (CLINO) pour la période 1961 - 1990. Geneva (WMO, 847).

# 10. Anhang

## 10.1 BEST PRACTICE BEISPIELE FÜR DIE UMSETZUNG VON KLIMAANPASSUNGSMÄßNAHMEN

Tabelle 26: Best Practice Beispiele aus verschiedenen Städten für die Umsetzung von stadtklimatischen (Anpassungs-)Belangen.

Quelle: Eigene Recherche (kein Anspruch auf Vollständigkeit)

Stadt	Was?	Wie?
<b>Zürich</b>	Klimagerechtes Bauen wird bereits in Ausschreibungen für Bauprojekte und Architekturwettbewerbe gefordert. Als Grundlage dienen dafür Strategien und Konzepte. Es wird versucht, die gesetzlichen Vorgaben im Planungs- und Baugesetz und des Richtplanes des Kantons Zürichs anzupassen, um hitzemindernde Maßnahmen rechtlich zu verankern. Stadtklimatische Anliegen wurden in den behördenverbindlichen kommunalen Richtplänen Siedlung, Landschaft, öffentliche Bauten und Anlagen und Verkehr verankert.	Beratungsangebote und Förderprogramme <a href="https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/klimaanpassung/hitze/massnahmen-hitzeminderung.html">https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/klimaanpassung/hitze/massnahmen-hitzeminderung.html</a> Stadtratsbeschluss zur Maßnahmenumsetzung aus der Umsetzungsagenda 2020 bis 2023 in den Dienstabteilungen. Gesetzliche Vorgaben Behördeninstrumente Strategien, Konzepte Beratung, Förderprogramme
<b>Aachen</b>	Grün- und Gestaltungssatzung mit Vorgaben zur Bepflanzung von Dächern, Stellplatzanlagen und gewerblichen Lagerplätzen (alle Flachdächer ab einer Größe von 200 m <sup>2</sup> müssen dauerhaft zu 60% begrünt werden; alle Dachflächen von Tiefgaragen ab 200m <sup>2</sup> müssen als Freiflächen nutzbar sein und intensiv begrünt werden (mind. 60%); pro 200 m <sup>2</sup> Stellplatzanlage ist ein Baum mit einem Mindeststammumfang von 18-20cm innerhalb der Stellplatzanlage zu pflanzen; alle gewerblich genutzten Lager- und Ausstellungsflächen sind durch eine Hecke zu umgeben)	Satzung der Stadt Aachen <a href="https://www.aachen.de/DE/stadt_buerger/politik_verwaltung/pdfs_oeffentliche_bekanntmachungen/archiv-bis-dez-2017/FB-36-Gruen--und-Gestaltungssatzung.pdf">https://www.aachen.de/DE/stadt_buerger/politik_verwaltung/pdfs_oeffentliche_bekanntmachungen/archiv-bis-dez-2017/FB-36-Gruen--und-Gestaltungssatzung.pdf</a>
<b>Mannheim</b>	Finanzielle Förderung für Dach- und Fassadenbegrünung sowie Entsiegelungsmaßnahmen	Begrünungsförderrichtlinie <a href="https://api.klima-ma.de/api/subsidy-downloads/220601-forderrichtlinie-begrueung.pdf">https://api.klima-ma.de/api/subsidy-downloads/220601-forderrichtlinie-begrueung.pdf</a>
<b>Freiburg im Breisgau</b>	Finanzielle Förderung und Beratungsangebot für Dach- und Fassadenbegrünung sowie Entsiegelungsmaßnahmen	GebäudeGrün hoch <sup>3</sup> – Förderrichtlinie <a href="https://www.freiburg.de/pb/1700720.html">https://www.freiburg.de/pb/1700720.html</a>
<b>Berlin</b>	Finanzielle Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung, Gesetzliche Vorschriften für Neubauprojekte zur Begrünung von Flachdächern größer 100m <sup>2</sup>	GründachPLUS – Förderrichtlinie <a href="https://www.berlin.de/sen/uvk/natur-und-gruen/stadt-gruen/gebäudegruen/gruendachplus/">https://www.berlin.de/sen/uvk/natur-und-gruen/stadt-gruen/gebäudegruen/gruendachplus/</a> 6. Änderung der Bauordnung <a href="https://www.berlin.de/rbmskz/aktuelles/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung.1369717.php">https://www.berlin.de/rbmskz/aktuelles/pressemitteilungen/2023/pressemitteilung.1369717.php</a>
<b>Bremen</b>	Finanzielle Förderung für Entsiegelungsmaßnahmen, Gesetzliche Vorschriften für Neubauprojekte zur Begrünung von Freiflächen (unbebaute Grundstücksflächen) und Flachdachflächen ab einer Größe von 100m <sup>2</sup>	Begrünungsortsgesetz Bremen <a href="https://www.transparenz.bremen.de/metainformationen/ortsgesetz-ueber-die-begrueung-von-freiflaechen-und-flachdachflaechen-in-der-stadtgemeinde-bremen-begrueungsortsgesetz-bremen-vom-28-maerz-2023-190867?asl=bremen203_tpge-setz.c.55340.de&amp;template=20_gp_ifg_meta_detail_d">https://www.transparenz.bremen.de/metainformationen/ortsgesetz-ueber-die-begrueung-von-freiflaechen-und-flachdachflaechen-in-der-stadtgemeinde-bremen-begrueungsortsgesetz-bremen-vom-28-maerz-2023-190867?asl=bremen203_tpge-setz.c.55340.de&amp;template=20_gp_ifg_meta_detail_d</a> Förderrichtlinie für die Gewährung von Zuschüssen bei der Entsiegelung <a href="https://www.bremer-umwelt-beratung.de/documents/foerder-rl-entsiegelung-2021_12_17_abl_nr_0284_1641205106.pdf">https://www.bremer-umwelt-beratung.de/documents/foerder-rl-entsiegelung-2021_12_17_abl_nr_0284_1641205106.pdf</a>
<b>Stuttgart</b>	Finanzielle Förderung von Dach-, Fassaden und Freiflächenbegrünung sowie der Anlage von artenreichen Blühflächen, Planungsrechtliche Zusatzfestsetzungen im BauGB für das Stadtgebiet: Begrünungsverpflichtung für Oberflächen von Unterbauungen Flachdächern und Stellplätzen	Planungsrechtliche Festsetzung <a href="https://www.stuttgart.de/medien/ibs/Stgt-284-Anlage-3-Text.pdf">https://www.stuttgart.de/medien/ibs/Stgt-284-Anlage-3-Text.pdf</a> Richtlinie Stuttgarter Grünprogramm <a href="https://www.stuttgart.de/medien/ibs/richtlinie-stuttgarter-gruenprogramm-mit-karte.pdf">https://www.stuttgart.de/medien/ibs/richtlinie-stuttgarter-gruenprogramm-mit-karte.pdf</a>

<p><b>München</b></p>	<p>Pflicht zur Begrünung von Flachdächern und vergleichbar geeigneten Dächern ab einer Gesamtfläche von 100m<sup>2</sup> (inkl. Garagen und Tiefgaragenzufahrten); Pflicht zur Begrünung von Stellplätzen und der Verwendung von wasserdurchlässigen Belägen (je ein Baum (20-25cm Stammdurchmesser) pro 5 Stellplätzen) Gesetzliche Festschreibung des sozial gerechten Klimaschutz (Klimastrategie) und der Klimaanpassung (Umsetzung hoher energetischer Gebäudestandards in Verbindung mit erneuerbaren Energien, Steigerung der Nutzung von Solarenergie, klimafreundliche Mobilität, Klimaanpassung durch grüne und blaue Infrastruktur, Schwammstadtprinzip, zirkuläre Wirtschaftskreisläufe, nachhaltige Lebensstile)</p> <p>Finanzielle Förderung für Begrünungsmaßnahmen (Dachbegrünung, Fassadenbegrünung) Entsiegelungsmaßnahmen oder der Gestaltung von naturnahen Firmengeländen</p>	<p>Gestaltungs- und Begrünungssatzung <a href="https://stadt.muenchen.de/rathaus/stadtrecht/vorschrift/924.pdf">https://stadt.muenchen.de/rathaus/stadtrecht/vorschrift/924.pdf</a> Satzung zur Umsetzung sozial gerechter Klimaziele <a href="https://stadt.muenchen.de/rathaus/stadtrecht/vorschrift/380.pdf">https://stadt.muenchen.de/rathaus/stadtrecht/vorschrift/380.pdf</a> mittels Finanzierung, Monitoring, Bildung und Fortbildung, einem Klimarat, Klimaschutzvereinbarungen mit privaten Unternehmen, Klimaschutzpreis Richtlinie Förderprogramm zur Begrünung <a href="https://stadt.muenchen.de/infos/foerderprogramm-priv-gruen.html">https://stadt.muenchen.de/infos/foerderprogramm-priv-gruen.html</a></p>
<p><b>Offenbach</b></p>	<p>Finanzielle Förderung für Entsiegelungsmaßnahmen</p>	<p>Entsiegelungsrichtlinie <a href="https://gruene-offenbach.de/2021/11/08/schwamm-stadt-offenbach-entsiegeln-statt-verdoerren-und-ueberschwemmen/">https://gruene-offenbach.de/2021/11/08/schwamm-stadt-offenbach-entsiegeln-statt-verdoerren-und-ueberschwemmen/</a></p>
<p><b>Bergkamen</b></p>	<p>Finanzielle Förderung für Entsiegelungs- und Rückbaumaßnahmen von Schottergärten und versiegelten Vorgartenflächen</p>	<p>Entsiegelungsrichtlinie <a href="https://www.bergkamen.de/files/bk/pdf/aktuelles/wirtschaft-bauen-verkehr-umwelt/entsiegelung-und-ruckbau-von-schottergarten_antragsformular-forderrichtlinie.pdf">https://www.bergkamen.de/files/bk/pdf/aktuelles/wirtschaft-bauen-verkehr-umwelt/entsiegelung-und-ruckbau-von-schottergarten_antragsformular-forderrichtlinie.pdf</a></p>
<p><b>Ettlingen</b></p>	<p>Finanzielle Förderung von Entsiegelungs- und Dachbegrünungsmaßnahmen</p>	<p>Förderrichtlinie Entsiegelungs- und Dachbegrünungsmaßnahmen <a href="https://www.ettlingen.de/site/Ettlingen-2021/get/documents_E561551267/ettlingen/Dokumente/Satzungen/B%2030%20-%20F%C3%B6rderrichtlinien%20Entsiegelungs-%20und%20Dachbegr%C3%BCnungsma%C3%9Fnahmen.pdf">https://www.ettlingen.de/site/Ettlingen-2021/get/documents_E561551267/ettlingen/Dokumente/Satzungen/B%2030%20-%20F%C3%B6rderrichtlinien%20Entsiegelungs-%20und%20Dachbegr%C3%BCnungsma%C3%9Fnahmen.pdf</a></p>
<p><b>Leipzig</b></p>	<p>Finanzielle Förderung für Gründächer (Höhe des Zuschlages richtete sich nach Gründachkategorie (Extensiv Gründach, Intensivgründach, Solargründach, Biodiversitätsgründach, Retentionsgründach) Finanzielle Förderung zur Erhaltung und Entwicklung der grün-blauen Infrastruktur (Parks, Grünanlagen, städtischer Baumbestand, Stadtwald, Spiel- und Naturerfahrungsräume, Gewässer) Gesetzliche Untersagung von Stein- und Schottergärten durch Vorgartensatzung Entwurf zur Begrünungssatzung enthält unter anderem folgende Regelungen: pro 150m<sup>2</sup> Freifläche ist mind. 1 Baum (18-20cm Stammumfang) gepflanzt werden; Decken von Tiefgaragen sollen künftig begrünt werden; auf mind. 10% der Freiflächen sind Sträucher zu pflanzen</p>	<p>Gründachförderrichtlinie <a href="https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/8-17">https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/8-17</a> Förderrichtlinie grün-blaue Infrastruktur <a href="https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/3-21">https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/3-21</a> Vorgartensatzung <a href="https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/6-07">https://www.leipzig.de/buergerservice-und-verwaltung/aemter-und-behoerdengaenge/satzungen/details/satzung/6-07</a> Entwurf Begrünungssatzung <a href="https://www.leipzig.de/news/news/mehr-gruen-in-der-stadt-neue-bausatzung-will-schottergaerten-den-kampf-ansagen">https://www.leipzig.de/news/news/mehr-gruen-in-der-stadt-neue-bausatzung-will-schottergaerten-den-kampf-ansagen</a></p>

## 10.2 ÜBERSICHT ZUR BEWERTUNG DER FNP-ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

(Grundlage: FNP-Vorentwurf vom 04.11.2022)

**B**-Flächen = laufende Bauleitplanverfahren

**C**-Flächen = Vorbehaltsflächen FNP 2006

**D**-Flächen = Vorbehaltsflächen FNP neu

**E**-Flächen = übergeleitete B-Pläne

**V**-Flächen = Verkehrsflächen

**Übersicht:** 69 Flächen, davon **55 Steckbriefe** und 14 Flächen ohne Steckbrief  
Die Steckbriefe stehen als separate **PDF-Dokumente zum Download** zur Verfügung.

Tabelle 27: FNP-Entwicklungsflächen, ihre Berücksichtigung im Stadtklimamodell und Ergebnisse der stadtklimatischen Verträglichkeit

Lfd. Nr.	Nr.	Bezeichnung der Entwicklungsfläche	Nutzung	Umweltprüfung i.R. des FNP (ja/nein)	Steckbrief	Modellansatz	Szenario		Ergebnis Szenario P2 (Tag-Nacht-Kombi)	Auswirkungen auf Nachbarbebauung	Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit
							Ist	Zukunft			
01	B 01	B-Is 10 „Überm Anger am Kapellendorfer Weg“, Isserstedt	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	hoch
02	B 02	B-Is 11 „Am Kapellendorfer Weg“, Isserstedt	gemischte BF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	hoch
03	B 03	B-J 39 „Bachstraße“	SO F+L	nein <sup>35</sup>	nein	Städtebauliches Konzept		x	<b>Modellergebnis in PHK</b>		
04	B 04	B-Zh 03 „An der Talschule“, Ziegenhain	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	hoch
05	B 05	B-J 31 „Dobenecker Straße“	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	sehr gering	mittel
06	B 06	B-J 30 „Lichtenhainer Oberweg“	WBF / gemischte BF	nein <sup>36</sup>	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	hoch
07	B 10	B-Gö 08 „Im Oberen Kreuze“, Göschwitz	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	hoch

<sup>35</sup> Vereinfachtes Planverfahren – B-Plan der Innenentwicklung (§ 13a) ohne Umweltprüfung

<sup>36</sup> Umweltprüfung wurde i.R. des (laufenden) B-Planverfahrens bereits erstellt bzw. ist in Arbeit

Lfd. Nr.	Nr.	Bezeichnung der Entwicklungsfläche	Nutzung	Umweltprüfung i.R. des FNP (ja/nein)	Steckbrief	Modellansatz	Szenario		Ergebnis Szenario P2 (Tag-Nacht-Kombi)	Auswirkungen auf Nachbarbebauung	Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit
							Ist	Zukunft			
08	B 11	VBB-Lo 11 „Wohnen am Johannisberg“	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>mittel</b>
09	B 13	VBB-Wj 18 „Nördlich Karl-Liebknecht-Straße“ (Erlenhöfe)	WBF	nein <sup>36</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		<b>Modellergebnis in PHK</b>		
10	B 15	VBB-J 40 „Wohnen am alten Weinberg“	WBF	nein <sup>35</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		<b>Modellergebnis in PHK</b>		
11	B 16	VBB-J 35 „Singer Höhen“	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
12	B 17	VBB J-41 „Quartier 22“	gemischte BF	nein <sup>35</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		<b>Modellergebnis in PHK</b>		
13	B 18	VBB-J 44 „Wohnen am Hufelandweg“	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
14	B 19	VBB-Wz 06 „Wohnbebauung Oßmaritzer Straße“	gemischte BF	nein <sup>35</sup>	nein	nicht modelliert			<b>keine Bewertung</b>		
15	C 01b	Rahmenplan Jenzighang Mitte	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	<b>hoch</b>
16	C 01c	Rahmenplan Jenzighang Ost	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
17	C 02	An der Trebe	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	gering	<b>mittel</b>
18	C 03	Am Klosterweg, Göschwitz	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	<b>mittel</b>
19	C 04	Unter der Lobdeburg	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	<b>hoch</b>
20	C 05	Ortsrand Closewitz	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
21	C 06	Treunert-/ Hildebrandstraße	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
22	C 07	VBB-J 45 „Eichplatz-Areal“ (Baufeld A)	Kerngebiet	nein <sup>36/37</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		<b>Modellergebnis in PHK</b>		
		Eichplatz-Areal (Baufeld B)	Kerngebiet	nein <sup>35</sup>	nein	Städtebauliches Konzept		x	<b>Modellergebnis in PHK</b>		
23	C 08	VBB-Lo 14 „Wohnbebauung Theobald-Renner-Straße“	WBF	nein <sup>36</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		<b>Modellergebnis in PHK</b>		

<sup>37</sup> Mikroklimatisches Gutachten liegt vor

Lfd. Nr.	Nr.	Bezeichnung der Entwicklungsfläche	Nutzung	Umweltprüfung i.R. des FNP (ja/nein)	Steckbrief	Modellansatz	Szenario		Ergebnis Szenario P2 (Tag-Nacht-Kombi)	Auswirkungen auf Nachbarbebauung	Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit
							Ist	Zukunft			
24	C 09	Hugo-Schrade-Straße	WBF	nein <sup>35</sup>	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>mittel</b>
25	C 11	Am Kaiserberg, Zwätzen	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	<b>mittel</b>
26	C 12	B-Wj 19 „Wohnbebauung Am Loh“	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	<b>hoch</b>
27	D 02	Schweizerhöhe	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	<b>mittel</b>
28	D 03	Mädertal	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	<b>mittel</b>
29	D 05	Closewitzer Straße	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
30	D 06	Cospedaer Grund	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
31	D 07	Trißnitzweg	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
32	D 08	westlich Emma-Heintz-Straße	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	<b>mittel</b>
33	D 09	Ricarda-Huch-Weg / Am Nordfriedhof	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
34	D 10	Kreuzgasse Zwätzen	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	<b>hoch</b>
35	D 11	Erweiterung B4_An der Talschule	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	<b>hoch</b>
36	D 12	B-Lr 02 „An der Isserstedter Straße“, Lützeroda	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
37	D 13	B-Mr 10 „Wohngebiet am Golfplatz“, Münchenroda	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
38	D 14	„An der Siedlung“, Isserstedt	WBF	ja	ja	Mischpixel		x	2 – günstig	keine	<b>sehr hoch</b>
39	D 15	VBB-Wj 20 "Erweiterung Wohnen nördlich der Karl-Liebkecht-Straße"	WBF	nein <sup>38</sup>	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>mittel</b>
40	D 16	„Südlich der Ortslage“, Leutra	WBF	ja	ja	nicht modelliert		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
41	D 17	„An der Ammerbacher Straße“, Ammerbach	WBF	ja	ja	nicht modelliert		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>

<sup>38</sup> Umweltprüfung wurde i.R. des FNP-Parallelverfahrens bereits erstellt

Lfd. Nr.	Nr.	Bezeichnung der Entwicklungsfläche	Nutzung	Umweltprüfung i.R. des FNP (ja/nein)	Steckbrief	Modellansatz	Szenario		Ergebnis Szenario P2 (Tag-Nacht-Kombi)	Auswirkungen auf Nachbarbebauung	Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit
							Ist	Zukunft			
42	D 18	„Am neuen Weingut“, Kunitz	SO Weingut + WBF	ja	ja	nicht modelliert		x	3 – mittel	Verbesserung	sehr hoch
43	E 01	B-J 01 „Südwestliche Vorstadt 2. Teil“	WBF	nein <sup>39</sup>	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	gering	mittel
44	E 02	B-J 02 „Galgenberg, westlicher Teil“	WBF	nein <sup>39</sup>	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	hoch
45	E 03	B-Wj 02 „Steinborn“	WBF / gemischte BF	nein <sup>39</sup>	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	gering	mittel
46	E 04	B-Wj 01 „Gänseberg“	WBF / gemischte BF	nein <sup>39</sup>	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	sehr gering	hoch
47	E 05	B-Wj 03 „Hausbergviertel“	WBF / gemischte BF	nein <sup>39</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		Modellergebnis in PHK		
48	B 41	B-Lo 03 „Erweiterung JenA4 Lobeda-Süd LS 2“	GE	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	mittel
49	B 42	B-J 42 „An der Saalbahn“ (am nördlichen Spitzweidenweg)	GE	nein <sup>36</sup>	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	hoch
50	B 43	B-Dd 11 „Gewerbegebiet An der Neuen Schenke“	GE	nein <sup>36</sup>	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	mittel
51	B 44	VBB-J 43 „Neue Carl-Zeiss-Promenade“ (Zeiss-Neubau)	GE	nein <sup>36</sup>	nein	Städtebauliches Konzept	x		Modellergebnis in PHK		
52	C 40	Östlich der Landesärztekammer	GE	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	mittel
53	C 41	Isserstedt I	GE	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	mittel
54	D 40	Saalepark III	GE	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	sehr gering	mittel
55	D 41	Erweiterung Burgau	GE	nein <sup>35</sup>	ja	Städtebauliches Konzept (Ist)		x	4 – ungünstig	keine	mittel
56	D 42	TEAG, Winzerla	GE	vorläufig nein	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	gering	mittel
57	D 43	Bahnfläche Göschwitz	GE	vorläufig nein	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	mittel

<sup>39</sup> Fläche mit bestehendem Baurecht (Satzung), keine Umweltprüfung erforderlich

Lfd. Nr.	Nr.	Bezeichnung der Entwicklungsfläche	Nutzung	Umweltprüfung i.R. des FNP (ja/nein)	Steckbrief	Modellansatz	Szenario		Ergebnis Szenario P2 (Tag-Nacht-Kombi)	Auswirkungen auf Nachbarbebauung	Gesamteinschätzung der klimatischen Verträglichkeit
							Ist	Zukunft			
58	C 60	Seidelstraße	SO F+L	ja	ja	Städtebauliches Konzept		x	4 – ungünstig	keine	<b>mittel</b>
59	V 01	Nördliche Verlängerung Wiesenstraße	Verkehr (MIV)	vorläufig nein	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>hoch</b>
60	V 02	OU Issersted	Verkehr (MIV)	nein <sup>36</sup>	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>hoch</b>
61	V 03	OU Ilmritz	Verkehr (MIV)	ja	ja	Mischpixel		x	3 – mittel	keine	<b>hoch</b>
62	V 04	Querung Bahntrasse am Saalbahnhof / Spitzweidenweg	Verkehr (MIV)	ja	ja	Mischpixel		x	4 – ungünstig	keine	<b>mittel</b>
63	V 05	Straßenbahn nach Wogau	Verkehr (StraBa)	ja	nein	Mischpixel <sup>40</sup>		x	<b>keine Bewertung</b>		
64	V 06	Straßenbahn ins Gewerbegebiet Lobeda-Süd / Ringschluss Lobeda-Ost	Verkehr (StraBa)	ja	nein	Mischpixel <sup>40</sup>		x	<b>keine Bewertung</b>		
65	V 07	Straßenbahnringchluss Magdelstieg / Beutenberg	Verkehr (StraBa)	ja	nein	Mischpixel <sup>40</sup>		x	<b>keine Bewertung</b>		
66	B 80	Kleingarten-Ersatzfläche Lobeda-Ost, nördlich Novalisstraße (N1)	Gärten	nein <sup>36</sup>	nein	Mischpixel		x	Grünfläche mit 4 – hoher Bedeutung	keine	<b>sehr hoch</b>
67	D 80	Kleingarten-Ersatzfläche am Kreisel Lobeda-Ost (N2)	Gärten	ja	ja	Mischpixel		x	Grünfläche mit 4 – hoher Bedeutung	keine	<b>hoch</b>
68	D 81	Kleingarten-Ersatzfläche Bertold-Brecht-Straße, Winzerla (N3)	Gärten	ja	ja	Mischpixel		x	Grünfläche mit 4 – hoher Bedeutung	keine	<b>sehr hoch</b>
69	R 01	Renaturierung Jägerberg	Grünfläche	nein	nein	Mischpixel		x	Grünfläche mit 4 – hoher Bedeutung	keine	<b>Verbesserung</b>

<sup>40</sup> Im Modell nicht korrekt modelliert (100 % Gleiskörper mit 70 % Versiegelungsanteil), daher erfolgt keine Gesamtbewertung der klimatischen Verträglichkeit.

### 10.3 BASISGEOMETRIE

Tabelle 28: Beschreibung der Spalten der Basisgeometrie.

Basisgeometrie Spalten	Bedeutung	Werte/Einheit
fid	Feature ID, fortlaufende Werte	1 bis 5187
flstnm	Flurstücksnummer	NULL, Zahlen
OBJART	Nummern aus dem ALKIS	
OBJART_	Nutzungen der Blöcke im Ist-Zustand	AX_StehendesGewaesser, AX_Fliesssgewaesser, AX_IndustrieUndGewerbe-flaeche, AX_Gruenflaeche, AX_Bahnverkehr, AX_ParkundGruenanlagen, AX_Platz, AX_FlaecheBesondererFunktionalerPraegung, AX_Strassenverkehr, AX_Gehoelz, AX_Friedhof, AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche, AX_Wald, AX_Wohnbauflaeche, AX_Landwirtschaft, AX_FlaecheGemischterNutzung, AX_UnlandVegetationsloseFlaeche, AX_Fussgaengerzone, AX_RuhenderVer-kehr, AX_Pflegeeinrichtung
FKT	Nummern aus dem ALKIS	1110 bis 5310
Nummr_1	Nummer des B-Planes der Ent-wicklungsfläche	
Prffl_1	Titel/Name des B-Planes oder Baufläche	Text
Szenr_1	Art der Übernahme in die Ein-gangsdaten: B-Plan (konkret), Mischpixel (prozentuale Annah-men); Angabe für welchen Zeit-schnitt die Fläche eingegangen ist	Ist_Mischpixel (ohne B-Plan, prozentualer Ansatz), Zukunft 1 (ohne B-Plan, prozentualer Ansatz), Zukunft1_Planzeichnung (B-Plan o. ä.), Ist_Planzeichnung (B-Plan o. ä.), Zukunft 2 (ohne B-Plan, prozentualer Ansatz)
Nutz_1	Nutzung in der Zukunft, gültig für das Szenario Klimawandel und Stadtentwicklung (P2)	Gewerbe, Verkehr, Kerngebiet-Gewerbe, Wohnen, Grünfläche, Gemeinbedarf, Mischnutzung, Forschung und Lehre, Garten, Kerngebiet-Wohnen
IST_Kat	Kategorie der Fläche im Ist-Zu-stand und im Szenario mit Kli-mawandel (P1)	Wasser, Siedlung, Grünfläche, Verkehr
ZKFT_Kt	Kategorie der Fläche im Szena-rio mit Klimawandel und Stadt-entwicklung (P2)	Wasser, Siedlung, Grünfläche, Verkehr
ZKFT_2	Kategorie der FNP-Alternativflä-chen im Alternativszenario (nicht modelliert)	Siedlung, Verkehr
area	Flächengröße in qm	Zahl
bearb	Überarbeitung und Veränderung der Polygonzuschnitte in der Basisgeometrie durch Frau Schuh-mann	1 – Geometrie bereinigt 2 – inhaltliche Bearbeitung (andere Nutzung) 3 – Zuordnung des Polygons zu einem B-Plan (Modellierung im Bestand) 12 – Geometrie und Inhalt wurde geändert
IDn	neue ID Werte	1 bis 5091, 5181
t04	Ist Mittelwert der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr	°C
p1_t04	P1 Mittelwert der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr	°C

p2_t04	P2 Mittelwert der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr	°C
z_t04	Ist-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
zp1_t04	P1-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
zp2_t04	P2-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
zs_t04	Ist-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
zsp1_t04	P1-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
zsp2_t04	P2-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der nächtlichen Lufttemperatur um 4 Uhr nachts	dimensionslos, ohne Einheit
wg	Ist Mittelwert der Windgeschwindigkeit	m/s
p1_wg	P1 Mittelwert der Windgeschwindigkeit	m/s
p2_wg	P2 Mittelwert der Windgeschwindigkeit	m/s
kvs	Ist Mittelwert der Kaltluftvolumenstromdichte	m <sup>3</sup> /m*s
p1_kvs	P1 Mittelwert der Kaltluftvolumenstromdichte	m <sup>3</sup> /m*s
p2_kvs	P2 Mittelwert der Kaltluftvolumenstromdichte	m <sup>3</sup> /m*s
kpr	Ist Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
p1_kpr	P1 Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
p2_kpr	P2 Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
pet	Ist Mittelwert der Physiologisch Äquivalenten Temperatur	°C
p1_pet	P1 Mittelwert der Physiologisch Äquivalenten Temperatur	°C
p2_pet	P2 Mittelwert der Physiologisch Äquivalenten Temperatur	°C

z_pet	Ist-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zp1_pet	P1-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zp2_pet	P2-Siedlungsraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zs_pet	Ist-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zsp1_pet	P1-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zsp2_pet	P2-Straßenraum z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zg_pet	Ist-Grünflächen z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zgp1_pet	P1-Grünflächen z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
zgp2_pet	P2-Grünflächen z-transformierte Mittelwerte der PET um 14 Uhr	dimensionslos, ohne Einheit
kl_ezg	Grünfläche gehört zum Kaltluftzugsgebiet der Leitbahn	NULL - Siedlungs-, Verkehrs- oder Wasserfläche 0 – Grünfläche gehört nicht zu einer Kaltluftleitbahn 1 – Grünfläche gehört zu einer Kaltluftleitbahn
N8_WR	Ist Wirkraum Bewertung in der Nacht (bewohnter Siedlungsraum)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
N8_WR_P1	P1 Wirkraum Bewertung in der Nacht (bewohnter Siedlungsraum)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
N8_WR_P2	P2 Wirkraum Bewertung in der Nacht (bewohnter Siedlungsraum)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
N8_AR	Ist Ausgleichsraum Bewertung in der Nacht (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Bedeutung 1 – keine 2 – geringe 3 – mittlere 4 – hohe 5 – sehr hohe
N8_AR_P1	P1 Ausgleichsraum Bewertung in der Nacht (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Bedeutung 1 – keine 2 – geringe 3 – mittlere 4 – hohe 5 – sehr hohe


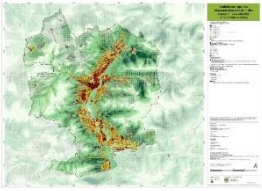

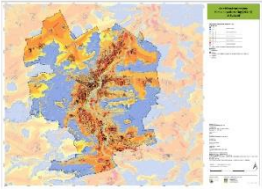
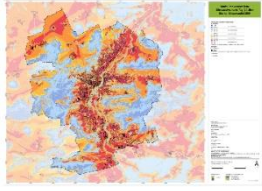
N8_AR_P2	P2 Ausgleichsraum Bewertung in der Nacht (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Bedeutung 1 – keine 2 – geringe 3 – mittlere 4 – hohe 5 – sehr hohe
T_WR	Ist Wirkraum Bewertung am Tag (Siedlung)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
T_WR_P1	P1 Wirkraum Bewertung am Tag (Siedlung)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
T_WR_P2	P2 Wirkraum Bewertung am Tag (Siedlung)	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
T_AR	Ist Ausgleichsraum Bewertung am Tag (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Aufenthaltsqualität 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
T_AR_P1	P1 Ausgleichsraum Bewertung am Tag (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Aufenthaltsqualität 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
T_AR_P2	P2 Ausgleichsraum Bewertung am Tag (Grün- und Freiflächen)	Bioklimatische Aufenthaltsqualität 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
PHK_IST	Ist Wirkraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
PHK_P1	P1 Wirkraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig
PHK_P2	P2 Wirkraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Situation 1 – sehr günstig 2 – günstig 3 – mittel 4 – ungünstig 5 – sehr ungünstig


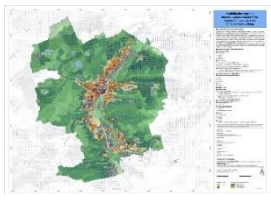
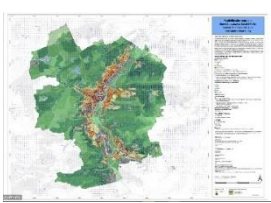
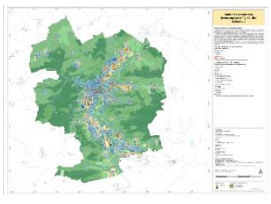
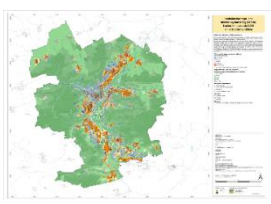
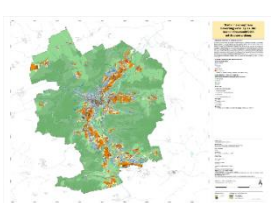
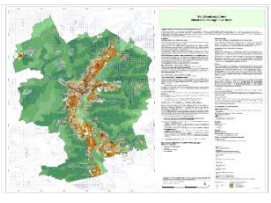
PHK_AR_IST	Ist Ausgleichsraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Bedeutung 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
PHK_AR_P1	P1 Ausgleichsraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Bedeutung 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
PHK_AR_P2	P2 Ausgleichsraum Bewertung, Kombination Tag und Nacht	Bioklimatische Bedeutung 1 – sehr gering 2 – gering 3 – mittel 4 – hohe 5 – sehr hohe
bewmatrix_p2	P2 Zukunftskategorie der Flächen für die Kombination von Tag und Nacht (in der Bewertungsmatrix)	1 – Zukunft Wohnfläche 2 – Zukunft Gewerbefläche oder Platz 3 – Zukunft Verkehrsfläche
UKO	Zugehörigkeit der Grünfläche (Waldflächen, Park- und Grünanlagen, Friedhöfe) zu einer urbanen Klimaoase	0 – UKO liegt in Siedlungsfläche (nein) 1 – ist eine UKO und in der Basisgeometrie abgegrenzt (Erhalt) 2 – eine UKO, die neu geschaffen werden soll (Schaffung)
PHK_ges	Gesamtbewertung des Wirkraumes für die Planungshinweiskarte	Handlungsbedarf zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation 1 – Handlungspriorität 1 2 – Handlungspriorität 2 3 – Handlungspriorität 3 4 – keine Handlungspriorität
PHK_FNP_Entwicklungsfläche	Bewertung der FNP-Entwicklungsflächen	Stadtklimatische Verträglichkeit der FNP-Entwicklungsflächen - Verbesserung - sehr hohe und hohe Verträglichkeit - mittlere Verträglichkeit
PHK_AR_ges	Gesamtbewertung des Ausgleichsraumes für die Planungshinweiskarte	Erhaltungsbedarf der stadtklimatischen Funktion 1 – geringer 2 – mittlerer 3 – hoher 4 – sehr hoher


### 10.4 ÜBERSICHT ENDPRODUKTE

In der folgenden Tabelle sind alle Endprodukte aufgelistet, die im Rahmen des Stadtklimakonzeptes erarbeitet wurden. Dazu gehören folgende Karten: **Klimaanalysekarten** (Kapitel 7.1), **Bewertungskarten** (Kapitel 8.3) sowie die **Planungshinweiskarte** (Kapitel 8.4). Im Rahmen des Projektes sind **55 Steckbriefe für die FNP-Entwicklungsflächen** erarbeitet worden. Die Steckbriefe und Karten stehen neben dem Abschlussbericht im PDF-Format zur Verfügung.

Tabelle 29: Übersicht aller zum Stadtklimakonzept erzeugten Karten

Endprodukte	Icon	Name
<b>Klimaanalysekarten Nacht (4:00 Uhr)</b>		
Referenzsituation (Ist-Zustand)		3_Klimaanalysekarte_Nacht_Ist.pdf
Zukunft 1 (mit Klimawandel)		3_Klimaanalysekarte_Nacht_Zukunft 1.pdf
Zukunft 2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung)		3_Klimaanalysekarte_Nacht_Zukunft 2.pdf
<b>Klimaanalysekarten Tag (14:00 Uhr)</b>		
Referenzsituation (Ist-Zustand)		3_Klimaanalysekarte_Tag_Ist.pdf
Zukunft 1 (mit Klimawandel)		3_Klimaanalysekarte_Tag_Zukunft 1.pdf
Zukunft 2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung)		3_Klimaanalysekarte_Tag_Zukunft 2.pdf

Bewertungskarten Nacht (4:00 Uhr)		
Referenzsituation (Ist-Zustand)		4_Bewertungskarte_Nacht_Ist.pdf
Zukunft 1 (mit Klimawandel)		4_Bewertungskarte_Nacht_Zukunft 1.pdf
Zukunft 2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung)		4_Bewertungskarte_Nacht_Zukunft 2.pdf
Bewertungskarten Tag (14:00 Uhr)		
Referenzsituation (Ist-Zustand)		4_Bewertungskarte_Tag_Ist.pdf
Zukunft 1 (mit Klimawandel)		4_Bewertungskarte_Tag_Zukunft 1.pdf
Zukunft 2 (mit Klimawandel und Stadtentwicklung)		4_Bewertungskarte_Tag_Zukunft 2.pdf
Klimatische Planungshinweiskarte		
Planungshinweiskarte  (Grundlage bildet das Zukunftsszenario 2)		6_Planungshinweiskarte.pdf

Steckbriefe		
<p>Steckbriefe zu den einzelnen FNP-Entwicklungsflächen (siehe Tabelle 27)</p>		<p>Einzelne PDF-Dokumente</p>