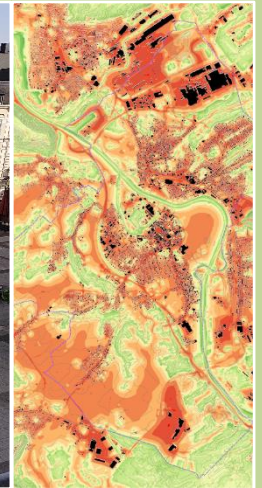


Stadtklimaanalyse Saarlouis



Erstellt von:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover



Im Auftrag der

Kreisstadt Saarlouis

**Amt für Stadtplanung, Hochbau, Denkmalpflege
und Umwelt**

September 2020



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: Grüngestaltete, relativ unbelastete Freifläche, die an einen → *Wirkungsraum* angrenzt oder mit diesem über → *Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer 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.

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

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

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

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

Kaltlufteinwirkungsbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Gekennzeichnet sind Siedlungs-, Gewerbeflächen und der Straßenraum, die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden; Bezugswert: Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen im Stadtgebiet).

Kaltluftleitbahnen: Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkungsräume*) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Unterscheidung in „Kerngebiet“ (in den Siedlungsraum reichende Grünstrukturen, die die bestehende Bebauung über ein zusammenhängendes und großflächiges Gebiet wirksam mit Kaltluft versorgen) und „Einzugsgebiete“ der Kaltluftleitbahnen (Grünflächen hoher Kaltluftproduktivität, die die Kerngebiete speisen).



Kaltluftvolumenstrom: Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der \rightarrow *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an \rightarrow *Kaltluft*, 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.

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

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: Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungs- und Gewerbeflächen im Stadtgebiet (\rightarrow *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als \rightarrow *Ausgleichsräume* in getrennten Karten für die Tag- und die Nachtsituation inklusive der Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

RCP-Szenarien: Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die RCP-Szenarien lösen im fünften Sachstandsbericht des „Weltklimarats“ der Vereinten Nationen (IPCC) die bis dahin genutzten, auf sozio-ökonomischen Faktoren beruhenden SRES-Szenarien ab. Die Zahl in der Bezeichnung RCP 2.6 („Klimaschutz-Szenario“), RCP 4.5 bzw. RCP 8.5 („Weiter wie bisher-Szenario“) gibt den zusätzlichen Strahlungsantrieb in W/m^2 bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Stand Mitte des 19. Jahrhunderts an (*Representative Concentration Pathway*).

Städtische Wärmeinsel (*Urban Heat Island*): Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten 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 \rightarrow *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 \rightarrow *autochthonen Wetterlage*.

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

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



Inhaltsverzeichnis

GLOSSAR	I
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
TABELLENVERZEICHNIS.....	VIII
1. EINFÜHRUNG.....	1
2. FACHLICHE GRUNDLAGEN.....	3
2.1 Der Wärmeinseleffekt	3
2.2 Beobachteter und zukünftiger Klimawandel in Saarlouis	4
2.2.1 Datengrundlagen und Methodik	4
2.2.2 Das Regionalklima des Saarlandes.....	8
2.2.3 Aktuelles Klima in Saarlouis	8
2.2.4 Beobachteter Klimawandel	10
2.2.5 Zukünftiger Klimawandel.....	12
3. ANGEWENDETE METHODEN.....	15
3.1 Numerische Modellrechnung	15
3.1.1 Eingesetztes Stadtklimamodell.....	15
3.1.2 Vorgegebene Randbedingungen	16
3.1.3 Eingangsdatenaufbereitung	17
3.1.4 Herausforderungen und Unsicherheiten.....	22
3.1.5 Lüftungs-Betrachtung.....	23
3.2 Messkampagne.....	29
3.2.1 Standorte	29
3.2.2 Messtage und Wetterbeschreibung.....	30
3.2.3 Vertikalsondierungen und Rauchschwadenversuche.....	32
3.2.4 Messfahrten	34
3.2.5 Stationsmessungen.....	35
4. ERGEBNISSE.....	38
4.1 Numerische Modellrechnung – Ist-Situation	38



4.1.1	Nächtliches Temperaturfeld	38
4.1.2	Kaltluftströmungsfeld	42
4.1.3	Thermische Belastung am Tage	50
4.1.4	Lufthygiene	54
4.2	Messkampagne	57
4.2.1	Messfahrten	57
4.2.2	Vertikalsondierungen und Rauchschwadenversuche	60
4.2.3	Evaulierung der Modellrechnung	64
5.	PRODUKTE	68
5.1	Klimaanalysekarte	68
5.2	Planungshinweiskarten	72
5.2.1	Standardisierung der Parameter (Z-Transformation)	72
5.2.2	Planungshinweiskarte Nachtsituation	73
5.2.3	Planungshinweiskarte Tagsituation	80
5.2.4	Zukünftige Situation um 2040	86
5.3	Maßnahmenkatalog	98
6.	ZUSAMMENFASSUNG	104
	QUELLENVERZEICHNIS	108
	ANHANG	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind	3
Abbildung 2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; CUBASCH ET AL. 2013)	6
Abbildung 3 Klimadiagramm der Station Berus (Quelle: DWD 2020A).	9
Abbildung 4: Windrichtungsverteilung an der Station Berus, 1990 – 2019 (Quelle: DWD 2020a).....	9
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in m/s. Station Berus, 1990 - 2019 (Quelle: DWD 2020a).....	10
Abbildung 6: Entwicklung der Mitteltemperatur in Saarlouis im Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD 2020b).....	11
Abbildung 7: Entwicklung des Jahresniederschlages in Saarlouis im Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD 2020b).....	11
Abbildung 8: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Saarlouis (RCP 4.5, 2026 - 2055)	13
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach GROß 1992) 16	
Abbildung 10: Digitales Geländemodell für Saarlouis und Umgebung. Urhebervermerk: „Geobasisdaten, ©LVGL TKA 14770/2019“	18
Abbildung 11: Landnutzungsklassifizierung für das Stadtgebiet Saarlouis	19
Abbildung 12: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation	20
Abbildung 13: Prinzipskizze des Mischpixelansatzes: Verteilungsbeispiele für einen einzelnen Pixel für Wohnbebauung (links) und dem eines Gewerbegebietes (rechts).....	22
Abbildung 14: Verkehrsmengen im Untersuchungsgebiet	27
Abbildung 15: Straßenverkehrsbedingte Emissionsdichten von Stickoxiden (NO _x) in Gramm pro Meter und Tag (g / m*d)	28
Abbildung 16: Räumliche Verteilung von stationären und temporären Messungen im Stadtgebiet Saarlouis	29
Abbildung 17: Wetterkarten von 25.06. (links) und 26.06.2019 (rechts) um 14 Uhr MESZ (Quelle: Berliner Wetterkarte: https://berliner-wetterkarte.de/archiv/); der rote Kreis markiert Saarlouis.....	30
Abbildung 18: Tagesgang von Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung an den Klimamessstationen Kleiner Markt und Lisdorfer Berg am 25./26.06.2019.	31
Abbildung 19: Tagesgang von Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung an den Klimamessstationen Kleiner Markt und Lisdorfer Berg am 26./27.06.2019	32
Abbildung 20: (a) Messsystem aus Hexakopter DJI Flamewheel 550 mit angehängter Radiosonde DFM-06 von GRAW. (b) Hexakopter Flamewheel 550 Nahansicht mit Aufhängung für Fotokamera der Marke GoPro und Infrarotkamera von FLIR.....	33
Abbildung 21: Messfahrzeug Ford Focus Combi und Psychrometer THERM 2286-2 der Fa. Ahlborn	35
Abbildung 22: Klimamessstationen am Lisdorfer Berg (links) und auf dem Kleinen Markt (rechts)	36
Abbildung 23: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets	39
Abbildung 24: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040)	41
Abbildung 25: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.....	42
Abbildung 26: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets	44



Abbildung 27: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040).....	45
Abbildung 28: Nächtliches bodennahes Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets.....	48
Abbildung 29: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets	49
Abbildung 30: Wärmebelastung am Tage um 14 Uhr im Saarlouiser Stadtgebiet (PET)	51
Abbildung 31: Wärmebelastung am Tage um 14 Uhr im Saarlouiser Stadtgebiet (PET, Zukunftssituation 2040)	53
Abbildung 32: NO ₂ -Zusatzbelastung im morgendlichen Kaltluftströmungsfeld	56
Abbildung 33: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 25.06.2019 normiert auf 23 Uhr MESZ.	58
Abbildung 34: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 26.06.2019 normiert auf 4 Uhr MESZ.	59
Abbildung 35: Vertikalprofil der Lufttemperatur am kleinen Markt von 20-06 Uhr MESZ.....	60
Abbildung 36: Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit und -richtung am kleinen Markt von 20-06 Uhr MESZ	61
Abbildung 37: Rauchschwadenversuch am Lisdorfer Berg (West) am 26.06.2019	62
Abbildung 38: Vertikalprofile der Lufttemperatur am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ; die blauen Linie kennzeichnen die anhand der Inversion ermittelten Kaltluflhöhen.....	62
Abbildung 39: Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ.....	63
Abbildung 40: Vertikalprofile der Windrichtung am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ	64
Abbildung 41: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld und Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets, gemeinsam mit der auf 4 Uhr normierten Profilmessfahrt der Lufttemperatur vom 26.06.2019	65
Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit im Zeitraum 05.06. – 05.09.2019, Strahlungstage.....	66
Abbildung 43: Klimaanalysekarte des Saarlouiser Stadtgebiets	69
Abbildung 44: Klimaanalysekarte der Zukunft (2040) für das Saarlouiser Stadtgebiet	71
Abbildung 45: z-Transformation zur Standardisierung der vergleichenden Bewertung von Parametern	72
Abbildung 46: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen in der Nacht	75
Abbildung 47: Planungshinweiskarte der Nacht für das Saarlouiser Stadtgebiet.....	77
Abbildung 48: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen am Tage	81
Abbildung 49: Planungshinweiskarte des Tages für das Saarlouiser Stadtgebiet.....	83
Abbildung 50: Planungshinweiskarte der Nacht für das Saarlouiser Stadtgebiet (Zukunftssituation 2040) ...	90
Abbildung 51: Planungshinweiskarte des Tages für das Saarlouiser Stadtgebiet (Zukunftssituation 2040) ...	94
Abbildung 52: Ausschnitte der Planungshinweiskarten der Zukunftssituation für die Nacht (links) und den Tag (rechts) inklusive eingezeichneter Bauflächenänderungen im Rahmen der Umschreibung des FNP im August 2020 für die Bereiche Neuforweiler und Holzmühle (Verkürzte PHK-Legende).....	95
Abbildung 53: Ausschnitte der Planungshinweiskarten der Zukunftssituation für die Nacht (links) und den Tag (rechts) inklusive eingezeichneter Bauflächenänderungen im Rahmen der Umschreibung des FNP im August 2020 für den Bereich Beaumarais "Auf der Heed" (Verkürzte PHK-Legende)	96
Abbildung A1: Methode der Adjustierung von Schwellenwerten für Kenntage. Die blaue Zahl auf der y-Achse zeigt das berechnete Perzentil des Schwellenwertes und die rote Zahl auf der x-Achse zeigt den adjustierten Schwellenwert	112
Abbildung A2: Landnutzungsklassifizierung für das Stadtgebiet Saarlouis (Zukunftssituation 2040); Flächen mit Mischpixelansatz magentafarben	112
Abbildung A3: Nächtliches bodennahes Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040).....	113
Abbildung A4: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040).....	114



Abbildung A5: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 26.06.2019 normiert auf 23 Uhr MESZ.....	115
Abbildung A6: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 27.06.2019 normiert auf 4 Uhr MESZ.....	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bezeichnung und Kriterien für meteorologische Kenntage.....	7
Tabelle 2: Langjährige Änderung der Temperatur (in °C) in Saarlouis (P15 = 15. Perzentil, P50 = Median, P85 = 85. Perzentil).....	12
Tabelle 3: Langjährige Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Saarlouis (P15 = 15. Perzentil, P50 = Median, P85 = 85. Perzentil).	13
Tabelle 4: Berücksichtigte Saarlouiser Entwicklungsflächen (ohne Bebauungsplan) für die zukünftige Situation (2040) mit ihrem jeweiligen Anteil für die Ist-Situation verwendeter Nutzungsklassen (Mischpixelansatz), dem mittleren Versiegelungsgrad sowie der mittleren Strukturhöhe	21
Tabelle 5: Eingangsdaten der Emissionsberechnung	26
Tabelle 6: Standorte und Instrumentierung während der meteorologischen Messkampagnen in Saarlouis	37
Tabelle 7: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 2004).....	50
Tabelle 8: Einordnung der nächtlichen thermischen Belastung im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation.....	73
Tabelle 9: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungs- und Verkehrsflächen und abgeleitete Planungshinweise der PHK Nacht	76
Tabelle 10: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale und abgeleitete Planungshinweise der PHK Nacht	79
Tabelle 11: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungs- und Verkehrsflächen und abgeleitete Planungshinweise am Tage	82
Tabelle 12: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale und abgeleitete Planungshinweise für den Tag	85
Tabelle 13: Einordnung der zukünftigen bioklimatischen Belastung im Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsraum in der Nacht (Lufttemperatur 4 Uhr) und Flächenmittelwert sowie Standardabweichung der meteorologischen Parameter für die entsprechenden Flächen im Stadtgebiet Saarlouis'	87
Tabelle 14: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen in der Nacht, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise	88
Tabelle 15: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.....	89
Tabelle 16: Einordnung der zukünftigen bioklimatischen Belastung im Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsraum am Tage (PET 14 Uhr) und Flächenmittelwert sowie Standardabweichung der meteorologischen Parameter für die entsprechenden Flächen im Stadtgebiet Saarlouis'	91
Tabelle 17: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen am Tage, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.....	92
Tabelle 18: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise	93
Tabelle 19: Empfehlungen raumeinheitenspezifischer stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Saarlouis (Maßnahmenkatalog Klimaanpassung)	101
Tabelle A1: Regionalmodellensemble (GCM = Globales Klimamodell, RCM = Regionales Klimamodell).....	111





1. Einführung

Das Schutzgut Klima ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung. Angesichts des weiterhin erwartbaren Bevölkerungswachstums in Saarlouis einerseits als auch der im Zuge des Klimawandels zu erwartenden langanhaltenden Hitzeperioden und zunehmenden Temperaturen andererseits besteht hier Handlungsbedarf. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Klimas ableiten. Dieser Leitgedanke zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger human-bioklimatischer Verhältnisse und auch die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.

Als Grundlage für die Analyse und Bewertung der siedlungsklimatischen Zusammenhänge dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse. Dem Stand der Technik gemäß wurde eine Modellrechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH 3D durchgeführt, um hochaufgelöste, flächendeckende Ergebnisse für das gesamte Stadtgebiet zu erhalten. Die Ergebnisse spiegeln neben der Nachtsituation auch die human-bioklimatische Belastung am Tage wider und erlauben somit eine umfassende Betrachtung des Saarlouiser Stadtklimas.

Der vorliegende Bericht erläutert zu Beginn einige fachliche Grundlagen (Kap. 2), anschließend die Methodik der Stadtklimaanalyse (Kap. 3) und geht auf die Ergebnisse der Modellrechnung sowie der Messkampagne ein (Kap. 4). Planerische Fragestellungen lassen sich am besten in einer Zusammenschau der Ergebnisse beantworten, sodass die Ergebnisse des Prozessgeschehens (Überwärmung des Stadtgebiets, Kaltluftströmungsfeld) in entsprechenden „Klimaanalysekarten“ zusammengefasst werden (Kap. 5.1). Darüber hinaus werden Bewertungen der bioklimatischen Belastung in den Siedlungsräumen sowie der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume vorgenommen und allgemeine Planungshinweise abgeleitet (Planungshinweis-karte; Kap. 5.2). Der Maßnahmenkatalog Stadtklima (Kap. 5.3) präzisiert die allgemeinen Planungshinweise. Abschließend werden die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Stadtklimaanalyse zusammengefasst (Kap. 6).

EXKURS: PLANUNGSRECHTLICHE GRUNDLAGEN

Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, die der Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse dienen bzw. auf eine Verbesserung des Stadtklimas in ungünstig bewerteten Teilräumen abzielen. Um diesen Leitgedanken langfristig verfolgen zu können, ist es zudem erforderlich, die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Mit dem Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1 (5) BauGB erklärt worden: „Die Bauleitpläne sollen [...] dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die



natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...].“ Zusätzlich heißt es in § 1a (5) BauGB: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden.“

In Flächennutzungsplänen (FNP; vorbereitende Bauleitplanung) können z.B. Anlagen, Einrichtungen und sonstige Maßnahmen dargestellt werden, die der Anpassung an den Klimawandel dienen (§ 5 (2) S. 2c BauGB). So bietet sich durch den FNP bspw. die Möglichkeit der Sicherung von Freiflächen, die der Kaltluftproduktion dienen, sowie von Frischluft- und Ventilationsbahnen (Belüftungsachsen; vgl. STADT KARLSRUHE 2014). In FNP wird vor allem das mesoskalige Klima betrachtet (räumliche Auflösung der Karten ca. 25 m bis 100 m), während in Bebauungsplänen (B-Plan; verbindlichen Bauleitplanung) das Mikroklima in den Vordergrund rückt (ca. 2 m bis 10 m; VDI 2014). Nach § 8 (2) BauGB sind B-Pläne aus dem FNP zu entwickeln, sodass die dort getroffenen Regelungen berücksichtigt werden müssen. B-Pläne bieten u.a. über folgende Festsetzungen die Möglichkeit stadtklimatischen Anforderungen zu begegnen (vgl. § 9 (1) BauGB):

- Gebäudekörperstellung und Maß der baulichen Nutzung (u.a. Grundflächenzahl, Geschossflächenzahl, Zahl der Vollgeschosse, Höhe der baulichen Anlage), jeweils auch mit dem Ziel klimarelevante Luftströmungen zu unterstützen und Belüftungsachsen zu sichern
- Öffentliche und private Grünflächen (Parkanlagen, Kleingärten, Sportplätze, Friedhöfe etc.)
- Begrünung von Straßenzügen, Parkplätzen und Gleistrassen
- Anpflanzen bzw. Erhalt von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen
- Dach- und Fassadenbegrünung

Ein weiteres Steuerungsinstrument ist die Erstellung von Grünordnungsplänen (GOP). Eine rechtliche Verpflichtung zur Aufstellung von GOP gibt es nicht, doch können ihre Inhalte durch die Integration in B-Pläne Rechtsverbindlichkeit erlangen. GOP ergeben sich aus dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), in dem auf die klimatische Wirkung der Landschaft verwiesen wird: „Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sind insbesondere Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen [...]“ (§ 1 (3) Nr. 4 BNatSchG).

Nach § 11 (1) BauGB können Gemeinden, insb. zur Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Maßnahmen durch einen Vertragspartner, städtebauliche Verträge schließen. Diese können ein geeignetes Mittel zur Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in der Bauleitplanung sein, sofern sie frühzeitig in dem öffentlich-rechtlichen Vertrag vereinbart werden. Im Zuge der Stadtsanierung sind auch informelle Planungsinstrumente, wie ein städtebaulicher Rahmenplan, denkbar (§ 140 BauGB), um städtebauliche Vorgaben und Ziele zum Klima zu definieren.

Mit der anstehenden Novellierung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) finden die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung verstärkt Eingang in die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) als übergeordnetes umweltpolitisches Instrument.

2. Fachliche Grundlagen

2.1 DER WÄRMEINSELEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973). Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenüber steht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, 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.

Für die Stadtbevölkerung entstehen hohe Belastungen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen, die durch einen ausgeprägten Tagesgang von Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt sind (autochthone Wetterlagen). Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen auf, d.h. Luftmassen aus dem Umland können bis in das Stadtgebiet hinein strömen (Flurwinde; Abbildung 1).

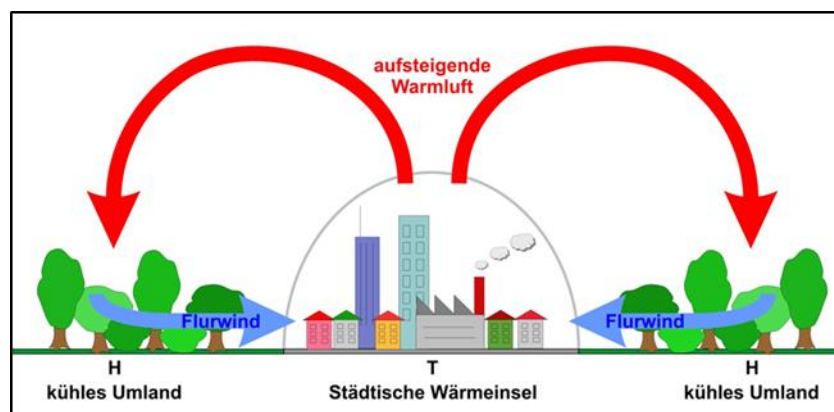


Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind

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



Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme (anthropogener Wärmefluss), kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung des Stadtgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo, sodass viel Strahlung absorbiert wird und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (HÄCKEL 2012, MALBERG 2002). Aufgrund der stärkeren Versiegelung bzw. des geringeren Grünanteils (und zudem meist geringerer Wasserverfügbarkeit) ist die Verdunstung und damit verbundene Kühlleistung in der Stadt herabgesetzt (SCHÖNWIESE 2008).

Verkehr, Industrie und Hausbrand bewirken nicht nur einen anthropogenen Wärmefluss, sondern führen auch zu vermehrten Emissionen. Entsprechend weist die Luft in der Stadt erhöhte Verunreinigungen durch Schadstoffe und Staub auf, die sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken können. Da die Windgeschwindigkeiten in der Stadt in der Regel herabgesetzt sind, kann kein ausreichender Luftaustausch stattfinden, um die Luftqualität merklich zu verbessern (KUTTLER 2009).

Dies erklärt die Notwendigkeit der Betrachtung des Stadtklimas, insb. da ein Großteil der Bevölkerung in Städten wohnt und demzufolge Belastungen so gering wie möglich gehalten werden sollten, um gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sicherzustellen.

2.2 BEOBACHTETER UND ZUKÜNFTIGER KLIMAWANDEL IN SAARLOUIS

2.2.1 DATENGRUNDLAGEN UND METHODIK

2.2.1.1 AKTUELLES KLIMA UND BEOBACHTETER KLIMAWANDEL

Die Beschreibung der klimatischen Entwicklung in Saarlouis basiert auf interpolierten Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (KASPAR ET AL. 2013). Die 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. Maximumtemperaturen sind seit 1901 verfügbar und Daten zu thermischen Kennwerten seit 1951.

Anhand der Stadtgrenze Saarlouis' wurden die entsprechenden Punkte aus dem regelmäßigen 1 x 1 km-Gitter extrahiert, räumlich aggregiert und zu repräsentativen Zeitreihen zusammengestellt. Diese jährlichen Zeitreihen wurden direkt ausgewertet. Zudem wurden daraus die Mittelwerte über 30-jährige Perioden gebildet, um Aussagen über die langfristige klimatische Entwicklung 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. Weiterhin hat sich die Messtechnik im betrachteten Zeithorizont weiterentwickelt, sodass bei älteren Zeitreihen höhere Messungenauigkeiten zu erwarten sind als bei Zeitreihen jüngerer Datums. Für die vorliegenden Auswertungen ist die Genauigkeit der Daten als vollkommen ausreichend anzusehen.

Weiterhin wurden Daten der ca. 10 km vom Stadtzentrum entfernten DWD-Klimastation in Berus ausgewertet. Im Stadtgebiet von Saarlouis wurde seit 1979 eine Klimastation vom DWD betrieben, deren Messungen jedoch 1997 eingestellt wurden. An der Station Berus entspricht die zur Verfügung stehende Zeitreihe, mit einer Länge von über 30 Jahren, den Anforderungen an klimatische Auswertungen und sie enthält wesentlich aktuellere Daten als die ehemalige Station Saarlouis.



2.2.1.2 ZUKÜNFTIGER KLIMAWANDEL

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative. 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 IPCC¹ Assessment Reports (IPCC 2014) und darüber hinaus erstellt (GIORGI ET AL. 2009). 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) bereitgestellt².

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 sowie 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 Saarlouis ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimawandelmodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimawandelszenarien angetrieben wurden (Tabelle Tabelle A1 im Anhang). Da EURO-CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert werden, können eventuell bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Mitglieder des Ensembles werden 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 ET AL. 2016).

Räumliche und Zeitliche Auflösung

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 prognostizierte 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 des dem Mittelpunkt von Saarlouis am nächsten gelegenen Gitterpunkt sowie der acht umliegenden Gitterpunkte. Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (täglich) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2016).

RCP-Szenarien

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO₂-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (“Weltklimarat”)

² Homepage: <https://www.euro-cordex.net>

drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m^2 , der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (MOSS ET AL. 2010; Abbildung 2):

- × Das Szenario RCP 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m^2 . Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf $2,6 \text{ W/m}^2$ ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2°C -Ziel nicht überschreiten, sodass das RCP 2.6 oft auch als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- × RCP 4.5 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 Szenario RCP 8.5 weist hingegen den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um ca. $4,8^\circ\text{C}$ gegenüber dem Zeitraum 1985-2005 bewirken würde. Das Szenario RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher Szenario“ bezeichnet.

Die weltweiten CO_2 -Emissionen verzeichnen seit den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts einen permanenten Anstieg, wobei in den vergangenen Jahren der größte Anteil durch Emissionen aus Asien beigetragen wurde (vgl. BODEN 2017).

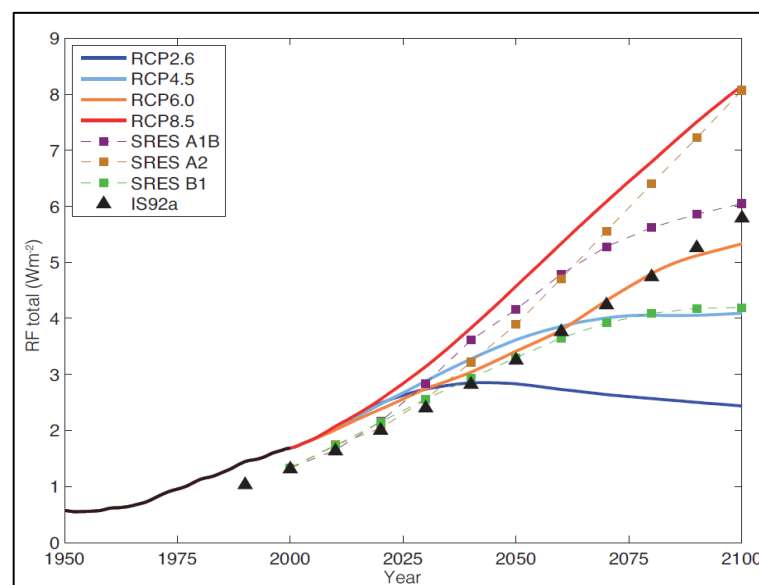


Abbildung 2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; CUBASCH ET AL. 2013)

Meteorologische Kenntage

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von meteorologischen Kenntagen (siehe Tabelle 1). Dies sind beispielsweise die Anzahl von Hitzetagen, Sommertagen oder Frosttagen innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ für Sommertage (schwellenwertbasiert) oder anhand von statistischen Maßen wie bspw. dem 95. Perzentil der statistischen Verteilung erfolgen (perzentilbasiert; siehe REKLIES-DE 2017). Für die Betrachtung des zukünftigen Klimawandels in Saarlouis wurden schwellenwertbasierte Kenntage verwendet.

Tabelle 1: Bezeichnung und Kriterien für meteorologische Kenntage

Bezeichnung	Kriterium
Sommertag	Tageshöchsttemperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Heißer Tag	Tageshöchsttemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$
Frosttag	Tagesminimumtemperatur $\leq 0^{\circ}\text{C}$
Eistag	Tageshöchsttemperatur $\leq 0^{\circ}\text{C}$

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, 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“ (REKLIES-DE 2017). Aus diesem Grund wurden für jede Modellsimulation die Schwellenwerte mit der Methode des Quantile-Mappings (PIANI ET AL. 2010, THEMERL ET AL. 2011) adjustiert. 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. (siehe Abbildung A1 im Anhang). Die Auswertung der Regionalmodellsimulationen wurde dann mit den adjustierten Kenntagen durchgeführt, um systematische Verzerrungen der Ergebnisse weitgehend zu vermeiden.

Statistische Auswertung

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. 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 für jede Variable zeitliche Mittelwerte über folgende Zeiträume berechnet:

- × Referenzperiode: 1971 – 2000
- × Zukunftsperiode 1 (nahe Zukunft): 2026 – 2055

Von den einzelnen Variablen-Mittelwerten der 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 (vgl. LINKE ET AL. 2016). Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf 95 % festgelegt. Es 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 Zeitskalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar.

2.2.2 DAS REGIONALKLIMA DES SAARLANDES

Klimatisch befindet sich das Saarland in der außertropischen Westwindzone, deren Wetterablauf durch Zyklogen und Antizyklogen geprägt ist (FLOHN 1954). Dieser Übergangsbereich zwischen Seeklima und kühlem Kontinentalklima zählt nach der Klimaklassifikation von Köppen (1936) zum warm-gemäßigten Regenklima, bei dem die mittlere Temperatur des wärmsten Monats unter 22° C und die des kältesten Monats über -3° C bleibt.

Im Saarland werden Jahresmitteltemperaturen zwischen 7 °C und 9 °C erreicht. Die jährlichen Niederschlagssummen liegen zwischen 800 und 1100 mm und die dominierende Hauptwindrichtung ist Südwest, wobei während Hochdruckwetterlagen nordöstliche Winde vorherrschen. Die höchsten klimatischen Differenzen treten zwischen den klimabegünstigten Lagen des Mosel- und Saartals und den Hochwaldlagen des Nordsaarlandes auf (LAPRO SAARLAND 2009). Auf Grund des ausgeprägten Reliefs, sowie der sehr ungleichen Verteilung offener und bewaldeter Flächen bildet sich ein sehr heterogenes, kleinräumig wechselndes Geländeklima aus. Zu den naturraumübergreifenden Klimaphänomenen zählen die kanalisierten Strömungsverhältnisse innerhalb des Saartals, die - je nach Wetterlage - mehr oder weniger stark ausgeprägten tageszyklischen Berg-Tal-Windsysteme sowie die Stadt-Umland-Austauschbeziehungen. Lokalklimatisch bedeutsam sind die klimaaktiven Bereiche, d.h. Kalt- und Frischluft produzierende Flächen und deren Abflussbahnen (LAPRO SAARLAND 2009).

2.2.3 AKTUELLES KLIMA IN SAARLOUIS

Niederschlag und Temperatur

Die langjährige Mitteltemperatur im Zeitraum von 1990 bis 2019 beträgt in Saarlouis 10,7 C. Sie liegt damit um 1,4°C über dem deutschlandweiten Mittelwert von 9,3 °C. Der wärmste Monat ist der Juli und der kälteste der Januar. Mit einer langjährigen jährlichen Niederschlagssumme von 739 mm fallen die Jahresniederschläge etwas geringer aus als im gesamtdeutschen Durchschnitt mit ca. 793 mm pro Jahr. Die meisten Niederschläge fallen in den Monaten Dezember und Januar, der April ist im langjährigen Mittel der Monat mit den geringsten Niederschlägen (Abbildung 3).

Im langjährigen Mittel treten in Saarlouis 50 Sommertage und 12 heiße Tage pro Jahr auf. Vornehmlich in den Wintermonaten wurden 56 Frosttage und 8 Eistage pro Jahr registriert. Dies unterstreicht die wärmere Lage der Stadt im Vergleich zu den deutschlandweiten mittleren Auftrittshäufigkeiten von Ereignistagen mit 39 Sommertagen, 9 heißen Tagen, 81 Frosttagen und 19 Eistagen pro Jahr für den Zeitraum von 1990 bis 2019.

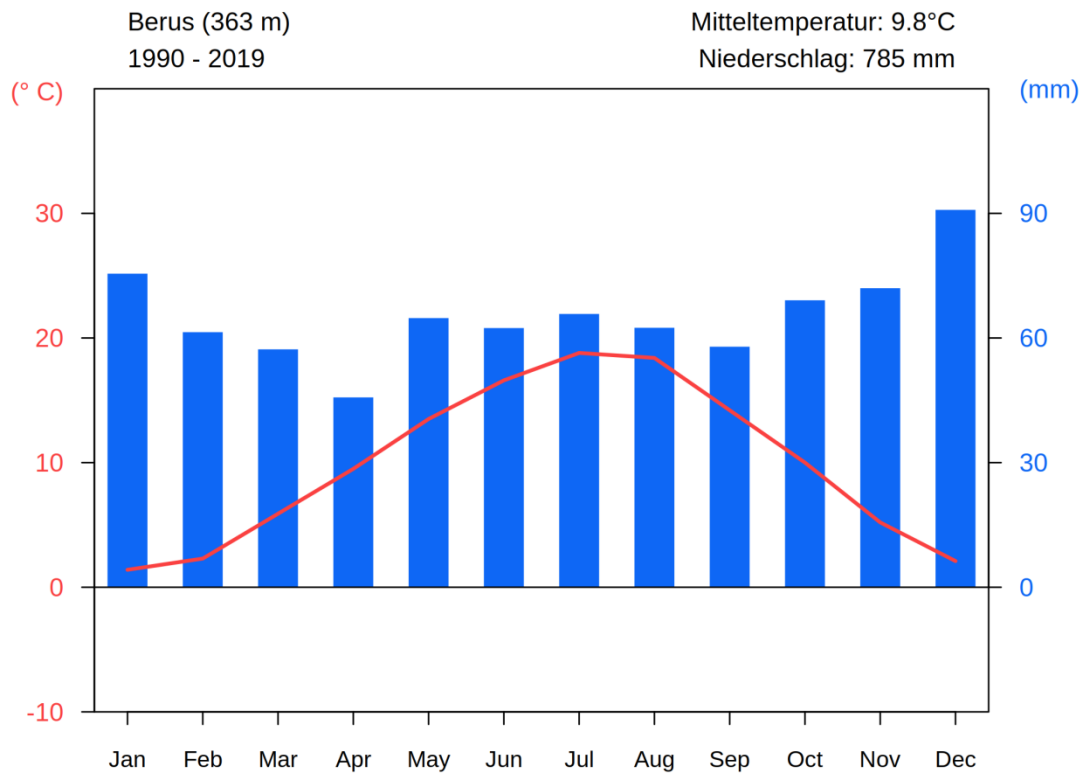


Abbildung 3 Klimadiagramm der Station Berus (Quelle: DWD 2020A).

Wind

An der Station Berus dominieren im langjährigen Mittel Winde aus den Hauptrichtungen West-Südwest bis Süd-Südwest sowie Nord-Nordost bis Ost-Nordost (Abbildung 4). Am häufigsten treten dabei Windgeschwindigkeiten zwischen 1,6 und 5,4 m/s (leichte Brise bis schwacher Wind) auf (Abbildung 5).

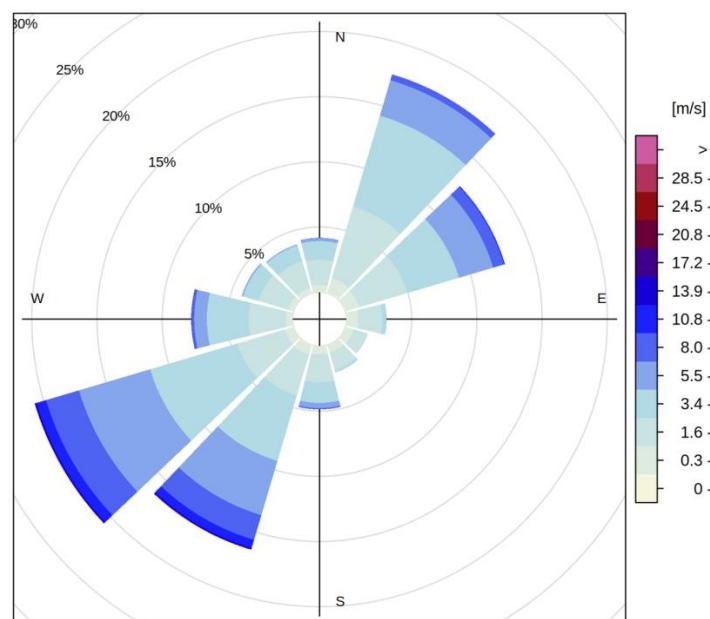


Abbildung 4: Windrichtungsverteilung an der Station Berus, 1990 – 2019 (Quelle: DWD 2020a).

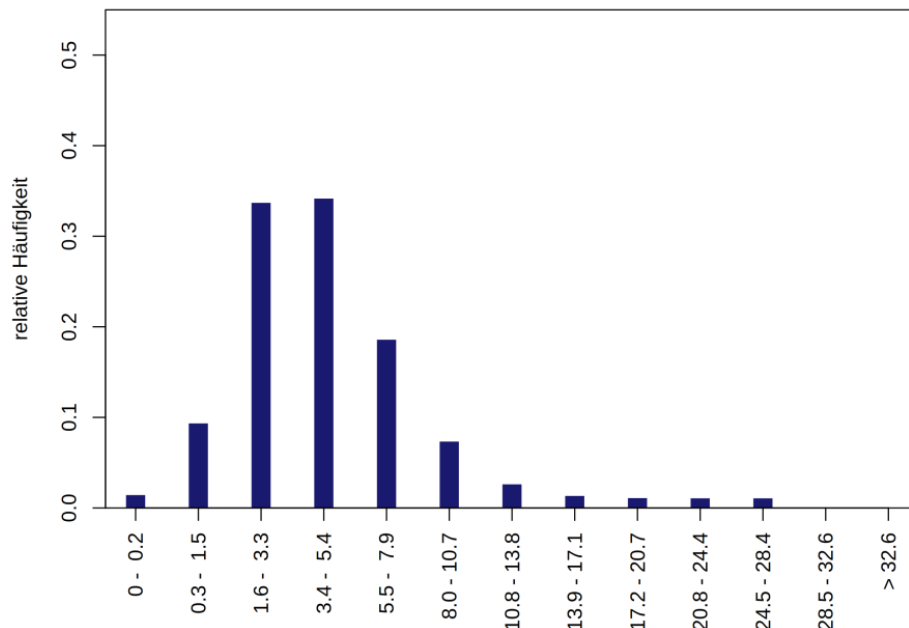


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit in m/s. Station Berus, 1990 - 2019 (Quelle: DWD 2020a).

2.2.4 BEOBACHTETER KLIMAWANDEL

Das Klima hat sich in Deutschland in den letzten Dekaden aufgrund der globalen Erwärmung deutlich verändert (DWD 2016). So ist die Temperatur in Saarlouis seit Beginn der Aufzeichnungen im 19. Jahrhundert bis heute signifikant um 1,7 °C angestiegen (Zeitraum 1990 - 2019 im Vergleich zu 1881 - 1910). Besonders stark fand dieser Anstieg in den vergangenen dreißig Jahren statt. Hier zeigen die jährlichen Mitteltemperaturen, bis auf wenige Ausnahmen, durchweg positive Abweichungen vom langjährigen Mittelwert des Zeitraumes 1971 bis 2000. Vier der fünf wärmsten Jahre wurden in der jüngsten Dekade von 2010 bis 2019 registriert (Abbildung 6).

Der Anstieg der Temperatur steht in engem Zusammenhang mit den temperaturbedingten meteorologischen Kennzahlen. So ist die Anzahl der Sommertage und heißen Tage pro Jahr von 40 auf 50 bzw. von 8 auf 12 angestiegen während die Anzahl der Frosttage um sechs Tage von 62 auf 56 pro Jahr und die Anzahl an Eis Tagen von 11 auf 8 pro Jahr gesunken ist. Die Zahlen der Kenntage beziehen sich auf den Vergleich der dreißigjährigen Zeiträume von 1971 bis 2000 und 1990 bis 2019. Die Daten basieren auf Auswertungen der vom DWD frei zur Verfügung gestellten interpolierten und für ganz Deutschland gerasterten Stationsdaten (DWD 2020b).

Die Jahresniederschläge sind von 1881 bis zum Jahr 2000 um etwa 10 % angestiegen und von 2000 bis heute um ca. 5 % wieder zurückgegangen (Abbildung 7). Seit dem sehr warmen Jahr 2003 weisen mit wenigen Ausnahmen fast alle folgenden Jahre bis heute ein Niederschlagsdefizit im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1971 bis 2000.

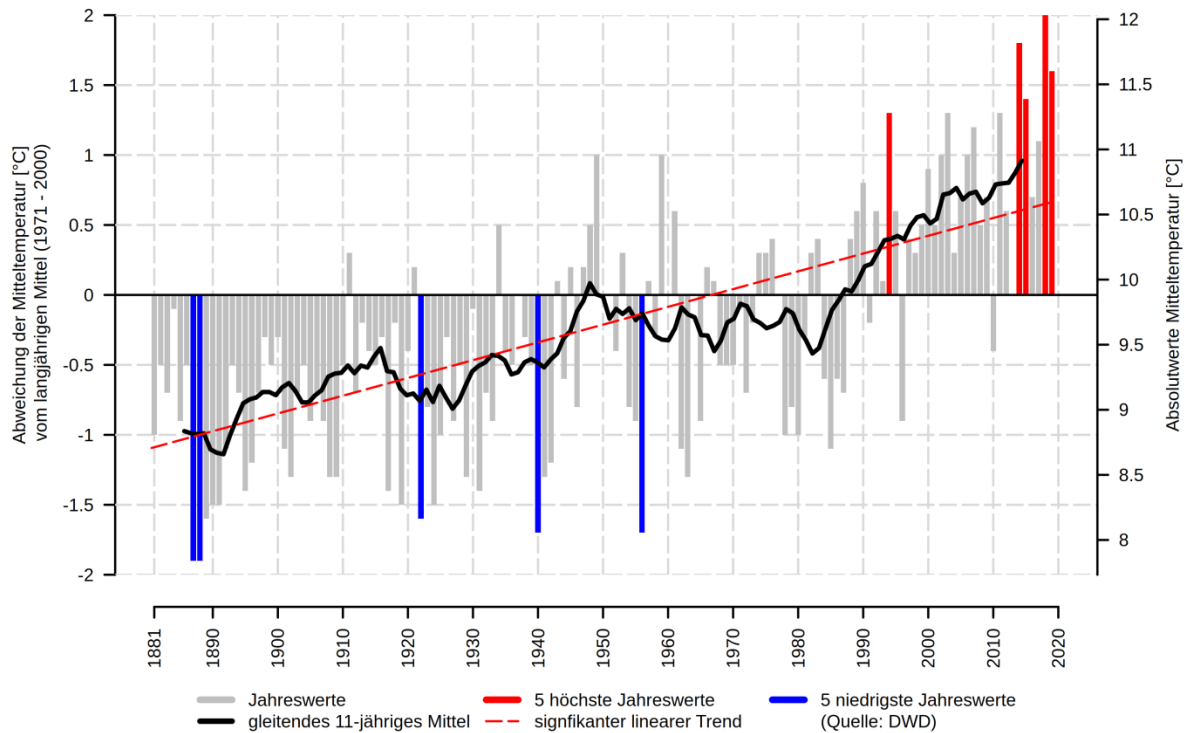


Abbildung 6: Entwicklung der Mitteltemperatur in Saarlouis im Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD 2020B)

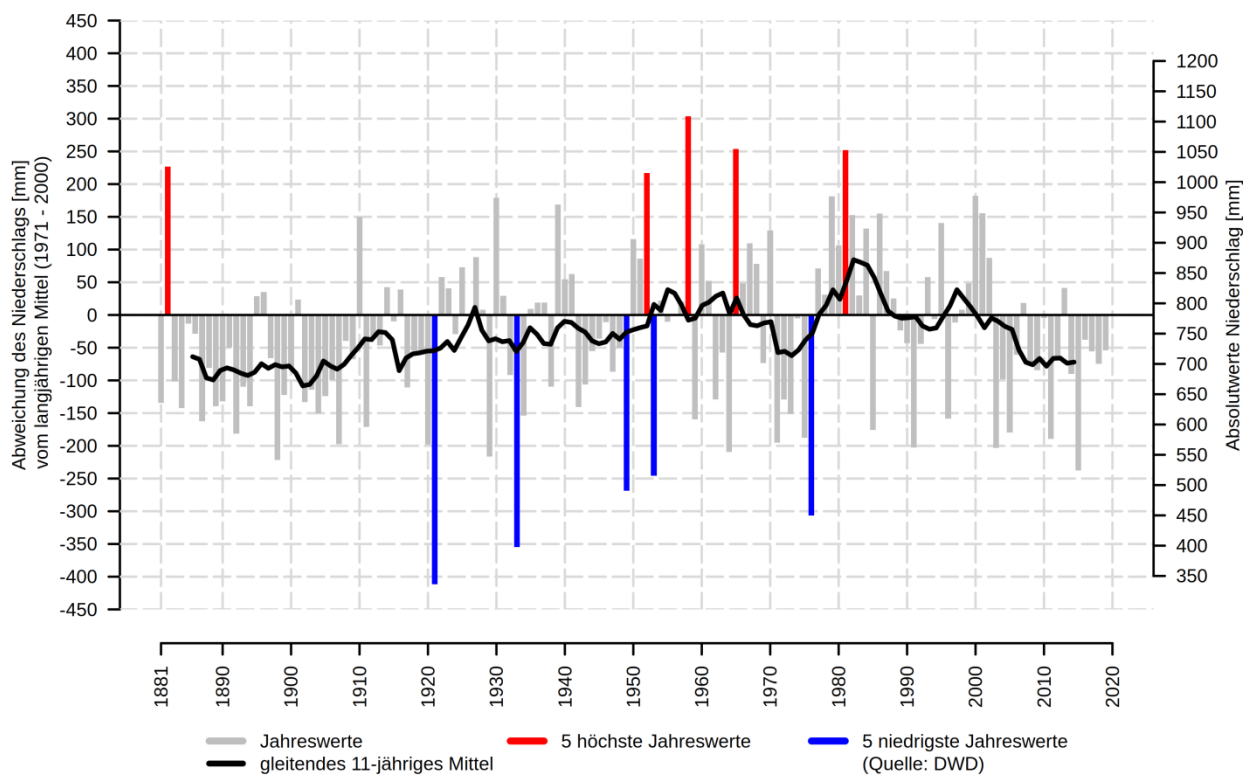


Abbildung 7: Entwicklung des Jahresniederschlags in Saarlouis im Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD 2020B)



Von 1881 bis 2019 sind die Temperaturen in Saarlouis stark und die Niederschläge moderat angestiegen. In den letzten zehn Jahren von 2010 bis 2019 ereignete sich der vergleichsweise höchste Temperaturanstieg verbunden mit einem ausgeprägten Niederschlagsdefizit.

2.2.5 ZUKÜNFTIGER KLIMAWANDEL

Für die Bewertung des zukünftigen Stadtklimas in Saarlouis wurde in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt, dass die Ergebnisse der Ensembleauswertungen des Szenarios RCP 4.5 im 30-jährigen Zeitraum von 2026 bis 2055 (zentriert auf das Jahr 2040) verwendet werden. Alle folgenden Aussagen zum projizierten Klimawandel beziehen sich daher ausschließlich auf diesen Zeitraum und das Szenario RCP 4.5.

Im Vergleich zum Referenzzeitraum von 1971 bis zum Jahr 2000 steigt die Mitteltemperatur in Saarlouis um etwa 1,2 °C wobei der Schwankungsbereich zwischen 0,9 °C und 1,7 °C liegt (Tabelle 2). Etwas stärker, im Vergleich zur Mitteltemperatur, steigen die Minimum- und Maximumtemperaturen mit mittleren Änderungen von 3,0 °C und 1,9 °C. Eine Zunahme der Temperaturen ist in allen Regionen Deutschlands beobachtbar und auch in den regionalen Klimaprojektionen erkennbar (DWD 2016, DEUTSCHLÄNDER UND MÄCHEL 2017). Bei der Annahme des Eintretens von Szenario RCP 4.5 würde die Jahresmitteltemperatur in Saarlouis im Zeitraum von 2026 bis 2055 somit bei ca. 11,1 °C liegen. Die Trends der Temperatur und die projizierten Änderungen der langjährigen Mittelwerte sind sehr robust und werden von allen Modellkombinationen des Ensembles als statistisch signifikant ausgegeben.

Tabelle 2: Langjährige Änderung der Temperatur (in °C) in Saarlouis (P15 = 15. Perzentil, P50 = Median, P85 = 85. Perzentil).

Parameter	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000		
	2026-2055		
	P 15	P 50	P 85
Jahresmitteltemperatur [°C]	0,9	1,2	1,7
Tagesminimum der Temperatur [°C]	2,2	3,0	4,2
Tagesmaximum der Temperatur [°C]	1,5	1,9	2,6

Im Jahresgang ist ein Temperaturanstieg in allen Monaten erkennbar, wobei von Juli bis Oktober, sowie im Dezember vergleichsweise größere Temperaturänderungen auftreten als in der ersten Jahreshälfte (Abbildung 8).

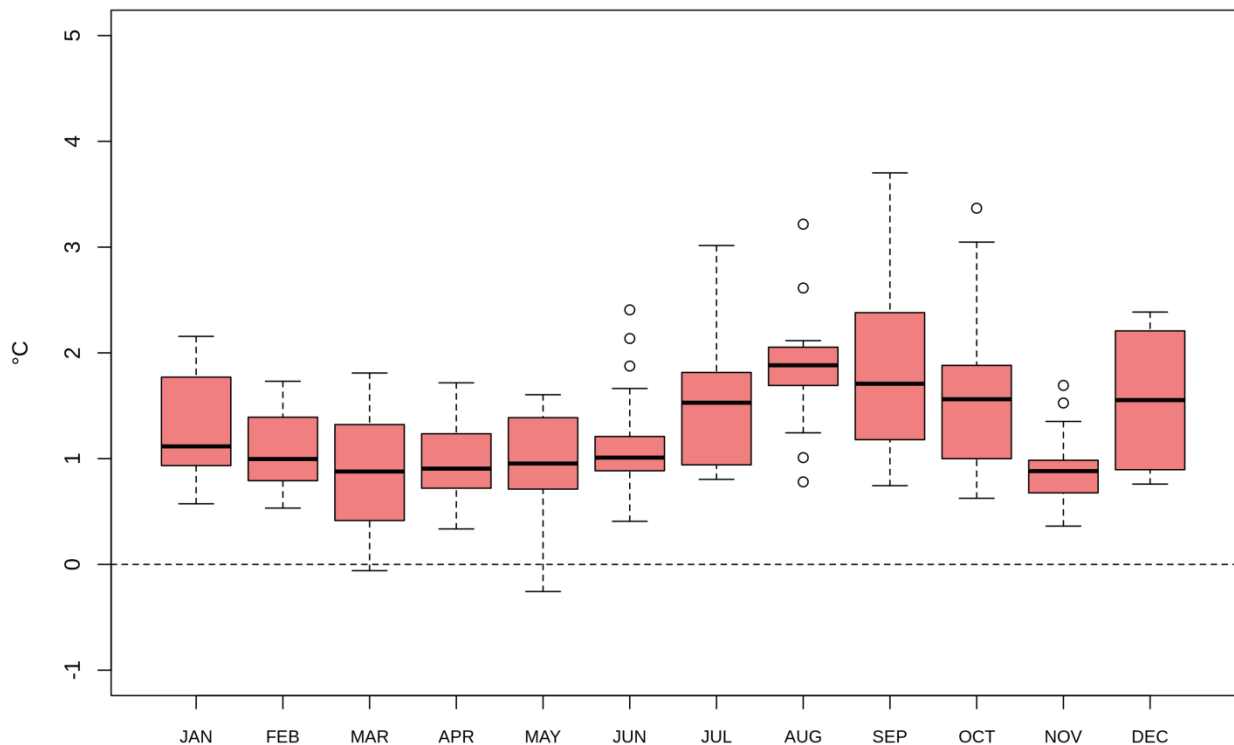


Abbildung 8: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Saarlouis (RCP 4.5, 2026 - 2055)

Der projizierte Anstieg der Temperatur steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung meteorologischer Kenntage, die eine anschauliche Sicht auf klimatische Änderungen zulassen. In Tabelle 3 sind die langjährigen mittleren Änderungen ausgewählter Kenntage für Saarlouis aufgeführt. Die durchschnittliche jährliche Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen nimmt deutlich zu. In der für Saarlouis betrachteten Periode von 2026 bis 2055 ist beim Szenario RCP 4.5 mit 5 zusätzlichen heißen Tagen pro Jahr zu rechnen. Damit würden zukünftig im Mittel ca. 13 heiße Tage im Gegensatz zu ca. 8 heißen Tagen pro Jahr (Zeitraum 1971-2000) auftreten. Im aktuellen Zeitraum (1990 bis 2019) treten in Saarlouis im Mittel bereits 12 heiße Tage pro Jahr auf. Somit ist die projizierte Anzahl schon fast erreicht und könnte eventuell sogar überschritten werden.

Tabelle 3: Langjährige Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Saarlouis (P15 = 15. Perzentil, P50 = Median, P85 = 85. Perzentil).

Parameter	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000		
	2026-2055		
	P 15	P 50	P 85
Sommertage [n/Jahr] (Tmax ≥ 25°C)	8	14	20
Heisse Tage [n/Jahr] (Tmax ≥ 30°C)	4	5	6
Frosttage [n/Jahr] (Tmin < 0°C)	-26	-18	-15
Eistage [n/Jahr] (Tmax < 0°C)	-12	-9	-5



Neben den auf die hohen Temperaturen abzielenden Kenntagen steht die eingangs beschriebene intensive Zunahme der Minimumtemperaturen im Zusammenhang mit einer Abnahme an Frost- und Eistagen. Dies lässt ein häufigeres Auftreten wesentlich milderer Winter und eine geringere Zahl an Tagen mit Frost- und Tauwechseln erwarten. In Saarlouis traten aktuell im langjährigen Mittel ca. 62 Frostage pro Jahr auf. Darin enthalten waren etwa 11 Eistage pro Jahr (Zeitraum 1971-2000). Beim Szenario RCP 4.5 würden im Mittel des Zeitraumes 2026 bis 2055 nur noch 44 Frostage und 2 Eistage pro Jahr auftreten.

Die Analyse der vom EURO-CORDEX-Modellensemble projizierten klimatischen Änderungen für das Klimaszenario RCP 4.5 und den Zeitraum von 2026 bis 2055 in Saarlouis zeigt für die Jahresmitteltemperaturen einen signifikanten Anstieg. Dieser Anstieg tritt in allen Monaten des Jahres auf, wobei die Temperaturen in der zweiten Jahreshälfte stärker zunehmen als in der ersten Jahreshälfte. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung wirkt sich auf die Veränderung der thermischen Kenntage in Saarlouis aus. So wird die Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen deutlich zunehmen sowie an Frost- und Eistagen abnehmen.

3. Angewendete Methoden

3.1 NUMERMISCHE MODELLRECHNUNG

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

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

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

3.1.1 EINGESETZTES STADTKLIMAMODELL

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

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst. Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die

benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 10 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü.Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü.Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Für tiefergehende Informationen zu FITNAH 3D wird u.a. auf GROß (1992) verwiesen.

3.1.2 VORGEGEBENE RANDBEDINGUNGEN

Die Klimaanalyse legt einen autochthonen Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung für die Modellrechnung zugrunde. Dieser wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt bzw. Region besonders gut ausprägen. Charakteristisch für solch eine (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung von Flurwinden, d.h. durch den Temperaturunterschied zwischen kühleren Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetriebene Ausgleichsströmungen.

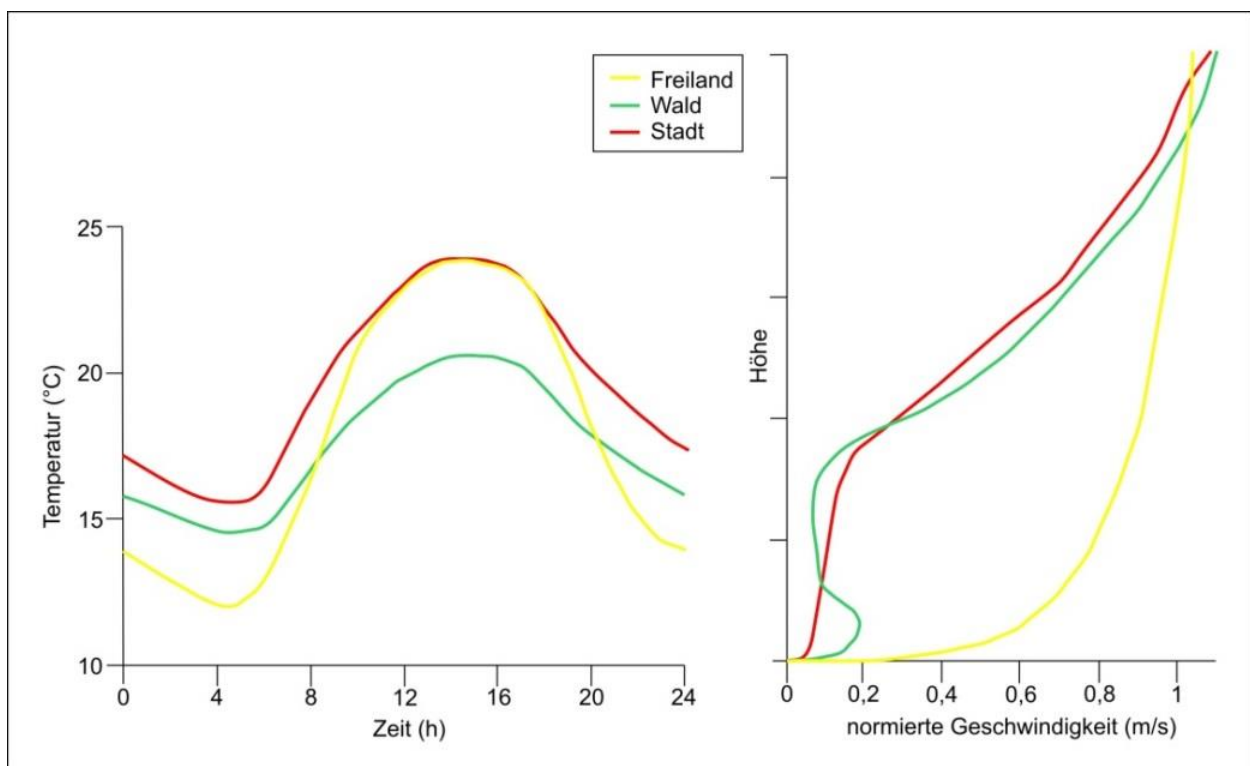


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach GROß 1992)

In Abbildung 9 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. 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 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.

Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen Luftaustauschs zu den höchsten thermischen Belastungen. Auch wenn es sich dabei um eine besondere Situation handelt, tritt solch eine Wetterlage regelmäßig und jeden Sommer mehrfach auf.

Für die Modellrechnung wird die Situation des 21.6. (Sonnenhöchststand) mit einer 0/8 Bewölkung und einer Bodenfeuchte von 60 % angenommen. Der Modellierungszeitraum erstreckt sich von 21 Uhr bis zum Folgetag um 14 Uhr, wobei in der späteren Auswertung (Kap. 4.1) lediglich die Zeitpunkte um 4 Uhr nachts und um 14 Uhr am Tag beschrieben werden. Die Starttemperatur der Modellierung beträgt 21 °C in 2 m Höhe.

3.1.3 EINGANGSDATENAUFBEREITUNG

Ein numerisches Modell wie FITNAH 3D benötigt spezifische Eingangsdaten, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Dabei müssen für jede Rasterzelle folgende Daten vorliegen, die jeweils von der Stadt zur Verfügung gestellt wurden bzw. teilweise online zugänglich waren:

- Geländehöhe
 - ↳ Digitales Geländemodell in 5 m Auflösung (2019)
- Landnutzung
 - ↳ ALKIS Realnutzungskartierung (Mai 2019)
 - ↳ Digitale Orthophotos (August 2018)
 - ↳ Siedlungstypen (2019)
 - ↳ Gebäudeflächen aus ALKIS (Mai 2019)
 - ↳ Baumkataster (Mai 2019)
 - ↳ Baulückenkataster (2020)
 - ↳ B-Pläne
- Strukturhöhe
 - ↳ Digitales Geländemodell in 5 m Auflösung (2019)
 - ↳ Digitales Oberflächenmodell in 1 m Auflösung (2019)
- Versiegelungsgrad
 - ↳ Digitale Orthophotos (August 2018)
 - ↳ Siedlungstypen (2019)

Die Klimaanalyse kann den (Ist-)Zustand des Stadtgebiets immer nur in einer bestimmten Situation abbilden. Die aktuelle Situation Saarlouis wird demnach aus einer Sammlung von Daten repräsentiert, die einen Stand von mindestens 2018 aufweisen. Aufgrund der Notwendigkeit der Kombination von verschiedenen Geodaten ist es jedoch nicht möglich, einen feststehendes Jahr als „Ist-Zustand“ anzunehmen. Die meisten Datengrundlagen stammen jedoch mindestens aus dem Jahr 2019 und waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung (Ende 2019/Anfang 2020) demnach sehr aktuell. Alle Eingangsdaten wurden zudem hinsichtlich ihrer Plausibilität mittels Orthophoto 2018 abgeglichen.

Um die klimatischen Prozesse zwischen Stadt und Umland zu erfassen (insb. bezogen auf den Luftaustausch), geht das Untersuchungsgebiet über die Stadtgrenze hinaus. Außerhalb des Saarlouiser Stadtgebiets wurde dabei auf frei verfügbare Daten aus dem Urban Atlas von 2018 des Copernicus Land Monitoring Service zurückgegriffen. Insgesamt sind dadurch die Eingangsdaten für das Saarlouiser Umland weniger detailgetreu aufbereitet, aber grundsätzlich ausreichend, um das Prozessgeschehen zwischen Saarlouis und seinen Nachbarorten hinreichend genau zu erfassen. Das Stadtgebiet Saarlouis erstreckt sich bei einer Ausdehnung von ca. bis zu 10,2 km in Ost-West- bzw. 11,3 km in Nord-Süd-Richtung über eine Fläche von 43,3 km². Das für die Modellrechnung verwendete rechteckige Untersuchungsgebiet spannt eine Fläche von etwa 160 km² auf (12,0 km x 13,3 km), damit die im Umland gelegenen Höhen- und Landnutzungsunterschiede mit Einfluss auf das Stadtklima von Saarlouis berücksichtigt werden können. Insgesamt wird das Modellgebiet mit 1.593.727 Rasterzellen beschrieben, wobei für jede Rasterzelle jeweils eine Information zur Geländehöhe, Landnutzung, Strukturhöhe und Versiegelungsgrad hinterlegt ist.

Die Geländehöhe des Modellgebiets wird in einem digitalen Geländemodell (DGM) dargestellt, welches von einer ursprünglichen 5 m-Auflösung in die für die Modellierung notwendige 10 m-Rasterauflösung gemittelt wurde (Abbildung 10). Im Saarlouiser Stadtgebiet treten Höhenunterschiede von ca. 159 Metern auf.

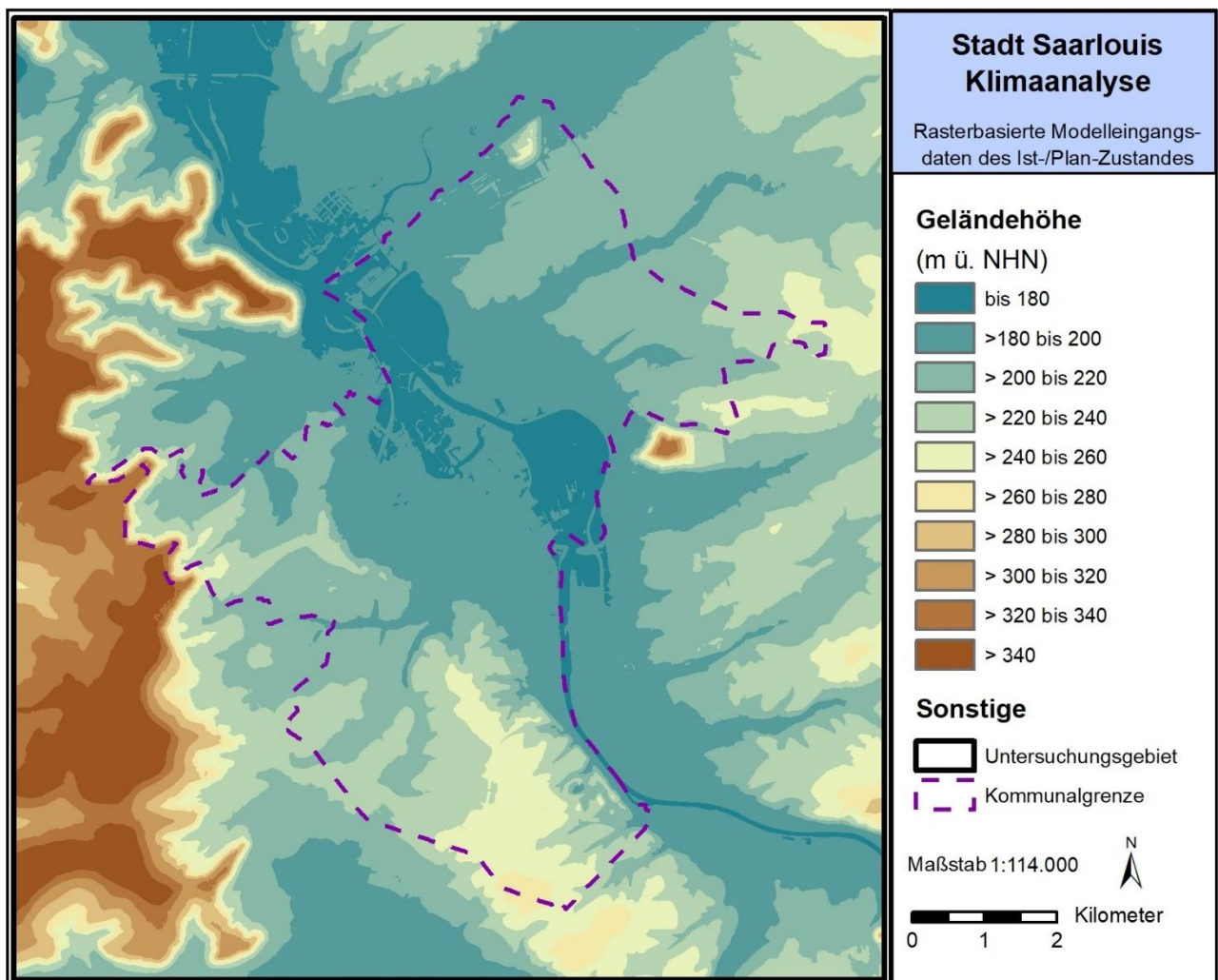


Abbildung 10: Digitales Geländemodell für Saarlouis und Umgebung. Urhebervermerk: „Geobasisdaten, ©LVGL TKA 14770/2019“

Den niedrigsten Punkt etwa 175 m ü. NHN bildet die Saar. Die Gebirgszüge des Landschaftsschutzgebietes westlich von Saarlouis-Wallerfangen stellen mit Maxima um 334 m den höchsten Punkt dar. Im gesamten, rechteckigen Untersuchungsgebiet werden sogar maximale Höhen von bis zu 384 m ü. NHN erreicht (ebenfalls in den westlich gelegenen Gebirgszügen). Das Relief im Untersuchungsgebiet ist abfallend vom Gebirge im Osten zum zentral gelegenen Saartal. In Richtung Westen, mit den höchsten Erhebungen Halde Ens Dorf Duhamel, Axhelm oder Krickelsberg steigt dieses dann erneut an. Ebenso ist in Richtung Süden, zum Lisorfer Berg hin, ein Anstieg des Geländes zu registrieren. Die Innenstadt von Saarlouis befindet sich im flacher gelegenen Saartal auf Höhenlagen von meist unter 185 Metern ü. NHN.

Die Landnutzung in Saarlouis wird über sechs verschiedene Nutzungsklassen (Abbildung 11) definiert, welche jeweils unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen.

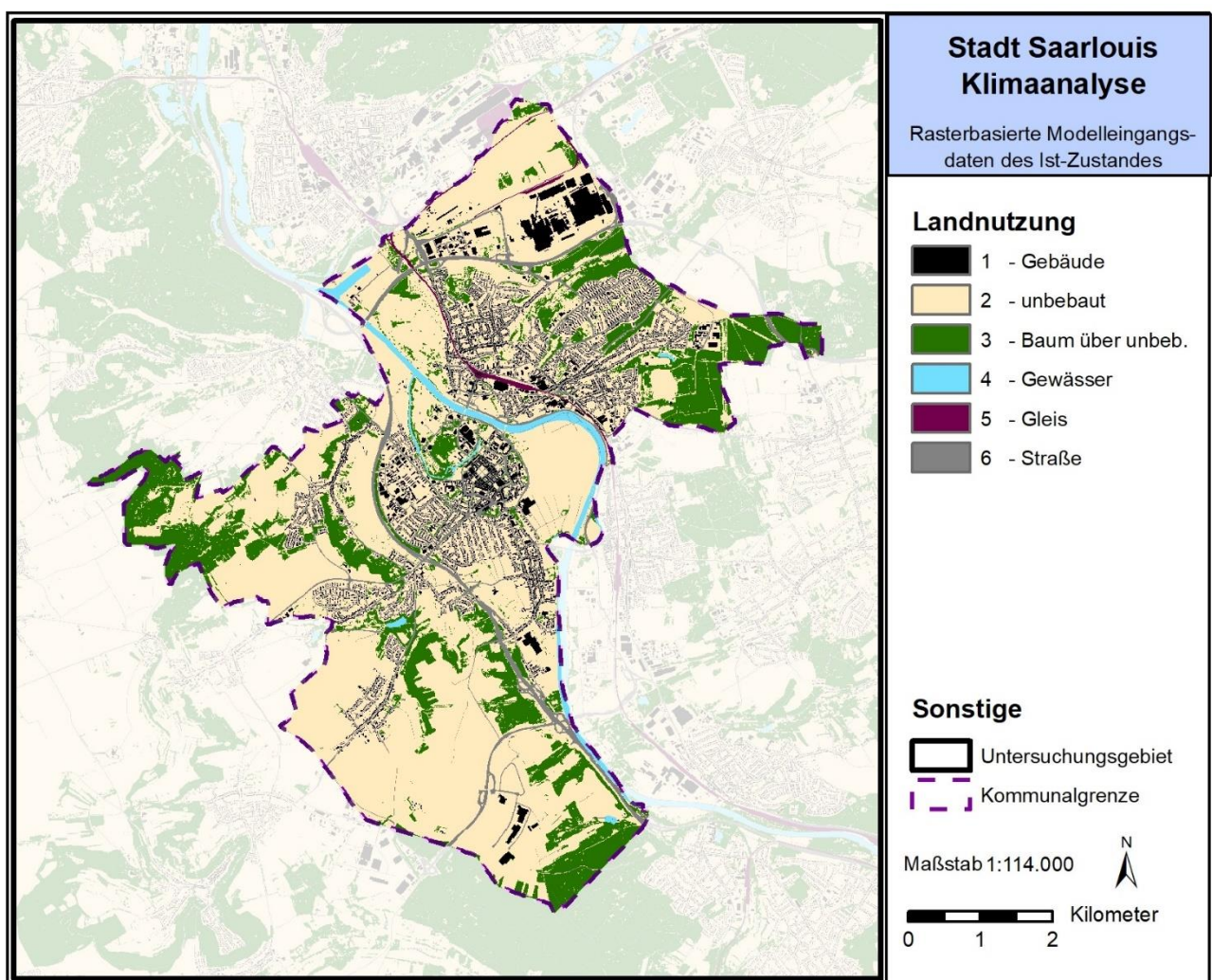


Abbildung 11: Landnutzungsklassifizierung für das Stadtgebiet Saarlouis

Bei der vorliegenden Rasterzellenbreite von 10 m war es möglich, einzelne Gebäude und Bäume in der Landnutzungsklassifizierung aufzulösen. Bäume bzw. hohe Vegetation über 2 m finden sich in Klasse 3 wieder. Durch Anpassungen, die am Versiegelungsgrad vorgenommen wurden, konnten indirekt auch Straßenbäume (Versiegelung = 95%) oder etwa Parkbäume (Versiegelung = 0%) ausdifferenziert werden.

Für die Stadt Saarlouis lag ein Baumkataster als Punktshape vor, das als Grundlage für öffentliche Bäume im Stadtgebiet verwendet wurde. An jenen Orten, wo eine Zelle des gerasterten Punktshapes eine Strukturhöhe von mehr als 2 m aufwies und gleichzeitig kein Gebäude vorlag, wurde eine „Baum über unbebaut“-Information eingetragen. Außerhalb des Stadtgebietes, wo keine punktgenauen Informationen zu Bäumen vorlagen, wurde eine Überschneidung jeder Rasterzelle mit den urban atlas –Kategorien „green urban areas“, „pastures“, „forestst“ oder „herbaceous vegetation association“ bei entsprechend höherer Strukturhöhe als 2 m als Baumzelle eingetragen. Private Bäume wurden im Anschluss vereinzelt manuell hinzugefügt.

AUFBEREITUNG DER EINGANGSDATEN

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen der Referenzgeometrie punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Gitterweite von 10 m zu erzeugen (Schritt 1 und 2 in Abbildung 12). Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelöste, rasterbasierte Modellergebnisse der einzelnen Klimaparameter (Schritt 3).

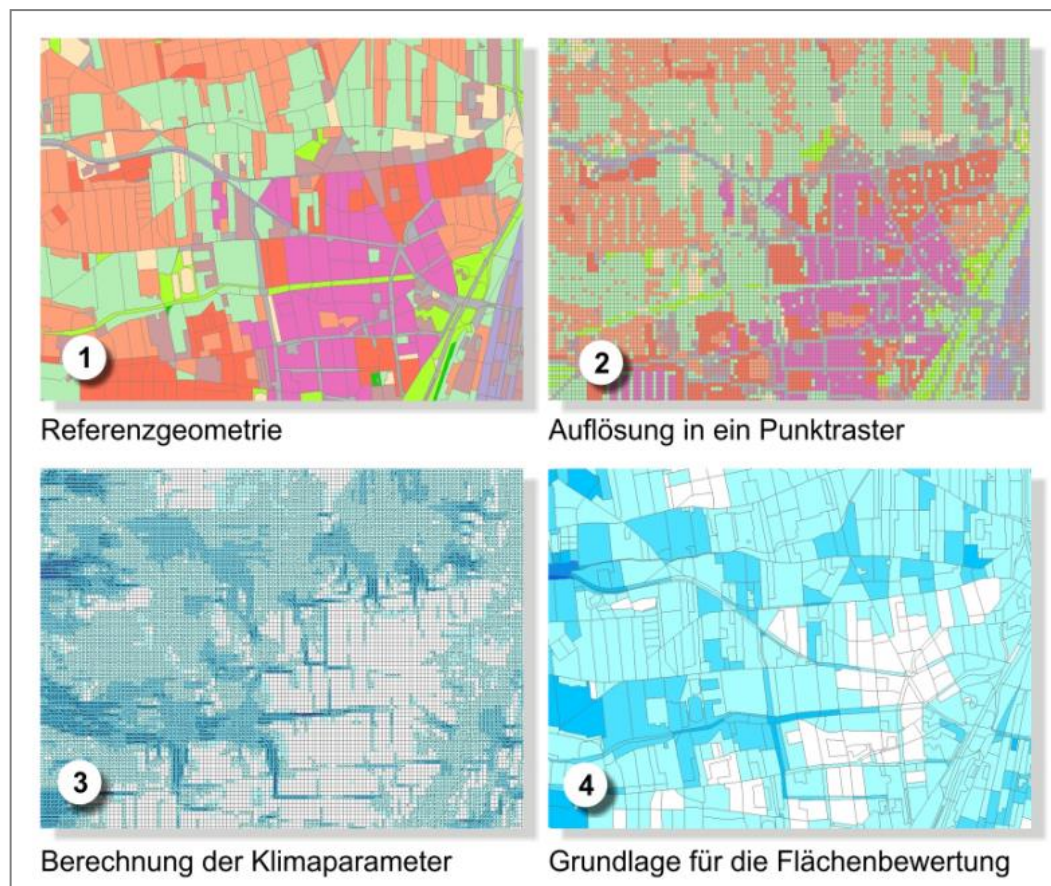


Abbildung 12: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation

Die Modellergebnisse erlauben eine erste Analyse der klimaökologischen Gegebenheiten in einem Gebiet. Planerische Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in klimatisch ähnlichen Flächeneinheiten erfolgen. Diese Blockflächen sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein. Die wichtigste Datengrundlage hierfür bildet die Realnutzungskartierung

(2019), welche auf der Basis von digitalen Orthophotos (2018) noch einmal manuell überarbeitet wurde. Die rasterbasierten Modellergebnisse werden nun auf die Blockflächen gemittelt, sodass jede Blockfläche Informationen bspw. zur Lufttemperatur oder dem Kaltluftvolumenstrom enthält (Schritt 4 in Abbildung 12).

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum (Kap. 4.1), zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten (Verwendung z.B. in der Planungshinweiskarte in Kap. 5.2, 5.2.3, 5.2.4.1 und 5.2.4.2).

EINGANGSDATEN DER ZUKUNFT – DER MISCHPIXELANSATZ

Die für die nahe Zukunft angenommene Flächenkulisse basiert auf den Entwicklungsgebieten, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung (Frühjahr 2020) als plausible Flächen von der Stadt Saarlouis definiert wurden. Es handelt sich um insgesamt 13 Entwicklungsflächen, von denen vier zum Zeitpunkt der Bearbeitung bereits über einen mindestens in Aufstellung befindlichen Bebauungsplan verfügten, und 412 Baulücken. Zu diesen vier B-Planflächen zählen:

- Provinzialstraße 242
- Erweiterung Firma Rietmann, Saarlouis-Lisdorf
- Auf der Wies (westlich)
- Seniorenresidenz und Wohnbebauung Hülzweilerstraße

Die Namen der 9 verbleibenden möglichen Entwicklungsflächen, die in der Flächenkulisse der zukünftigen Situation berücksichtigt wurden, sind in der Tabelle 4 dargestellt. Für diese sowie für die genannten Baulücken, welche als eigene Klasse in die Zukunftsrechnung eingehen, fand der sogenannte Mischpixelansatz Verwendung.

Tabelle 4: Berücksichtigte Saarlouiser Entwicklungsflächen (ohne Bebauungsplan) für die zukünftige Situation (2040) mit ihrem jeweiligen Anteil für die Ist-Situation verwendeter Nutzungsklassen (Mischpixelansatz), dem mittleren Versiegelungsgrad sowie der mittleren Strukturrhöhe

Flächentypen	Nutzung 1	Nutzung 2	Nutzung 3	Nutzung 4	Nutzung 5	Nutzung 6	Vers.-grad	Strukturhöhe
10: Neuforweiler	16.11 %	72.09 %	1.62 %	-	-	10.18 %	42.00 %	4.67 m
11: Roden, Ellbach – Margaretenstr.	23.87 %	60.85 %	2.57 %	-	-	12.71 %	48.00 %	5.10 m
12: Walter-Bloch-Str.	33.26 %	42.85 %	2.69 %	-	-	21.20 %	68.00 %	7.56 m
13: Auf der Wies (östlich)	27.84 %	57.80 %	0.82 %	-	-	13.54 %	52.00 %	5.53 m
14: Holzmuehler Str.	24.75 %	62.25 %	0.64 %	-	-	12.36 %	50.00 %	5.20 m
15: Beaumarais, Auf der Heed	19.11 %	67.41 %	2.65 %	-	-	10.83 %	42.00 %	4.39 m
16: Roden, Mühlenlängstr.	20.71 %	62.86 %	2.84 %	-	-	13.59 %	47.00 %	4.98 m
17: Lisdorfer Berg (Bestand)	33.00 %	58.50 %	0.50 %	-	-	8.00 %	82.50 %	10.33 m
18: Lisdorfer Berg (Neubau Westseite)	33.00 %	57.00 %	2.00 %	-	-	8.00 %	75.00 %	10.33 m
19: Baulücken Wohnbebauung	23.66 %	60.87 %	1.98 %	-	-	13.49 %	50.00 %	5.35 m

Für den Mischpixelansatz wird eine statistisch signifikante Menge umliegender Rasterpixel ähnlicher siedlungstypologischer Ausprägung ausgewählt, um die jeweilige Entwicklungsfläche möglichst repräsentativ in das Quartiersbild einzubetten. Die statistische Auswertung dieser umgebenden Rasterpixel liefert den mittleren Anteil von Gebäuden, versiegelten sowie unversiegelten Pixeln und allen weiteren möglichen Nutzungsklassen. Diese mittlere Nutzung kann nun jedem einzelnen Pixel der jeweiligen Entwicklungsfläche zugeordnet werden. Während eine Einzel- und Reihenhausbauung in der Folge eher „grün“ ausgestaltet anmutet, wirken Gewerbegebiete tendenziell „grauer“ und gehen dementsprechend in die Modellrechnung ein (Abbildung 13). Die Änderung der Nutzung im Vergleich zum Status quo (Abbildung 11) findet sich in Abbildung A2 im Anhang. Zusätzlich zur Landnutzung wird der mittlere Versiegelungsgrad sowie die mittlere Strukturrhöhe (von Pixeln mit einer Strukturrhöhe größer als 0) berechnet und als weiterer Eingangsdatenparameter in die Modellrechnung gegeben.

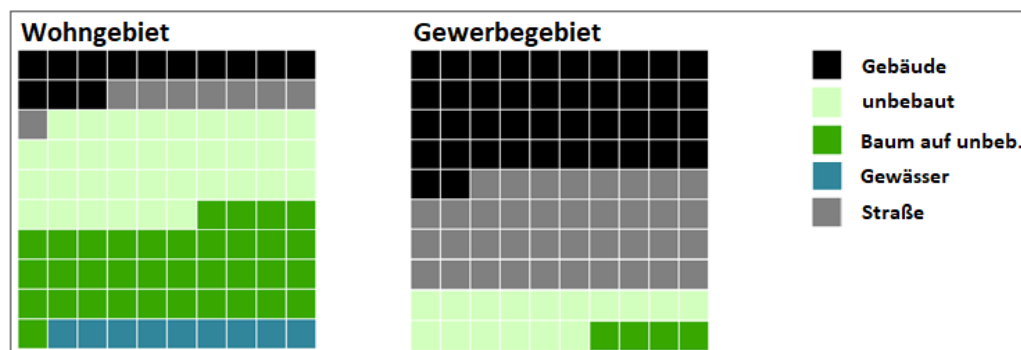


Abbildung 13: Prinzipskizze des Mischpixelansatzes: Verteilungsbeispiele für einen einzelnen Pixel für Wohnbebauung (links) und dem eines Gewerbegebietes (rechts)

3.1.4 HERAUSFORDERUNGEN UND UNSICHERHEITEN

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

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

Bedingt durch die Rasterung von flächendeckenden Informationen in eine Auflösung von 10 Metern ergeben sich Ungenauigkeiten, die sich zum Teil auch in den Modellergebnissen niederschlagen. So können z.B. besonders kleinkronige Bäume in einem 10 m-Gitter nicht erfasst werden, was sich insbesondere auf die PET



am Tag niederschlägt (vgl. Kap. 4.1.3). Es kann demnach sein, dass eine Straße mit kleinkronigen Baumreihen (und größeren Abständen zwischen den Bäumen) gar nicht als Allee, sondern als reiner Straßenraum ohne Verschattung betrachtet wird. Dieses Problem schlägt sich auch in den übrigen Landnutzungsklassen nieder. Städte haben besonders kleinteilige Strukturen, sodass oftmals gleich mehrere Oberflächentypen in ein und derselben Rasterzelle liegen. In den Eingangsdaten und damit auch im Modell wird jedoch nur die Nutzung berücksichtigt, die den größten Flächenanteil in der Rasterzelle einnimmt. Auch mit Blick auf die Gelände- und Strukturhöhe treten rasterbedingte Ungenauigkeiten auf. Die mit 5 m bzw. 1 m sehr fein aufgelösten Gelände- und Oberflächenmodelle der Stadt Saarlouis mussten für die Klimamodellierung auf eine gröbere Rasterauflösung von 10 m gemittelt werden. Berge und Vegetationsstrukturen werden auf diese Weise geglättet bzw. abgerundet. Um die Modellergebnisse allgemein besser nachvollziehen zu können, sollte also auch immer ein Blick auf die rasterbasierten Eingangsdaten erfolgen.

Weitere Unsicherheiten ergeben sich mit Blick auf die Datengrundlage. Die Verwendung bzw. Kombination von Daten mit verschiedenen Aufnahmezeitpunkten ist problematisch und gleichzeitig unvermeidbar. Die „heutige“ Flächenkulisse der Stadt Saarlouis wird durch die aktuellsten Daten beschrieben, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung zur Verfügung standen. Doch nicht allein die Datenaktualität, auch Ungenauigkeiten in den Datengrundlagen selbst rufen Probleme hervor. Die Güte der Modellergebnisse hängt also auch stark von der Güte der Eingangsdaten ab. Widersprüchliche und veraltete Daten konnten anhand des Abgleichs mit dem Orthophoto (2018) zum Teil korrigiert bzw. aktualisiert werden, sind trotz Plausibilitätsprüfung jedoch nicht komplett auszuschließen.

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

3.1.5 LUFTHYGIENE-BETRACHTUNG

Die im Rahmen der vorliegenden Klimaanalyse vorgenommene lufthygienische Untersuchung einer austauscharmen Wetterlage wird ebenfalls mit dem Modell FITNAH durchgeführt. Als Indikator für die Belastung der Luft dient dabei die Ausbreitung zweier Luftschadstoffkomponenten im dreidimensionalen Strömungsfeld der Kaltluftmodellierung. Die Ausgangswerte hierfür liefern die Berechnungen der Emissionsmengen von Stickstoffoxiden (NO_x) auf der Basis des Verkehrsaufkommens. Die daraus resultierende Immissionsbelastung wird innerhalb der kaltlufthaushaltlich relevanten Raumeinheiten (insbesondere im Hinblick auf Kaltluft- und Frischluftaustauschbahnen) lufthygienisch bewertet.

GRUNDLAGEN: DIE LUFTHYGIENE BEI AUSTAUSCHARMEN WETTERLAGEN

Generell wird ein überwiegender Anteil der Luftschadstoffe durch den Straßenverkehr freigesetzt. Anders als bei industriellen Quellen und Kleinf Feuerungsanlagen werden die straßenverkehrsbedingten Emissionen in geringen Höhen und in direkter Nähe zum Schutzgut (menschliche Gesundheit) emittiert. Als Folge davon treten insbesondere an Straßen mit hohen Verkehrsströmen und unmittelbar angrenzender Wohnbebauung hohe Immissionsbelastungen mit Grenzwertüberschreitungen auf. Diese Zusammenhänge betonen die besondere Relevanz der Berücksichtigung des Straßenverkehrs als Schadstoffquelle in stadtklimatischen Untersuchungen.

Kleinf Feuerungs- und Industrieanlagen bewirken zusammen in der Regel etwa ein Drittel der relevanten Luftschadstoff-Emissionen. Aufgrund der Quellhöhe können sich die industriebedingten Abgase und in gewissen Grenzen auch die Emissionen der Gebäudeheizungen mit der freien Luftströmung relativ schnell verteilen, sodass ihr Verursacheranteil an der Immissionskonzentration im Bereich von Belastungsschwerpunkten meist geringer ist als ihr Anteil an der Emission. Weitere bedeutende Quellen insbesondere für Feinstaub sind die Landwirtschaft und der Güterumschlag.

Die hier berechneten Immissionsfelder beziehen sich ganz explizit auf eine Ausbreitungssituation, die nur bei speziellen meteorologischen Situationen und nur in den Frühstunden des Tages auftritt. Sie sind damit nicht geeignet, grenzwertrelevante Aussagen im Sinne der 39. BImSchV (2010) zu treffen, die sich auf jahresmittlere Luftschadstoffkonzentrationen oder Überschreitungshäufigkeiten beziehen, sondern dient lediglich dazu, Austauschbereiche zwischen Grün- und Siedlungsflächen zu identifizieren, in denen bei autochthonen Wetterlagen mit erhöhten Luftschadstoffbelastungen zu rechnen ist (Indikatorfunktion).

Für das Ziel, die lufthygienische Belastung so gering wie möglich zu halten, stellen austauscharme Wetterlagen ein besonderes Problem dar. Die Durchmischung der Luft ist während solcher Wetterlagen mehr oder weniger stark eingeschränkt, was wegen der vielfach auftretenden Inversionen hauptsächlich für die vertikale, aufgrund des schwachen Windes aber auch für die horizontale Richtung gilt. Halten austauscharme Wetterlagen, insbesondere im Herbst und Winter, über längere Zeit an, können sich Schadstoffe in Bodennähe anreichern und die Immissionsgrenzwerte überschreiten.

Eine spezielle Situation ergibt sich während der durch Kaltluftbildung und Ausgleichsströmungen beeinflussten Nachtstunden. Die Kaltluft kann sich dabei positiv oder negativ auf die lufthygienische Situation auswirken: Zunächst einmal bildet die vom Boden her abkühlende Luft eine stabile vertikale Schichtung aus, die mit einer geringen turbulenten Diffusion und einer eingeschränkten Verdünnung von bodennah emittierten Luftschadstoffen einhergeht. Dieser Effekt kann noch deutlich verstärkt werden, wenn die Schadstoffe innerhalb von stagnierenden Kaltluftschichten freigesetzt werden. Ist die kaltluftproduzierende Fläche frei von Emissionen, weist die Kaltluft die Qualität der Grundbelastung auf und kann als Frischluftstrom zu einer Verbesserung der Luftqualität in höher belasteten Räumen beitragen. Führt der Strömungsweg der Kaltluft über Emissionsquellen hinweg in die Siedlungsräume hinein, werden die Luftbeimengungen in mitunter quellferne Flächen transportiert und verursachen dort, insbesondere in Stau-Bereichen, eine signifikante Erhöhung der Luftschadstoffbelastung.

Als Indikator für die Luftgüte bei austauscharmen Wetterlagen wird in der vorliegenden Untersuchung die Ausbreitung der Luftschadstoffkomponenten Stickstoffdioxid (NO_x)- und Feinstaub (PM_{10}) im Strömungsfeld



der Kaltluft bzw. die daraus resultierende momentane Immissionskonzentration verwendet. Die Ausgangswerte hierfür liefern die Berechnungen der Emissionsmengen auf der Basis des Verkehrsaufkommens.

EINGANGSDATEN LUFTHYGIENE

Standard bei der Ermittlung von KFZ-Emissionen ist in Deutschland das „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ HBEFA in der Version 4.1 (UBA [Hrsg.] 2019). Das HBEFA stellt Emissionsfaktoren für alle gängigen Fahrzeugkategorien jeweils in emissionsrelevanter Differenzierung für eine große Bandbreite von Eingangsgrößen zur Verfügung. Die durchschnittlichen Emissionsfaktoren des HBEFA weisen für zukünftige Jahre gegenüber der heutigen Situation eine zunehmende Reduktion auf. Dies steht im Zusammenhang mit den Erwartungswerten einer veränderten Verkehrszusammensetzung, d.h. mit der Verringerung der Emissionen einer verjüngten Fahrzeugflotte. Daher ist das angesetzte Prognosejahr (hier 2015) von entscheidender Bedeutung für die Berechnung des Schadstoffausstoßes. Im Standard-Szenario „REF D HB41“ ist (neben der aktuellen Situation) ein nach Emissionsstufen differenzierter Fahrzeugbestand („Flottenmix“) für jedes zukünftige Bezugsjahr festgelegt. Berechnet werden die Anteile über die Fortschreibung der gegenwärtigen Neuzulassungszahlen und die „Überlebenswahrscheinlichkeit“ der verbleibenden Fahrzeuge. Die aufgrund der Verkehrssituationen im HBEFA berechneten Emissionsfaktoren beruhen auf Tests zur Zulassung im Rahmen der europäischen Abgasgrenzwerte (Euro-Norm-Stufen). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das HBEFA auf Messungen von nicht legislativen Fahrzyklen basiert und somit innerhalb gewisser Grenzen reale Fahrsituationen reflektiert.

Für die Stickstoffoxide berechnet das HBEFA die Emissionsfaktoren von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) zunächst gemeinsam als Stickstoffoxide (NO_x) in Gramm pro Fahrzeug und Kilometer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass NO_x zu einem großen Teil als NO emittiert und erst in den bodennahen Luftschichten zu NO₂ oxidiert werden. Der entsprechende Gleichgewichtsprozess ist unter anderem abhängig von der Ozonkonzentration und der Strahlung. Die Ermittlung der NO₂-Immission aus der NO_x-Emission über unterschiedlich komplexe Regressionsanalysen sowie die Ableitung der Gesamtmission unter Berücksichtigung der weiteren Rahmenbedingungen obliegt dem jeweiligen Ausbreitungsmodell.

Bei den Feinstaubimmissionen nimmt – neben den Auspuffemissionen – auch die Partikelfreisetzung infolge von verkehrsinduzierten Abrieben (Reifen-, Bremsen-, Kupplungs-, und Straßenbelagsabrieb) sowie die Wiederaufwirbelung von akkumuliertem Straßenstaub eine wesentliche Rolle ein. Die Emissionsfaktoren dieses „Non-Exhaust“-Anteils sind seit der Version 4.1 ebenfalls im HBEFA integriert.

Die wichtigsten Eingangsgrößen für das HBEFA sind:

- der DTV-Wert (die jeweiligen Emissionsfaktoren werden mit der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke verrechnet)
- die Verkehrszusammensetzung (Pkw, Lkw, Bus usw.)
- die Verkehrsdynamik („Verkehrssituationen“ abhängig von Gebiet, Straßentyp, Tempolimit und Level of Service)
- die Flottenzusammensetzung (Anteil Fahrzeuge nach Motortyp, Hubraum, Emissionskonzept = EURO-Stufen im verwendeten Bezugsjahr)

Die Level of Services (LOS „Verkehrszustände“: frei, dicht, gesättigt, Stop+Go, Stop+Go II) lassen sich prozentual kombinieren, um beispielsweise Variationen der Kapazitätsauslastung im Laufe des Tages abzubilden.

Aufgrund des hohen Einflusses, den die Verkehrszustände auf die Emission haben, ist eine realistische Bestimmung dieser Anteile besonders wichtig. Auch die Anteile von schweren Lkw und Bussen, die einen erheblichen Einfluss auf die Emissionen haben, müssen besonders sorgfältig bestimmt werden.

Die Emissionen der einzelnen Quellgruppen basiert auf Eingangsdaten und z.T. stark vereinfachten Rahmenbedingungen der folgenden Tabelle 5.

Tabelle 5: Eingangsdaten der Emissionsberechnung

Daten	Ausprägung	Quelle / Annahmen
Straßennetz und Verkehrsmengen	Pkw, Lkw, Bus, Krad	Amt für Stadtplanung, Hochbau, Denkmalpflege und Umwelt
Schwere Nutzfahrzeuge	Lkw $\geq 3,5$ t	LKW > 2.8 t werden als > 3.5 t interpretiert („Worst Case“)
Leichte Nutzfahrzeuge	Lkw $< 3,5$ t	5% am DTV.
Busse	Linien- / Reisebusse	1% am DTV mit automatischer Aufteilung Reise-/Linienbusanteil
Verkehrssituation	Funktionaler Straßentyp	Verkehrsmengenkarte
Gebietstyp	ländlich/agglo	Nutzungskartierung
Verkehrszustand	Level of Service 1 – 5	50, 30, 15, 5, 0
Geschwindigkeit	Variabel	Verkehrsmengenkarte
Freisetzungshöhe	0,5 m	Festsetzung
Bezugsjahr	2015	Absprache Stadtplanung (2020)
Flottenzusammensetzung	Definiert im HBEFA	HBEFA Flottenmix REF D HB41
Steigung	variabel	Berechnet über DGM 25

Die Verkehrsmengen zur Berechnung der Emissionen wurden von der Stadt Saarlouis zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 14). Sie entstammen im Wesentlichen der „Verkehrsmengenkarte des Saarlandes 2015“ (LANDESBETRIEB FÜR STRAßENBAU 2018), die um Parameter der Lärmaktionskartierung ergänzt wurden. Der Gebietstyp wurde gemäß Abgleich mit dem Nutzungsshape als „ländlich geprägt“ oder „Agglomeration“ festgelegt. Der bereits erwähnte Verkehrszustand, der über den „Level of Service“ die Auswirkung des Verkehrsflusses zwischen „frei fließend“ und „Stop+Go“ auf die Emissionsfaktoren berücksichtigt, wurde mangels genauerer Daten über das Programm IMMIS^{Luft} (IVU 2020) berechnet. Auch zur Beschaffenheit der Fahrzeugflotte lagen keine detaillierten Angaben vor, so dass ein Flottenmix angenommen wurde, der im HBEFA als Standard-Szenario der Verkehrsentwicklung in Deutschland vorgegeben wird (REF D HB41). Die Steigung wurde über das zugehörige Geländemodell als Mittelwert je Straßenabschnitt berücksichtigt (wobei es vorkommen kann, dass ein „Quergefälle“ im Bereich eines Straßenabschnittes als Längsneigung fehlinterpretiert wird).

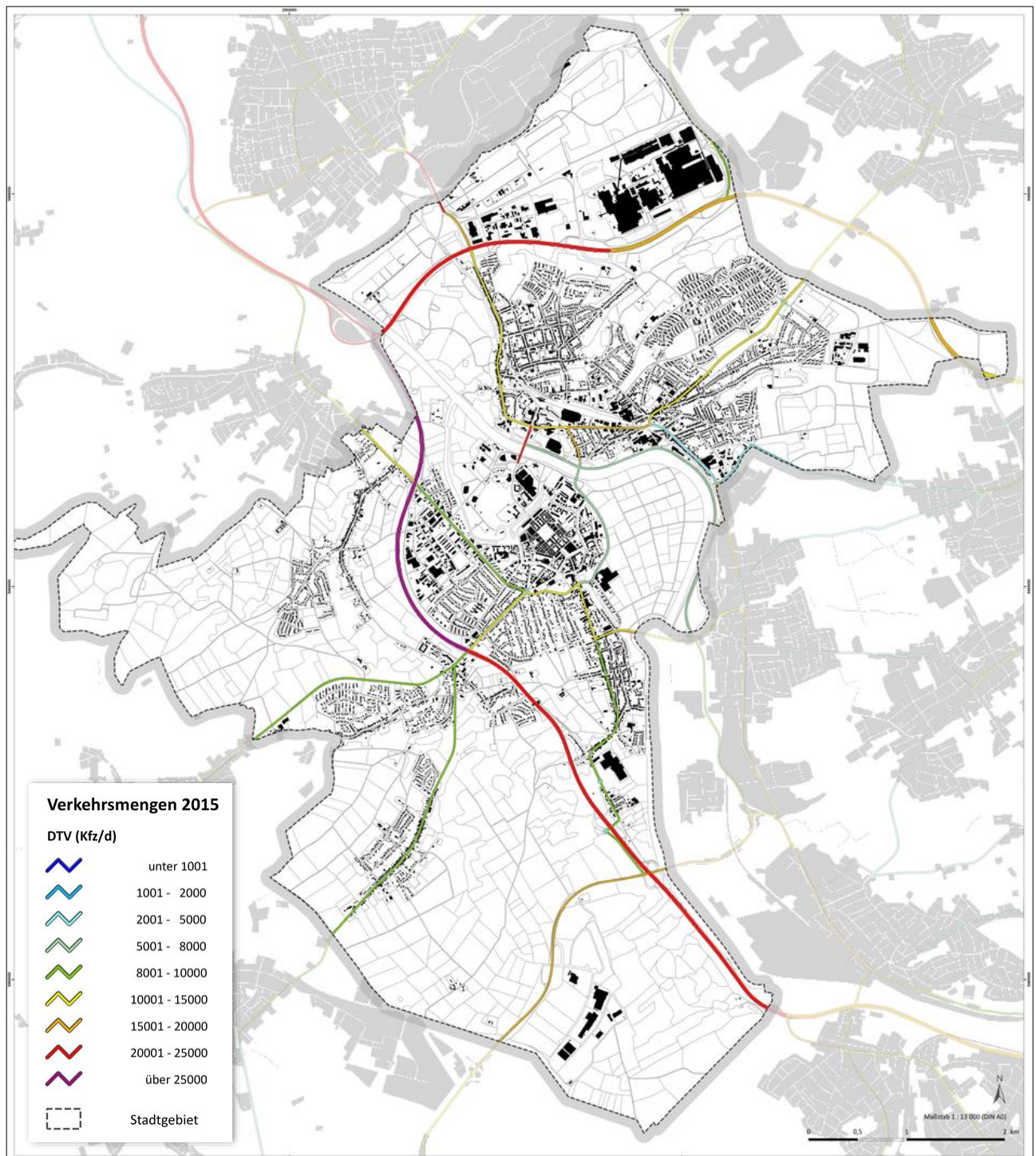


Abbildung 14: Verkehrsmengen im Untersuchungsgebiet

Am Beispiel der Stickoxide (NO_x) werden in der Abbildung 15 auf der Folgeseite die Emissionsbedingungen der verschiedenen Quellgruppen aufgezeigt und räumlich eingeordnet:

Anders als die Emissionen aus industriellen Quellen, Schiffen und Kleinfeuerungsanlagen werden die straßenverkehrsbedingten Emissionen in geringen Höhen und in direkter Nähe zu den Aufenthaltsbereichen des Menschen freigesetzt. Zusätzlich sind die Ausbreitungs- und Verdünnungsbedingungen in Bodennähe herabgesetzt, so dass sich Luftschadstoffe, vor allem in Straßenschluchten und bei austauscharmen Wetterlagen schnell anreichern können.

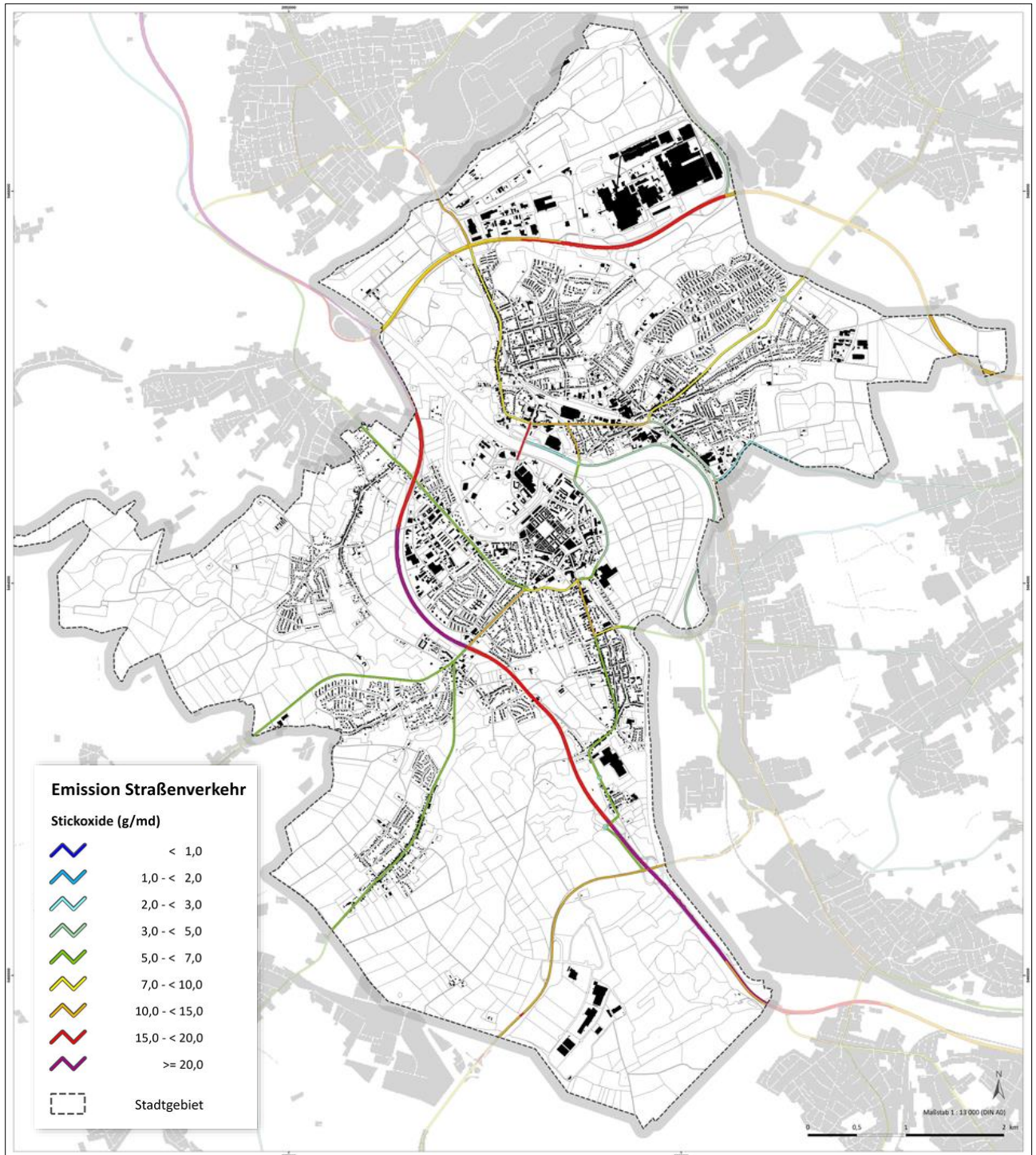


Abbildung 15: Straßenverkehrsbedingte Emissionsdichten von Stickoxiden (NO_x) in Gramm pro Meter und Tag ($\text{g} / \text{m}^*\text{d}$)

3.2 MESSKAMPAGNE

Im Rahmen der Stadtklimaanalyse Saarlouis wurde zusätzlich zur Modellierung mit FITNAH 3D eine umfassende Messkampagne beauftragt. Äquivalent zu den modellgestützten Untersuchungen sollten insbesondere die temporären Messungen möglichst zu hochsommerlichen Belastungssituationen durchgeführt werden, um eine Aussage zur nächtlichen Kaltluftproduktion und zu nachts besonders belasteten Quartieren treffen zu können. Hierfür fanden in zwei Nächten im Sommer 2019 jeweils an einem ruralen und einem urbanen Messstandort im Stadtgebiet Vertikalsondierungen mit Drohnen sowie Rauchschwadenversuche sowie mobile Messfahrten statt. Zusätzlich wurden an denselben Standorten stationäre Klimamessstationen installiert, um Vergleichsdaten für die temporären Messungen, aber auch einen größeren Datenpool für die Validierung der Modellsimulationen zur Verfügung zu haben.

3.2.1 STANDORTE

Bei der Auswahl der Standorte wurde darauf geachtet, die Messungen in möglichst vielen verschiedenen Stadtstrukturtypen durchzuführen, um durch die große Variabilität der Umgebung optimale Voraussetzungen zur Validierung des Modells zu erhalten. Dies gilt insbesondere für die Ausgestaltung der Route der Messfahrten. Für die Vertikalsondierungen wurde mit dem Kleinen Markt ein Standort mit einem stark verdichteten und versiegelten (urbanen) Charakter gewählt. Die beiden Standorte am Lisdorfer Berg (östlich und westlich der B269N) skizzieren dagegen mit ihrer Lage auf Ackerflächen eine konträre, rurale Messumgebung mit Potenzial zur Kaltluftentstehung (Abbildung 16).

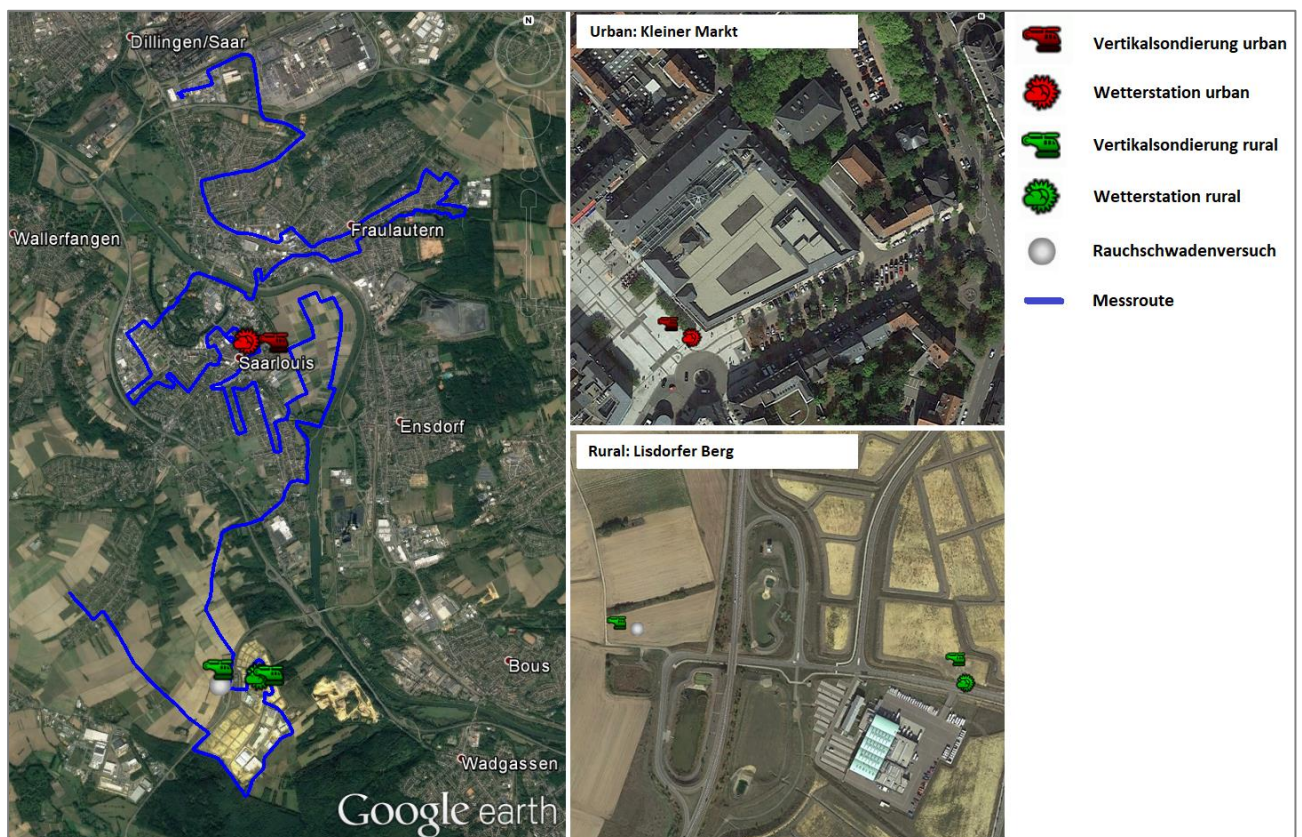


Abbildung 16: Räumliche Verteilung von stationären und temporären Messungen im Stadtgebiet Saarlouis

Die drei Messstandorte liegen reliefbedingt auf unterschiedlichen Höhen. Während der kleine Markt im Saartal auf ca. 181 m ü. NHN liegt, befinden sich der westliche Drohnenstandort des Lisdorfer Berges bereits auf 234 m und der Östliche gar weitere 13 m höher auf 247 m ü. NHN.

3.2.2 MESSTAGE UND WETTERBESCHREIBUNG

Für die Durchführung der mobilen Messungen wurden explizit Nächte mit autochthoner Wetterlage ausgewählt. So wurde für die Drohnenaufstiege am kleinen Markt die Nacht des 25./26.06.2019 von 20 Uhr MESZ bis 06 Uhr MESZ, für die Drohnenaufstiege und die abendlichen Rauchschwadenversuche die Folgenacht (26./27.06.2019) im selben Zeitfenster gewählt. Parallel wurden von der Firma Ökoplana aus Mannheim pro Nacht jeweils zwei der Messfahrten, eine in jeder Nachthälfte durchgeführt.

WETTERBESCHREIBUNG FÜR DEN 25./26.06.2019

Deutschland befindet sich am 25. und 26.06.2019 im Einfluss des über dem Ostseeraum liegenden Hochdruckgebietes Ulla (s. Abbildung 17), was mit niedertroposphärischer Warmluftadvektion – dem Heranführen von aus Nordafrika stammender tropischer Luft insbesondere nach Frankreich und Deutschland – einherging.

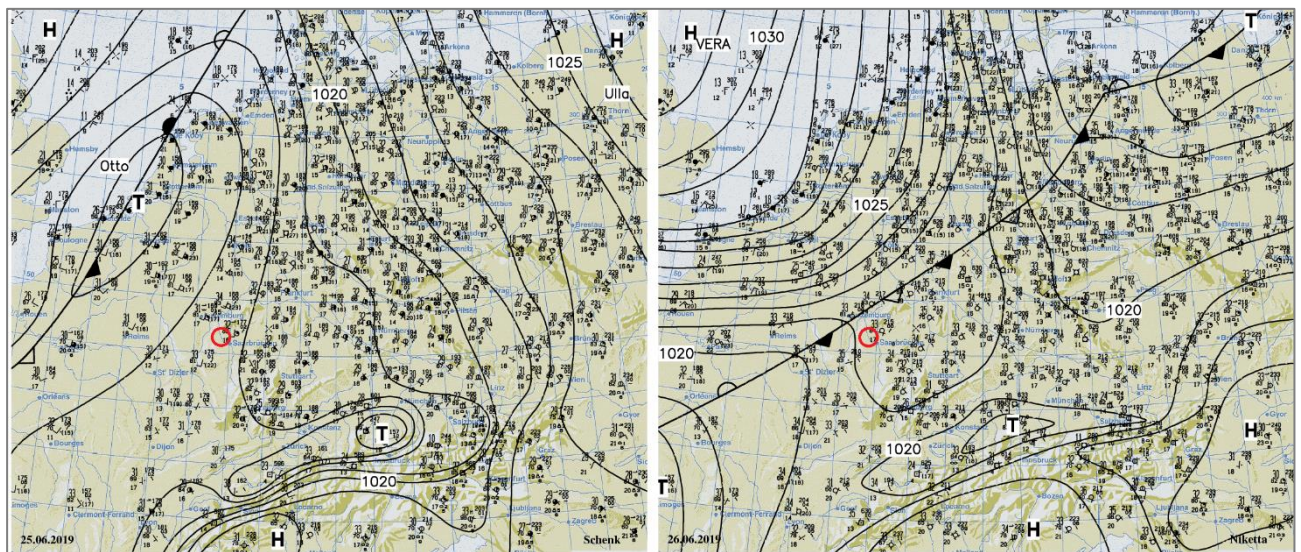


Abbildung 17: Wetterkarten von 25.06. (links) und 26.06.2019 (rechts) um 14 Uhr MESZ (Quelle: Berliner Wetterkarte: <https://berlinerwetterkarte.de/archiv/>); der rote Kreis markiert Saarlouis

In Saarlouis führte diese Wetterlage trotz einiger durchziehender Wolkenfelder mit überwiegend hoher Cirrusbewölkung zu überwiegend sonnenscheinreichem Wetter. So wurde an der nächstgelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD), Saarbrücken-Flughafen, eine Tagessumme der Sonnenscheindauer von 13,9 Stunden verzeichnet. Infolge dieser hohen solaren Einstrahlung, gepaart mit der heranströmenden Tropenluft wurde hier ein Temperaturtagesmaximum von 33,3 °C gemessen, wodurch ein Heißer Tag registriert werden konnte. Eine Tropennacht wurde dagegen mit einem Temperaturminimum von 17,9 °C verpasst. Anders sieht dies an den eigens installierten Klimamessstationen am Kleinen Markt sowie am Lisdorfer Berg aus

(Abbildung 18). Während das Tagesmaximum der Temperatur von 34,9 °C, gemessen an der ruraler gelegenen Station Lisdorfer Berg, den Wert der DWD-Station bereits deutlich überschreitet, werden an der urbanen Station am Kleinen Markt gar 36,0 °C registriert. Kurz vor Sonnenaufgang fällt die Temperatur an der ländlichen Station noch einmal unter 20 °C (19,7 °C), wodurch hier wiederum keine Tropennacht erreicht wurde. Durch den vergleichsweise höheren Versiegelungsgrad, die größere bauliche Dichte sowie die höhere Wärmekapazität der urbanen Materialien ist das Temperaturminimum am kleinen Markt im Gegensatz zum Lisdorfer Berg um ca. 30 Minuten nach hinten verschoben. Auch hier wird gegen 5 Uhr morgens noch einmal die Marke von 20 °C unterschritten, wobei mit 19,9 °C knapp keine Tropennacht aufgezeichnet wurde.

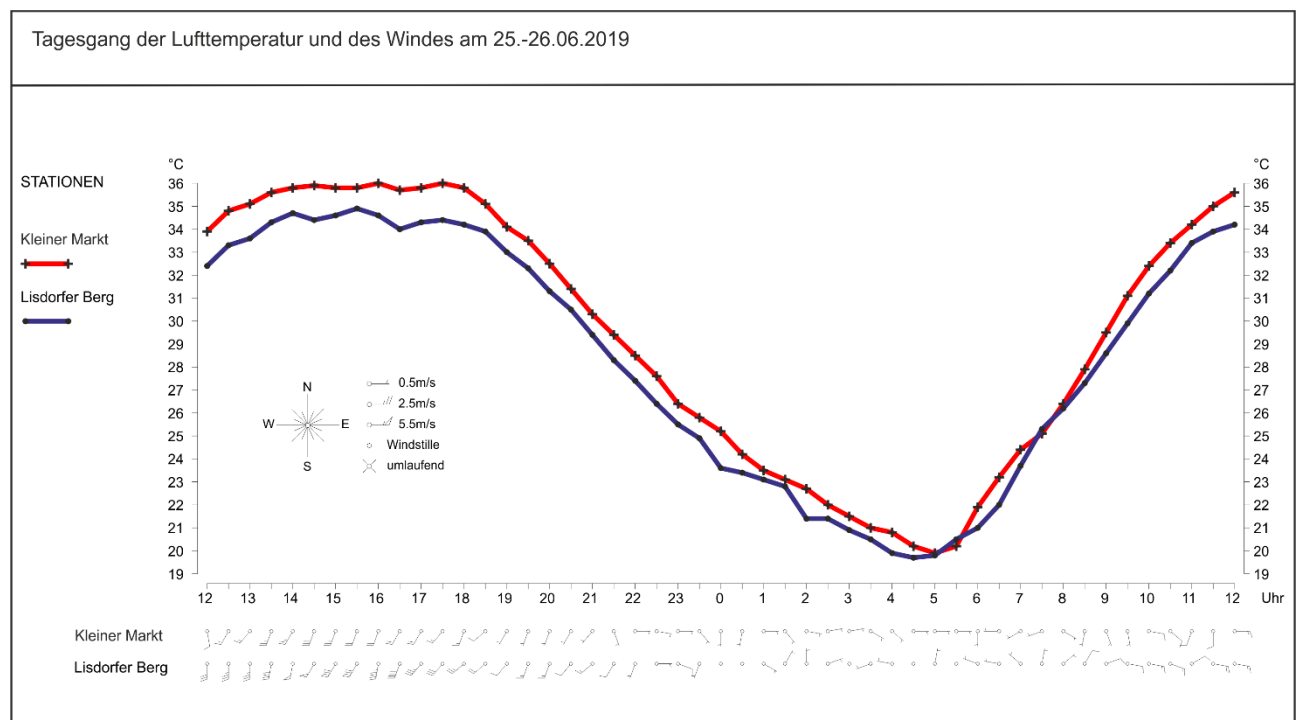


Abbildung 18: Tagesgang von Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung an den Klimamessstationen Kleiner Markt und Lisdorfer Berg am 25./26.06.2019.

Der Wind kommt bodennahe tagsüber bis etwa 22 Uhr MESZ aus Süd-Südwest, dreht in der Nacht auf überwiegend östliche Richtungen, teils wird Windstille registriert. Insgesamt sind die Windgeschwindigkeiten zur Zeit der temporären Messungen mit Drohne und Messfahrzeug schwach, mit Werten zwischen 0 und 1,5 m/s, was die erhofften autochthonen (windschwachen, strahlungsreichen) Messbedingungen unterstreicht.

WETTERBESCHREIBUNG FÜR DEN 26./27.06.2019

Auch am folgenden Tag, dem 26.06.2019 strömte bei einer vergleichbaren Wetterlage unvermindert und teils im Vergleich zum Vortrag noch verstärkt heiße Luft tropischen Ursprungs nach Deutschland und in den Untersuchungsraum. Bei durchgehend wolkenlosem Himmel wurde an der Station Saarbrücken-Flughafen eine Tagessonnenscheindauer von 14,8 Stunden aufgezeichnet. Sowohl das Temperaturtagesmaximum von 35,2 °C als auch das Tagesminimum von 21,6 °C konnten an den beiden Klimamessstationen im westlicher gelegenen Saarlouis noch einmal übertroffen werden. Mit Temperaturmaxima von 38,9 °C (Kleiner Markt) bzw. 37,2 °C (Lisdorfer Berg) konnte ein Heißer Tag beobachtet werden; zusätzlich wurde bei Minima der

Temperatur von 23,6 °C (Kleiner Markt) bzw. 23,0 °C (Lisdorfer Berg) eine Tropennacht registriert werden (Abbildung 19).

Am 26.06. kommt der Wind an beiden Stationen gegen Mittag vorherrschend aus Süd, im weiteren Tagesverlauf bis in die Abendstunden aus überwiegend östlichen Richtungen. Zur Zeit der Messungen zwischen 20 und 06 Uhr MESZ werden auf dem Kleinen Markt wechselnde Windrichtungen von Süd über West nach Ost ermittelt, am Lisdorfer Berg strömt der Wind dagegen konstant aus Nordost zum Messstandort. Gute autochthone Messbedingungen zeigen zusätzlich zur genannten hohen solaren Einstrahlung am Tage auch die geringen maximalen Windgeschwindigkeiten von bis zu 0,5 m/s am Kleinen Markt und maximal 2,5 m/s am Lisdorfer Berg an.

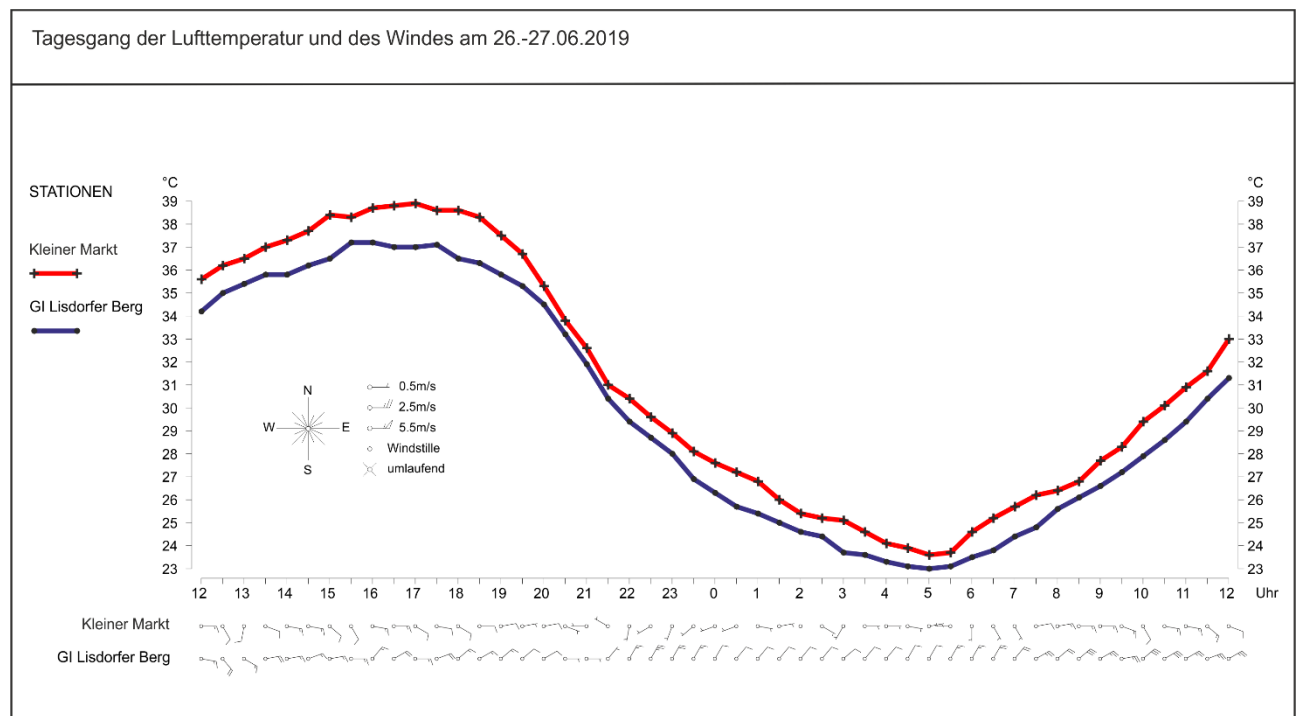


Abbildung 19: Tagesgang von Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung an den Klimamessstationen Kleiner Markt und Lisdorfer Berg am 26./27.06.2019

3.2.3 VERTIKALSONDIERUNGEN UND RAUCHSCHWADENVERSUCHE

Das Messsystem für Vertikalsondierungen meteorologischer Parameter ist eine Kombination aus einem (sechsrorigen) Hexakopter des Typs DJI Flamewheel 550 und einer Radiosonde DFM-06 der Firma GRAW. Zur Minimierung sogenannter Downwash-Effekte der Rotorblätter, die die umgebende Luft 1 m oberhalb und bis zur fünffachen Länge unterhalb und damit auch die Messwerte beeinflussen können, wurde die Radiosonde mittels 5 m langem, reißfestem Faden unter der Drohne angebracht (s. Abbildung 20 a). Die Sonde misst Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Position (Longitude und Latitude). Windgeschwindigkeit und -richtung werden über die Neigungsdaten des Kopters ermittelt. Um GPS-stabil in der Luft zu stehen,

gleicht die Drohne den Wind durch leichte Neigungen in x-, y- und z-Richtungen aus, welche anschließend mittels empirischer Formel in Winddaten umgerechnet werden können (Brosy, 2017). Die Drohne verfügt darüber hinaus über ein Gimble, das mit einer GoPro-Kamera für Fotografien in HD-Auflösung aus der Höhe sowie mit einer FLIR-Infrarotkamera zur Aufnahme von Oberflächentemperaturen ausgestattet werden kann (s. Abbildung 20 b).



Abbildung 20: (a) Messsystem aus Hexakopter DJI Flamewheel 550 mit angehängter Radiosonde DFM-06 von GRAW. (b) Hexakopter Flamewheel 550 Nahansicht mit Aufhängung für Fotokamera der Marke GoPro und Infrarotkamera von FLIR

In der Regel finden Drohnenaufstiege im Verbund mit der Radiosonde mehrfach zur vollen Stunde statt, um die zeitliche Entwicklung der genannten meteorologischen Parameter sichtbar zu machen. Bei den Messungen in Saarlouis lag am Lisdorfer Berg die maximale Mächtigkeit der Kaltluftsäule, in der Innenstadt am Kleinen Markt die nächtliche städtische Überwärmung im Fokus. Daher wurden die Messungen kurz vor Sonnenuntergang gegen 20 Uhr MESZ gestartet und kurz nach Sonnenaufgang gegen 06 Uhr MESZ beendet.

Ein typischer Aufstieg mit Radiosonde in Saarlouis erfolgte derart, dass die Drohne nach dem Start bei gespanntem Faden solange über der sich am Boden befindlichen Radiosonde verweilte, bis diese eine konstante Lufttemperatur aufzeigte. Anschließend wurde der Aufstieg des Messsystems mit einer Steiggeschwindigkeit von ca. 2 ms⁻¹ eingeleitet, um bei einer Sondenmessfrequenz von etwa 1 Hz exakt einen Messwert pro Höhenmeter zu erhalten. Dabei hielt sich der Kopter (auch gegen vorhandene Horizontalwinde) positionsgetreu über dem Startpunkt (GPS-stabilsierter Modus). Nach Erreichen einer Höhe von 300 m über Grund wurde der erneute Abstieg des Messsystems eingeleitet. Vorsorglich wurde direkt anschließend ein zweiter identisch aufgebauter Messflug durchgeführt, um einen Ersatzdatensatz verfügbar zu haben. Die aktuell vorherrschende Höhe wird barometrisch über den Luftdruck der jeweiligen Messung berechnet und für die Grafiken im Kapitel 4.2.2 verwendet.



Die durchgeführten Messungen am Lisdorfer Berg Ost und West fanden innerhalb der gleichen Messnacht 26./27.06.2019 statt. Dabei wurden die Messungen am westlichen Standort immer zur vollen Stunde, am östlichen Standort insgesamt drei Mal in der Messnacht stets zur halben Stunde (22:30 Uhr MESZ, 01:30 Uhr MESZ und 04:30 Uhr MESZ) durchgeführt. Insgesamt konnten folglich am westlichen Lisdorfer Berg elf Aufstiege und am Östlichen drei Aufstiege mit dem Standardmesssystem „Drohne-Radiosonde“ realisiert werden. Auf dem kleinen Markt fanden die Vertikalsondierungen in der Nacht zuvor (25.-26.06.2019) ebenfalls von 20 Uhr MESZ bis 06 Uhr MESZ statt, sodass wiederum elf Vertikalsondierungsstunden aufgezeichnet werden konnten.

Neben den Radiosondenmessungen wurde in den Abendstunden gegen 21:00 Uhr MESZ jeweils auf dem Kleinen Markt und dem Lisdorfer Berg (West) ein einzelner Foto-IR-Flug angefertigt. Die GoPro-Fotoaufnahmen bieten die Möglichkeit zur nachträglichen Abschätzung des vorherrschenden Wetters und geben Einblick in die Gestalt des umgebenen Geländes. Die FLIR-Infrarotkamera misst die vom Boden emittierte, und für das Auge nicht sichtbare Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung), die in Abhängigkeit mit der Temperatur des beobachteten Objektes steht. Indirekt kann so folglich, je nach objektspezifischem Emissionsgrad eine Aussage über die Oberflächentemperatur getroffen werden. Gegenüberstellungen von Real- und IR-Bild finden sich ebenfalls in Kapitel 4.2.2 wieder.

In den Abendstunden des 26.06.2019 wurden zusätzliche Rauchschaadenversuche durchgeführt, deren Auswertungen sich im selben Kapitel wiederfinden. Solche Versuche mit angezündetem Rauchpulver, dessen Ausbreitung beobachtet und dokumentiert wird, liefern einen visuellen Eindruck der Entstehung erster Kaltluft zu Zeiten des Sonnenuntergangs und werden daher mehrmals am Abend durchgeführt. Am Lisdorfer Berg (west) fanden Rauchschaadenversuche am 26.06. gegen 19:45 MESZ, 21:15 Uhr MESZ und 21:40 MESZ von statt.

3.2.4 MESSFAHRTEN

Die Messfahrten wurden im Auftrag von GEO-NET Umweltconsulting GmbH vom Büro Ökoplana aus Mannheim durchgeführt.

Bei der Planung der mobilen Messrouten stand die Befahrung möglichst aller relevanten Flächentypen im Fokus. Hierfür wurde eine insgesamt ca. 40 km lange Strecke entwickelt (Abbildung 16 in Kapitel 3.2.1). Flächentypen, die größtenteils den urbanen Raum beschreiben sind die Innenstadtbereiche rund um den Kleinen und großen Markt, Industrie- und Gewerbeflächen wie z.B. die Flächen des Lisdorfer Bergs oder Zeilen- und Hochhausbebauung wie etwa die Gebäude Am Kleinbahnhof oder dem Hohenzollernring. Deutlich entsiegelter ist der Flächentyp der Einzel- und Reihenhausbauung, der beispielsweise im äußeren Innenstadtbereich zwischen I. und VII. Gartenreihe oder in Neuforweiler zu finden ist. Eher rural geprägte Flächen im Stadtgebiet sind baulich geprägte Grünflächen wie Stadtparks (z.B. Saarlouiser Stadtgarten) oder die Wege entlang der Saar (z.B. im östlichen Lisdorf), während das Freiland östlich der Innenstadt in der Saarschleife den ruralen Flächentypen zugeschrieben wird.

Zur Einordnung urbaner Prozesse wie die nächtliche Überwärmung der Stadt gegenüber dem Umland bzw. ruraler Phänomene wie der Entstehung von Kaltluft auf den Grün- und Freiflächen wurden die Messfahrten zu möglichst stabilen atmosphärischen Bedingungen im Sommer angesetzt. Als Messfahrzeug wurde ein Ford Focus Kombi verwendet, der mittels spezieller Halterung an der Seitentür als Träger für ein elektrisch

ventiliertes Psychrometer (THERM 2286-2, Fa. Ahlborn) diente (Abbildung 21). Das rasch auf Temperaturänderungen reagierende NTC-Widerstandsthermometer besitzt eine Auflösung von 0.01 °C. Bei einer mittleren Fahrtgeschwindigkeit von ca. 25 km/h und einer Messhöhe von 2,0 m ü.Gr. wurde circa alle 10 m ein Messwert erhoben. Per Tonaufzeichnung wurde zeitgleich die Örtlichkeit festgehalten, um auffallende flächennutzungsbedingte Effekte nachvollziehen zu können.



Abbildung 21: Messfahrzeug Ford Focus Combi und Psychrometer THERM 2286-2 der Fa. Ahlborn

Die Messungen erfolgten linienhaft auf einer vorgegebenen Fahrtroute, die an den Messstationen (Kap. 3.2.5) vorbeiführte. Die stationären Messwerte wurden wie folgt zur zeitlichen Interpolation der mobilen Messwerte verwendet. In einem ersten Schritt wurden die während der Messfahrten an den Stationen erfassten Temperaturmodifikationen ausgewertet. Hieraus resultieren Verlaufskurven der Lufttemperatur, die den zeitcodierten Werten der Messfahrt zugeordnet wurden. Diese Methodik hat als Ergebnis zur Folge, dass alle Messwerte der Lufttemperaturmessfahrten auf einen Zeitpunkt korrigiert werden. Zuvor fand eine Filterung verkehrsbedingter Standzeiten aus den Messdaten statt.

3.2.5 STATIONSMESSUNGEN

Zum Einordnung der Hauptwindrichtungen zu autochthonen Wetterlagen, der Wetterverhältnisse während der temporären Messungen vom 25.-27.06.2019 (s. Kapitel 3.2.2), aber auch zur Normierung der Messrouten wurden im Untersuchungsgebiet jeweils eine rurale (Lisdorfer Berg) und eine urbane Klimamessstation (Kleiner Markt) installiert (Abbildung 22, vgl. Abbildung 16 in Kapitel 3.2.1).

Die urbane Klimamessstation am Kleinen Markt wurde zwischen 2,5 und 4 m Höhe auf einer Laterne platziert, um in einer Langzeitmessreihe von drei Monaten die Klimatologie eines möglichst städtischen Charakters mit hohen Versiegelungsgraden, Gebäuden und nur wenigen Grün- und Freiflächen aufzuzeichnen. Die zweite, Station wurde am Lisdorfer Berg, östlich der B269N ebenfalls im selben Höhenbereich an einer Laterne befestigt und wies einen zum Zeitpunkt der Messungen eher ländlich geprägten Charakter mit nahegelegenen Ackerflächen, einem mittleren Versiegelungsgrad und einer insgesamt geringen Rauigkeit auf. Da sich diese Station aber im sich in der Entwicklung befindlichen Gewerbe- und Industriegebiet „Lisdorfer Berg“ befindet, muss diese Messung als Momentaufnahme betrachtet werden, da im Zuge von Bau- und Erschließungsmaßnahmen mit einer deutlichen Erhöhung von Versiegelungsgrad und Rauigkeit innerhalb der nächsten Dekade zu rechnen ist.



Abbildung 22: Klimamessstationen am Lisdorfer Berg (links) und auf dem Kleinen Markt (rechts)

Die tiefergelegene Messstation im Zentrum (181 m ü. NHN) und die Höhergelegene auf dem Lisdorfer Berg (247 m ü. NHN) trennen insgesamt 66 Höhenmeter und eine Entfernung von ca. 4,2 km Luftlinie.



Beide Messstationen verfügen über einen Datenlogger DALOS515c-Ma (F & C Forschungstechnik und Computersysteme GmbH), über einen Feuchte-Temperatursensor WSTF001, bestehend aus einem Pt100-Widerstandsthermometer und einem kapazitiven Feuchtesensor der Fa. MELA Sensortechnik GmbH. Der Windsensor ist ein kombinierter Windgeber der Fa. Thies Klima.

Eine Zusammenfassung der genauen Instrumentierung, inklusive der Messgrößen, deren exakte Messhöhen, der zeitlichen Messintervalle sowie die Länge der Messreihe ist gemeinsam mit allen temporären Messvorhaben Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Standorte und Instrumentierung während der meteorologischen Messkampagnen in Saarlouis

Untersuchung	Standort (Koordinaten)	Datum	Uhrzeit MESZ	Höhe über Grund	Messgrößen	Auflösung der Messung
Urbane Messstation	Stadtzentrum (Kleiner Markt) (49.313504 °N, 6.753705 °O)	05.06.2019- 05.09.2019	-	2,5 m	T, rH	1 s auf 30 min aggregiert
				4,0 m	WS, WD	
Rurale Messstation	Lisdorfer Berg (Mary-Lonsdorfer.Str.) (49.275472 °N, 6.755495 °O)	05.06.2019- 05.09.2019	-	2,5 m	T, rH	1 s auf 30 min aggregiert
				4,5 m	WS, WD	
Messfahrt 1a	-	25./26.06.2019	~22:40 – 01:10	2,0 m	T	1s (ca. 10 m)
Messfahrt 1b	-	25./26.06.2019	~02:30 – 05:00	2,0 m	T	1s (ca. 10 m)
Messfahrt 2a	-	26./27.06.2019	~ 22:35 – 01:05	2,0 m	T	1s (ca. 10 m)
Messfahrt 2b	-	26./27.06.2019	~01:15 – 03:45	2,0 m	T	1s (ca. 10 m)
Vertikalsondierung 1	Stadtzentrum (Kleiner Markt) (49.313572 °N, 6.753523 °O)	25./26.06.2019	20:00 – 06:00	bis 300 m	T, rH, WS, WD, Oberfl.-T, Foto	~ 2 m (vertikal)
Vertikalsondierung 2	Lisdorfer Berg (Ackerfläche.) (49.276279 °N, 6.748439 °O)	26./27.06.2019	20:00 – 06:00	bis 300 m	T, rH, WS, WD, Oberfl.-T, Foto	~ 2 m (vertikal)
Vertikalsondierung 3	Lisdorfer Berg (Mary-Lonsdorfer.Str.) (49.275786 °N, 6.755285 °O)	26./27.06.2019	22:30, 01:30, 04:30	bis 300 m	T, rH, WS, WD, Oberfl.-T, Foto	~ 2 m (vertikal)
Rauchschwadenbe- obachtung	Lisdorfer Berg (Ackerfläche.) (49.276279 °N, 6.748439 °O)	26.06.2019	19:45, 21:15, 21:40	-	WD (qualitative Beobachtung)	-

4. Ergebnisse

4.1 NUMERISCHE MODELLRECHNUNG – IST-SITUATION

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, Kaltluftproduktionsrate, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) beschrieben. Die Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 10 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage (Kap. 3.1.2). Sie gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m ü.Gr. (Lufttemperatur, Windfeld) bzw. 1,1 m (PET) und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung). Für die Darstellung in den Ergebniskarten wurden die Werte mittels einer bilinearen Interpolation geglättet.

4.1.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

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

Je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage bzw. Höhe des Standorts und den Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften kann die nächtliche Abkühlung merkliche Unterschiede aufweisen, was bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets auch für den Raum Saarlouis mit seinen verschiedenen Flächennutzungen deutlich wird. So umfasst die nächtliche bodennahe Lufttemperatur bei Minimalwerten von weniger als 13,2 °C über stadtfernen Freiflächen und Maximalwerten bis etwa 21,4 °C im Bereich der Industriegebiete im Norden und dem Stadtkern eine Spannweite von 8,2 °C. Die mittlere Temperatur der Stadt liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 17,2 °C. Die Modellrechnung bestätigt folglich den messtechnisch bereits nachgewiesenen Wärmeinseleffekt, erlaubt darüber hinaus jedoch eine genauere räumliche Abgrenzung belasteter Bereiche.

Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich ist vor allem von der Größe der Stadt und Dichte der Überbauung abhängig. Im Zentrum sind die höchsten Bebauungsdichten und, gerade in den gewerblich geprägten Bereichen, hohe Versiegelungsgrade vorzufinden, was sich in der stärksten nächtlichen Überwärmung widerspiegelt – selbst nachts werden unter den angenommenen Bedingungen noch Temperaturen über 20 °C erreicht (Abbildung 23). Mit steigender Entfernung zum Zentrum nimmt die Überwärmung ab, in den zentrumsnahen, aber teils aufgelockerteren Stadtteilen Roden, Steinrausch liegt die Temperatur im Bereich von 17 - 20 °C. Die niedrigsten Siedlungstemperaturen werden mit Spannen zwischen überwiegend 16 - 19 °C in den Stadtteilen am Rand Saarlouis (z.B. Picard, Neuforweiler und Fraulautern) erreicht.

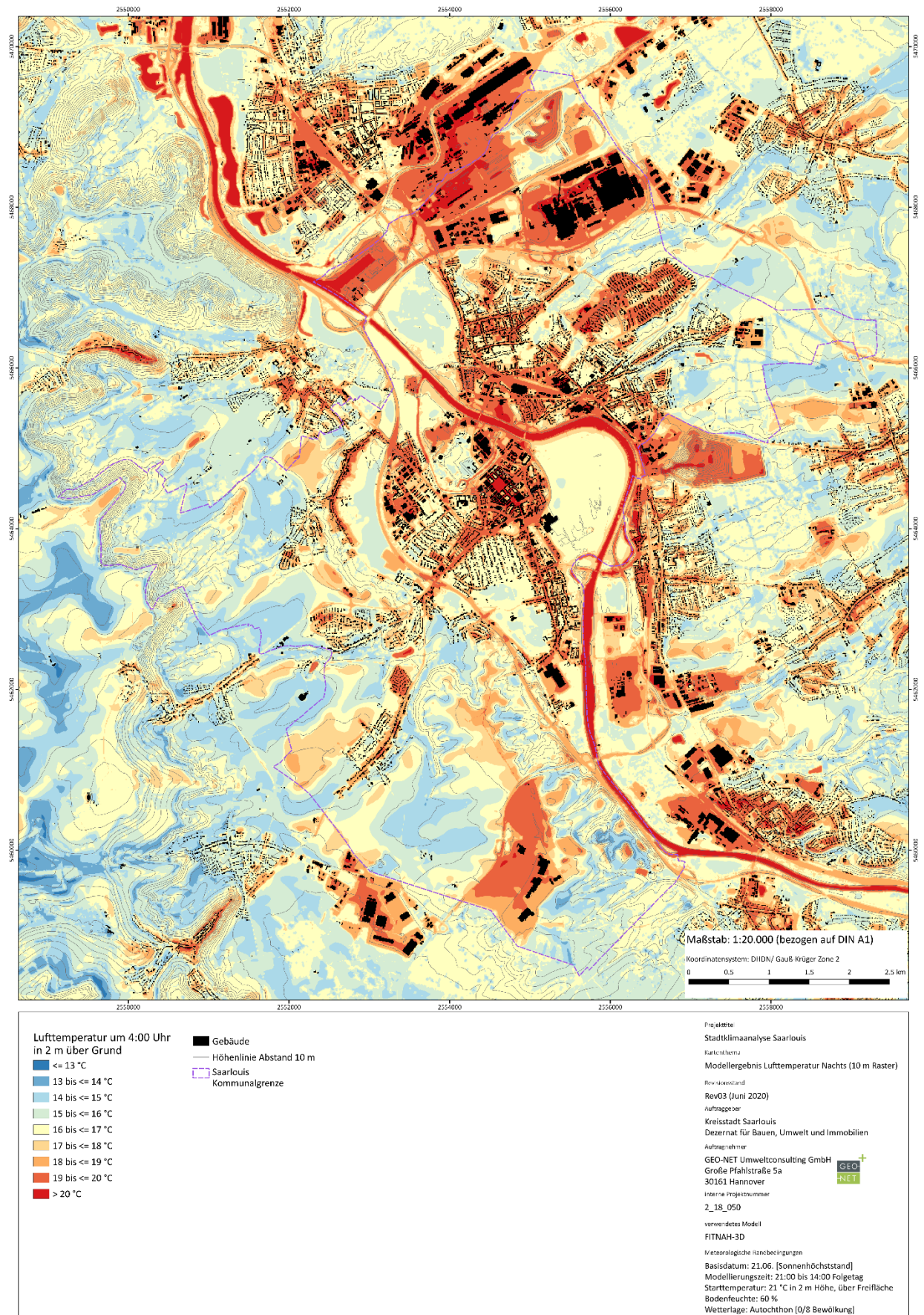


Abbildung 23: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets



Unter den Grünflächen zählen die Gebiete westlich von Beaumarais, Picard und Neuforweiler zu den kältesten Bereichen der Stadt. Am stärksten kühlen sich die Acker- und Rasenflächen ab, welche an diesen Orten oftmals Temperaturen unter 15 °C aufzeigen und deren Kühlwirkung auf die umliegende Bebauung ausstrahlen kann. Verglichen mit den grünen Außenbereichen weisen innerstädtische Grünflächen mit ca. 16 - 19 °C ein höheres Wertespektrum auf, wobei eine Abhängigkeit von ihrer Größe und Grünstruktur besteht. So sinkt die Temperatur über kleineren Grünflächen nur selten unter 18 °C, wenn sie in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind (z.B. Wiesenfläche der Kreisvolkshochschule Saarlouis in der Kaiser-Wilhelm-Straße), auch ist die Kühlleistung anthropogen geprägter Brachflächen eingeschränkt (z.B. nördlich der Ecke Walter-Bloch-Straße/Fort Rauch). Größere vegetationsgeprägte Grünareale treten dagegen im Stadtgebiet mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen deutlich hervor und stellen demnach potentielle Entlastungsräume für die umliegenden Siedlungsflächen dar – zu nennen sind hier zuvorderst der Saarlouiser Stadtgarten und „Im Glacis“.

In Wäldern dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur, sodass in 2 m ü.Gr. Werte um 16 - 18 °C erreicht werden (z.B. das Waldgebiet in Beaumarais, Saarlouiser Stadtwald). Nachts fällt daher die Kaltluftproduktion geringer aus als über unversiegelten Freiflächen, jedoch nehmen größere Waldgebiete eine wichtige Funktion als Frischluftproduktionsgebiete ein, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht.

U.a. die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser³ sorgt für einen verringerten Tagesgang der Lufttemperatur über größeren Gewässern, sodass die nächtlichen Temperaturen unter Umständen sogar höher als in der Umgebung sein und deren Abkühlung verringern können. Da die Lufttemperatur über Wasser auch stark von der Wassertemperatur selbst abhängt, erscheinen die Wasserflächen der Saar in der Nacht ähnlich überwärmt wie weite Teile der Innenstadt.

Aufgrund des Klimawandels ist in naher Zukunft (2040) mit einer sommerlichen Temperaturzunahme von durchschnittlich 1,2 K gegenüber der Referenzperiode (1971-2000) zu rechnen (RCP-Szenario 4.5, Abbildung 24). Die nachstehende Abbildung zeigt, dass sich diese Temperaturerhöhung nicht gleichmäßig über das Saarlouiser Stadtgebiet verteilt. Mit dem Klimawandel erwärmen sich tendenziell die Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen Saarlouis' stärker als die Grün- und Freiflächen, d.h. die Wärmebelastung im bebauten Gebiet nimmt überproportional zu, wodurch sich der Wärmeinseleffekt leicht bis auf ca. 8,5 K erhöht (bei einem Minimum der Temperatur von 14,4 °C im Umland und einem Temperaturmaximum im Zentrum/Gewerbe von 22,9 °C). Gleichzeitig haben die neu erschlossenen Wohn- und Gewerbeflächen einen Einfluss auf das Saarlouiser Stadtklima. Im Bereich der Entwicklungsflächen (sowohl Baulücken als auch B-Pläne), wo Freiflächen in bebaute Flächen umgewandelt werden, nimmt die Temperatur am stärksten – und zwar bis zu 6,4 °C auf dem Neubau der Gewerbefläche Lisdorfer Berg (West) – gegenüber der heutigen (unbebauten) Ist-Situation zu. Im bereits partiell bebauten Ostteil des Gewerbes am Lisdorfer Berg sind dagegen im Mittel gut 2 °C, im Maximum um etwa 4,7 °C höhere nächtliche Temperaturen zu erwarten. Bei den in Zukunft erschlossenen Wohngebieten beträgt die Änderung in etwa 2 bis 5,5 °C.

³ Thermische Energie wird in Wasser gespeichert.

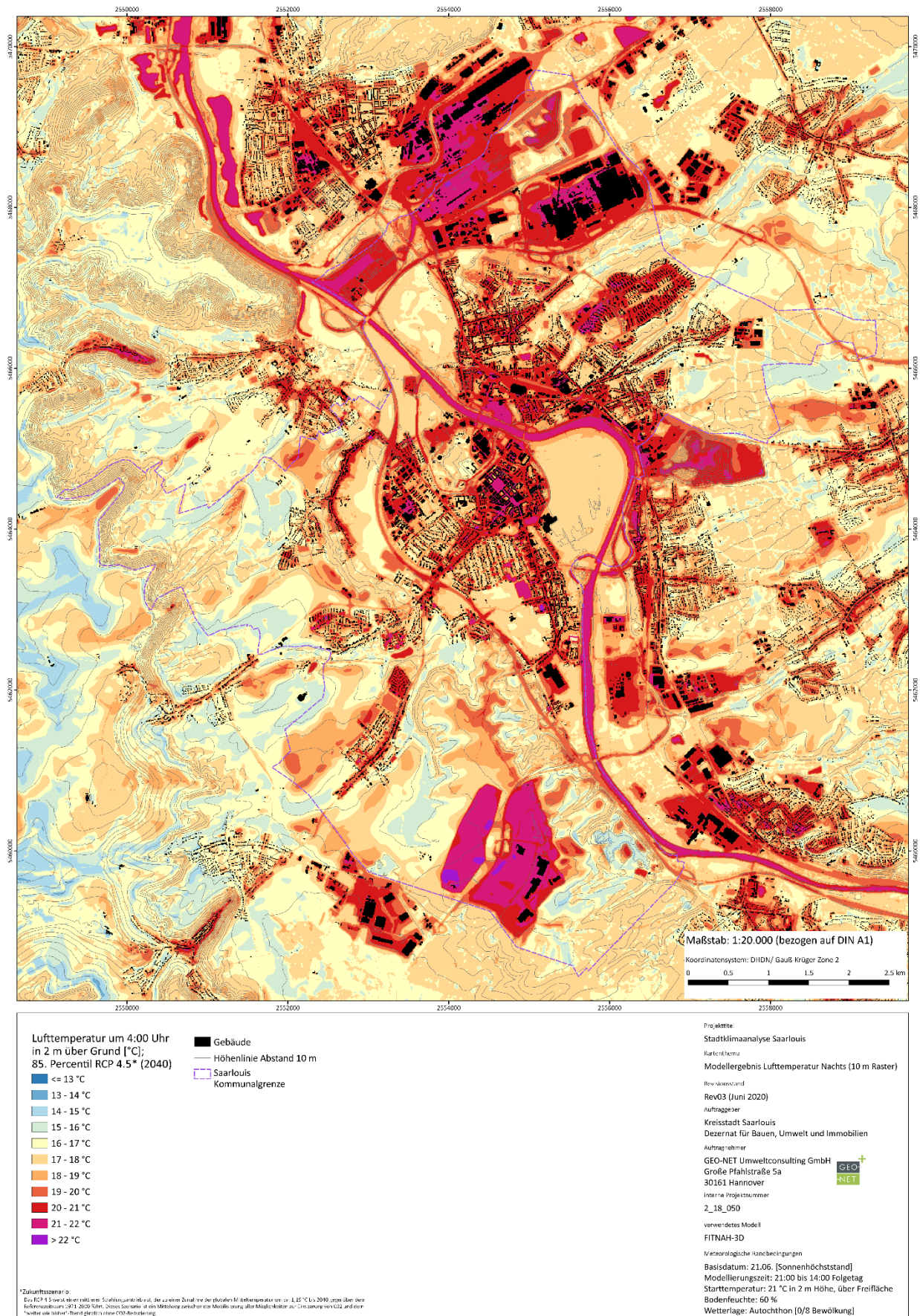


Abbildung 24: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040)

Diese starke Änderung erklärt sich zum einen damit, dass die (noch) unbebauten Freiflächen derzeit bereits relativ kühl sind und durch eine Versiegelung deutlich wärmer werden. Zum anderen kommt die Wirkung des Klimawandels noch hinzu, sodass sich insbesondere auf den Entwicklungsflächen deutlich spürbare Änderungen ergeben. Auch das nähere Umfeld der Entwicklungsflächen ist von einer stärkeren Temperaturzunahme von bis zu 2 °C betroffen. Andere Gebiete zeigen hingegen auch mit dem Klimawandel nur geringe spürbare Änderungen auf (z.B. Beaumarais oder der Ostteil Fraulauterns).

4.1.2 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Lokalen Strömungssystemen wie Flurwinden oder Hangabwinden kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis, sodass die Durchlüftung der Stadtkörper herabgesetzt ist. Die Abfuhr überwärmter und schadstoffbelasteter Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer und frischer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

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 sogenannte 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 m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt bspw. eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abbildung 25).

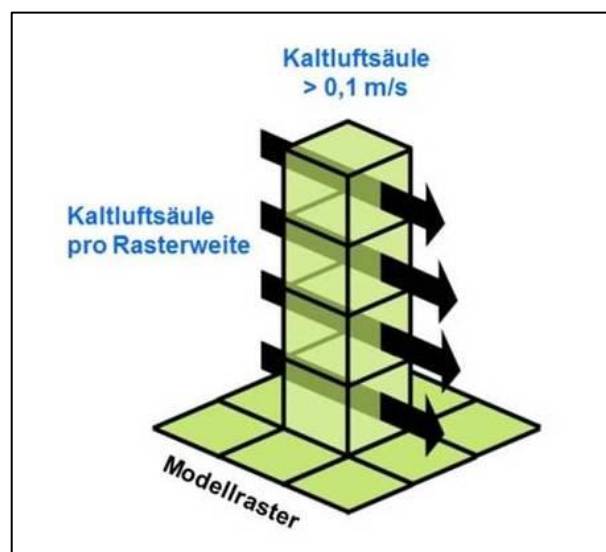


Abbildung 25: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

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

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

Der Kaltluftvolumenstrom zeigt in der Stadt eine große Variabilität und reicht von „nicht vorhanden“ bis zu maximalen Werten um $90 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$. Der Mittelwert im Saarlouiser Stadtgebiet liegt bei $12,3 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$. Im Fokus der Untersuchung steht die Funktion des Kaltlufthaushalts für das Stadtgebiet von Saarlouis. Die genannten Höchstwerte sind auf den höher gelegenen Ackerflächen des Landschaftsschutzgebietes im Westen Saarlouis' aufzufinden und transportieren die Kaltluft flächenhaft hangabwärts bis nach Beaumarais. Für die Belüftung der Innenstadt bzw. der innenstadtnahen Stadtteile sind insbesondere die Ackerflächen zwischen dem Wald südlich von Beaumarais und der A620 mit Kaltluftvolumenstromdichten bis $29,4 \text{ m}^3/\text{m/s}$ sowie der Grünsaum zwischen Neuforweiler Mühlen- und Neuforweiler Weiherbach mit Werten bis $45,3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ hervorzuheben (Abbildung 26). Die stark durchgrünzten und hindernisarmen Kleingartenareale östlich der Metzger Str. begünstigen das Einströmen der Kaltluft weiter nordwärts in Richtung der Innenstadt. Allgemein ist jedoch festzuhalten, dass der Kaltluftvolumenstrom in Richtung Stadtkern aufgrund der Hinderniswirkung der Bebauung abnimmt.

Von Nordosten her tritt Kaltluft bevorzugt über die Grünareale entlang des Ellbachs, der B405 und der Roder Wiese in die Stadtteile Fraulautern und Roden ein, wo überdurchschnittliche KVS-Werte zwischen 15 und $20 \text{ m}^3/\text{m/s}$ erreicht werden. Zusätzlich fließt Kaltluft vom Rand des Saarlouiser Stadtwalds über die Hülzweiler Straße in Richtung Fraulautern.

Rauhigkeitsarme Strukturen wie die Saar, Bahntrassen und breite Straßen sind teilweise durch hohe Volumenströme gekennzeichnet, transportieren in der Regel aber wärmere Luft als grüingeprägte Strukturen (die Kaltluft erwärmt sich während des Transports über diesen Flächen). Vor diesem Hintergrund sind rauhigkeitsarme Grünflächen in Bezug auf die Kaltluftversorgung tendenziell als wirkungsvoller anzusehen.

Die Kaltluftdynamik in der nahen Zukunft verändert sich im Zuge des Klimawandels nur geringfügig gegenüber der heutigen Situation (Abbildung 27). Lokale Änderungen im Kaltluftströmungsfeld ergeben sich vorrangig im Umfeld der Entwicklungsflächen, da neu errichtete Gebäude als Strömungshindernisse fungieren und damit die Winde abbremsen bzw. umlenken. So nehmen Kaltluftvolumenstrom und Windgeschwindigkeit mit der Realisierung der Entwicklungsfläche Lisdorfer Berg (West) deutlich ab (um knapp $11 \text{ m}^3/\text{m/s}$ im Maximum). Die übrigen neuen Wohnbaugebiete sowie geschlossene Baulücken haben auf den Kaltluftvolumenstrom keine signifikanten Auswirkungen.

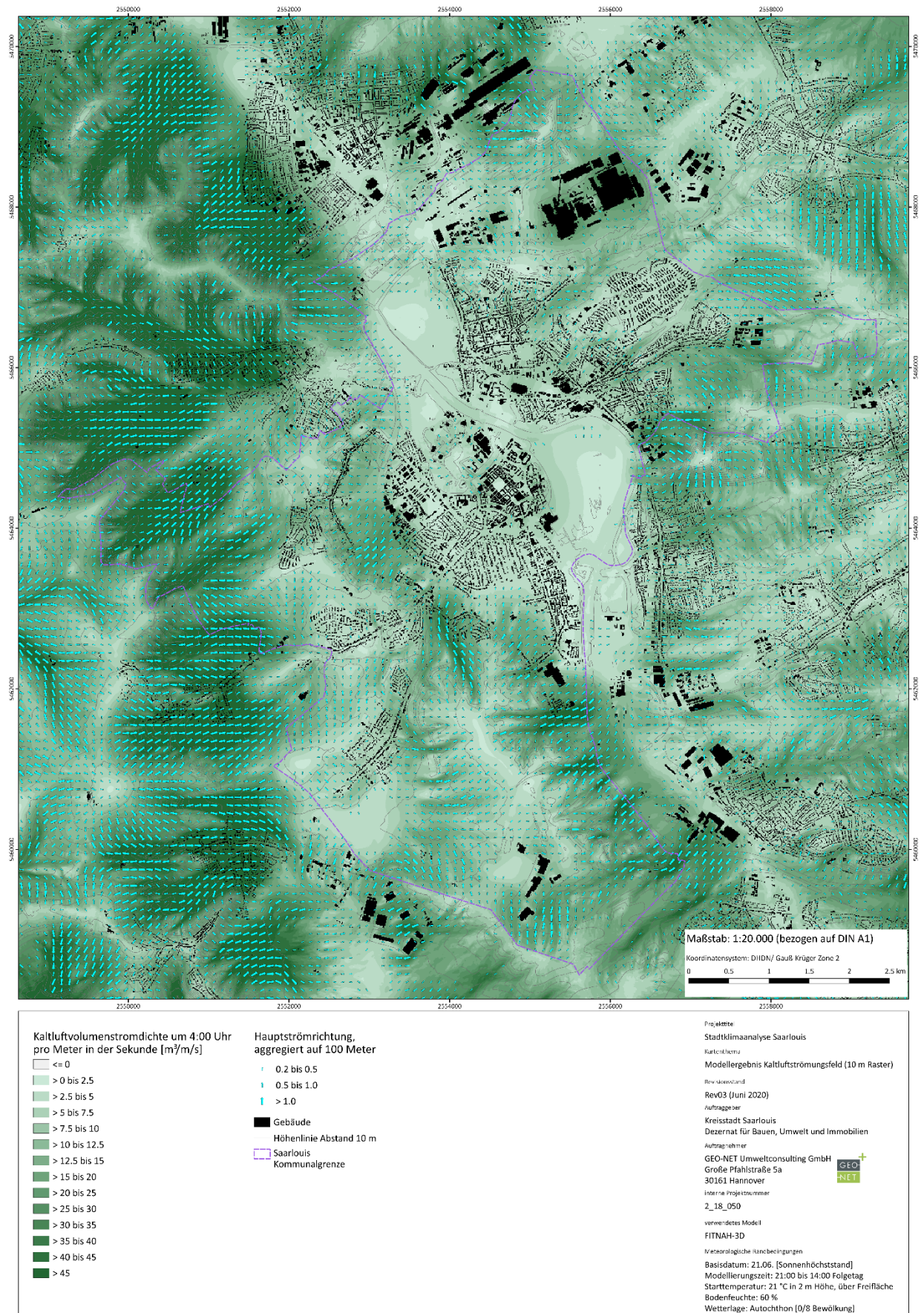


Abbildung 26: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets

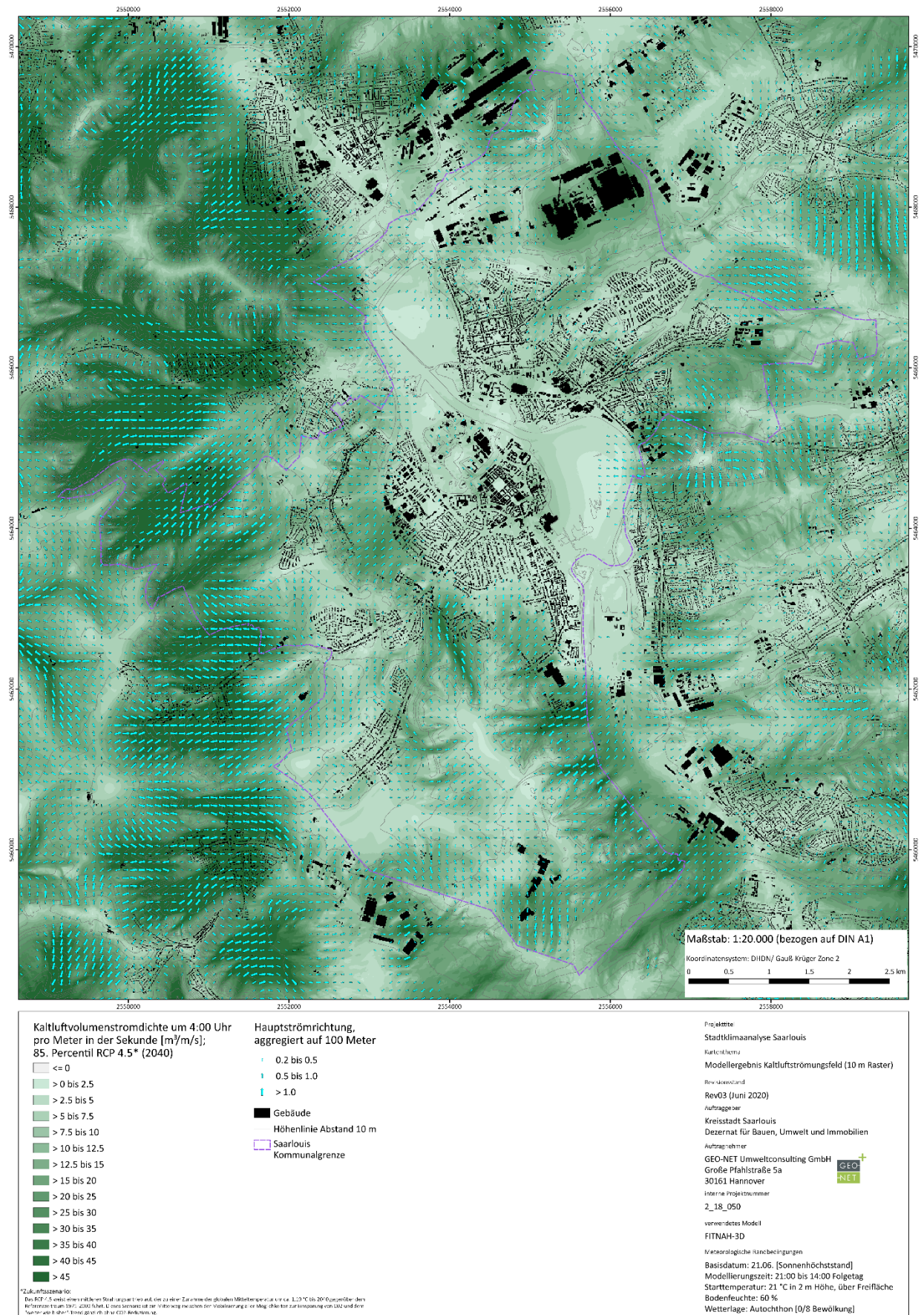


Abbildung 27: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040)

Abbildung 28 zeigt flächenhaft die Windgeschwindigkeit (farbig dargestellt) sowie Windrichtung (Pfeilsignatur⁴) der bodennahen nächtlichen Kaltluftströmung. Eine potentielle klimaökologische Wirksamkeit wird dabei ab einer Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s angenommen.

Die räumliche Ausprägung des bodennahen Kaltluftströmungsfeld folgt größtenteils dem Muster des Kaltluftvolumenstroms⁵. Im Saarlouiser Stadtgebiet treten die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten bis 2,3 m/s im Bereich der westlichen gelegenen Berge sowie der Deponie Hector im Südosten Saarlouis auf. Hier werden thermische Winde durch das Relief beschleunigt. In 2 m ü. Gr. tritt die Hinderniswirkung von Gebäuden stärker hervor, sodass einige Bereiche des Stadtkerns bodennah keine wirksame Durchlüftung erfahren. Das Kaltluftströmungsfeld verdeutlicht, dass neben Grünzügen auch der Straßenraum (aufgrund der geringen Hinderniswirkung) zur Durchlüftung des Stadtgebiets beitragen kann – unter Umständen handelt es sich dabei nur noch um Kaltluft-, nicht mehr um Frischlufttransport (insb. in den frühen Morgenstunden je nach Verkehrslage möglich). Neben Gebäuden stellen Bäume und insbesondere Wälder mit ihrem dichten Baumbestand zwangsläufig ein Hindernis für bodennahe Strömung dar, doch zeigen die Ergebnisse, dass von den Waldrändern her auch bodennahe Ausgleichsströmungen Richtung Stadtgebiet einsetzen.

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

Anhand der Flächen hoher Kaltluftproduktionsrate am Westrand der Saarlouiser Stadtgrenze wird bei Werten bis 43,5 m³/m²/h ersichtlich, dass das Relief die bestimmende Größe für Kaltluftentstehung darstellt. Ebenso wie das Kaltluftentstehungsgebiet der Deponie Hector und deren zugehörige Sandgruben, wo Werte bis 70 m³/m²/h erreicht werden, ist die dort entstehende Kaltluft aufgrund ihrer Entfernung zu besiedelten Gebieten nur bedingt zur Verringerung der urbanen Wärmeinsel nutzbar. Die siedlungsnäheren Kaltluftproduktionsstätten östlich von Neuforweiler und nördlich des Lisdorfer Berges sind mit maximalen Werten bis 33 m³/m²/h noch immer weit überdurchschnittlich (Mittelwert bei 12,8 m³/m²/h) und verfügen, auch durch

⁴ Die Pfeile wurden in einer geringeren räumlichen Auflösung abgebildet, um eine übersichtlichere Darstellung zu erhalten.

⁵ Die nur wenig veränderte Windfeldkarte der Zukunft (2040) ist dem Anhang zu entnehmen (Abbildung A3). Wie beim Kaltluftvolumenstrom sind Änderungen im Vergleich zur Ist-Situation nicht vom Klimawandel abhängig, sondern durch Nutzungsänderungen begründet. So kommt es infolge großflächiger Nutzungsänderung (Lisdorfer Berg (West) zu Abschwächungen der Strömung; durch kleinräumige Nutzungsänderungen z.B. infolge der Schließung von Baulücken mancherorts aber auch zu Erhöhungen der Strömungsgeschwindigkeiten aufgrund von Kanalisierungseffekten.



ihre Nähe zu den stadteinwärts führenden Grünflächen am Mühlenbach, über ein deutlich höheres Abkühlungspotenzial. Auch im Waldgebiet südlich von Beaumarais wird mit Maximalwerten um $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ eine stattliche Menge Kaltluft produziert, die den umliegenden Siedlungsarealen zur Verfügung steht. Obwohl auf den Ackerflächen innerhalb der Saarschleife mit Werten bis $18,3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ deutlich geringere Kaltluftproduktionsraten modelliert wurden, sind diese für die direkt angrenzenden äußeren Innenstadtbereiche ein wichtiger Abkühlungsfaktor. Dies gilt auch für begrünte Innenhöfe im Kern der Stadt, die sich mit Werten um $14,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ noch immer überdurchschnittlich zeigen und noch einmal zu einer deutlichen Temperaturreduktion im stark urbanisierten Raum beitragen können.

Da der Modellierung von Kaltluftproduktionsraten ein empirisches Verfahren zugrunde liegt, das größtenteils Landnutzungen und Landnutzungsänderungen untersucht und zusätzlich der Klimawandel keinerlei Auswirkungen auf die Entstehung von Kaltluft ausübt, sind Änderungen der Kaltluftproduktionsrate nur an jenen Orten sichtbar, an denen eine Nutzungsänderung von unversiegelt zu versiegelt stattgefunden hat (s. Abbildung A4 im Anhang). Dies betrifft sämtliche B-Pläne und Baulücken, die infolge der Zukunftsmodellierung umgesetzt wurden.

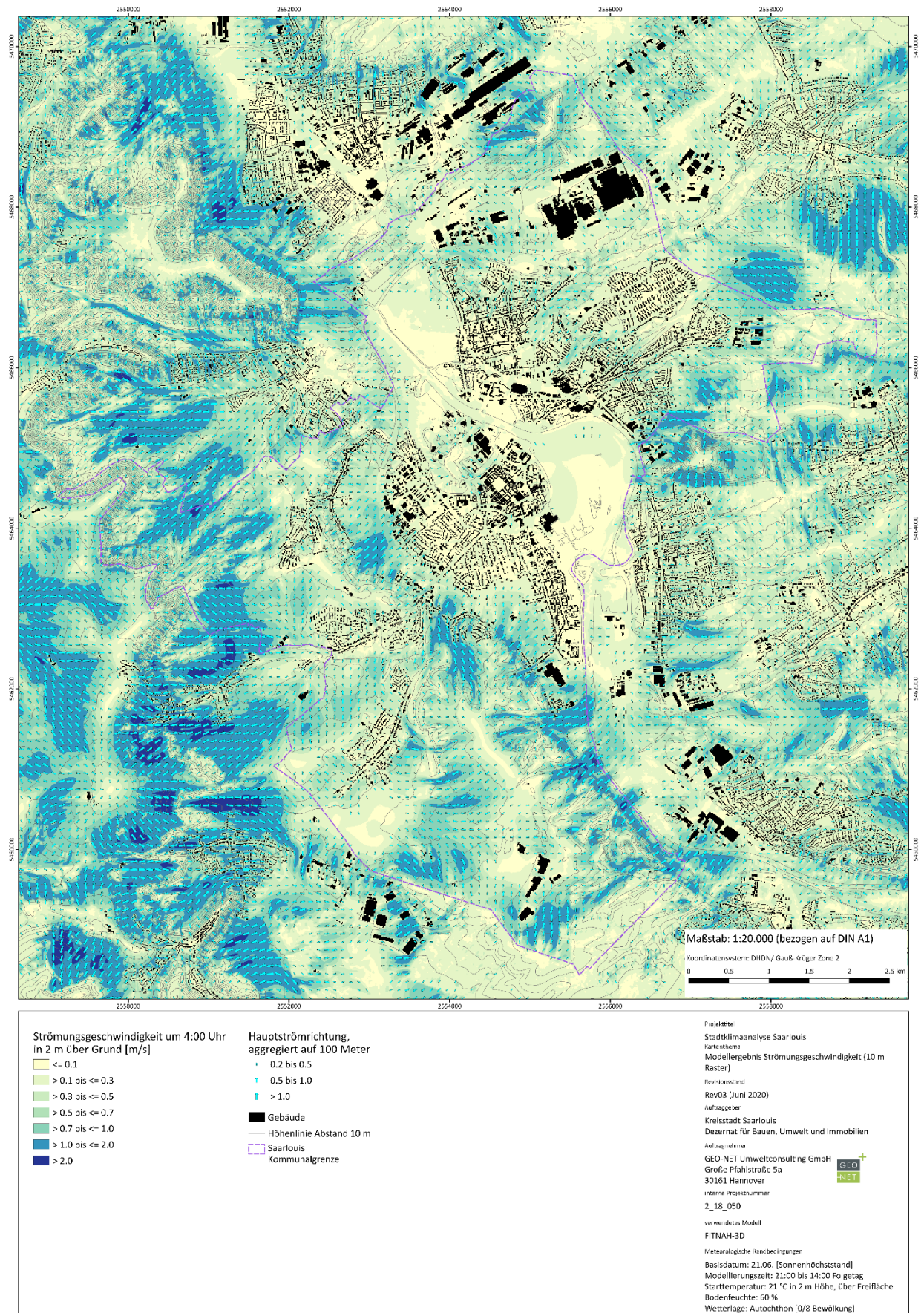


Abbildung 28: Nächtliches bodennahes Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets

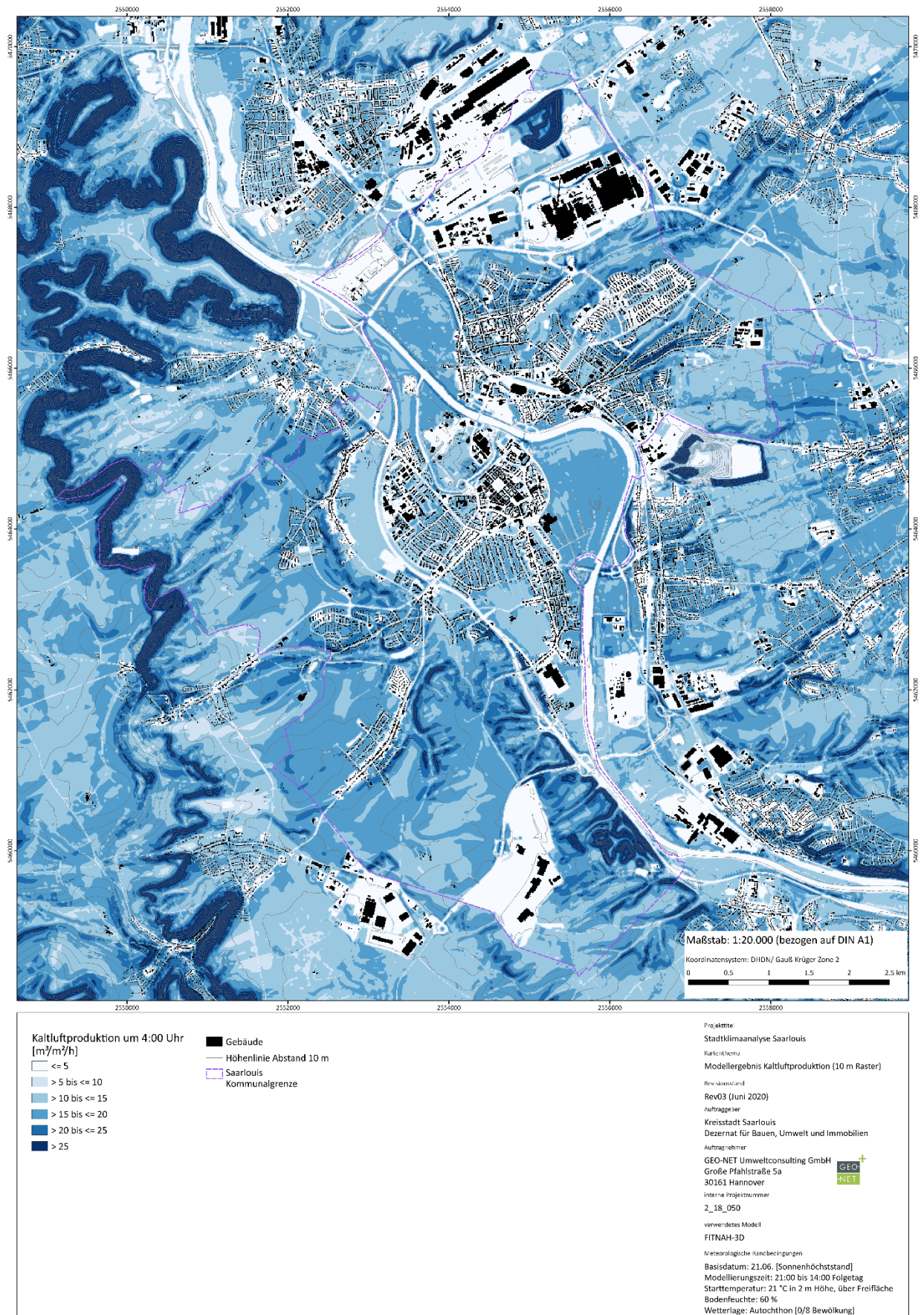


Abbildung 29: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets

4.1.3 THERMISCHE BELASTUNG AM TAGE

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 abschätzen⁶.

Tabelle 7: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 2004)

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	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

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (Physiologisch Äquivalente Temperatur; MATZARAKIS & MAYER 1996). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit besser nachvollzogen werden zu können⁷. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen human-biometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (KUTTLER 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien und am Tage einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tabelle 7).

Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die PET mit einer Spannbreite von 22,7 °C größere Unterschiede in der Stadt auf und reicht von 21,7 - 44,4 °C. Die geringsten Werte sind in Waldgebieten zu finden, die tagsüber mit PET-Werten von meist unter 29 °C (keine bis schwache Wärmebelastung) eine kühlende Wirkung auf ihre Umgebung haben (z.B. Wald Beaumarais, Saarlouiser Stadtwald, Neuforweiler Weiherbachtal, Abbildung 30).

⁶ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. JENDRITZKY 1990).

⁷ Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCI (Universeller thermischer Klimaindex).

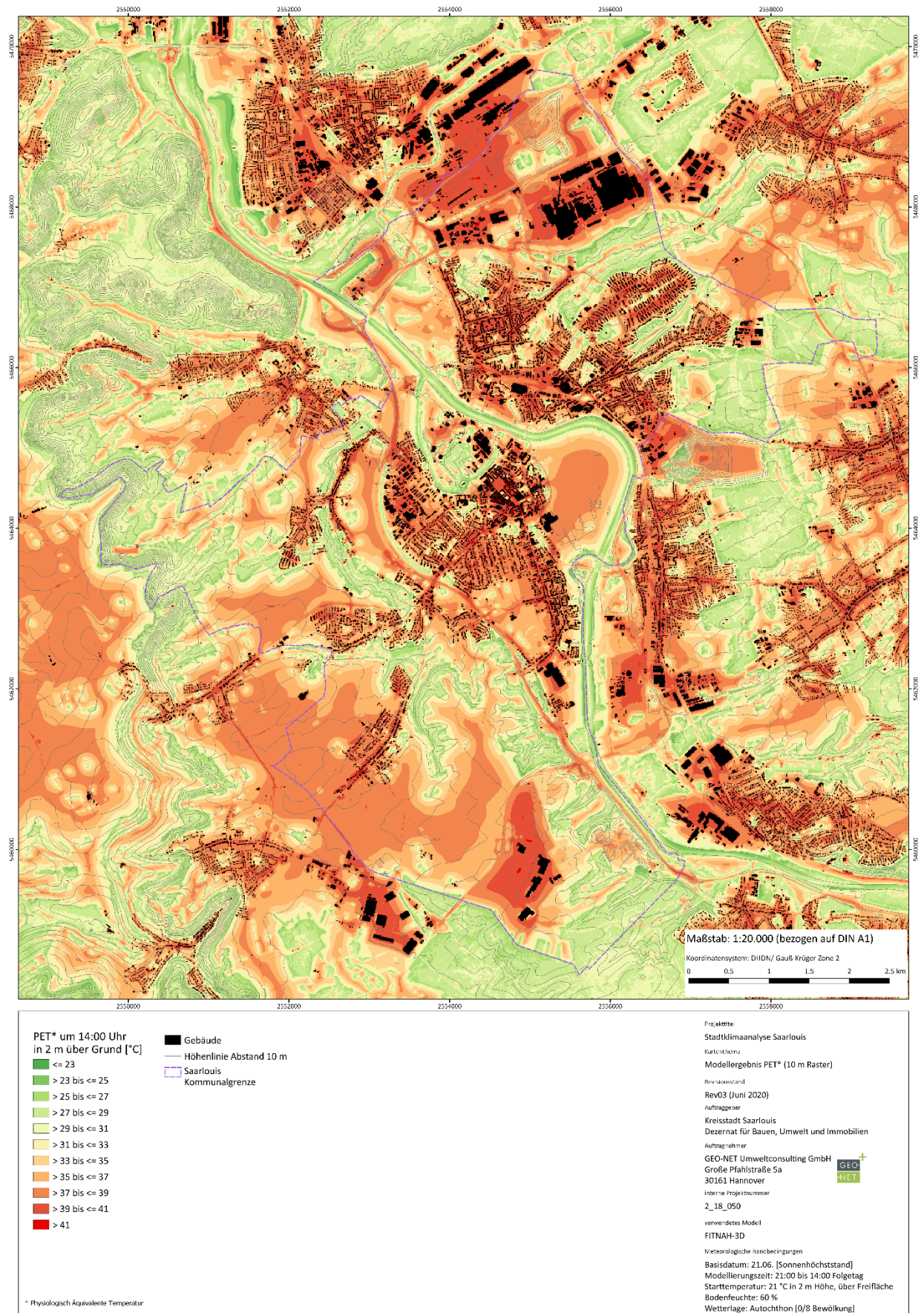


Abbildung 30: Wärmebelastung am Tage um 14 Uhr im Saarlouiser Stadtgebiet (PET)



Auch unter größeren Baumgruppen (z.B. Alter Friedhof, Anne-Frank-Schule) können zum Teil PET-Werte von unter 29 °C vorherrschen. Der Aufenthaltsbereich des Menschen liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sodass Wälder und Baumbestände allgemein als Rückzugsorte dienen können. Zudem vermögen stadtnahe Wälder und Baumgruppen auch am Tage Kaltluft zugunsten des angrenzenden Siedlungsraumes erzeugen (hier nicht dargestellt). Neben Baumbeständen entfalten Gewässerflächen tagsüber eine kühlende Wirkung. Die PET in 1,1 m über der Saaroberfläche beträgt bei einer angenommenen Wassertemperatur von 21 °C etwa 25 - 29 °C.

Alle weiteren Flächen weisen unter den gegebenen Annahmen eines autochthonen Sommertags (keine Bewölkung, d.h. ungehinderte Einstrahlung) mindestens eine mäßige Wärmebelastung auf, wobei der Siedlungsraum größtenteils von einer starken Wärmebelastung betroffen ist. Die höchsten Werte sind über versiegelten Gewerbegebieten und dem Straßenraum, insbesondere in der Innenstadt und den zentrumsfernen Gewerbegebieten Fordwerke und Lisdorfer Berg, zu finden (mehr als 41 °C PET; extreme Wärmebelastung). Durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung erreicht die thermische Belastung über unversiegelten Freiflächen fast ähnlich hohe Werte. Beispielhaft ist hier das Agrargebiet innerhalb der Saarschleife zu nennen, in welcher flächendeckend ca. 38 °C auftreten.

Innerhalb des Stadtgebiets stellen Parkareale (z.B. Saarlouiser Stadtgarten, Im Glacis) und Friedhöfe (z.B. Alter Friedhof, Garnisonsfriedhof, Alter Friedhof in Fraulautern) mit ihrer vergleichsweise geringen Wärmebelastung wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung dar. Analog zur Nachtsituation erzielen begrünte Innenhöfe in der Stadt auch tagsüber eine starke Kühlwirkung. Dass Schatten spendende Bäume die Klimasituation am Tag wesentlich verbessern können, wird auch in den Straßenräumen sichtbar. So erscheinen baumbestandene Alleen wie die Soutyhofstraße (mit teils unter 29 °C) oder die Wallerfanger Straße (mit teils unter 28 °C) deutlich kühler als die stark versiegelten und nur gering verschatteten innerstädtischen Plätze Großer und Kleiner Markt, auf denen knapp 40 °C erreicht werden.

Analog zur Lufttemperatur (vgl. Kapitel 4.1.1) nimmt die PET am Tag in der nahen Zukunft nicht gleichmäßig über das Stadtgebiet verteilt zu (Abbildung 31). Die Veränderung der PET gegenüber der heutigen Situation reicht von -13,8 °C bis +17,3 °C, vielerorts ist die PET-Änderung mit Werten zwischen -0,5 und 1 K aber nur gering.

Wie zu erwarten, hat auch bei der PET die Landnutzungsänderung einen größeren Einfluss als der Klimawandel. Die Änderungsraten sind sowohl negativ als auch positiv gegenüber heutzutage. Aufgrund der steigenden Lufttemperaturen und der Zunahme des Versiegelungsgrades auf den Entwicklungsflächen erhöht sich die PET in den meisten Gebieten gegenüber der heutigen Situation. So wird am Neubau des Lisdorfer Berges (Westteil) eine Temperaturerhöhung von bis zu 3,1 K (auf Werte bis 40,7 °C) modelliert. Das neue Wohngebiet in Neuforweiler erfährt gar Temperaturerhöhungen von bis zu 14 K auf über 40 °C. Auch der Bau eines Supermarktes in der Provinzialstraße 242 wirkt sich lokal ungünstig auf die PET aus. Hier wird diese im Zuge der Neubebauung gar um 17,3 K auf Werte um 42,8 °C erhöht.

Jedoch bewirken zusätzliche Verschattungen durch Bäume (z.B. im Zuge der B-Plan-Umsetzung „Auf der Wies (West)“ mit einem PET-Wert von 23,2 °C um bis zu 13,8 K kühler) oder teils auch durch Gebäude (z.B. Lisdorfer Berg, Ostteil mit 37,8 °C um bis zu 2,2 K kühler) auch eine Reduktion der PET und damit eine verbesserte bioklimatische Situation am Tag.

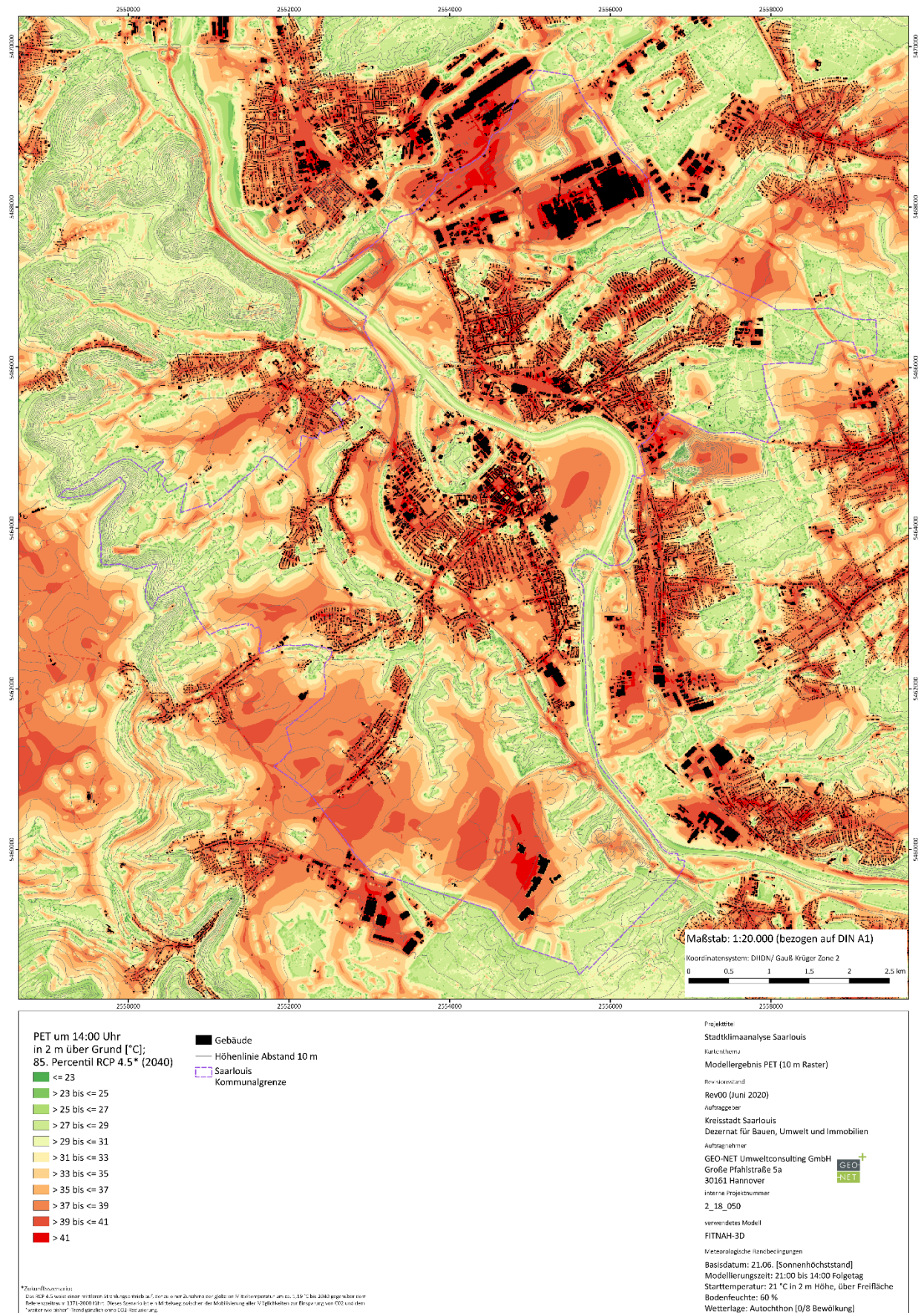


Abbildung 31: Wärmebelastung am Tage um 14 Uhr im Saarlouiser Stadtgebiet (PET, Zukunftssituation 2040)

4.1.4 LUFTHYGIENE

Für das Verständnis der im Folgenden gemachten Aussagen ist es wichtig, sich noch einmal die Unterschiede zu Messungen und quantitativen Berechnungen von Immissionskonzentrationen innerhalb bestimmter Mittelungszeiträume, wie sie beispielsweise im Luftreinhalteplan angeführt werden, zu verdeutlichen: Die hier beschriebenen Immissionsfelder beziehen sich ganz explizit auf eine Ausbreitungssituation, die nur bei speziellen meteorologischen Situationen und nur in den Frühstunden des Tages auftritt. Sie sind nicht geeignet, grenzwertrelevante Aussagen im Sinne der 39. BImSchV zu treffen, die sich auf jahresmittlere Luftschadstoffkonzentrationen oder Überschreitungshäufigkeiten beziehen, sondern dienen lediglich dazu, Austauschbereiche zwischen Grün- und Siedlungsflächen zu identifizieren, in denen bei autochthonen Wetterlagen mit erhöhten Luftschadstoffbelastungen zu rechnen ist (Indikatorfunktion). Die besonderen Auswirkungen, die solche Wetterlagen auf die momentane Luftqualität haben, wurden bereits in Kap. 3.1.5 erläutert.

GRUNDLAGEN: MODELLRECHNUNG LUFTHYGIENE

Als Indikator für die Belastung der Luft dient die Ausbreitung eines Luftschadstoffs im dreidimensionalen Strömungsfeld der Kaltluftmodellierung. Die Ausgangswerte hierfür liefern die Berechnungen der Emissionsmengen von Stickstoffoxiden (NO_x).

Stickstoffdioxid (NO_2) ist der wichtigste, maßgeblich durch den Straßenverkehr induzierte Luftschadstoff. Zwar können die komplexen Reaktionen der NO_2 -Ozonchemie in der vorliegenden Modellierung keine detaillierte Berücksichtigung finden, doch ist die Feinstaub- (PM_{10})-Konzentration wesentlich stärker abhängig von verschiedenen, nicht straßenverkehrsbedingten Gegebenheiten als die des NO_2 . Hierzu gehören z.B. der kleinräumig wechselnde Anteil an Feststoffheizungen, die Verteilung industrieller und landwirtschaftlicher Produktionsanlagen, die großräumigen Witterungsverhältnisse, sowie die veränderlichen Ferntransporte aus Quellen außerhalb des Untersuchungsraumes. Zudem ist die Luftschadstoffkomponente Feinstaub momentan als weniger kritisch einzustufen (siehe hierzu auch die Auswertungen der Messstationen im Immissionsmessnetz Saar IMMESA, LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ 2020). Die Emissionsverteilung der beiden Luftschadstoffkomponenten weist ähnliche Schwerpunkte auf, kann aber aufgrund unterschiedlicher Einflüsse des Schwerlastverkehrs in Einzelfällen signifikant voneinander abweichen.

Die für die Erzeugung des Strömungsmodells wichtigsten Eingangsparameter stellen normalerweise die Strukturhöhen der jeweiligen Nutzung dar. Hierfür wurde in der vorliegenden Untersuchung das im Rahmen der Klimaanalyse abgeleitete Nutzungsraster und das hieraus erzeugte Windfeld verwendet. Bei der Interpretation der Ausbreitungsrechnungen für Luftschadstoffe ist daher zu berücksichtigen, dass die Strukturhöhen über *klimarelevante* Nutzungsklassen parametrisiert wurden, und eine Rasterauflösung von 10 m reale Ausbreitungs- und Verdünnungsbedingungen nicht hinreichend repräsentieren kann.

Zusammengefasst sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Die Rasterauflösung ist nicht dazu geeignet, die Luftschadstoffsituation innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen mit dichter Randbebauung (Straßenschluchten) realistisch wiederzugeben.



- Die Immissionen sind aufgrund der Rasterauflösung repräsentativ nur für größere Raumeinheiten und aufgrund der austauscharmen Wetterlage nicht mit grenzwertrelevanten Jahresmittelkonzentrationen zu vergleichen.
- Das Modell beruht auf Nutzungskategorien, die in Hinblick auf klimatische Fragestellungen optimiert sind und enthält keine konkreten Gebäude und sonstige Hindernisse ohne Porosität. Es stellt somit stark generalisierte Schadstoffausbreitungsbedingungen dar.
- Grundsätzlich besitzen die berechneten Immissionen lediglich eine Indikatorfunktion für Belastungsschwerpunkte während autochthoner Wetterlagen.

Zu den Tageszeiten der maximalen Ausprägung des Kaltluftprozessgeschehens um ca. 4 Uhr morgens sind die Verkehrsmengen in der Regel noch sehr gering. In den Morgenstunden nimmt der Verkehr zwar rasch zu, doch lösen sich die siedlungsgerichteten Kaltluftsysteme bald nach Sonnenaufgang auf und werden von einem konvektionsgeprägtem, relativ turbulenten Strömungsgeschehen abgelöst. Die größte zeitliche Überschneidung einer signifikanten Emissionsfreisetzung mit einem noch deutlich durch Ausgleichströmungen geprägten Windfeld ergibt sich zur Früh-Hauptverkehrszeit, die auch die morgendliche Spitzenstunde beinhaltet. Die Auswertungen beziehen sich daher auf das Strömungsgeschehen für die Uhrzeit 7 Uhr

Um die Gesamtimmissionsbelastung einer autochthonen Wetterlage im Untersuchungsgebiet abschätzen zu können, sind Daten zur Hintergrundkonzentration der berücksichtigten Schadstoffkomponenten nötig. Diese Vorbelastungs-Immissionen treten unabhängig von lokalen Zusatzbelastungen auf und stammen aus Quellen wie Kleinf Feuerungsanlagen, Gewerbe und regionalem Verkehr. Die Standorte der Messstationen im Immissionsmessnetz Saar (IMMESA, LANDESAMT FÜR UMWELT- UND ARBEITSSCHUTZ 2020) sind so gewählt, dass sie u.a. eine ländliche (außerhalb des direkten Einflussbereiches von größeren Straßen oder Gewerbe- und Hafenanlagen auftretende) und eine vorstädtische oder städtische (innerhalb der Stadt, aber abseits lokaler Emissionsquellen auftretende) Hintergrundbelastung widerspiegeln. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde, um eine leichtere Deutbarkeit der Ergebnisse zu erzielen, auf eine summierte Darstellung der Gesamtbelastung verzichtet und lediglich die verkehrlichen Zusatzbelastungen ohne Berücksichtigung der Grundbelastung abgebildet.

Die berechnete Ausbreitungssituation ist somit quantitativ nicht auf reale Immissionsbedingungen zu übertragen. Die Schadstoffbelastung wird im Rahmen der eingesetzten Methodik hauptsächlich durch die Emissionsmenge und die zum gegebenen Zeitpunkt modellierte Strömung bestimmt und ist geeignet, Siedlungsgebiete zu identifizieren, in denen bei autochthonen Wetterlagen mit erhöhten Luftschadstoffbelastungen zu rechnen ist. Abbildung 32 auf der Folgeseite veranschaulicht die Transportwege der über den Straßenverkehr freigesetzten Luftschadstoffe im nächtlichen Strömungsfeld.

ERGEBNISSE LUFTHYGIENE

Ausgehend von der räumlichen Verteilung der Verkehrsmengen, der Bebauungsdichte und der Kaltluftströmungsrichtung ergeben sich im Stadtgebiet von Saarlouis mehrere lufthygienische Belastungsschwerpunkte. So führt beispielsweise die schwache nordgerichtete Kaltluftströmung über die BAB 8 in Richtung Ford Werke und die dort anschließend baulich eingeschränkten Durchmischungsbedingungen zu einer starken Schadstoffanreicherung im Bereich der zugehörigen Stellplatzflächen. Häufig tragen stärker ausgeprägte Strömungen zwar zum Ferntransport, aber auch zu einer raschen Verdünnung der Luftschadstoffe bei. Dieses Phänomen ist beispielsweise entlang den Bundesautobahn 620 gut zu verfolgen. Aufgrund der bebauungs-

bedingt verminderten Durchmischung der Luftmassen treten auch im Stadtgebiet verkehrlich stark frequentierte Straßenabschnitte – wie beispielsweise an der Bahnhofstraße, der Metzger Straße und der Lisdorfer Straße – mit einer hohen Luftschadstoffbelastung hervor.

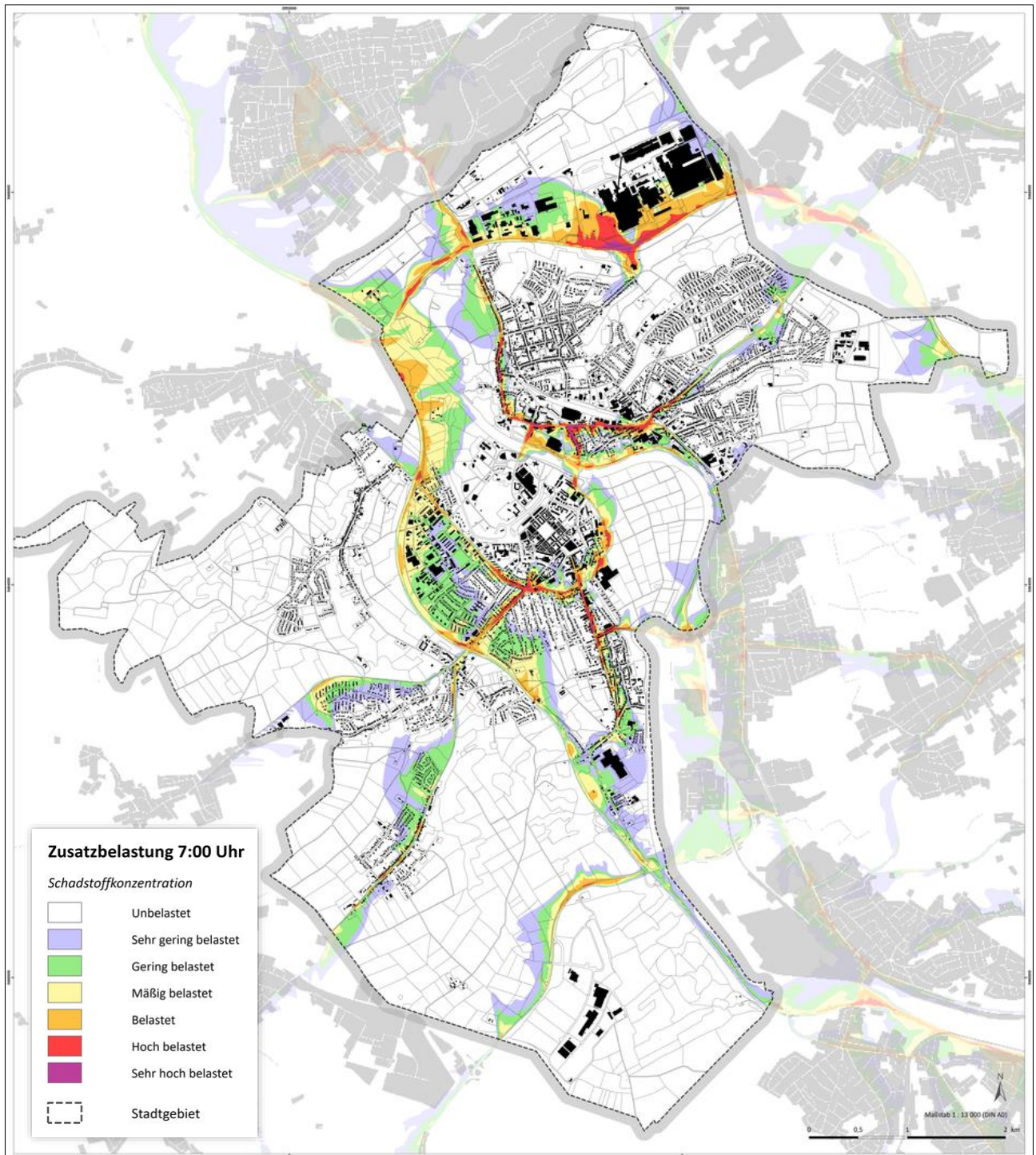


Abbildung 32: NO₂-Zusatzbelastung im morgendlichen Kaltluftströmungsfeld

4.2 MESSKAMPAGNE

Im Rahmen der Klimaanalyse Saarlouis wurde im Jahr 2019 eine umfassende Messkampagne im Stadtgebiet beauftragt. Messfahrten, Vertikalsondierungen und Rauchschwadenversuche bieten eine weitreichende Validierungsgrundlage der mit FITNAH-3D durchgeführten Modellsimulationen.

4.2.1 MESSFAHRTEN

Im Sommer 2019 wurden insgesamt 4 Messfahrten durchgeführt, jeweils zwei am 25./26.06.2019 (22:40 Uhr MESZ und 02:30 Uhr MESZ) und am 26./27.06.2019 (22:35 Uhr MESZ und 01:15 Uhr MESZ). Die ausgewerteten Messfahrten wurden auf die Zeitpunkte 23 Uhr bzw. 4 Uhr normiert. Da in beiden Messnächten grundlegend identische Ergebnisse erhalten wurden, werden im Folgenden exemplarisch Abbildung 33 und Abbildung 34 vorgestellt. Abbildung A5 und Abbildung A6 sind darüber hinaus dem Anhang zu entnehmen.

In Abbildung 33 und Abbildung 34 geben die Messfahrten die strahlungsbedingte Abkühlung von der ersten zur zweiten Nachthälfte in den gemessenen Lufttemperaturen gut wieder. Dies ist darauf zurückzuführen, dass um 4:00 Uhr der Kaltlufthaushalt, im Gegensatz zu 23:00 Uhr, vollständig ausgeprägt ist. So werden die Temperaturmaxima zu beiden Zeiten im hochgradig versiegelten Innenstadtbereich ermittelt, das Maximum um 4 Uhr ist mit 21,2 °C in der Grünebaumstraße aber nochmals deutlich kühler als um 23 Uhr, mit einem Wert von 26,5 °C. Gleiches gilt für die Temperaturminima beider Zeitpunkte, welche auf den Ackerflächen zwischen dem Lisdorfer Berg und Neuforweiler im Bereich der Wadgasser Straße registriert wurden: So betrug die gemessene Minimaltemperatur dort gegen 23 Uhr noch 18,8 °C und kühlte sich bis 4 Uhr morgens auf 13,9 °C ab.

Die urbane Wärmeinsel (Temperaturunterschied zwischen Innenstadt und Umland) bot damit eine beträchtliche Intensität von 7,7 K (23 Uhr) bzw. 7,3 K (4 Uhr). Insgesamt treten im gesamten Untersuchungsgebiet große Unterschiede zwischen den einzelnen Stadtstrukturtypen auf. Neben den Innenstadtbereichen sind Industrie- und Gewerbegebiete diejenigen Standorte, die die höchsten Temperaturen aufweisen. So wurden im Bereich der Henry-Ford-Straße im Norden des Untersuchungsgebietes gegen 23 Uhr Temperaturen von mindestens 24 °C, teils aber auch über 26 °C gemessen (4 Uhr: 19-21 °C), wohingegen im Bestand des Gewerbegebietes am Lisdorfer Berge zwischen 22 und 25 °C ermittelt wurden (4 Uhr: 16-20 °C). Im Bereich der Messstation, die sich zentral auf dem Gewerbegebiet befand, wurden mit die höchsten Werte registriert (23 Uhr: 25,5 °C, 4 Uhr: 19,9 °C). Die innerstädtische Messtation am Kleinen Markt zeigte sich mit gemessenen Werten von 26,4 °C gegen 23 Uhr und 20,8 °C gegen 4 Uhr aber nochmals wärmer. Hierdurch wird die sub-urbanere/ruralere Lage des Lisdorfer Berges sowie der Umstand angedeutet, dass das Industrie- und Gewerbegebiet zur Zeit der Messung noch nicht fertig gestellt war.

Orte, an denen Kaltluft produziert wird oder entlang fließt wie die Ackerflächen in der Saarschleife, zwischen Lisdorfer Berg und Neuforweiler, entlang des Saarlouiser Stadtwaldes und des Ellbachs zeigen sich durch Temperaturen von größtenteils deutlich unter 22 °C (23 Uhr) bzw. 18 °C (4 Uhr) insgesamt deutlich kühler.

Ergebnisse von Lufttemperaturprofilmessfahrten am 25.06.2019, 23:00 Uhr

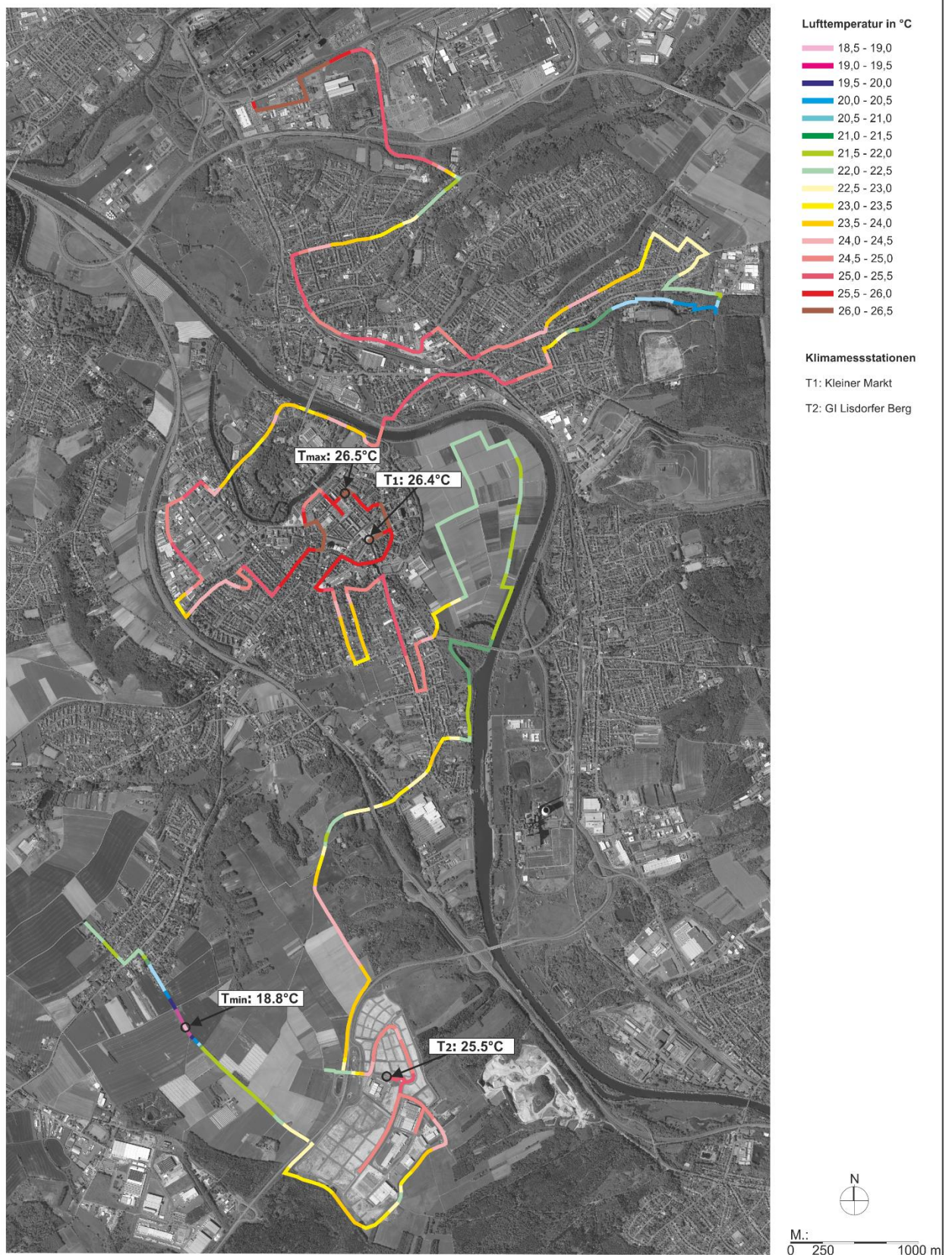


Abbildung 33: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 25.06.2019 normiert auf 23 Uhr MESZ.

Ergebnisse von Lufttemperaturprofilmessfahrten am 26.06.2019, 04:00 Uhr

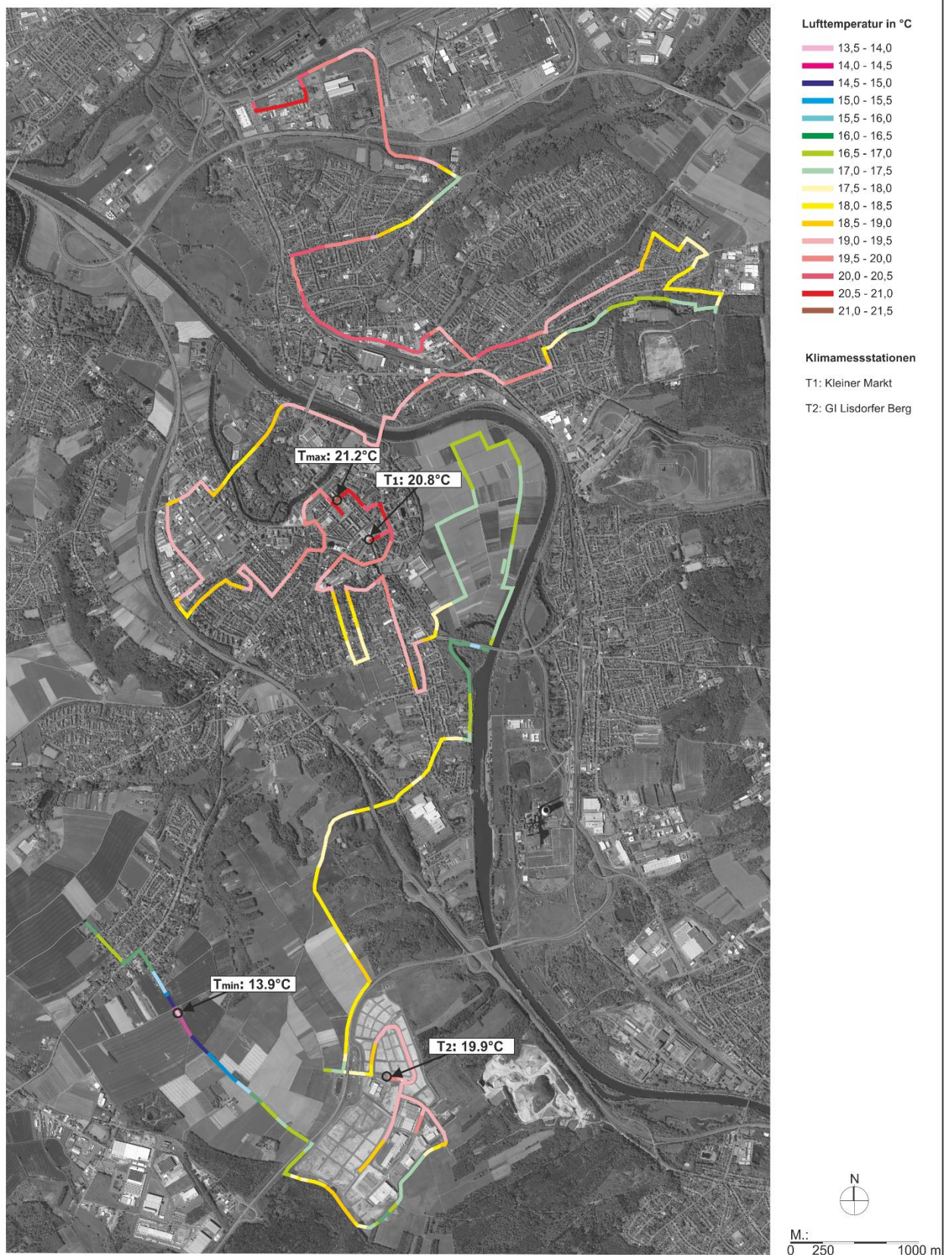


Abbildung 34: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 26.06.2019 normiert auf 4 Uhr MESZ.

4.2.2 VERTIKALSONDIERUNGEN UND RAUCHSCHWADENVERSUCHE

Da sämtliche weitere Messungen im Rahmen der Klimaanalyse Saarlouis wie Profilmessfahrten oder die Errichtung von Klimamessstationen erdbodennah stattgefunden haben, sollte durch die Beauftragung von Vertikalsondierungen und Rauchschwadenversuchen eine Dreidimensionalität des erhobenen Datensatzes erzeugt werden.

Abbildung 35 zeigt den Tagesgang der Lufttemperatur im Vertikalprofil bis ca. 300 m Höhe für den Kleinen Markt am 25./26.06.2019. Für die Darstellung wurden die stündlich aufgenommenen Drohnenaufstiege zeitlich (zwischen den Stunden) interpoliert. Während bodennah tagsüber noch Temperaturen knapp über 33 °C erreicht werden, kühlt sich die bodennahe Schicht bis zum Morgen nur langsam aus, sodass gegen 6 Uhr noch immer Temperaturen über 20 °C gemessen wurden. Die städtischen, stark versiegelten Oberflächen des Kleinen Marktes verfügen über eine große Wärmekapazität, wodurch die ganze Nacht über kontinuierlich Wärme an die Atmosphäre abgegeben wird. Bodennahe Kaltluft wird im Innenstadtbereich nicht produziert – ein Indiz hierfür wäre eine sogenannte bodennahe Inversionsschicht, ein Ansteigen der Temperatur mit der Höhe. Ab ca. 1-2 Uhr nachts bildet sich zwar eine Höheninversionsschicht aus, mit Temperaturen von 23-24 °C in den ersten 100 m und einem anschließenden Temperaturanstieg bis auf ca. 26 °C – dieser bringt aber keinerlei Entlastung für die städtische Wärmeinsel mit sich. Mit gegen 4 Uhr gemessenen 20,8 °C am Boden (auf 4 m Höhe) stimmen Drohnemessung und Messfahrt exakt überein (vgl. Abbildung 34).

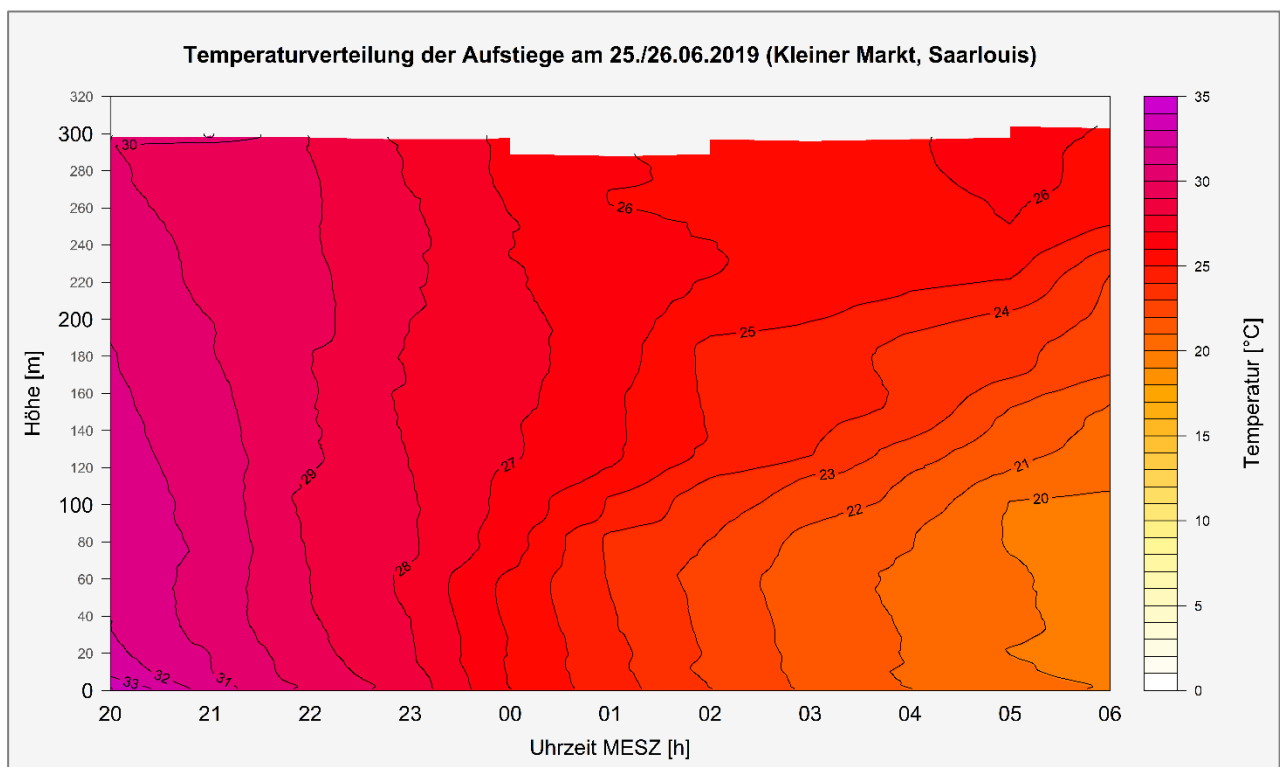


Abbildung 35: Vertikalprofil der Lufttemperatur am kleinen Markt von 20-06 Uhr MESZ

Die Windverhältnisse am Messtag sind für den Kleinen Markt im Vertikalprofil bis 300 m Höhe in der Abbildung 36 aufgetragen. Bis kurz nach Sonnenuntergang um 21:43 Uhr MESZ werden in Saarlouis auch infolge von sonneninduzierter Turbulenz noch höhere Windgeschwindigkeiten bis knapp unter 9 m/s gegen 22 Uhr auf ca. 200 m Höhe gemessen. Im Anschluss daran legen sich die turbulenten Prozesse und auf sämtlichen

Höheniveaus sind lediglich schwache Windgeschwindigkeiten bis knapp unter 3 m/s messbar, bodennah herrscht zeitweise gar Windstille. Gemeinsam mit dem in der Nacht wolkenlosen Himmel bestätigt dies die Definition des Deutschen Wetterdienstes zu autochthonen Wetterlagen⁸, die einerseits für die Modellierungen mit FITNAH-3D angenommen wurden, andererseits zur Validierung des Modells auch für die Intensivmesskampagnen erwünscht waren.

Der Wind kam am Messtag innerhalb der ersten Nachthälfte auf allen Höhenleveln aus Südwest und drehte anschließend zur zweiten Nachthälfte hin auf westliche Richtungen.

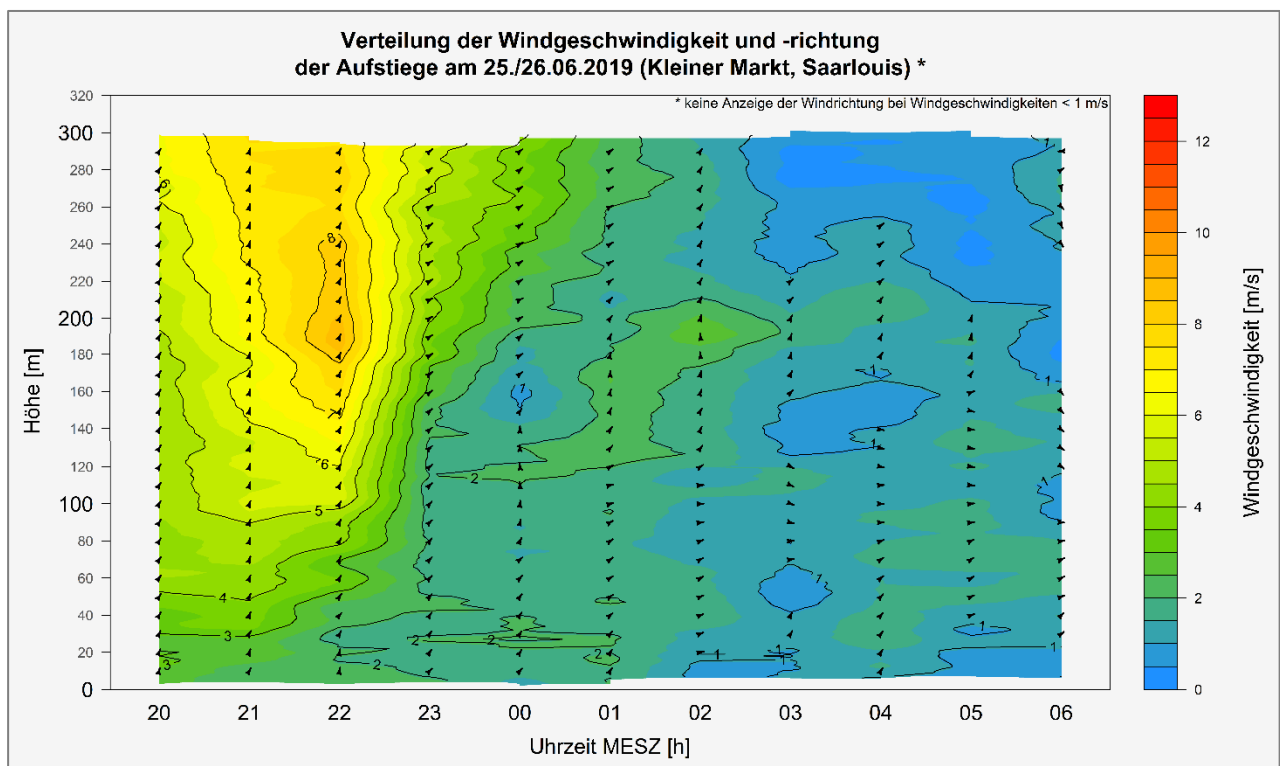


Abbildung 36: Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit und -richtung am kleinen Markt von 20-06 Uhr MESZ

Am Folgetag (26./27.06.2019) fanden die Messungen auf einer Ackerfläche westlich der B269N und dem Bestand des Gewerbegebietes Lisdorfer Berges statt (Vgl. Abbildung 16). Auf den deutlich ruraler geprägten Standort wurde ein schnelleres Auskühlen der Ackerböden, im Vergleich zu den versiegelten Flächen am Vortag, und damit auch Kaltluftentstehung erwartet. Aus diesem Grund wurden in den Abendstunden kurz vor Sonnenuntergang Rauchschwadenversuche gestartet, um die Entstehung erster Kaltluft visuell festzuhalten (Abbildung 37). Während im linken Bild der Abbildung gegen 19:45 Uhr bodennah noch turbulente Verhältnisse vorherrschen und der Rauch in verschiedene Höhen und Richtungen davonströmt, steigt die durch den Rauch visualisierte Luft im rechten Bild in eine bevorzugte Richtung und stößt anschließend an eine vertikale Grenze. Der Grund hierfür ist, dass die durch den Rauch kenntlich gemachte Luft kälter und damit

⁸ Voraussetzungen für windschwache Strahlungsnächte sind demnach eine Höchstwindgeschwindigkeit von 2.7 m/s bei gleichzeitig geringer Bewölkung unter 5/8

schwerer als die darüber liegende Luftschicht ist und diese daher am weiteren Aufstieg gehindert wird. In einem Vertikalprofil der Temperatur kann dieses Phänomen (erster) Kaltluftentstehung anhand einer Bodeninversion sichtbar gemacht werden. Kurze Zeit nach dem Rauchschwadenversuch wird am selben Standort (Lisdorfer Berg West) bereits eine Kaltlufthöhe von ca. 40 m Höhe registriert (Abbildung 38).



Abbildung 37: Rauchschwadenversuch am Lisdorfer Berg (West) am 26.06.2019

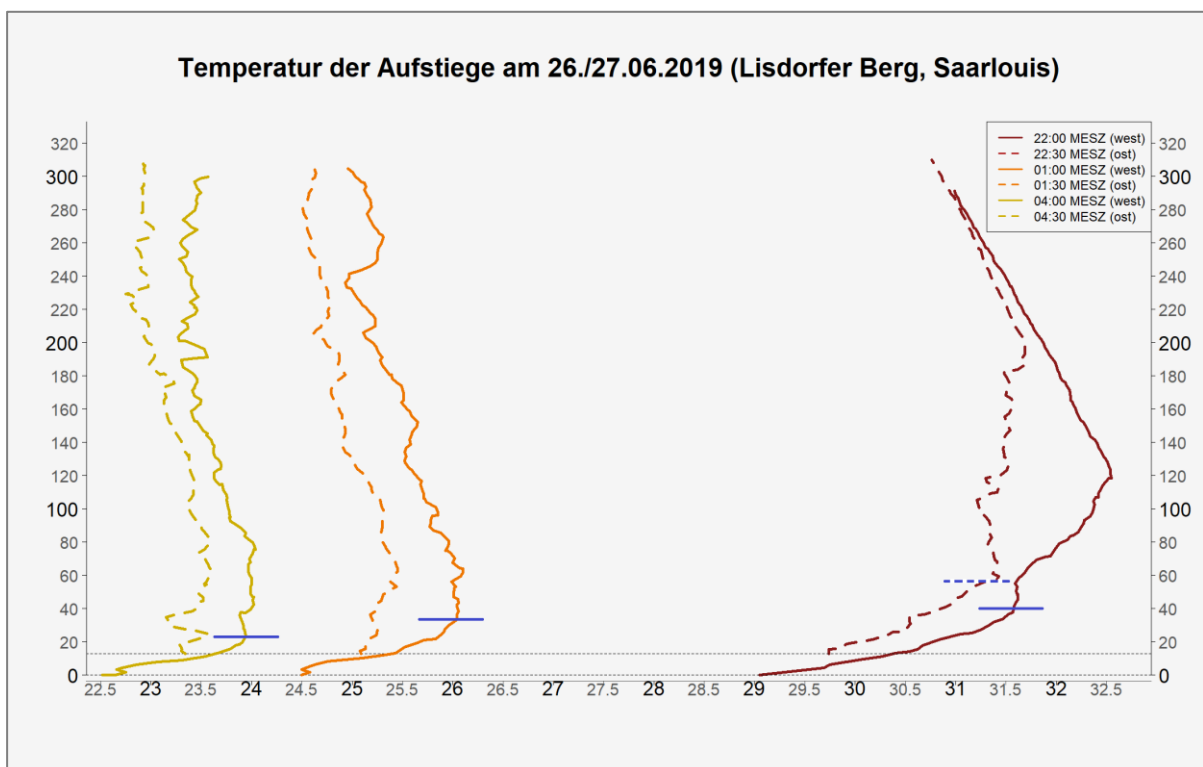


Abbildung 38: Vertikalprofile der Lufttemperatur am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ; die blauen Linie kennzeichnen die anhand der Inversion ermittelten Kaltlufthöhen

Diese Höhe scheint zu autochthonen Bedingungen das Maximum der Kaltlufthöhe für den genannten Standort zu sein, da drei und sechs Stunden später ähnliche, teils etwas geringere Kaltluftmächtigkeiten von ca. 35 m und 28 m ermittelt wurden. Zu den drei genannten Stunden wurde, um eine halbe Stunde versetzt,

eine Vergleichsmessung auf der anderen Seite der B269N im Bestand des Gewerbegebietes (Lisdorfer Berg Ost) durchgeführt. Da der Standort 13 m oberhalb des westlichen Standortes liegt, wurde dieser Höhenunterschied aus Zwecken der Vergleichbarkeit durch eine graue gepunktete Linie kenntlich gemacht – die Höhe 0 des Oststandortes beginnt daher auf einer Höhe von 13 m des Weststandortes. Durch diese Gegebenheit liegt auch die Höhe der Kaltluftschicht oberhalb der des westlichen Aufstiegs punktes auf knapp ca. 58 m (Abbildung 38, blaue gestrichelte Linie). Abzüglich des Höhenunterschiedes und in Anbetracht der um 30 Minuten späteren Messung ist die Kaltluftpöhe mit folglich ca. 45 m mit derjenigen des Weststandortes nahezu identisch. Im weiteren Verlauf der Nacht bricht die Kaltluftproduktion am deutlich urbaner geprägten Standort komplett ein, was an der ausbleibenden Bodeninversionsschicht um 1:30 Uhr und 4:30 Uhr zu erkennen ist. Zusätzlich beschleunigt der exponierte Standort ein Abfließen der Kaltluft und damit einen Abbau der Kaltluftmächtigkeit in Richtung tiefergelegener Areale wie dem westlichen Messstandort.

Abbildung 39 zeigt die Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit an den beiden Standorten Lisdorfer Berg West und Ost. Wie bereits bei der vorherigen Temperaturabbildung fanden die Messungen am westlichen Standort zur vollen Stunde, am östlichen Standort eine halbe Stunde später statt. Dennoch zeigen sich in den Windprofilen zwischen beiden Standorten kaum Unterschiede. Sowohl am West- als auch am Oststandort nahm die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu, was mit der verminderten Rauigkeit in größeren Höhen zu erklären ist. Zusätzlich konnte an beiden Standorten eine Windzunahme im Verlaufe der Nacht beobachtet werden, mit erreichten Windgeschwindigkeitsmaxima um 10 m/s auf 300 m Höhe.

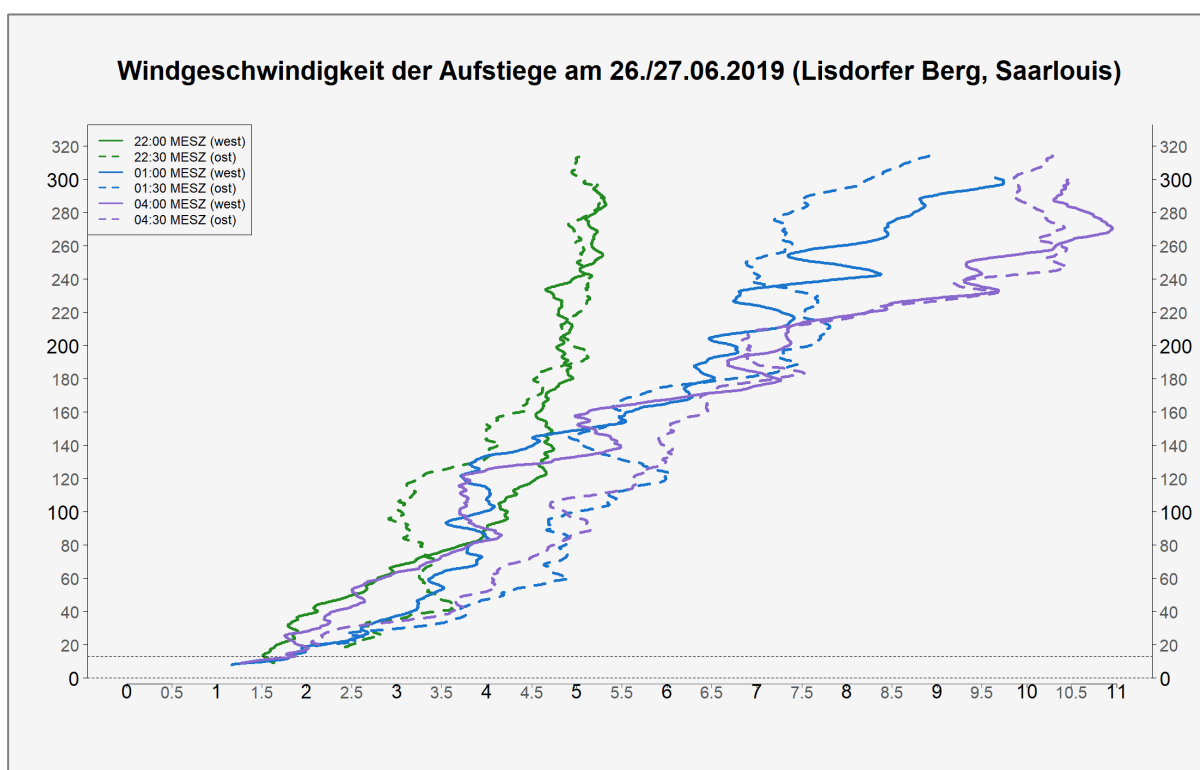


Abbildung 39: Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ

Die Graphen der Windrichtung zeigen dagegen insbesondere bodennah ein paar Unterschiede zwischen dem West- und Oststandort auf (Abbildung 40). Während der Wind westlich der B269N vornehmlich aus östlichen Richtungen strömt, kommt der Wind am östlichen Standort größtenteils aus Richtung Nord. Mit der Höhe

dreht der Wind in der Folge an beiden Standorten auf Richtungen zwischen Nord und Ost und die Unterschiede zwischen den beiden Startpunkten werden geringer. Dass die Windrichtungen am Oberrand der Messung auf 300 m Höhe nicht komplett deckungsgleich sind, was in Anbetracht der dort vorherrschenden überlagernden Strömung der Fall sein müsste, ist durch den zeitlichen Unterschied der Messungen von ca. 30 Minuten zu erklären.

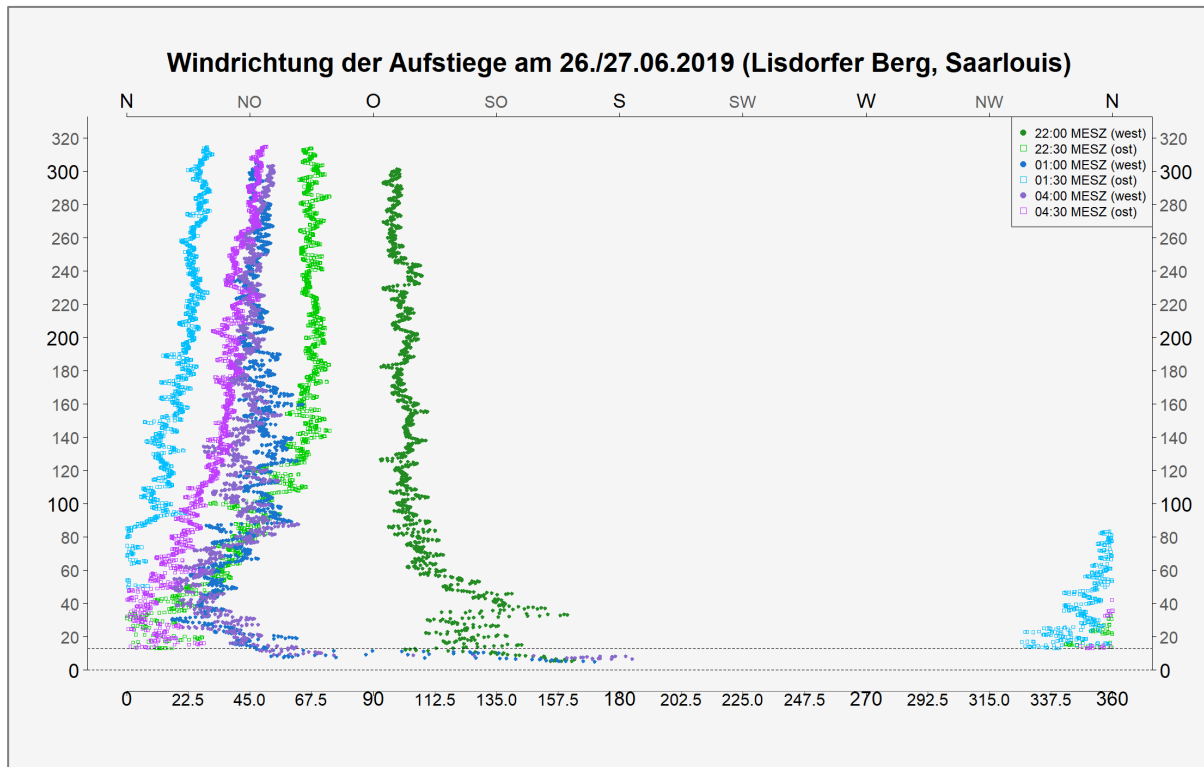


Abbildung 40: Vertikalprofile der Windrichtung am Lisdorfer Berg von 20-06 Uhr MESZ

4.2.3 EVALUIERUNG DER MODELLRECHNUNG

Zur Validierung der Modellrechnung wurde exemplarisch die 4-Uhr-Messfahrt des 26.06.2019 aus Kapitel 4.2.1 (vgl. Abbildung 34) in die Karte der modellierten Lufttemperatur von 4 Uhr (vgl. Kapitel 4.1.1, Abbildung 23) eingebettet. Die daraus resultierende Abbildung 41 bietet einen unmittelbaren Vergleich von Messung und Modellierung für sämtliche Stadtstrukturtypen.

Insgesamt zeigt sich, dass Messung und Modellierung an den meisten Orten sehr gut übereinstimmen. So sind mit beiden Verfahren sowohl in den Gewerbegebieten als auch im Innenstadtbereich die höchsten nächtlichen Temperaturwerte um 20 bis über 21 °C erfasst worden. Auch die kühlen Ackerflächen, die oftmals als Gebiete mit hohem Kaltluftvolumenstrom oder aber, je nach Gefälle, als Kaltluftentstehungsgebiete ausgewiesen werden, treten in Modell und Messung mit geringen Temperaturwerten hervor. So differenziert das Modell gar, wie es auch die Messung zeigt, zwischen stadtnahen Ackerflächen wie denen innerhalb der Saarschleife mit Temperaturen von ca. 16-17 °C und stadtfernen Agrarflächen zwischen Lisdorfer Berg und Neuforweiler mit 14-15 °C.

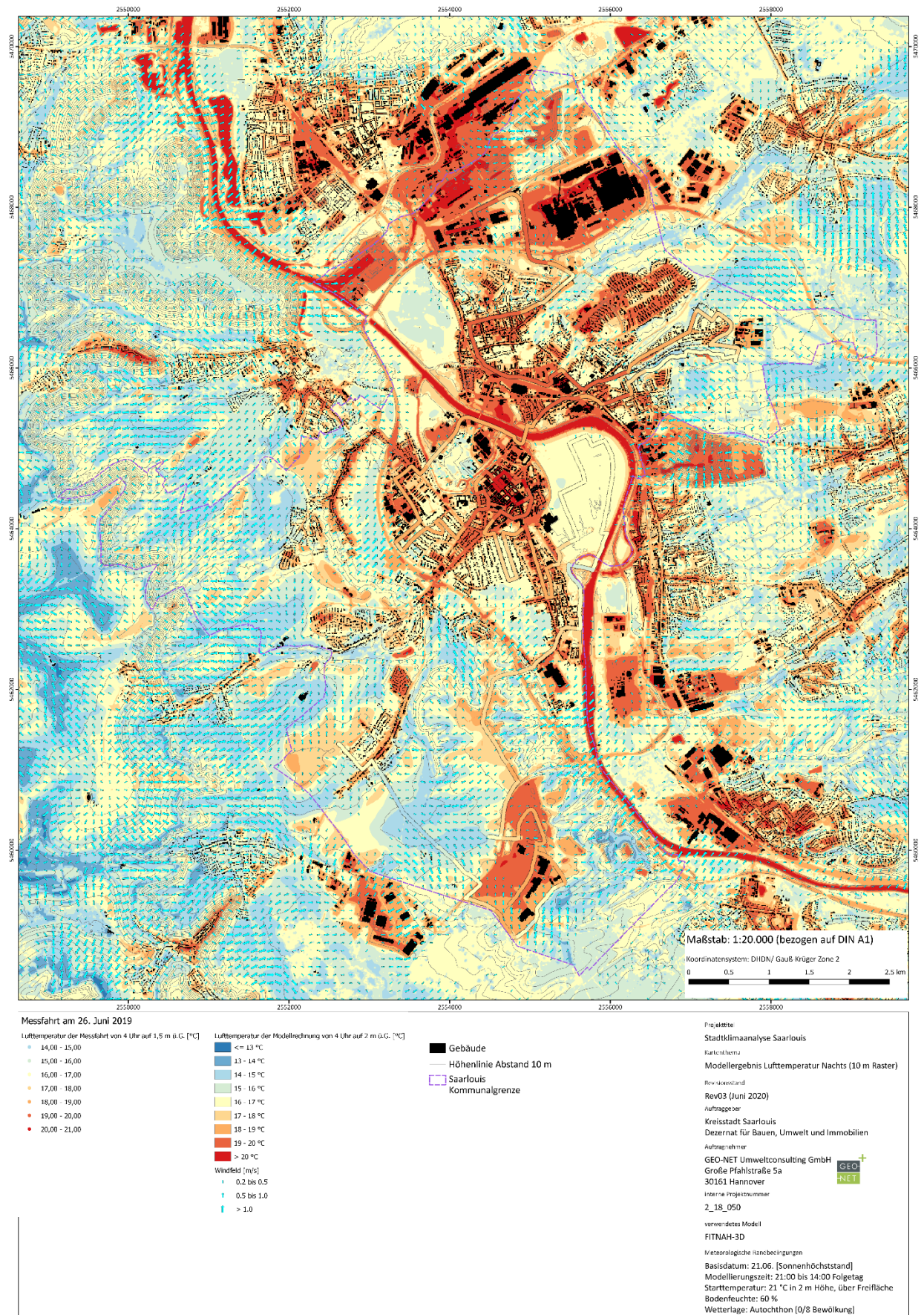


Abbildung 41: Nächtliches bodennahes Temperaturfeld und Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets, gemeinsam mit der auf 4 Uhr normierten Profilmessfahrt der Lufttemperatur vom 26.06.2019

Geringfügig höhere Temperaturwerte (ca. 1 K) im Vergleich zur Messung liefert das Modell im Siedlungsbe-
reich zwischen Alter Saar und A620, dagegen wird das Wohngebiet südöstlich davon (westlich der Metzger
Straße) modellseitig geringfügig um 1-2 K unterschätzt.

Zur Validierung der modellierten Windrichtungen wurde für die Klimamessstationen am Kleinen Markt und
am Lisdorfer Berg (Ost) das Datenkollektiv hinsichtlich autochthoner Strahlungswetterlagen untersucht, wel-
che ebenfalls Grundlage der Modellsimulationen waren.

Den Richtungsverteilungen und Windgeschwindigkeitsmitteln an den Stationen ist zu entnehmen, dass tags-
über die vorherrschenden Gradientwinde am kleinen Markt vormittags aus südlichen bis östlichen und nach-
mittags aus östlichen und westlichen Richtungen das ortsspezifische Ventilationsgeschehen bestimmen (Ab-
bildung 42). Am Lisdorfer Berg kommt der Wind tagsüber vornehmlich aus Richtung Ost, teils auch aus West
Die mittleren Windgeschwindigkeiten betragen am Tag ca. 1,3 m/s (Station Kleiner Markt) und 1,8 m/s (Lis-
dorfer Berg Ost). Mittlere Windgeschwindigkeiten über 3,0 m/s, die eine intensive bodennahe Durchlüftung
bewirken, treten innerstädtisch während der Tagstunden überhaupt nicht auf.

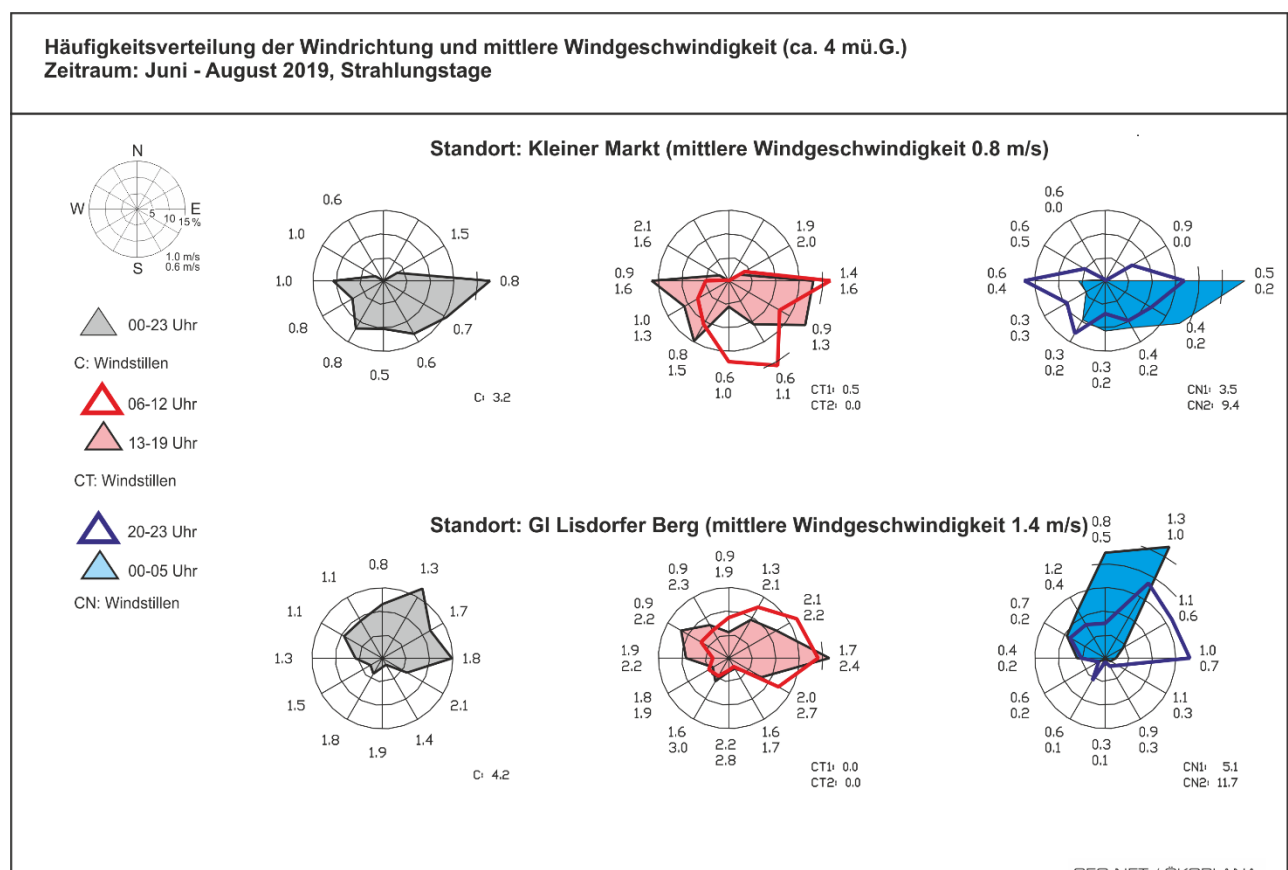


Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit im Zeitraum 05.06. – 05.09.2019, Strahlungstage

Nach Sonnenuntergang nimmt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit an beiden Stationsstandorten auf-
fallend ab. Während sich am Kleinen Markt die Windrichtung erst in der zweiten Nachhälfte deutlich auf Ost
verschieben (ca. 50 % der Winde aus den Sektoren Ost bis Süd-Südost), dominieren am Lisdorfer Berg nahezu



ausschließlich nördliche bis östliche Windrichtungen. Das Windgeschwindigkeitsmittel beläuft sich auf ca. 0,4 m/s (Kleiner Markt) bis ca. 0,6 m/s (Lisdorfer Berg Ost).

Ein Vergleich mit der Modellrechnung (Windfeld von 4 Uhr in Abbildung 28) zeigt am Lisdorfer Berg gute Übereinstimmungen mit den Stationsmessungen. Während der mit berechneten Windgeschwindigkeiten von 0,5 m/s bis 0,7 m/s der berechnete nächtliche Mittelwind von 0,6 m/s exakt getroffen wird, stimmen auch die modellierten Windrichtungen Ost-Nordost in guter Näherung mit den gemessenen nächtlichen Windrichtungen zwischen Ost in Nachthälfte 1 und Nord in Nachthälfte 2 überein.

Da die Windgeschwindigkeit am Kleinen Markt mit unter 0,1 m/s modelliert wurde, sind in der Modellrechnung keine validen Aussagen über die Richtung des Windes zu treffen. Mit 9,4 % Calmen (windstillen Phasen) und einem Mittelwert der Windgeschwindigkeit von 0,2 m/s in der zweiten Nachthälfte zeigt sich jedoch, dass auch die Messung die sehr geringen auftretenden Windgeschwindigkeiten bestätigt.

5. Produkte

5.1 KLIMAANALYSEKARTE

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

Die Klimaanalysekarte fasst die wesentlichen Aussagen der meteorologischen Parameter für die Nachtsituation (vgl. Kap. 4.1.1 und 4.1.2) in einer Karte zusammen und präzisiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten. Für die Situation um 14 Uhr ist die PET der einzige ausschlaggebende Parameter (vgl. Kap. 4.1.3), sodass auf die Erstellung einer Klimaanalysekarte für die Tagsituation verzichtet wurde. Die Karte der PET (Abbildung 30 bzw. Abbildung 31 für die Zukunft) kann jedoch auch als „Klimaanalysekarte für die Tagsituation“ verstanden werden.

In der Klimaanalysekarte (Abbildung 43) sind für die Grün- und Freiflächen die Modellergebnisse des Kaltluftvolumenstroms in abgestufter Flächenfarbe dargestellt. Bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen steht dagegen die nächtliche Überwärmung im Vordergrund. Diese wird anhand der Differenz aus der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. eines jeweiligen Rasterpunktes im Siedlungsgebiet und dem Mittelwert der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. von sämtlichen Grün- und Freiflächen beschrieben. Weiterhin ist das bodennahe Strömungsfeld ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,2 m/s mit einer Pfeilsignatur abgebildet. Das Strömungsfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 100 m aggregiert. Kleinräumige Windsysteme (z.B. Kanalisierung von Winden in schmalen Straßenabschnitten) werden aus der Karte nicht ersichtlich; derartig detaillierte Informationen müssen aus den Rasterergebnissen auf 10 m –Basis entnommen werden. Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in der Karte besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, welche in der Stadt Saarlouis eine wichtige Rolle spielen. Dazu zählen die Systeme von Kaltluftleitbahnen und Kaltluftabflüssen. Ebenso sind Kaltluftentstehungsgebiete abgebildet.

Kaltluftleitbahnen sind lineare Strukturen, die Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander verbinden und einen elementaren Bestandteil des Luftaustausches darstellen. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (MAYER ET AL., 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet. Insbesondere entlang von Grünachsen dringt Kaltluft in die Bebauung ein und kann dort die thermische Belastung senken. Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. Beispielsweise können einzelne Grünflächen, die zwar nicht zusammenhängen, aber räumlich nahe liegen und durch nur wenige Hindernisse getrennt sind, als Trittsteine für Kaltluft dienen. In der Stadt Saarlouis gibt es insgesamt fünf verschiedene Kaltluftleitbahnen. Dazu zählen von Süden her die Grünzunge im Bereich Neuforweiler Mühlen- und Weiherbach und von Norden her das Ellbachtal, die Rodener Wiese, die Waldbereiche entlang der Lebacher Straße sowie die Grünareale im Bereich des Fraulauternbachs.

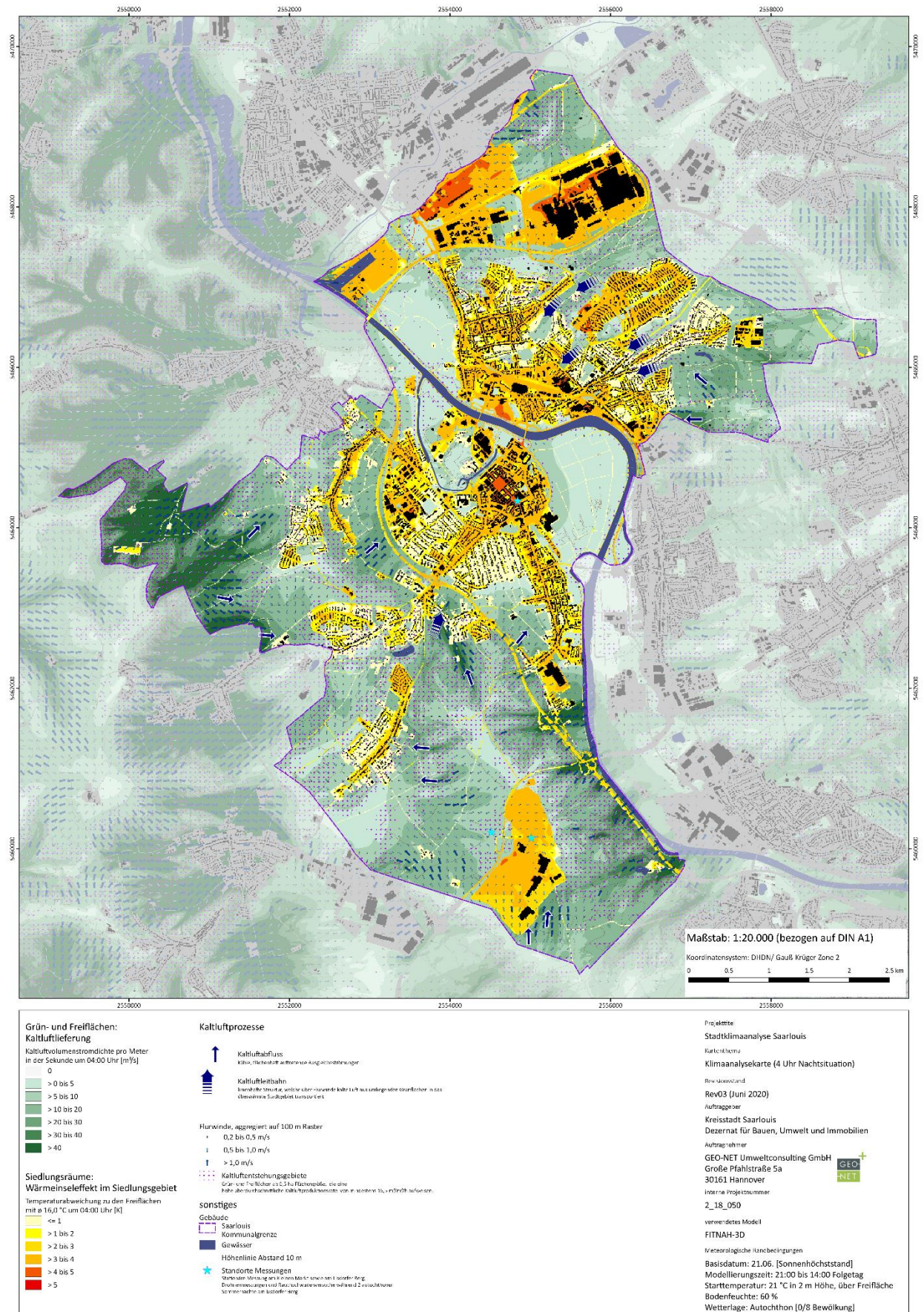


Abbildung 43: Klimaanalysekarte des Saarlouiser Stadtgebiets



Alle Kaltluftleitbahnen sind durch eine überdurchschnittliche Kaltluftvolumenstromdichte von $14,5 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ gekennzeichnet⁹. Daneben verfügen sie über einen hohen Grünanteil, sodass sich die Luft während des Transportes nicht wesentlich erwärmt und ausreichend kalte Luft in die Stadt hineingetragen werden kann.

Neben den Kaltluftleitbahnen als linienhafte Strukturen gibt es auch **Kaltluftabflüsse**, welche flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftreten. Für das Stadtgebiet Saarlouis' spielen diese aufgrund der Reliefunterschiede beispielsweise im Westen, aber auch im Süden und Nordosten der Stadt eine wichtige Rolle. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch diese „Beschleunigung“ weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Flurwinde, die sich aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Flächenhafte Kaltluftabflüsse sind durch eine überdurchschnittliche Kaltluftvolumenstromdichte gekennzeichnet und treten in weiten Teilen der Höhenzüge des im Westen gelegenen Landschaftsschutzgebietes, zwischen Beaumarais und der Innenstadt, im Bereich des Lisdorfer Berges in Richtung Lisdorf und Neuforweiler sowie im Nordosten in Richtung Fraulautern auf.

Kaltluftentstehungsgebiete kennzeichnen Grünflächen mit einer besonders hohen Kaltluftproduktionsrate und speisen die verschiedenen Kaltluftströmungen bzw. reichen teilweise sogar über diese hinaus. Grünflächen wurden als Kaltluftentstehungsgebiete gekennzeichnet, wenn sie mindestens $16,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ Kaltluft produzieren. Die Grenze entspricht der Summe aus dem Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate der Saarlouiser Grünflächen (bezogen auf die Situation um 4 Uhr nachts).

ZUKÜNFTIGE SITUATION

Analog zur Ist-Situation wurde für die Siedlungsflächen der zukünftige Wärmeinseleffekt von 2040 aus der Differenz der Lufttemperatur eines jeden Siedlungsrasterpunktes und des Mittelwertes der Lufttemperatur der Grünflächen berechnet. Mit dem Klimawandel erwärmen sich die Saarlouiser Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen überproportional gegenüber den Grün- und Freiflächen (vgl. Kap. 4.1.1), was sich in einem höheren maximalen Wärmeinseleffekt von bis zu $5,9 \text{ °C}$ niederschlägt (Abbildung 44). Die mittlere nächtliche Lufttemperatur auf den Siedlungs- und Gewerbeflächen nimmt um $0,3 \text{ °C}$ (von $18,6$ auf $18,9 \text{ °C}$) und auf den Verkehrsflächen um $0,5 \text{ °C}$ (von $18,4 \text{ °C}$ auf $18,9 \text{ °C}$) gegenüber der heutigen Situation zu. Das Kaltluftprozessgeschehen bleibt auch mit dem Klimawandel und der Realisierung der Entwicklungsflächen weitestgehend erhalten.

Wie schon für den Ist-Zustand wird auch für die zukünftige Situation für die Klimaanalysekarte am Tage auf die Ergebniskarte der PET für 2040 verwiesen (Abbildung 31).

⁹ Der Schwellwert von $14,5 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ entspricht der modellierten, durchschnittlichen Kaltluftvolumenstromdichte für Saarlouiser Grünflächen.

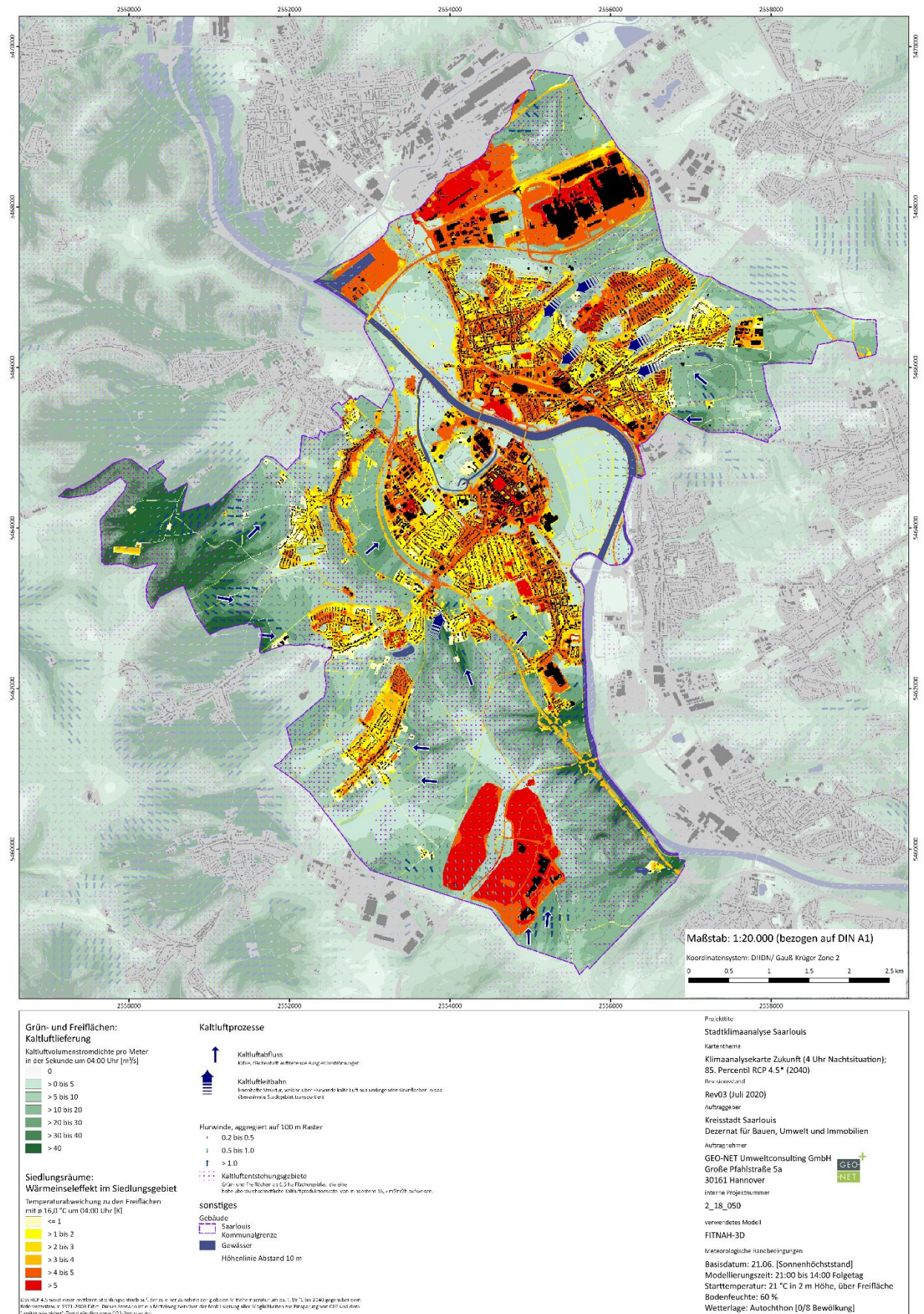


Abbildung 44: Klimaanalysekarte der Zukunft (2040) für das Saarlouiser Stadtgebiet

5.2 PLANUNGSHINWEISKARTEN

Im Unterschied zur Klimaanalysekarte wurde zusätzlich zur Planungshinweiskarte (PHK) der Nachtsituation eine Weitere für die Tagsituation erstellt. Die Bewertung der bioklimatischen Belastung im Siedlungsraum (Wirkungsraum) sowie der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsraum erfolgte in Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3785, Blatt 1 bzw. 3787, Blatt 1 (VDI 2008A, VDI 2014). Ausgehend von ihren Bewertungen wurden den Flächen allgemeine Planungshinweise zugeschrieben. Die Bewertungen beruhen auf den klimaökologischen Funktionen ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen, d.h. die Planungshinweiskarte stellt das aus klimafachlicher Sicht gewonnene Abwägungsmaterial dar.

5.2.1 STANDARDISIERUNG DER PARAMETER (Z-TRANSFORMATION)

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

Für die Bewertung meteorologischer Größen bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes. Nicht immer ist ersichtlich, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie bspw. Hoch und Niedrig oder Günstig und Ungünstig erfolgt. In der VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1 wird daher vorgeschlagen, einer Beurteilung das lokale bzw. regionale Wertenniveau der Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen (VDI 2008A).

Erstrebenswert wäre es zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die Parameter über eine z-Transformation standardisiert. Rechnerisch bedeutet diese, dass von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel subtrahiert und durch die Standardabweichung aller Werte dividiert wird. Hieraus ergeben sich Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert (= 0) und positive sowie negative Standardabweichungen (S_i) von diesem Mittelwert festgelegt sind (standardmäßig vier Bewertungskategorien durch Mittelwert, obere und untere S_1 -Schranke; Abbildung 45).

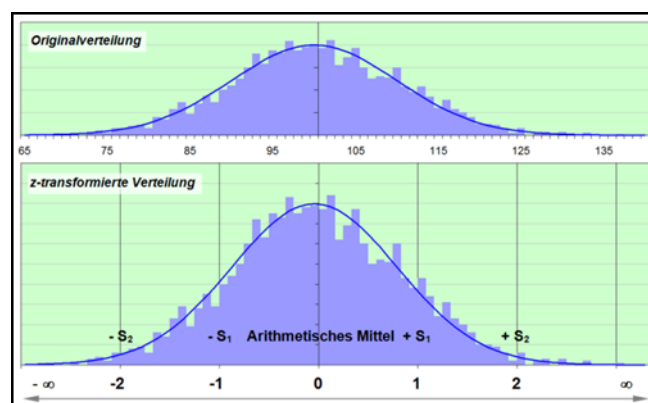


Abbildung 45: z-Transformation zur Standardisierung der vergleichenden Bewertung von Parametern

5.2.2 PLANUNGSHINWEISKARTE NACHTSITUATION

5.2.2.1 METHODE DER PLANUNGSHINWEISKARTE FÜR DIE NACHT

METHODE DER BEWERTUNG VON WOHN-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM) IN DER NACHT

Der Siedlungsraum stellt den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der bioklimatischen Belastungssituation in der Nacht geschildert.

Nachts ist weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI 2008b, 25). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), entsprechend definiert das Climate Service Center Germany seinen „Schlecht-Schlaf-Index“ als Nächte, in denen die Temperatur 18 °C nicht unterschreitet (GERICS 2019). Als besonders belastend gelten Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C - eine mit der PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum jedoch (noch) nicht.

Für die PHK Nacht erfolgte die räumliche Bewertung anhand der nächtlichen Überwärmung. Abweichend zur Klimaanalysekarte liegt der Bewertung eine z-Transformation zugrunde, um die relativen Unterschiede im Stadtgebiet zu erfassen. Mittelwert und Standardabweichung wurden jeweils separat für die Siedlungsflächen (Wohnen & Gewerbe) und die Verkehrsflächen ermittelt. Die human-bioklimatische Belastung der Siedlungs- und Verkehrsflächen wurde in fünf Klassen (statt der standardmäßigen vier) von sehr günstig bis ungünstig eingeteilt (Tabelle 8), um die Belastungsräume möglichst genau differenzieren zu können. Ähnlich wie Gewerbegebiete steht der Straßenraum in der nächtlichen Betrachtung weniger im Vordergrund, doch geben aufgeheizte Plätze und Straßen nachts ihre Wärme an die Umgebung ab und beeinflussen damit ebenfalls die Situation in der umliegenden Bebauung.

Tabelle 8: Einordnung der nächtlichen thermischen Belastung im Siedlungs- und Verkehrsraum mittels z-Transformation

Mittlerer z-Wert	Lufttemperatur 4 Uhr [°C] Siedlungsflächen *	Lufttemperatur 4 Uhr [°C] Verkehrsflächen **	Qualitative Einordnung
bis -1	14,5 bis 17,0	14,3 bis 17,0	1 = Sehr günstig
> -1 bis -0,5	> 17,0 bis 17,7	> 17,0 bis 17,7	2 = Günstig
> -0,5 bis 0,5	> 17,7 bis 19,1	> 17,7 bis 19,1	3 = Mittel
> 0,5 bis 1,25	> 19,1 bis 20,1	> 19,1 bis 20,1	4 = Weniger günstig
> 1,25	> 20,1 bis 21,2	> 20,1 bis 21,3	5 = Ungünstig

* Mittelwert: 18,60 °C, Standardabweichung: 1,61 °C

** Mittelwert: 18,37 °C, Standardabweichung: 1,38 °C



METHODE DER BEWERTUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSPAUM) IN DER NACHT

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

Die Grünflächen wurden für die Tag- und Nacht-Situation in einem teilautomatisierten Verfahren getrennt bewertet und in vier Stufen von geringe bis sehr hohe human-bioklimatische Bedeutung eingeteilt.

Für die Bewertung von Grünflächen in der Nacht rückt der Kaltlufthaushalt in den Fokus. So erhielten alle Kaltluftleitbahnen und Grünflächen mit flächenhaftem Kaltluftzufluss automatisch eine sehr hohe Bedeutung und daran angrenzende Grün- und Freiflächen eine hohe human-bioklimatische Bedeutung. Weitere Bewertungskriterien stellen der Siedlungsbezug, die Kaltluftvolumenstromdichte, die Kaltluftproduktionsrate, die Größe und Art der Grünfläche sowie die Entfernung zu belasteten Siedlungsflächen dar. Des Weiteren werden Grünflächen mit Siedlungsbezug¹⁰ oder gar in der Nähe von belasteten Siedlungsflächen als bedeutender eingestuft als entlegene Grünflächen, von denen die Bevölkerung aus klimatischer Sicht nicht profitieren kann. Ebenso sind Grün- und Freiflächen mit überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenströmen ($> 14,45 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$) und große Grünflächen ($\geq 1 \text{ ha}$) als bedeutender zu bewerten als kleine Grünflächen mit teilweise geringen Kaltluftvolumenströmen. Der detaillierte Bewertungsschlüssel für die Zuordnung der Bedeutung der Grünflächen in der Nacht ist in der Abbildung 46 dargestellt.

¹⁰ Die Grünfläche ist max. 500 m von der Siedlung entfernt.

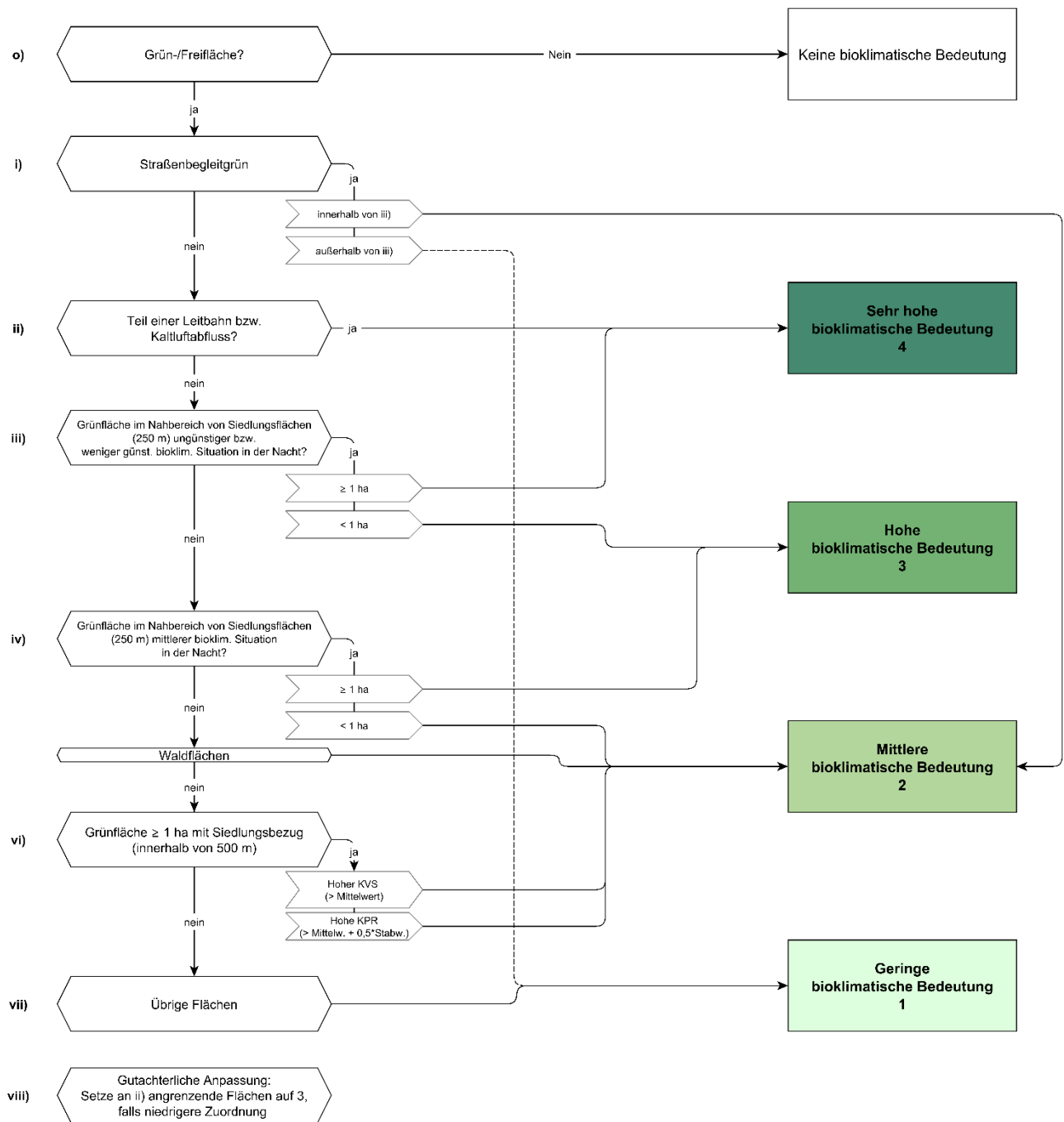


Abbildung 46: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen in der Nacht

5.2.2.2 BEWERTUNG VON WOHN-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM) IN DER NACHT – ERGEBNISSE

In der Planungshinweiskarte Nacht werden Wirkungsräume hinsichtlich ihrer thermischen Situation bewertet. Die Planungshinweise beschreiben die Notwendigkeit von (Klimaanpassungs-) Maßnahmen und liefern Informationen über die Machbarkeit und Gestaltung von Nachverdichtungsvorhaben (Tabelle 9, Abbildung 47).

Etwas mehr als ein Zehntel (10,9 %) der Wohn- und Gewerbeflächen Saarlouis' sowie 14,4 % der Verkehrsflächen und Plätze sind durch eine sehr günstige thermische Situation gekennzeichnet. Unter den Wohnbauflächen gehören vorrangig Einzel- und Reihenhaussiedlungen am Stadtrand (z.B. in Neuforweiler, Picard oder



Beaumrais) dieser Kategorie an. Als weitere, sehr prominente Beispiele dieser Klasse treten zusätzlich diejenigen stark durchgrünt und weitgehend versiegelungsarmen Siedlungen nahe der Kaltluftleitbahnen in Erscheinung, wie etwa Holzmühle oder Fraulautern. Eine lockere Bebauung begünstigt zum einen die nächtliche Durchlüftung; zum anderen sorgt der hohe Baumbestand durch Verschattungseffekte am Tage dafür, dass allgemein weniger solare Strahlung aufgenommen und anschließend in Wärme umgewandelt werden kann.

Tabelle 9: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungs- und Verkehrsflächen und abgeleitete Planungshinweise der PHK Nacht

Bewertung der Wirkungsräume	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Wohnen/ Gewerbe	Verkehrs- flächen	
1 = Sehr günstig	10,9	14,4	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und geringer Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, der Vegetationsanteil sollte jedoch möglichst erhalten bleiben, um das sehr günstige Bioklima zu sichern.
2 = Günstig	15,7	11,0	Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig. Freiflächen und der Vegetationsanteil sollten möglichst erhalten bleiben, um das günstige Bioklima zu sichern.
3 = Mittel	32,1	38,2	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
4 = Weniger günstig	31,1	34,0	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (z.B. Begrünung von Blockinnenhöfen).
5 = Ungünstig	10,2	2,4	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sind zu erhalten und der Vegetationsanteil sollte erhöht sowie möglichst Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt werden (z.B. Pocket-Parks, Begrünung von Blockinnenhöfen).

Weitere Teile der Wohngebiete in Fraulautern sowie Großteile jener von Picard und der südlichen äußeren Innenstadt zählen zu den Wirkungsräumen mit einer günstigen thermischen Situation. 15,7 % der Wohn- und Gewerbeflächen in Saarlouis fallen in diese Kategorie. Hierbei handelt es sich vor allem um locker bebaute Gebiete, welche die Kaltluftströmung gut durchlassen und noch über einen hohen Grünanteil verfügen. Bei den Verkehrsflächen sind 11,0 % der Flächen der günstigen thermischen Situation zuzuordnen.

32,1 % der Wohn- und Gewerbeflächen sowie die Mehrzahl der Verkehrsflächen (38,2 %) weisen mittlere thermische Bedingungen auf. Bei ersteren handelt es sich vor allem um Wohngebiete mit einem mittleren Versiegelungsgrad oder Gebiete im Übergangsbereich von Zentrum und Stadtrand. Teilweise wurden darüber hinaus einige der Außenbereiche großer Industrie- und Gewerbegebiete wie etwa dem Lisdorfer Berg oder den Fordwerken dieser Klasse zugeordnet.

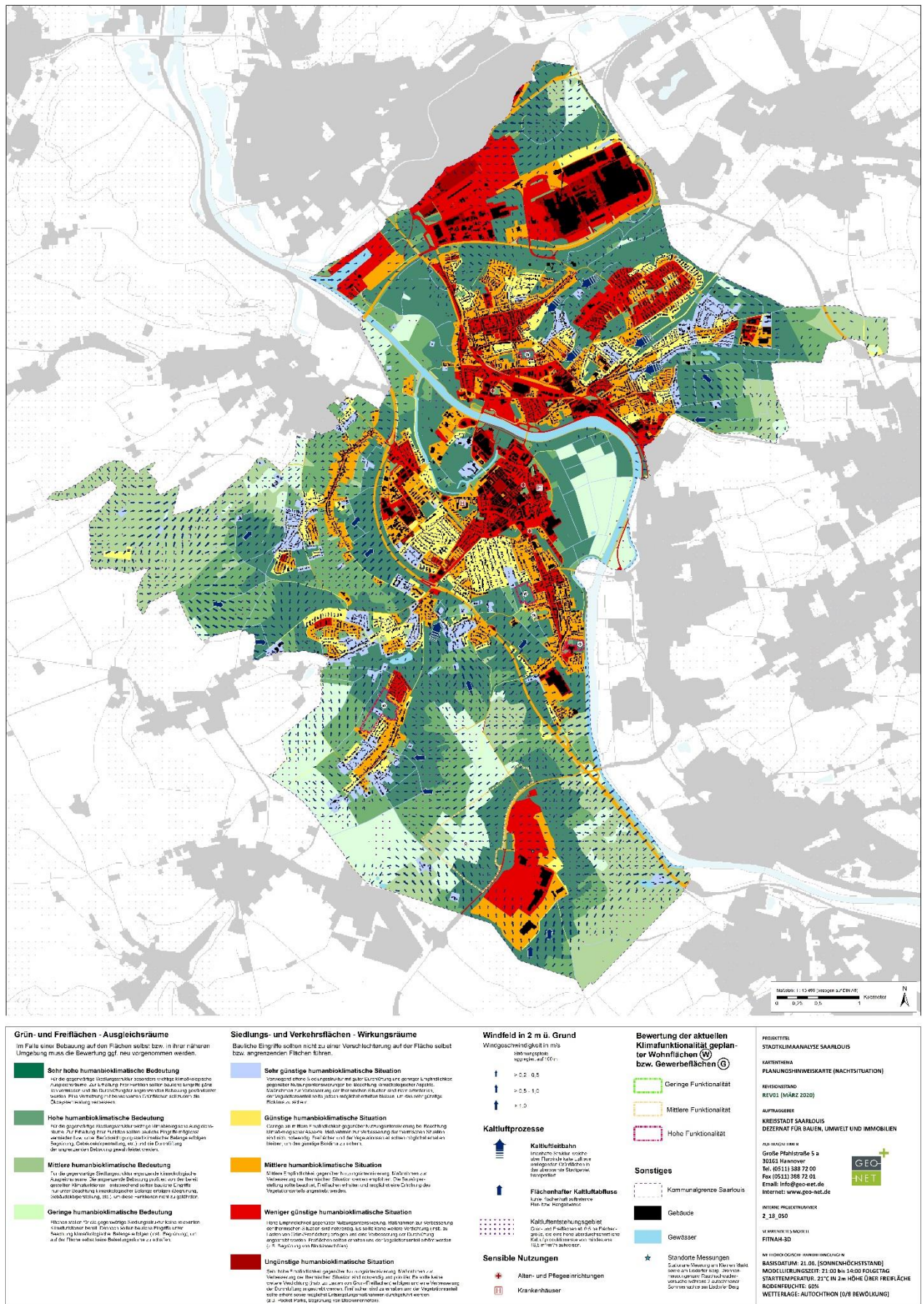


Abbildung 47: Planungshinweiskarte der Nacht für das Saarlouiser Stadtgebiet



Etwa ein knappes Drittel (31,1 %) der Wohn- und Gewerbeflächen Saarlouis' und 34,0 % der Verkehrsflächen gehören der Klasse der weniger günstigen thermischen Situation an. Darunter fallen zentrumsnahe Siedlungsräume und einige Gewerbeflächen im Außenbereich wie etwa der Lisdorfer Berg im Süden des Untersuchungsgebietes und der Röderberg sowie Teile der Zentralkokerei Saarlouis und der Fordwerke im Norden der Stadt. Außerdem ist ein Großteil der Flächen Rodens mit einer weniger günstigen Situation behaftet, was an einem eher hohen Anteil versiegelter Flächen festzumachen ist. Zusätzlich sorgt die zentrale Lage des Stadtteils dafür, dass in der unmittelbaren Umgebung nur wenige Grün- und Freiflächen zur Verfügung stehen, die Kaltluft produzieren und zur Verfügung stellen könnten. So reichen die Ackerflächen westlich von Roden oder südlich der Saar innerhalb der Saarschleife nicht aus, um die Siedlungsflächen des Stadtteils zu entlasten. Das nördliche Roden ist hingegen deutlich besser an die Kaltluftzufuhr der Leitbahnen aus dem Ellbachtal angeschlossen, was sich in Einstufungen der dortigen Siedlungsflächen in die Kategorien 1 bis 3 bemerkbar macht.

Nur ca. ein Zehntel (10,2 %) der Wohn- und Gewerbeflächen und ein sehr geringer Anteil von 2,4 % der Verkehrsflächen sind durch eine ungünstige thermische Situation charakterisiert. Gründe für diese ungünstigen Bedingungen sind insbesondere ein hoher Versiegelungsgrad, große Baukörper und zum Teil auch eine geringe Kaltluftzufuhr. Die Planungshinweiskarte der Nacht zeigt, dass nicht allein die Innenstadtbereiche rund um den Großen und den Kleinen Markt von einer ungünstigen thermischen Situation betroffen sind. Neben den bewohnten gilt dies auch für den unbewohnten Bereich, wobei Gewerbeflächen im Vergleich zu Wohngebieten tendenziell ungünstigere Bedingungen aufweisen. Viele der Gewerbeflächen in Saarlouis (z.B. insbesondere die Fordwerke im Norden, aber auch kleinere Gewerbestandorte in der Industriestraße) weisen ungünstige thermische Bedingungen auf.

Zusätzlich sind der Planungshinweiskarte Standorte von Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen dargestellt, da sich dort zum Großteil die sensiblen Bevölkerungsgruppen aufhalten. Kranke Menschen, SeniorInnen, Kleinkinder und Schüler gelten als besonders empfindlich gegenüber der Hitzebelastung und dem nächtlichen Schlafkomfort, weshalb Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation in diesen Bereichen von großer Bedeutung sind. Da Einrichtungen der Tagespflege, (Grund-)Schulen, Kitas und Krippen nur tagsüber besucht sind, wurden diese Einrichtungen für die nächtliche Planungshinweiskarte ausgespart.

5.2.2.3 BEWERTUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSPAUM) IN DER NACHT – ERGEBNISSE

Grünflächen werden in der nächtlichen Planungshinweiskarte hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung, ihrer Möglichkeit der Optimierung und ihrer Bebaubarkeit bewertet (Tabelle 10, Abbildung 47).

Da mit insgesamt 41,3 % der Anteil weniger günstiger und ungünstiger Siedlungs- und Gewerbeflächen bereits sehr hoch ist, wurde ausgleichend folglich ein ähnlich großer Anteil an Grünflächen mit sehr hoher Bedeutung (46,0 %) ausgewiesen. Bei den Flächen dieser Kategorie handelt es sich vorrangig um Bereiche, die für die nächtliche Kaltluftzufuhr in den Siedlungsbereich eine besondere Rolle spielen (Kaltluftleitbahn, flächenhafter Kaltluftabfluss). Zu diesen zählen das Ellbachtal, der Saarlouiser Stadtwald, die Rodener Wiese, die Grünfläche entlang der Lebacher Straße, die Waldfläche in Beaumarais, die westlich gelegenen Agrarflächen des Landschaftsschutzgebietes, die Ackerflächen östlich von Neuforweiler und südlich des Lisdorfer Berges sowie die Flächen des Neuforweiler Mühlen- und Weiherbachs. Auch größere siedlungsnahe Grünflächen, welche zwar keine nennenswerten Kaltluftströmungen aufzeigen, stattdessen jedoch an eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktion angeschlossen sind, werden in diese höchste Gütestufe eingeordnet.

Beispielhaft sind im Zuge dessen die Kaltluftentstehungsgebiete rund um den Volkspark, den Friedhof und den Kleingärtnerverein in Roden und jene rund um das Bestandgewerbegebiet Lisdorfer Berg zu nennen. Einige innerstädtische Grünflächen treten ebenfalls als Flächen höchster Güteklasse und Kaltluftoase heraus: Hierzu zählen der Saarlouiser Stadtgarten, der Park Im Glacis, die Grünfläche des Krankenhauses Saarlouis, der Alte Friedhof in der äußeren Innenstadt bzw. in Fraulautern oder aber der Verbund der Grünflächen des Finanzamtes sowie des Sportplatzes Choisy.

Ungefähr ein Fünftel der Grünflächen erfüllt mit einem Flächenanteil von 20,7 % noch immer eine hohe human-bioklimatische Bedeutung in der Nacht. Dazu zählen beispielsweise die Saar-nahen innerstädtischen Verkehrshöfen, Sportplatz und Station „Großer Sand“ in Fraulautern, aber auch unversiegelte, durchgrünte Innen- und Hinterhöfe im Stadtgebiet. Ebenso haben die an die Kaltluftleitbahnen bzw. -abflüssen angrenzenden Grünflächen eine hohe human-bioklimatische Bedeutung.

Zu den Ausgleichsräumen mittlerer bioklimatischer Bedeutung (19,5 % der Grünflächen) gehören u.a. ein Großteil entlegener und (teils) bewaldeter Flächen, z.B. die Fläche östlich der Rosenthalstr. und südlich der Tennisanlage des TC Beaumarais-Lisdorf oder aber die äußersten westlichen Ausläufer des Saarlouiser Landschaftsschutzgebietes. Zwar fungieren diese Areale insbesondere in Hanglage auch als Kaltluftentstehungsgebiete, durch die Dämpfung der nächtlichen Auskühlung durch das Kronendach, die Hinderniswirkung gegenüber Kaltluftströmungen und wegen der Entfernung der Flächen zum Siedlungsraum liegt hier jedoch lediglich eine mittlere Einstufung vor.

Tabelle 10: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale und abgeleitete Planungshinweise der PHK Nacht

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
4 = Sehr hohe	46,0	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume. Zur Erhaltung ihrer Funktion sollten bauliche Eingriffe gänzlich vermieden und die Durchlüftung der angrenzenden Bebauung gewährleistet werden. Eine Vernetzung mit benachbarten Grünflächen soll zudem die Ökosystemleistung verbessern.
3 = Hohe	20,7	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume. Zur Erhaltung ihrer Funktion sollten bauliche Eingriffe möglichst vermieden bzw. unter Berücksichtigung stadtklimatischer Belange erfolgen (Begrünung, Gebäudekörperstellung, etc.) und die Durchlüftung der angrenzenden Bebauung gewährleistet werden.
2 = Mittlere	19,5	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen - entsprechend sollten bauliche Eingriffe nur unter Beachtung klimaökologischer Belange erfolgen (Begrünung, Gebäudekörperstellung, etc.), um diese Funktionen nicht zu gefährden.
1 = Geringe	13,8	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit. Dennoch sollten bauliche Eingriffe unter Beachtung klimaökologischer Belange erfolgen (insb. Begrünung), um auf der Fläche selbst keine Belastungsräume zu schaffen.

Baumloses Straßengleitgrün fernab des Siedlungsraumes und entlegene Ackerflächen mit einer maximal leicht erhöhten Kaltluftproduktivität (unterhalb der mittleren Kaltluftproduktionsrate von 19,39 m³/m²h) oder einem siedlungsabgewandten Strömungsfeld wie etwa die Flächen nördlich der Fordwerke oder westlich des Lisdorfer Berges bzw. südlich von Neuforweiler haben nur eine geringe bioklimatische Bedeutung (13,8 % der Grünflächen). In der Nacht stellen Ausgleichsräume dieser Kategorie keine relevanten Klimafunktionen bereit – eine Bebauung sollte dennoch nur unter Prüfung klimatischer Gesichtspunkte durchgeführt werden,

um diese Flächen nicht zu Belastungsräumen umzuwandeln. Im Zuge der Erschließung neuer Siedlungen könnten diese Flächen jedoch an Bedeutung gewinnen.

Im Rahmen der Planungshinweiskarten fand für 13 geplante Wohn- und Gewerbeflächen in Saarlouis eine Bewertung der jeweiligen Planareale anhand der Klimafunktionalität der Grünflächen statt, die von diesen neuen Bauflächen heutzutage überschritten werden. Da sämtliche Bauvorhaben nahe am bestehenden Siedlungsgebiet vollzogen werden sollen, wo die Grünflächenbewertung tendenziell bedeutender ausfällt als im siedlungsfernen Gebiet, ist der über die Hälfte der Bauvorhaben (sieben Flächen) im Bereich von Flächen von hoher Funktionalität angesiedelt. Alle restlichen Planflächen wurden der Klasse „Mittlere Klimafunktionalität“ zugeordnet – somit ist die Klimafunktionalität auf keiner der B-Planflächen als gering einzustufen. Für das brisante B-Plangebiet des Industrie- und Gewerbeneubaus „Lisdorfer Berg“ auf der Westseite der B269N, welches der mittleren Klasse zugeordnet wurde, formulierte GEO-NET im Vorfeld dieser Klimaanalyse bereits eine verbalargumentative Stellungnahme zur Beurteilung der klimaökologischen Funktionen (GEO-NET, 2020).

5.2.3 PLANUNGSHINWEISKARTE TAGSITUATION

5.2.3.1 METHODE DER PLANUNGSHINWEISKARTE FÜR DEN TAG

METHODE DER BEWERTUNG VON WOHN-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM) AM TAGE

Zur Bewertung der Tagsituation wurde der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (vgl. Kap. 4.1.3). Die Bewertung der thermischen Belastung in Siedlungs- und Verkehrsflächen im Stadtgebiet von Saarlouis wurde analog zur Nachtsituation (Kap. 5.2.2.1) in vier Klassen von sehr günstig bis ungünstig eingeteilt (Tab. 5).

Mittlerer z-Wert	PET 14 Uhr [°C] Siedlungsflächen *	PET 14 Uhr [°C] Verkehrsflächen **	Qualitative Einordnung
bis -0,75	bis 34,3	bis 34,3	1 = Sehr günstig
> -0,75 bis -0,25	> 34,3 bis 35,8	> 34,3 bis 35,9	2 = Günstig
> -0,25 bis 0,25	> 35,8 bis 37,3	> 35,9 bis 37,5	3 = Mittel
> 0,25 bis 0,75	> 37,3 bis 38,7	> 37,5 bis 39,0	4= Weniger günstig
> 0,75	> 38,7	> 39,0	5= Ungünstig

* Mittelwert: 36,52 °C, Standardabweichung: 2,96 °C

** Mittelwert: 36,68 °C, Standardabweichung: 3,13 °C

Die bioklimatische Bewertung am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität außerhalb von Gebäuden. Dieses übt einen gewissen Einfluss auf die Situation innerhalb der Gebäude aus, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren Faktoren ab und kann hier nicht bestimmt werden.

METHODE DER BEWERTUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSPAUM) AM TAGE

Für den Tag basiert die Bewertung der Grünflächen hauptsächlich auf der Entfernung zu belasteten Siedlungs- und Gewerberäumen sowie der modellierten Wärmebelastung (PET um 14 Uhr). Im Unterschied zur Nachtsituation ist eine möglichst hohe Aufenthaltsqualität auch im Umfeld von Gewerbeflächen relevant, um den Beschäftigten Rückzugsorte zu bieten. Der Einstufung liegt der hierarchische Bewertungsschlüssel aus Abbildung 48 zugrunde.

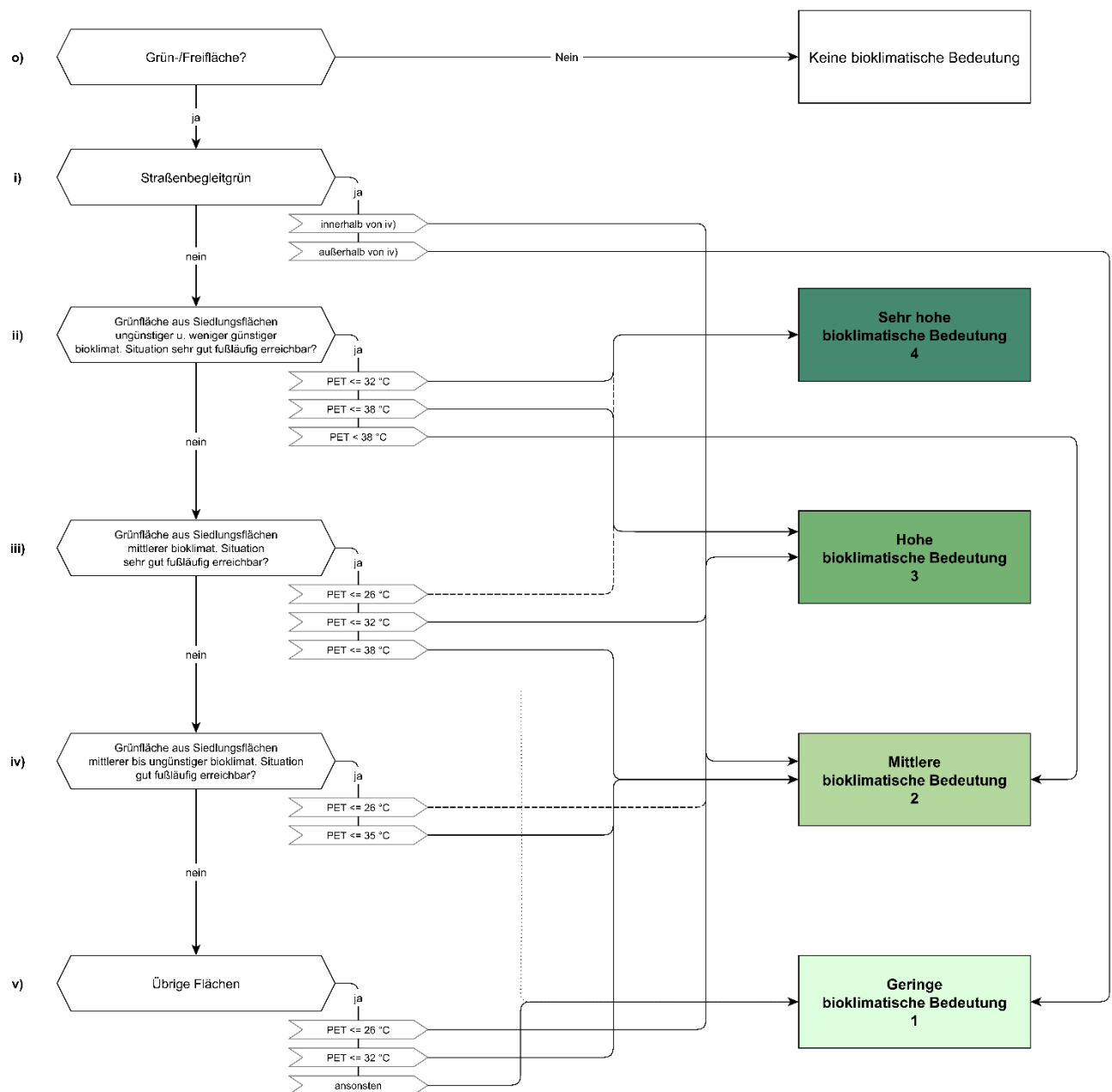


Abbildung 48: Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen am Tage

Den Klassen der humanbioklimatischen Bedeutung für den Tag liegt analog zur Nacht eine 4-stufige Einteilung (sehr hoch – hoch – mittel – gering) zugrunde. Grundlage dafür bildet die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufe anhand der PET quantifiziert. Je nied-

riger der mittlere PET-Wert einer Grünfläche, desto höher die Einschätzung ihrer human-bioklimatischen Bedeutung. Da die Berechnung der PET von der Strahlungstemperatur abhängt (s. Kap. 4.1.3), sind bei niedrigen PET-Werten auf der betrachteten Grünfläche geringe Strahlungstemperaturen und daher ein hoher Anteil an verschattender Vegetation anzunehmen. Dieses auf der PET basierende Bewertungsschema wird in Kombination mit der Entfernung zu belasteten Siedlungs- und Gewerbeflächen als hierarchischer angewandeter Parameter zur Beschreibung der Aufenthaltsqualität am Tage genutzt. Zu unterscheiden ist die gute und sehr gute fußläufige Erreichbarkeit: Bei einer Entfernung von 300 m Luftlinie (rund 500 m Fußweg) ist von einer sehr guten fußläufigen Erreichbarkeit (5 Gehminuten) und bei einer Entfernung von 700 m Luftlinie von einer guten fußläufigen Erreichbarkeit (10 Gehminuten) auszugehen (BBSR 2017).

5.2.3.2 BEWERTUNG VON WOHN-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM) AM TAGE – ERGEBNISSE

Wirkungsräume werden auch in der Planungshinweiskarte des Tages hinsichtlich ihrer thermischen Situation bewertet. In den Planungshinweisen befinden sich Informationen zur Notwendigkeit von (Klimaanpassungs-) Maßnahmen und Aufklärungsmaterial über die Machbarkeit und Gestaltung von Nachverdichtungsvorhaben (Tabelle 11, Abbildung 49).

Tabelle 11: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungs- und Verkehrsflächen und abgeleitete Planungshinweise am Tage

Bewertung der Wirkungsräume	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Wohnen/ Gewerbe	Verkehrs- flächen	
1 = Sehr günstig	8,7	16,2	Es liegen bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
2 = Günstig	20,7	12,8	Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
3 = Mittel	39,4	23,1	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
4 = Weniger günstig	23,4	28,3	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
5 = Ungünstig	7,8	19,6	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.

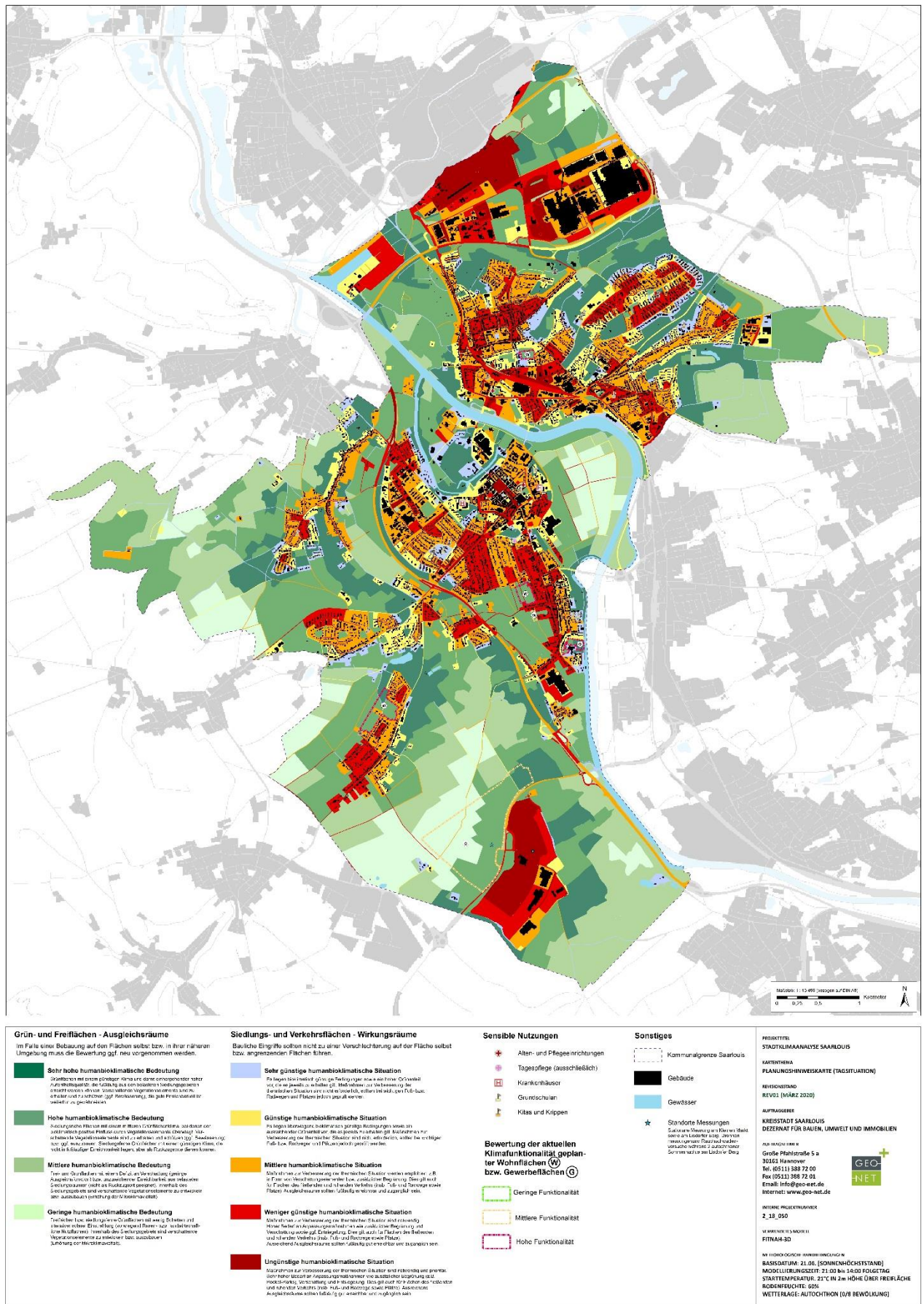


Abbildung 49: Planungshinweiskarte des Tages für das Saarlouiser Stadtgebiet



In Saarlouis sind 8,7 % der Wohn- und Gewerbeflächen sowie 16,2 % der Verkehrsflächen und Plätze durch eine sehr günstige thermische Situation gekennzeichnet. Vor allem die durchgrüneten, zumeist wald- oder Saar-nahen Siedlungsteile mit Einzel- und Reihenhausbauweise in Randlage (z.B. Außenbereiche von Steinrausch, Innenstadtbereich nahe dem Saarlouiser Stadtgarten und östliches Lisdorf) gehören dieser Kategorie an. Am Tage sorgt der hohe Grün-(insbesondere Baum-) anteil durch Schattenwirkung für ein thermisches Wohlbefinden. Beispiele für den Verkehrsraum mit günstiger thermischer Situation sind die zu großen Teilen mit Bäumen bestandenen Fuß- und Radwege entlang der Saar oder die Konrad-Adenauer- bzw. Kurt-Schumacher-Allee im Bereich der Rodener Wiese.

20,7 % der Wohn- und Gewerbeflächen der Stadt Saarlouis wurden der Kategorie der günstigen human-bioklimatischen Situation zugeordnet. Diese vergleichsweise noch immer locker bebauten und wenig versiegelten Gebiete verfügen über einen hohen Grünanteil. Beispielflächen finden sich in Picard, nördlich des Tafingstals, in der Innenstadt im Bereich der Vaubanstraße, aber auch an den Rändern der anderen Stadtteile, insbesondere von Fraulautern und Beaumarais. Prägnant treten auch einige grüne Innenhöfe hervor, wobei teils nicht nur eine günstige, sondern teilweise gar eine sehr günstige human-bioklimatische Situation bescheinigt werden konnte. Die Höfe profitieren sowohl von der Beschattung durch Baumpflanzungen als auch durch jene der Gebäudefassade selbst. Bei den Verkehrsflächen weisen 12,8 % der Flächen eine günstige thermische Situation auf. Die durch Waldareale verlaufende Lebacher Straße zwischen Steinrausch und Fraulautern oder die an den Seiten begrünte Bahntrasse nordöstlich der Saarschleife sind Beispiele hierfür.

39,4 % der Wohn- und Gewerbeflächen, aber auch etwa ein knappes Viertel der Verkehrsflächen (23,1 %) sind mit mittleren thermischen Bedingungen assoziiert. Diese Klasse beschreibt vorrangig Wohngebiete mit einem mittleren Versiegelungsgrad oder Gebiete im Übergangsbereich vom Zentrum zu deren Rändern. Teils sind auch versiegeltere Gebiete mit Saarlage in dieser mittleren Klasse eingestuft. So profitiert etwa das Gewerbegebiet an der Saarbrücker Str. nordöstlich der Saarschleife von der tagsüber kühlenden Wirkung der Saar. Auch die Flächen der im Norden der Stadt gelegenen Fordwerke sind teils mit einer mittleren human-bioklimatischen Belastungssituation ausgewiesen. Dies ist vorrangig durch die Schattenwirkung der großen Industriebauten zu erklären, die sich PET-absenkend auswirkt und dadurch die Einstufung in eine ungünstigere Klasse verhindert.

23,4 % der Saarlouiser Wohn- und Gewerbeflächen und 28,3 % der Verkehrsflächen sind durch eine weniger günstige thermische Situation charakterisiert. Hierzu zählen höher versiegelte Siedlungsräume nahe der Stadtteilzentren und einige Gewerbeflächen in den Randbereichen – wie bereits in der PHK der Nacht sind an dieser Stelle wiederum die Fordwerke und der Lisdorfer Berg beispielhaft zu nennen. Teilweise wurden auch ackernahe Siedlungsräume in den Randbereichen Saarlouis' mit der weniger günstigen Klasse belegt. Oft fehlen in diesen Gebieten schattenspendende Bäume, teils war vorhandene Vegetation zu kleinräumig, um innerhalb des horizontalen Rechengitters von 10 m Einzug in die Modellrechnung zu erhalten – dies ist beispielsweise in Lisdorf und Neuforweiler gegeben.

Der restliche Teil der Wohn- und Gewerbeflächen (7,8 %) sowie der Verkehrsflächen (19,6 %) fällt in die Klasse der sehr ungünstigen thermischen Situation. Gründe für diese ungünstigen Bedingungen sind insbesondere ein hoher Versiegelungsgrad, große Baukörper mit hoher Wärmekapazität und / oder eine mangelnde Verschattung. Wie bereits in der Nacht, zeigt auch die Tages-PHK, dass neben den innerstädtischen vor allem Gewerbeflächen dieser Kategorie angehören – im Vergleich zu Wohngebieten wiesen diese gar tendenziell ungünstigere Bedingungen auf. Beispiele sind erneut die Fordwerke und das Bestandgewerbe-

biet Lisdorfer Berg. Oftmals ist der an hoch belastete Wohn- und Gewerbeflächen angrenzende Verkehrsraum ebenfalls durch eine sehr ungünstige thermische Situation charakterisiert, u.a. die Güterbahnhofstraße in Roden oder der Ostring in Fraulautern; auch der vollständig unbeschattete Abschnitt der A620 nördlich der Wallerfanger Str. fällt in diese Kategorie.

Neben den in der nächtlichen Planungshinweiskarte eingetragenen Standorten von Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen wurden für die Karte des Tages zusätzlich (Grund-)schulen, Kitas, Krippen und Tagespflegeeinrichtungen integriert. So können bei Bedarf nun auch am Tage Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation für die überwiegend in diesen Häusern untergebrachten vulnerablen Bevölkerungsgruppen in die Wege geleitet werden.

5.2.3.3 BEWERTUNG VON GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSPAUM) AM TAGE – ERGEBNISSE

Die Planungshinweiskarte des Tages bewertet wie in der Nacht die Grünflächen hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung, ihrer Möglichkeit der Optimierung und ihrer Bebaubarkeit (Tabelle 12, Abbildung 49), legt statt des Kaltlufthaushaltes aber andere Kriterien in den Fokus. Grünflächen mit sehr hoher Bedeutung (11,8 % der Grünflächen) sind am Tage vorzugsweise diejenigen, die durch eine hohe Schattenwirkung eine große Aufenthaltsqualität erzeugen und zusätzlich in fußläufiger Erreichbarkeit überwärmter Siedlungsräume liegen. In diese höchste Bewertungsklasse fallen etwa Waldareale wie jene in Beaumarais und Neuforweiler, siedlungsnah Bereiche des Ellbachtals sowie die bewaldeten Gebiete des zentrumsnahen Saarlouiser Stadtgartens. Letztgenanntes ist besonders hervorzuheben, da aufgrund der Nähe zur Alten Saar eine Kombination aus intensiver Schattenwirkung und dem tagsüber im Vergleich zur Umgebung kühlen Wasser vorliegt. Dadurch stellt das Areal einen idealen Rückzugsort für die Bewohner der belasteten Saarlouiser Innenstadt dar.

Tabelle 12: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale und abgeleitete Planungshinweise für den Tag

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
4 = Sehr hohe	11,8	Grünflächen mit einem günstigen Klima und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
3 = Hohe	29,0	Siedlungsnah Flächen mit einem mittleren Grünflächenklima, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und schützen (ggf. Bewässerung) bzw. ggf. auszubauen. Siedlungsfremde Grünflächen mit einem günstigen Klima, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Rückzugsorte dienen können.
2 = Mittlere	38,5	Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion) bzw. unzureichender Erreichbarkeit aus belasteten Siedlungsräumen (nicht als Rückzugsort geeignet). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
1 = Geringe	20,7	Freiflächen bzw. siedlungsfremde Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).



Ein knappes Drittel der Grünflächen ist mit einem Flächenanteil von 29,0 % einer hohen human-bioklimatischen Bedeutung zuzuordnen. Diese Flächen sind überwiegend am Rand der Siedlungsbereiche Saarlouis' zu finden und ordnen sich teils konzentrisch um die dezentralen Siedlungsflächen herum an, wie etwa im Bestandsgewerbegebiet Lisdorfer Berg, Holzmühle oder Neuforweiler. Auch innerhalb des urbaner geprägten Siedlungsraumes sind Grünflächen hoher human-bioklimatischer Bedeutung zu finden. Hierzu zählen beispielsweise die Grünflächen ost- und westseitig der Margaretenstr. und die Weise westlich der Brückenstraße in Roden, der Sportplatz der Graf-Werder-Kaserne in der Innenstadt oder der baumbestandene Spielplatz südlich der Freda-Wuesthoff-Str. in Steinrausch. Alle Grünflächen der Kategorie „hohe bioklimatische Bedeutung“ sind wie besagte Flächen entweder tagsüber und nachts etwa gleichermaßen bedeutsam oder erfüllen nur zu einer Tageszeit optimale klimaökologische Bedingungen (z.B. an Kaltluftleitbahnen angrenzende Grün- und Freiflächen vorrangig in der Nacht, die Grünfläche am Donaубach westlich von Picard mit seiner Mikroklimavielfalt aus Bäumen, Büschen, Gräsern und Gewässern nahe des besiedelten Bereichs am Tag).

Ausgleichsräume mittlerer bioklimatischer Bedeutung (38,5 % der Grünflächen) kennzeichnen u.a. siedlungsfur Waldareale, die zwar grundlegend eine gute Aufenthaltsqualität bieten, aber mit einer ungenügenden Erreichbarkeit aufwarten. Darüber hinaus fällt auch ein Großteil entlegener Acker- und Freiflächen mit mäßiger bis starker Wärmebelastung in diese Kategorie. Diese Bereiche könnten durch eine klimaökologische Aufwertung an Bedeutung gewinnen, indem beispielsweise durch das Pflanzen von Bäumen die Aufenthaltsqualität am Tage verbessert wird.

Baumloses Straßenbegleitgrün und entlegene Ackerflächen sind Grünflächen von geringer bioklimatischer Bedeutung und machen immerhin ein Fünftel (20,7 %) der Ausgleichsräume aus. Die meisten Flächen dieser Art befinden sich in peripheren Regionen, etwa im Bereich zwischen dem Lisdorfer Berg und Neuforweiler oder den Agrarflächen innerhalb der Saarschleife. Solche Flächen könnten zukünftig bei der Erschließung neuer Siedlungsbereiche allerdings an human-bioklimatischer Bedeutung gewinnen.

Wie bereits in der Planungshinweiskarte für die Nacht geschehen, wurden auch für den Tag die Planareale von 13 potenziellen Bauflächen anhand ihrer Klimafunktionalität bewertet und eingetragen. Aufgrund der Lage sämtlicher Planflächen in nächster Nähe zu bestehenden Siedlungs- und Gewerbegebieten, überlagern diese wie schon in der Nacht überwiegend Grün- und Freiflächen höherer human-bioklimatischer Bedeutung. Die Einordnung der aktuellen Klimafunktionalität erfuhr im Vergleich zur Nacht somit keinerlei Änderung, sodass auch am Tage sieben Planflächen mit aktuell hoher und sechs mit mittlerer Funktionalität ausgewiesen wurden.

5.2.4 ZUKÜNFTIGE SITUATION UM 2040

Für den Status quo wurden nach Nacht- und Tagsituation getrennte Planungshinweiskarten erstellt, in denen eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen (Wirkungsraum) sowie der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsraum vorgenommen wurde (vgl. Kap. 5.2.2 und 5.2.3). Analog dazu werden innerhalb dieses Kapitels „Planungshinweiskarten für 2040“ sowohl für die Nacht als auch den Tag für das RCP-Szenario 4.5 erstellt.

5.2.4.1 PLANUNGSHINWEISKARTE NACHT 2040

METHODIK

Dem Status quo entsprechend erfolgte die Bewertung über eine z-Transformation der nächtlichen Überwärmung, wobei Mittelwert und Standardabweichung jeweils auf gemeinsamen Datensätzen des Ist- und Zukunftsszenarios beruhen, um sich ändernde Belastungen beurteilen zu können (Tabelle 13). Dabei wurde die bioklimatische Belastung der Siedlungsflächen in fünf Klassen von Sehr günstig bis Ungünstig eingeteilt.

Tabelle 13: Einordnung der zukünftigen bioklimatischen Belastung im Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsraum in der Nacht (Lufttemperatur 4 Uhr) und Flächenmittelwert sowie Standardabweichung der meteorologischen Parameter für die entsprechenden Flächen im Stadtgebiet Saarlouis'

Mittlerer z-Wert	Lufttemperatur 4 Uhr [°C] Siedlungsflächen *	Lufttemperatur 4 Uhr [°C] Verkehrsflächen **	Qualitative Einordnung
bis -0,75	15,7 bis 17,6	15,4 bis 17,8	1 = Sehr günstig
> -0,75 bis -0,25	> 17,6 bis 18,4	> 17,8 bis 18,5	2 = Günstig
> -0,25 bis 0,75	> 18,4 bis 20,1	> 18,5 bis 20,0	3 = Mittel
> 0,75 bis 1,25	> 20,1 bis 20,9	> 20,0 bis 20,8	4 = Weniger günstig
> 1,25	> 20,9 bis 21,7	> 20,1 bis 21,7	5 = Ungünstig

* Mittelwert: 18,85 °C, Standardabweichung: 1,62 °C

** Mittelwert: 18,89 °C, Standardabweichung: 1,47 °C

Die Bewertung der Bedeutung der Grünflächen im Zukunftsszenario 2040 erfolgte analog zum Status quo (s. hierarchisches Schaubild in Abbildung 46). Durch die Realisierung von 13 B-Plänen und der Schließung von 412 Baulücken im Rahmen der Modellierung der Zukunft, teils durch die Eingabe direkter Landnutzungsclassen, teils durch den Mischpixelansatz (vgl. Kap. 3.1.3), kam es zu geringfügigen Auswirkungen auf das Kaltluftprozessgeschehen. Somit änderten sich die im Rahmen des hierarchischen Bewertungsalgorithmus verwendeten Schwellenwerte für die Kaltluftvolumenstromdichte auf 14,56 m³/(m*s) (Anstieg um 0,11 m³/(m*s)), für die Kaltluftproduktionsrate auf 19,41 m³/m²h (Anstieg um 0,02 m³/m²h).

Im Zuge der Nachverdichtung von Baulücken und der Umsetzungen der B-Plangebiete in der Modellrechnung der Zukunft veränderte sich auch die Flächenkulisse für die Planungshinweiskarten der Nacht und des Tages. So stieg im Wirkungsraum die Zahl der Siedlungsflächen von 1321,4 ha um 68,5 ha auf 1389,9 ha an, während sich die Anzahl der Verkehrsflächen von 331,1 ha um 2 ha auf 333,1 ha erhöhte. Gleichzeitig ist infolge dessen eine Abnahme der Ausgleichsräume um denselben Anteil festzustellen.

ERGEBNISSE

Wirkraumflächen mit einer Ungünstigen bioklimatischen Situation verdoppeln sich bis zum Jahr 2040 und betreffen mit 21,6 % zukünftig ca. ein Fünftel aller Wohn- und Gewerbeflächen im Saarlouiser Stadtgebiet (Tabelle 14, Abbildung 50). Auch Straßenflächen erfahren eine Zunahme dieser ungünstigsten Kategorie um 9,1 % auf 11,5 %. Diese Belastungszunahme begründet sich zum einen ausschließlich durch den Klimawandel, wie etwa bei Bestandsarealen in der Innenstadt, Roden oder den Fordwerken, zum anderen überlagert sich dieser mit den Auswirkungen von Nutzungsänderungen, die mit Nachverdichtungsvorhaben in Verbindung stehen. Beispiele hierfür sind etwa Neubaugebiete am Lisdorfer Berg (west) und an der Holzmühler Straße.



Tabelle 14: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen in der Nacht, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise

Bewertung der Wirkungsräume	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Wohnen/ Gewerbe Zukunft (Ist)	Verkehrs- flächen Zukunft (Ist)	
1 = Sehr günstig	7,5 (10,9)	11,0 (14,4)	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und geringer Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, der Vegetationsanteil sollte jedoch möglichst erhalten bleiben, um das sehr günstige Bioklima zu sichern.
2 = Günstig	12,2 (15,7)	8,0 (11,0)	Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig. Freiflächen und der Vegetationsanteil sollten möglichst erhalten bleiben, um das günstige Bioklima zu sichern.
3 = Mittel	33,6 (32,1)	38,1 (38,2)	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
4 = Weniger günstig	25,1 (31,1)	31,4 (34,0)	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (z.B. Begrünung von Blockinnenhöfen).
5 = Ungünstig	21,6 (10,2)	11,5 (2,4)	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sind zu erhalten und der Vegetationsanteil sollte erhöht sowie möglichst Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt werden (z.B. Pocket-Parks, Begrünung von Blockinnenhöfen).

Die Mittlere bioklimatische Situation bleibt die dominante Klasse (zukünftig weiterhin etwa ein Drittel der Wohn- und Gewerbeflächen), gefolgt von Weniger günstig bewerteten Flächen, deren Anteil auf 25,1 % absinkt. Im Vergleich zum Status quo sinkt die Zahl Sehr günstiger und Günstiger Wohnsiedlungs- und Gewerbeflächen leicht um jeweils etwa 3 %. Mit einem gemeinsamen Anteil von knapp 19,7 % stellen die beiden Klassen jedoch auch in Zukunft noch immerhin ein Fünftel aller Wirkungsflächen. Die günstigsten Wohn- und Gewerberäume liegen weiterhin im Einzugsbereich der Kaltluftleitbahnen, z.B. in Fraulautern, dem Ellbachtal oder Holzmühle. Zusätzlich wird in der Nacht eine geringe human-bioklimatische Belastung in den entlegeneren Stadtteilen erreicht, in denen oftmals gleichzeitig flächenhafter Kaltluftabfluss wirkt, wie im Südosten Neuforweilers oder dem Westteil von Beaumarais.

Durch die steigende Belastung in den Siedlungsräumen „wächst“ grundsätzlich der Bedarf neuer Ausgleichsräume bzw. erhöht sich die Bedeutung bestehender Grünflächen. Entsprechend nimmt der Anteil an Grünflächen mindestens Hoher bioklimatischen Bedeutung leicht bis auf mehr als zwei Drittel zu (69,7 %, Tabelle 15). Der Anteil gering (11,4 %) oder mittel (18,9 %) bewerteter Grünflächen senkt sich dagegen leicht ab.



Die Bedeutung der Grünflächen ist anthropozentriert ausgerichtet und immer in Bezug auf das vorhandene Siedlungsgebiet zu sehen. Daher gilt der Grundsatz, dass die Bewertung im Falle einer Bebauung der Flächen selbst bzw. in ihrer Umgebung neu vorgenommen werden muss – bei größeren Vorhaben (die insb. Grünflächen hoher Wertigkeit betreffen) möglichst im Vorfeld mittels einer Modellanalyse der vorhabenbedingten Auswirkungen.

Tabelle 15: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
4 = Sehr hohe	49,6 (46,0)	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume. Zur Erhaltung ihrer Funktion sollten bauliche Eingriffe gänzlich vermieden und die Durchlüftung der angrenzenden Bebauung gewährleistet werden. Eine Vernetzung mit benachbarten Grünflächen soll zudem die Ökosystemleistung verbessern.
3 = Hohe	20,1 (20,7)	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume. Zur Erhaltung ihrer Funktion sollten bauliche Eingriffe möglichst vermieden bzw. unter Berücksichtigung stadtklimatischer Belange erfolgen (Begrünung, Gebäudekörperstellung, etc.) und die Durchlüftung der angrenzenden Bebauung gewährleistet werden.
2 = Mittlere	18,9 (19,5)	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen - entsprechend sollten bauliche Eingriffe nur unter Beachtung klimaökologischer Belange erfolgen (Begrünung, Gebäudekörperstellung, etc.), um diese Funktionen nicht zu gefährden.
1 = Geringe	11,4 (13,8)	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit. Dennoch sollten bauliche Eingriffe unter Beachtung klimaökologischer Belange erfolgen (insb. Begrünung), um auf der Fläche selbst keine Belastungsräume zu schaffen.

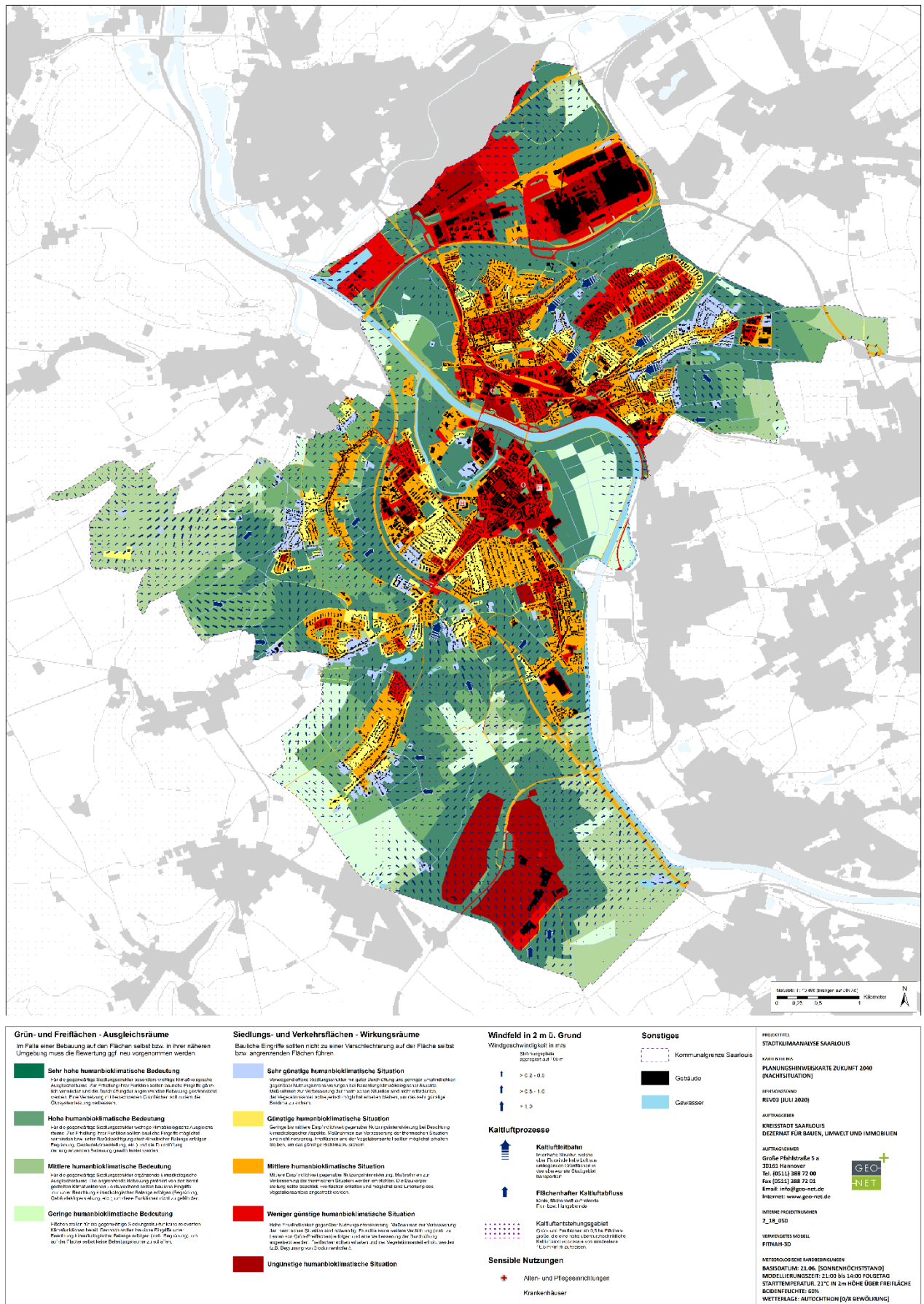


Abbildung 50: Planungshinweiskarte der Nacht für das Saarlouiser Stadtgebiet (Zukunftssituation 2040)

5.2.4.2 PLANUNGSHINWEISKARTE TAG 2040

METHODIK

Genau wie in der Nachtsituation, erfolgte die Bewertung der thermischen Belastung am Tage in Siedlungs- und Gewerbeflächen über eine auf gemeinsamen Datensätzen des Ist- und Zukunftsszenarios beruhende z-Transformation (Tabelle 16). Am Tage ist weiterhin die Aufenthaltsqualität auf Straßen, Wegen und Plätzen (kurz: Straßenraum) von Bedeutung, sodass für diese analog zum Ist-Zustand (vgl. Kap. 5.2.3.1) eine Bewertung in dieselben fünf Belastungsklassen vorgenommen wurde.

Tabelle 16: Einordnung der zukünftigen bioklimatischen Belastung im Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsraum am Tage (PET 14 Uhr) und Flächenmittelwert sowie Standardabweichung der meteorologischen Parameter für die entsprechenden Flächen im Stadtgebiet Saarlouis¹

Mittlerer z-Wert	PET 14 Uhr [°C] Siedlungsflächen *	PET 14 Uhr [°C] Verkehrsflächen **	Qualitative Einordnung
bis -1,25	bis 35,7	bis 34,3	1 = Sehr günstig
> -1,25 bis -0,75	> 35,7 bis 37,4	> 34,3 bis 36,2	2 = Günstig
> -0,75 bis -0,25	> 37,4 bis 39,0	> 36,2 bis 38,1	3 = Mittel
> -0,25 bis 0,25	> 39,0 bis 40,6	> 38,1 bis 40,0	4= Weniger günstig
> 0,25	> 40,6	> 40,0	5= Ungünstig

* Mittelwert: 39,78 °C, Standardabweichung: 3,23 °C

** Mittelwert: 39,05 °C, Standardabweichung: 3,77 °C

Die Bedeutung der Grünflächen am Tage ergibt sich wie beim Status quo aus der Entfernung zu belasteten Siedlungs- und Gewerberäumen sowie dem Verschattungsanteil. Letzterer bleibt in der Zukunftsrechnung ohne Landnutzungsänderung auf den Ausgleichsflächen konstant, sodass die zukünftige Bewertung der Grünflächen indirekt über die steigende Belastung im Siedlungsraum gesteuert wird.

ERGEBNISSE

Im Zukunftsszenario 2040 ist eine Verschiebung der Anzahl von Flächen Günstiger und Mittlerer Bewertung in Richtung der höheren Belastungsklassen zu verzeichnen. So steigt der Anteil Weniger günstig und Ungünstig bewerteter Flächen in Wohn- und Gewerbegebieten deutlich und übertrifft mit 47,2 % die Mittlere Belastungsstufe (29,2 %; Tabelle 17). Eine Günstige bioklimatische Situation wird zukünftig in nur noch 15,7 % der Wohngebiete erreicht, die Sehr günstige Belastungsklasse verringert sich dagegen im Vergleich zum Status quo nur leicht auf 7,9 %. Anders als in der Nachtsituation sind jedoch keine klaren lokalen Spots der steigenden Belastung zu erkennen. So ist nicht nur im Stadtkern, sondern über das gesamte Stadtgebiet eine ähnlich stark zunehmende Wärmebelastung zu erkennen, mit Ausnahme der westlichen, entlegeneren Siedlungsbe- reiche Neuforweiler, Picard und Beaumarais (Abbildung 51).

Gegenüber der nächtlichen Planungshinweiskarte der Zukunft fällt die Belastungsstufe der modellierten B-Planflächen am Tage häufig positiver aus. Eine Erklärung hierfür liefert die Definition der PET, welche die Belastungsstufe der Siedlungs-, Gewerbe und Straßenflächen maßgeblich vorgibt. Diese wird unter anderem von der einfallenden Strahlung gesteuert wird, wobei sich trotz der hinzugefügten Baumasse mit größeren Wärmekapazitäten, aufgrund deren Schattenwirkung am Tage eine Absenkung der PET auf den betreffenden Flächen einstellt. So kann es vorkommen, dass zuvor unbeschattete Grünflächen mit hohen PET-Werten wie

z.B. Ackerflächen im Zuge der Nachverdichtung eine Einstufung in die Sehr günstige human-bioklimatische Belastungsklasse erhalten. Beispielhaft sind hierfür die Gewerbefläche der Fa. Rietmann in Lisdorf oder das geplante Wohngebiet zwischen Ellbach und Margaretenstraße in Roden zu nennen.

Bei der Bewertung des Straßenraums ergeben sich, verglichen zum Ist-Zustand, kaum Veränderungen. Die Erweiterung der B51 erfährt durch ihre Lage in Saarnähe eine Einstufung in die günstigste Belastungsklasse.

Tabelle 17: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen am Tage, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise

Bewertung der Wirkungsräume	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Wohnen/ Gewerbe Zukunft (Ist)	Verkehrs- flächen Zukunft (Ist)	
1 = Sehr günstig	7,9 (8,7)	13,9 (16,2)	Es liegen bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
2 = Günstig	15,7 (20,7)	12,1 (12,8)	Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
3 = Mittel	29,2 (39,4)	22,9 (23,1)	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
4 = Weniger günstig	34,5 (23,4)	28,3 (28,3)	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
5 = Ungünstig	12,7 (7,8)	22,8 (19,6)	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.

Über die Hälfte der städtischen Grünflächen (59,8 %) weisen bereits heute eine Hohe oder Sehr hohe Bedeutung auf, entsprechend fällt die Zunahme des Anteils bedeutender Grünflächen vergleichsweise gering aus (Tabelle 18). Dies liegt auch darin begründet, dass die großflächigen Acker- und Wiesenareale im Saarlouiser Stadtgebiet aufgrund der meist ungehinderten Einstrahlung (unabhängig von der ohnehin fehlenden Zugänglichkeit) keinen Rückzug erlauben und sowohl im Ist- als auch Zukunftsszenario den größten Anteil ausmachen. Dennoch verdeutlichen die Ergebnisse, dass Grünflächen als Rückzugsorte in Zukunft an Bedeutung gewinnen und gerade die bereits heute wichtigen Flächen erhalten bzw. ggf. aufgewertet werden sollten.



Tabelle 18: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Planungshinweise
4 = Sehr hohe	22,5 (20,7)	Grünflächen mit einem günstigen Klima und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
3 = Hohe	37,3 (38,5)	Siedlungsnahen Flächen mit einem mittleren Grünflächenklima, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und schützen (ggf. Bewässerung) bzw. ggf. auszubauen. Siedlungsfernen Grünflächen mit einem günstigen Klima, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Rückzugsorte dienen können.
2 = Mittlere	32,2 (29,0)	Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion) bzw. unzureichender Erreichbarkeit aus belasteten Siedlungsräumen (nicht als Rückzugsort geeignet). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
1 = Geringe	8,0 (11,8)	Freiflächen bzw. siedlungsfernen Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).

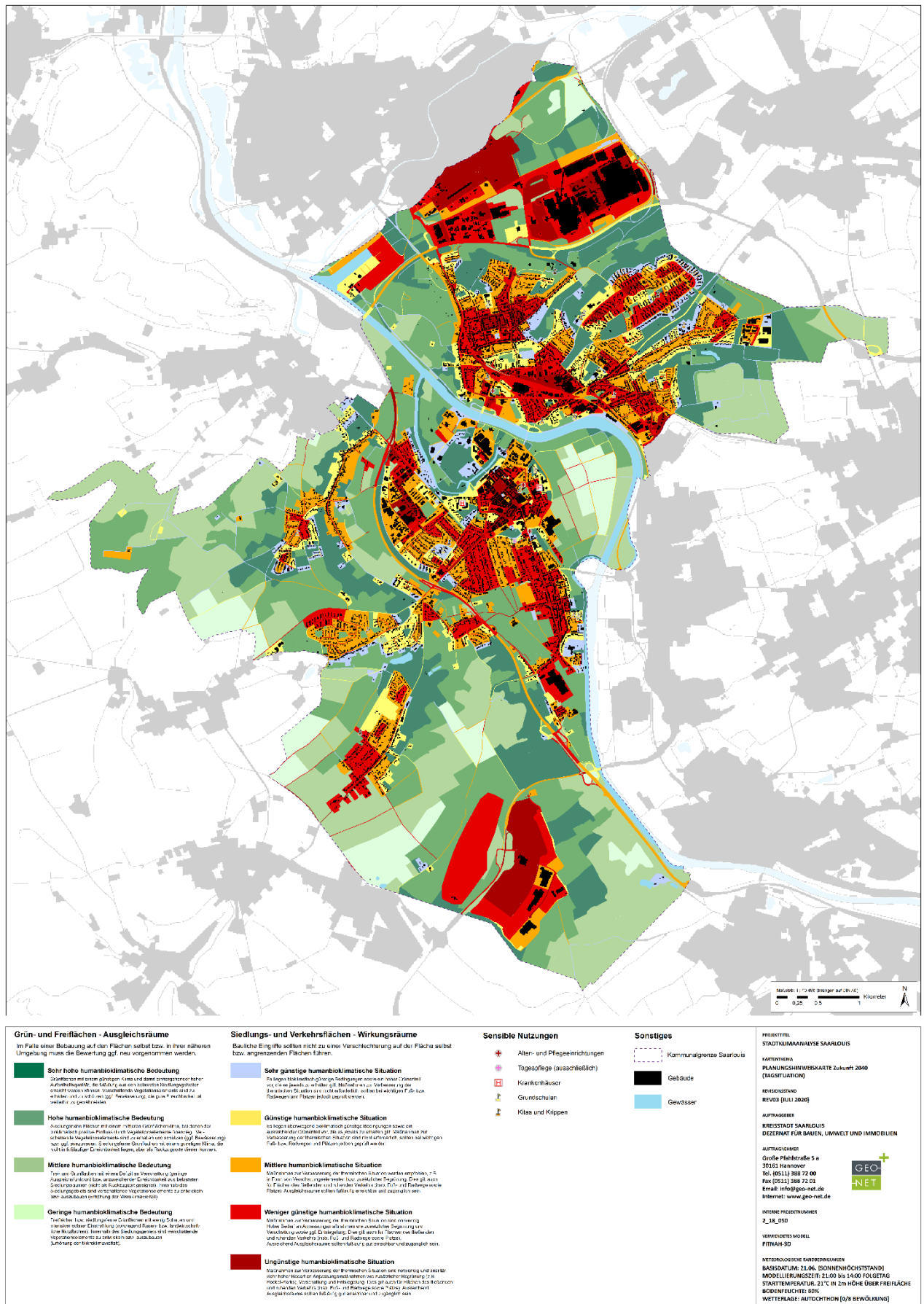


Abbildung 51: Planungshinweiskarte des Tages für das Saarlouiser Stadtgebiet (Zukunftssituation 2040)

ÄNDERUNG VON WOHNGEBIETEN IM FNP IM AUGUST 2020

Erst nach der Durchführung der Modellrechnung für die Zukunftssituation 2040 wurden im FNP nach Abstimmung zwischen Stadtrat und Verwaltung der Stadt Saarlouis noch die Zuschnitte der geplanten Wohnflächen in Neuforweiler und in Beaumarais „Auf der Heed“ geändert. Gleichzeitig wird nun im Ortsteil Holzmühle im Stadtteil Lisdorf ein vollkommen neues Wohngebiet geplant, das mit der Verlängerung der Straße „Am Olversack“ in Richtung Süden einhergeht. Diese Veränderungen werden Auswirkungen auf die Einzelparame-ter, die Klimaanalysekarte sowie letztlich auch die Planungshinweiskarten der Zukunft begründen, auf die im Folgenden eingegangen wird.

In Neuforweiler soll die geplante Wohnfläche im Zuge der Neuplanung von August 2020 von 109.973 m² auf 52.563 m² mehr als halbiert werden (Abbildung 52). Diese Umorientierung wird sich, verglichen mit der aktuellen Planung, grundsätzlich positiv auf die human-bioklimatische Situation im Siedlungsraum Neuforweiler auswirken, da weniger Ackerfläche versiegelt wird und dadurch weniger Wärme im Baukörper gespeichert und an die Umgebung abgegeben werden kann. Durch die Offenhaltung der in der Nacht aktuell im Status quo mit einer sehr hohen human-bioklimatischen Bedeutung belegten und gut durchströmten Grünfläche bleibt zusätzliches Potenzial zur Abkühlung des umliegenden Siedlungsraumes erhalten. Auch am Tage kann durch den Erhalt der im Norden der ehemaligen Wohnbauplanfläche befindlichen Bäume und Büsche ein fußläufig gut erreichbarer Ausgleichsraum gesichert werden.

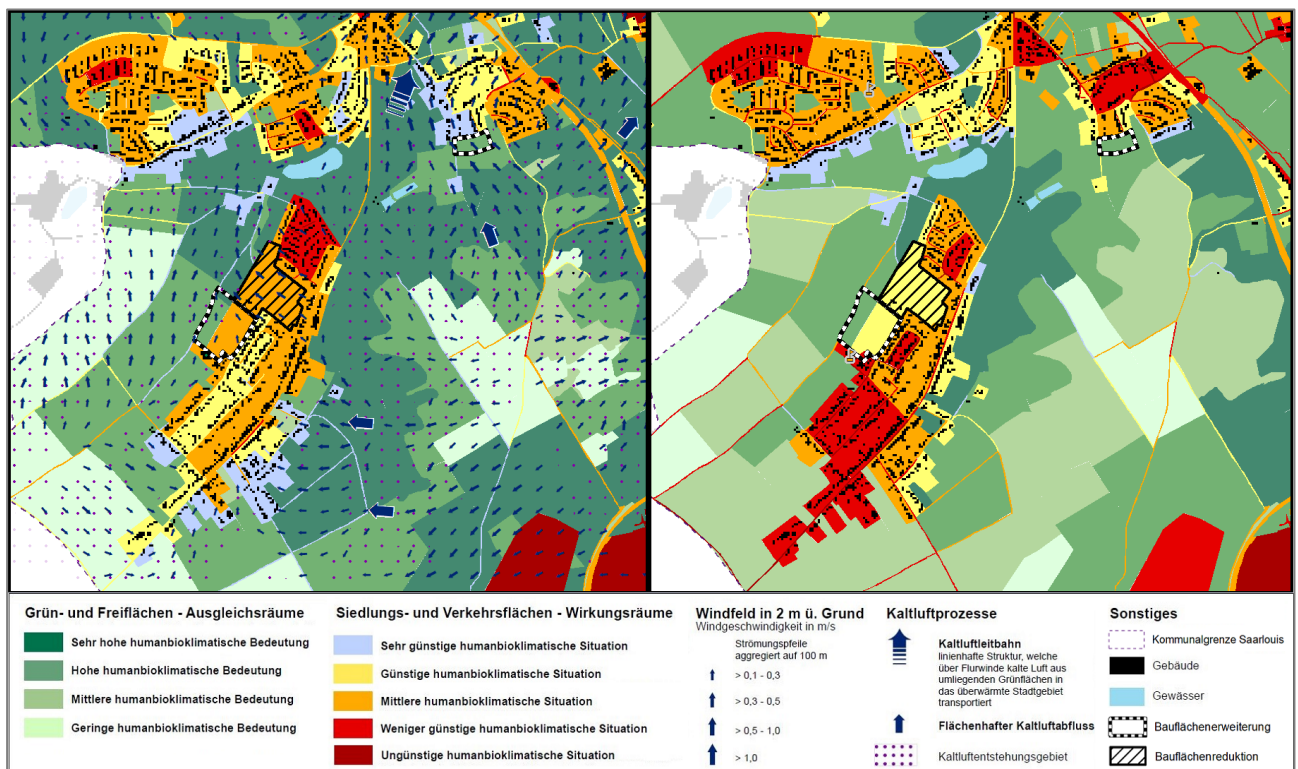


Abbildung 52: Ausschnitte der Planungshinweiskarten der Zukunftssituation für die Nacht (links) und den Tag (rechts) inklusive eingezeichneter Bauflächenänderungen im Rahmen der Umschreibung des FNP im August 2020 für die Bereiche Neuforweiler und Holzmühle (Verkürzte PHK-Legende)

Die zukünftigen Bewohner der neuen, etwa 13.962 m² großen B-Planfläche in Holzmühle werden vor allem in der Nacht durch die Lage nördlich eines Gebiets mit flächenhaften Kaltluftabfluss profitieren (ebenfalls

Abbildung 52). Bei der Bebauung ist jedoch darauf zu achten, eine möglichst geringe Höhe der Baukörper und eine Ausrichtung längs der Strömungsrichtung herzustellen, um ein größtmögliches Hineinströmen in die Holzmühler Bestandbebauung zu gewährleisten und die dortigen Siedlungsflächen in ihrer Klasse der human-bioklimatischen Situation nicht herunterzustufen. Zusätzlich kann so auch die nahegelegene Kaltluftleitbahn im Westen unterstützt werden, die auch für die Innenstadt große Mengen an Kaltluft bereitstellt. Die Auswirkungen am Tage sind hingegen als gering einzustufen, da der Teil der Grünfläche, der bebaut werden soll, ausschließlich aus unbeschatteter Ackerfläche besteht. Die hohe human-bioklimatische Einstufung der Grünfläche ist lediglich durch den östlich liegende Baumbestand zu erklären, der durch seine Schattenwirkung zur Absenkung der PET der Grünfläche beiträgt. Dieses Baumareal ist unbedingt zu erhalten und könnte in einer Neuanalyse der verbleibenden Grünfläche gar zu einer Einstufung in die höchste Bedeutungsklasse führen. Auf der B-Planfläche selbst ist die Anpflanzung von weiteren schattenspendenden Bäumen zu empfehlen, bestenfalls jedoch in einer Linie mit den Planbauten, um keine zusätzlichen Strömungshindernisse zu erzeugen und der nächtlichen Funktion nicht entgegenzustehen.

In die PHK-Ausschnitte für 2040 für Nacht und Tag im Bereich von Beaumarais ist die Umstrukturierung des Wohngebietes „Auf der Heed“ integriert (Abbildung 53).

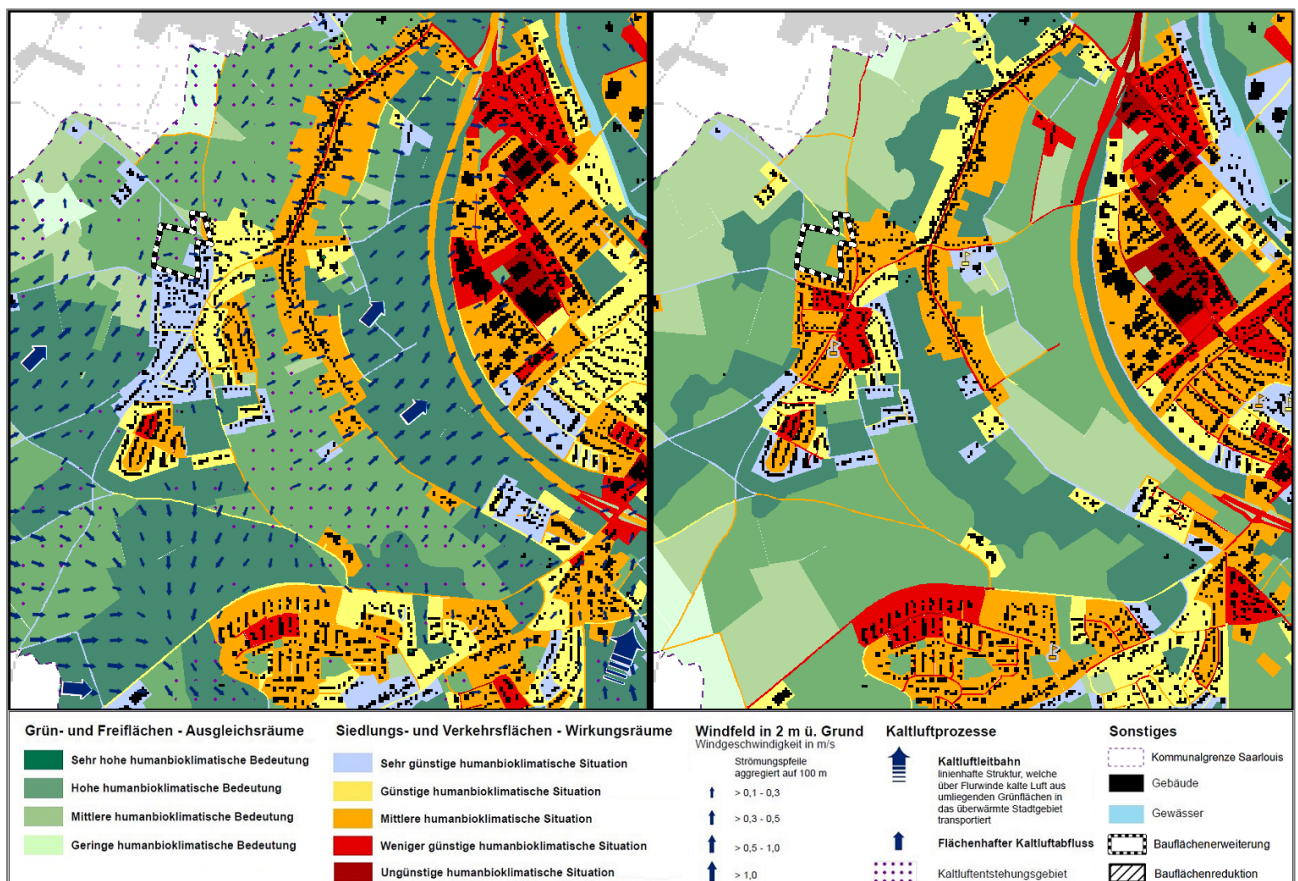


Abbildung 53: Ausschnitte der Planungshinweiskarten der Zukunftssituation für die Nacht (links) und den Tag (rechts) inklusive eingezeichneter Bauflächenänderungen im Rahmen der Umschreibung des FNP im August 2020 für den Bereich Beaumarais "Auf der Heed" (Verkürzte PHK-Legende)



Die teils baumbestandenen Areale der aktuellen Grünfläche rechtfertigen am Tage eine Einstufung in die zweithöchste Bedeutungsklasse. Sofern auf der neuen Siedlungsfläche auf eine möglichst grüne Ausgestaltung mit großem Verschattungspotenzial und eine lockere Bauweise geachtet wird, ist für den Tag durch die periphere Lage und die Nähe zum Waldareal im Bereich des Donaubachs eine tendenziell Günstige Einstufung des neuen Wirkungsraumes zu erwarten. In der Nacht fällt die neue Bebauung in den Bereich eines Kaltluftentstehungsgebietes, was zu einer Steigerung der human-bioklimatischen Belastung umliegender Siedlungsareale führen kann. Der Westteil Beaumaraus ist jedoch durch flächenhaften Kaltluftabfluss im Westen und ein großräumiges Kaltluftentstehungsgebiet im Osten insgesamt sehr gut an das Kaltluftprozessgeschehen angeschlossen. Dies lässt vermuten, dass umliegende Siedlungsflächen eher keine Abwertung ihrer jeweiligen human-bioklimatischen Situation zu befürchten haben.

5.3 MAßNAHMENKATALOG

Für Saarlouis wurde ein Katalog aus 19 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen identifiziert, die einzelnen Blockflächen räumlich zugeordnet werden können. Dieser Katalog ergänzt die Planungshinweiskarten als GIS-gestützter „Aktionsplan Anpassung“ um eine weitere Informationsebene. Die Auswahl der Maßnahmen sowie deren Übertragung auf konkrete Flächen erfolgten durch fachgutachterliche Einschätzung und basierend auf einer Literaturlauswertung sowie den Erkenntnissen anderer Klimaauslysen (vgl. BERLIN 2015, MUNLV 2010, MVI 2012).

Die Notwendigkeit und Relevanz bestimmter Maßnahmen aus dem Portfolio der 19 Einzelmaßnahmen hängt vom Flächentyp (z.B. Grün- oder Siedlungsfläche) und den Bewertungen in den Planungshinweiskarten unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt).

Die Umsetzung von Klimaauspassungsmaßnahmen schließt nicht automatisch die Realisierung von Klimaschutzmaßnahmen aus. So können teilweise sogar Synergieeffekte auftreten, die auf den ersten Blick nicht sichtbar werden. Ein Beispiel dafür ist die Installation von Photovoltaikanlagen auf einem begrünten Dach. Nach BUE (2017) erhöht sich der Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen auf einem (kühleren) Gründach jährlich um bis zu 3% gegenüber einem gewöhnlichen Dach.

Die Maßnahmen sind stichpunktartig in Tabelle 19 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

- Thermisches Wohlbefinden im Außenraum
- Verbesserung der Durchlüftung
- Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum

Die Wirkung der Maßnahmen wird qualitativ beschrieben, da verifizierte Daten nur sehr vereinzelt für ganz spezielle Fallstudien zur Verfügung stehen. Zum anderen hängt die Wirkung stark von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen, ihrer Lage im Stadtgebiet sowie der betrachteten vertikalen und horizontalen Entfernung von der Maßnahme ab. Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Saarlouiser Stadtklimas beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

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



Neben ihres Potentials zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen **Bäume** (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an. Im Bereich von Leitbahnen sollten Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und daher möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden. Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Großkronige Laubbäume sind Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (vgl. „Projekt Stadtgrün 2021“ der LWG Bayern¹¹ oder GALK-Straßenbaumliste¹²).

Maßnahmen zur Verschattung verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung am Tage. Beschattete Straßen, Fuß- und Radwege oder Parkplätze speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten versiegelten Freiflächen (→ M05: Begrünung und Verschattung von Parkplätzen). Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeinseleffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden (→ M17: Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen).

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 (→ M19: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes). Umso mehr gilt dies für sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Krankenhäuser oder Pflegeheime. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → M11: Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und

¹¹ www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085113/index.php (Abruf 11.09.2020)

¹² www.galk.de/index.php/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste (Abruf 11.09.2020)



geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die Albedo kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden, so ist die Reflektion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ M03: Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente¹³ oder energetische Sanierung¹⁴ sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ M15, M16, M17, M18).

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

¹³ Bäume, Vordächer, Markisen, Jalousien/Außenrollos, Sonnensegel, Sonnenschutzglas, etc.

¹⁴ Wirkt nicht nur Energieverlusten im Winter entgegen, sondern auch gegen übermäßiges Aufheizen der Fassaden im Sommer.

Tabelle 19: Empfehlungen raumeinheitenspezifischer stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Saarlouis (Maßnahmenkatalog Klimaanpassung)

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM				
01	Innen-/Hinterhofbegrünung	Vegetation und Entsiegelung	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Hinterhöfe
02	Öffentliche Grünräume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaffen	Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Vernetzung von Grünflächen Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)
03	Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten	Helle Farben (insbesondere von Dächern) und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts 	Dächer (Neubau und Bestand), ggf. Straßen, Wege, Plätze
04	Entsiegelung	Rasenflächen oder Teilversiegelung (Schotter, Rasengittersteine, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und insb. nachts Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Straßen, Wege, Plätze, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe
05	Bäume im Straßenraum erhalten und neu pflanzen	Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung der Haltestellen, Sonnensegel, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung nachts und insb. tagsüber 	Straßen, Wege, Plätze
06	Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	Bäume, Sträucher oder Überdachung	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung nachts und insb. tagsüber Deposition und Filterung von Luftschadstoffen Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Parkplätze
07	Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren	Vielfältigkeit der Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Synergien zur Biodiversität 	Grün- und Freiflächen, Straßen, Wege, Plätze



08	Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen	<ul style="list-style-type: none"> Bedeutung für den Kaltlufthaushalt Wichtige Funktionen für die Erholung, Biodiversität und Niederschlagsmanagement 	Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)
09	Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen	<ul style="list-style-type: none"> Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Standgewässer Rauhigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die auch bei anderen als autochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird (allochthone Wetterlagen) Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) Oberflächennahe Temperatur kann nachts über der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken 	Gewässer, Grün- und Freiflächen
10	Ausbau sozialer Infrastruktur und Netzwerke	<p>Partizipative Projekte (z.B. Quartiersmanagement) oder aus Bevölkerung heraus (z.B. Trinkpatenschaften, Urban Gardening)</p> <ul style="list-style-type: none"> Minderungen der Vulnerabilität der Quartiersbevölkerung gegenüber thermischem Stress 	(thermisch belastete) Quartiere hoher Einwohnerdichte
VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG			
11	Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten	<p>Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)</p> <ul style="list-style-type: none"> Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung Reduktion des Wärmestaus 	Neubau, Gebäudekomplexe (auf winterliche Behaglichkeit in den Innenräumen achten)
12	Entdichtung (Rückbau)	<p>Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen</p> <ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts Verbesserung der Durchlüftung Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Blockinnenhöfe (Garagen, Lagerhallen, ggf. Industrie- und Gewerbebrachen, Bahnanlagen)
13	Vermeidung von Austauschbarrieren	<ul style="list-style-type: none"> Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klimaökologische Belange anpassen Schutz des Luftaustauschsystems 	Grün- und Freiflächen, gut durchlüftete Wohn- und Gewerbeflächen, Straßen, Wege, Plätze
14	Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	<ul style="list-style-type: none"> Schutz vor stärkerer Überwärmung und Verschlechterung der Durchlüftung Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, Felder, Kleingärten und Parklandschaften (im Außen- und Innenbereich), die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft Synergien zur Biodiversität 	Grün- und Freiflächen



REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

15	Dachbegrünung	Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung des Innenraumklimas Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich Synergien zum Niederschlagsmanagement, Biodiversität und Klimaschutz 	Flachdächer, ggf. flach geneigte Dächer
16	Fassadenbegrünung	Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas Synergien zur Luftreinhaltung, Biodiversität, Lärm- und Gebäudeschutz 	Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)
17	Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen	Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie, geeignete Raumlüftung (Verhalten der Bewohner)	<ul style="list-style-type: none"> Wirkung tagsüber und nachts Verbesserung des Innenraumklimas Synergien zum Klimaschutz 	Gebäude, v.a. Südfassaden und in Bezug auf Fenster- und sonstige Glasflächen (Neubau und Bestand)
18	Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen	Dämmung von Gebäuden, Erhöhung der Albedo	<ul style="list-style-type: none"> In erster Linie Klimaschutzmaßnahme Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber 	Gebäude (Bestand)
19	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits- oder von Risikogruppen genutzte Zimmer (etwa im Krankenhaus))	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen) 	Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (vorwiegend Neubau)

6. Zusammenfassung

Bislang wurde das Stadtklima der Stadt Saarlouis noch nicht untersucht – angesichts der Siedlungsentwicklung war im Hinblick auf das derzeitige Belastungsniveau und künftige städtebauliche Planungen eine erste Untersuchung des Stadtklimas notwendig. Dem Stand der Technik gemäß wurde eine Rechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH 3D durchgeführt, um hochaufgelöste, flächendeckende Ergebnisse für das gesamte Stadtgebiet für die heutige Zeit sowie für ein zukünftiges Szenario in 2040 zu erhalten. Zur Validierung und Unterstützung der Modellergebnisse wurde darüber hinaus eine Intensivmesskampagne mit Klimamessstationen, Profilmessfahrten und Vertikalsondierungen durchgeführt.

ZENTRALE ERGEBNISSE

Bei Betrachtung der bodennahen Lufttemperatur zeigt sich eine deutliche nächtliche Überwärmung der städtischen Bereiche – so weisen die Saarlouiser Kernstadt oder hochversiegelte Gewerbeflächen im Norden des Untersuchungsgebietes aktuell um bis zu 8,2 °C höhere Temperaturen als das natürliche, weitgehend unbebaute Umland auf. Dieser für Städte typische „Wärmeinseleffekt“ kommt vor allem nachts zum Tragen und geht u.a. auf den höheren Versiegelungsgrad bzw. geringeren Grünanteil in der Stadt, die Beeinträchtigung der Strömung durch Hindernisse sowie Emissionen aus Verkehr, Industrie und Haushalten zurück.

Infolge des Klimawandels ist im Raum Saarlouis zukünftig von höheren Temperaturen und vermehrten Hitzeperioden auszugehen. Diese Zunahmen sind in den (kern)städtisch geprägten Räumen besonders relevant, da dort aufgrund des Wärmeinseleffekts bereits heute ein höheres Belastungsniveau vorliegt. In der Zukunftssituation um 2040 ist in Saarlouis sogar von einem erhöhten Wärmeinseleffekt von bis zu 8,5 °C auszugehen.

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

Besonders wichtige Funktionen als Kaltluftleitbahnen übernehmen in Saarlouis die Grünzüge im Bereich Neuforweiler Mühlen- und Weiherbach, die Kaltluft von Süden her in den thermisch belasteten Innenstadtbereich tragen. Aus Norden erfüllen diese Funktion das Ellbachtal, die Rodener Wiese, die Waldbereiche entlang der Lebacher Straße sowie die Grünareale im Bereich des Fraulauternbachs. Außerdem treten im gesamten Untersuchungsgebiet immer wieder flächenhaft durchlüftete Grünräume auf, die auch zur Durchlüftung der äußeren Siedlungsbereiche beitragen. Hierzu zählen zu weiten Teilen die Höhenzüge des im Westen gelegenen Landschaftsschutzgebietes, die Grünareale zwischen Beaumarais und der Innenstadt, die Ackerflächen im Bereich des Lisdorfer Berges in Richtung Lisdorf und Neuforweiler sowie die Grünräume im Nordosten in Richtung Fraulautern. Diese weisen zwar keine klassische Leitbahnstruktur auf, verhindern mit ihren



flächenhaften Kaltluftabflüssen jedoch die Ausbildung eines noch stärkeren Wärmeinseleffekts. Weiterhin dienen der Sportplatz Choisy im Verbund mit der Grünfläche des Finanzamtes Saarlouis, der Saarlouiser Stadtgarten sowie der Park „Im Glacis“ als wichtige Grünflächen zur Belüftung der Kernstadt. Zudem können (intakte) städtische Grünflächen einen kühlenden Effekt auf ihr näheres Umfeld haben. Diesbezüglich ist der Alte Friedhof/Garnisonsfriedhof hervorzuheben, dessen kühlende Wirkung auf die umliegende Bebauung ausstrahlt. Neben Friedhöfen wirken oftmals auch Kleingärten (z.B. östlich der Metzger Str.) oder Parks aufgrund ihrer Grünprägung positiv auf das Stadtklima ein.

PLANUNGSHINWEISKARTEN

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung sind die Basis der Stadtklimaanalyse Saarlouis und erlauben genaue Aussagen zu den Klimaparametern verschiedener Flächen. Für die tägliche Arbeit in der Planungspraxis noch wichtiger ist das Inwertsetzen der Ergebnisse, etwa in Form der Planungshinweiskarte. In dieser wird eine Bewertung der Siedlungs- und Straßenflächen bzw. Plätze als „Wirkungsraum“ sowie der Grünflächen als „Ausgleichsraum“ hinsichtlich ihrer bioklimatischen Situation vorgenommen und mit allgemeinen Planungshinweisen verbunden. Die Bewertungen beruhen auf den klimaökologischen Funktionen ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen, d.h. die Planungshinweiskarte stellt das aus klimafachlicher Sicht gewonnene Abwägungsmaterial dar. Für Saarlouis wurden insgesamt vier Planungshinweiskarten angefertigt – jeweils eine Karte für die Nacht und den Tag für den Status quo und die zukünftige Situation um 2040. Letztgenannte Karten schließen die 13 (potenziellen) Entwicklungsflächen sowie die 412 Baulücken innerhalb der Saarlouiser Kommunalgrenze mit ein.

In der Nachtsituation orientiert sich die Bewertung der Grünflächen an ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt des Stadtgebiets, sodass den genannten Kaltluftleitbahnen bzw. den für das Kaltluftprozessgeschehen wichtigen Grünflächen die höchsten bioklimatischen Bedeutungen zugeschrieben werden. Die Bewertung des Siedlungs- und Verkehrsraums spiegelt die nächtliche Überwärmung wider. Entsprechend weist u.a. die Saarlouiser Innenstadt die ungünstigsten Bedingungen auf. Auch in den hochversiegelten Gewerbegebieten der Fordwerke im Norden und dem Lisdorfer Berg im Süden fällt die Belastung hoch aus, doch liegt der Fokus in der Nachtsituation auf der Möglichkeit eines erholsamen Schlafs und damit auf der Wohnbebauung.

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

Um mögliche Anpassungsmaßnahmen für gegenüber der Hitzebelastung sensible Bevölkerungsgruppen (bspw. SeniorInnen oder Kleinkinder) verorten zu können, sind in der Planungshinweiskarte zusätzlich Einrichtungen wie Pflegeeinrichtungen, Kitas, Krankenhäuser und Schulen dargestellt.

Im Vergleich zu den Planungshinweiskarten des Status quo ist die Anzahl belasteter Siedlungsflächen bei den Karten der Zukunftssituation 2040 nochmals angestiegen. So sind dort nachts etwa 46,7 % der Wohn- und Gewerbeflächen durch eine Weniger günstige oder ungünstige thermische Situation charakterisiert, am Tage gar 47,2 %. Gründe für diese ungünstigen Bedingungen sind insbesondere ein hoher Versiegelungsgrad, große Baukörper und / oder eine mangelnde Verschattung und zum Teil auch eine geringe Kaltluftzufuhr. Die

Planungshinweiskarten zeigen, dass nicht allein die Innenstadt von einer Ungünstigen thermischen Situation betroffen ist. Gleiches gilt neben dem bewohnten auch für den unbewohnten Bereich, wobei Gewerbeflächen im Vergleich zu Wohngebieten tendenziell ungünstigere Bedingungen aufweisen.). Die meisten Gewerbeflächen Saarlouis' (z.B. Fordwerke oder Lisdorfer Berg) weisen überwiegend Weniger günstige, teils Ungünstige thermische Bedingungen auf. Oftmals ist der an hoch belastete Wohn- und Gewerbeflächen angrenzende Verkehrsraum ebenfalls durch eine Weniger günstige oder Ungünstige thermische Situation charakterisiert, u.a. die Güterbahnhofstraße in Roden (tags und nachts) oder der vollständig unbeschattete Abschnitt der A620 nördlich der Wallerfanger Straße (am Tage). In den hochbelasteten Siedlungs- und Verkehrsräumen besteht eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Hier sind Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig und prioritär. Die Maßnahmen sollen sich sowohl auf die Tag- als auch Nachtsituation auswirken. Es soll keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/ Freiflächen) erfolgen, stattdessen sind der Erhalt der Freiflächen und eine Verbesserung der Durchlüftung sowie eine Erhöhung des Vegetations-anteils bzw. Entsiegelungsmaßnahmen anzustreben.

Den durch thermischen Stress belasteten Siedlungs- und Gewerbeflächen stehen sowohl für die Nacht als auch für den Tag Grünflächen von hoher oder sehr hoher human-bioklimatischer Bedeutung gegenüber, die als besonders schützenswert einzustufen sind. Durch den zukünftigen Anstieg strapazierter Wirkungsflächen bis 2040 wird auch die Anzahl an Ausgleichsflächen zunehmen, da diese u.a. durch ihre Nähe zum belasteten Siedlungsraum definiert sind. In der Nacht ist daher, verglichen mit dem Ist-Zustand, ein Anstieg von Grünflächen mit Hoher oder Sehr hoher human-bioklimatischer Bedeutung auf insgesamt 69,7 %, am Tage auf 59,8 % festzustellen. Bei den Flächen dieser Kategorie der PHK Nacht handelt es sich vorrangig um Bereiche, die für den nächtlichen Kaltlufthaushalt eine besondere Rolle spielen (Kaltluftleitbahn, flächenhafter Kaltluftabfluss); bei der PHK Tag stehen in erster Linie Grünflächen mit überdurchschnittlichen Verschattungspotenzial durch Bäume oder in Wassernähe im Fokus. Solche wichtigen Ausgleichsflächen zeichnen sich durch eine hohe Aufenthaltsqualität am Tage aus und befinden sich in fußläufiger Erreichbarkeit zu wärmebelasteten Siedlungsflächen. Hierzu zählen etwa der Saarlouiser Stadtgarten (tags und nachts) oder die Grünflächen der benannten Kaltluftleitbahnen im Nordosten der Stadt bzw. südwestlich von Holzmühle (nachts). In den Planungshinweiskarten sind derartige Grünflächen als wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung beschrieben. In diesen Bereichen sollen bauliche Eingriffe äußerst maßvoll bzw. unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Es muss eine gute Durchströmbbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt und zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung ggf. eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).

STADTKLIMATISCHE MAßNAHMEN

Für Saarlouis wurde ein Katalog aus 19 klimaökologisch wirksamen Maßnahmen identifiziert, die als Planungsempfehlungen und Ergänzung zur Planungshinweiskarte zu verstehen sind. Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Stadtklimas in Saarlouis beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

Um Nachverdichtung möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte doppelte Innenentwicklung in den Blickpunkt geraten. Dabei geht es darum, Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf urbanes Grün zu entwickeln. In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei



die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss.

Quellenverzeichnis

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-gesetzes, Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065)
- BauGB (2020): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728) geändert worden ist
- BBSR (2017) - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.): Handlungsziele für Stadt-grün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte.
- Berlin (2015) – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt: Planungshinweiskarte Stadtklima 2015. Begleitdokument zur Online-Version. Online: www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/db411_01.htm (Abruf 11.09.2020).
- Berliner Wetterkarte (2019): „<https://berliner-wetterkarte.de/archiv/>“ (letzter Zugriff: 25.08.2020)
- BfN (2016) – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Ur-banes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BfN-Skripten 444.
- BNatSchG (2009): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 290 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Broisy C., Krampf K., Zeeman M., Wolf B., Junkermann W., Schäfer K., Emeis S., Kunstmann H. (2017): Simultaneous multicopter-based air sampling and sensing of meteorological variables. Atmos. Meas. Tech., 10, 2773–2784, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2773-2017>
- BUE (2017) – Freie Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (Hrsg.): Hamburgs Gründächer. Eine ökonomische Bewertung. Hamburg.
- Cubasch U., Wuebbles D., Chen D., Facchini M.C., Frame D., Mahowald N., Winther J.-G. (2013): Introduction. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2016): Nationaler Klimareport 2016.
- DWD Climate Data Center (CDC) (2020a): Historische stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte, des Bedeckungsgrades und der Windgeschwindigkeit für Deutschland, Version v006.
- DWD Climate Data Center (CDC) (2020b): Jahresmittel der Raster der monatlich gemittelten Lufttemperatur (2m), des Niederschlages und der meteorologischen Kenntage für Deutschland, Version v1.0.



- Flohn, H. (1954): Witterung und Klima in Mitteleuropa. 2. Auflage, Forschungen zur deutschen Landes-kunde, 78 S., Hinzl Verlag Stuttgart.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2020): Beurteilung der klimaökologischen Funktionen des Bereiches Lisdorfer Berg – Verbal-argumentative Stellungnahme zum Einfluss der beabsichtigten Nutzungsänderung auf das Schutzgut Klima
- GERICS Climate Service Center Germany (2019): Schlecht-Schlaf-Index (Homepage). Online: https://gerics.de/products_and_publications/publications/IPCC/detail/078103/index.php (Abruf 04.09.2020).
- Giorgi F., Jones C., Asrar G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, WMO Bulletin, 58(3):175-183.
- Groß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- Häckel, H. (2012): Meteorologie. 7. Auflage. Stuttgart.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.
- IVU Umwelt (2020): IMMIS^{EM/LUFT} Programm und Handbuch, Version 8. IVU Umwelt GmbH, Freiburg
- Jendritzky, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan. Nr. 114.
- Kaspar, F., G. Müller-Westermeier, E. Penda, H. Mächel, K. Zimmermann, A. Kaiser-Weiss, T. Deutschländer (2013): Monitoring of climate change in Germany – data, products and services of Germany's National Climate Data Centre. Adv. Sci. Res., 10, 99–106.
- Köppen, W. (1936): Das geographische System der Klimate, Handbuch der Klimatologie [The Geographical System of the Climate, Handbook of Climatology]. Borntraeger, Berlin, Bd. 1, Teil. C.
- Kuttler, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13.
- Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Paderborn.
- Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz (2020): Luftgüte im Saarland. Jahresberichte. Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz, Fachbereich Luftüberwachung (IMMESA), Saarbrücken
- Landesbetrieb für Straßenbau (2018): Verkehrsmengenkarte des Saarlandes, Stand: Februar 2018. Landesbetrieb für Straßenbau, Neunkirchen
- LaPro Saarland (2009): Landschaftsprogramm des Saarlandes. Ministerium für Umwelt des Saarlandes. Saarbrücken, 162 S.
- Linke C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamolldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamolldaten“, Potsdam, 56 S.
- Malberg, H. (2002): Meteorologie und Klimatologie- Eine Einführung. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg.



- Matzarakis, A. und H. Mayer (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.
- Mayer, H., W. Beckröge und A. Matzarakis (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-report 5/94, S. 265-268.
- Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756.
- MUNLV (2010) – Ministerium für Umwelt und Natur-schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel.
- MVI (2012) - Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Piani C., Haerter J.O., Coppola E. (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theor Appl Climatol 99:187–192.
- ReKliEs-De (2017): Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland - Nutzer-handbuch. doi: 10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Nutzerhandbuch.
- Schönwiese, C.- D. (2008): Klimatologie. 3. Auflage. Stuttgart.
- Stadt Karlsruhe (2014): Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung für die Stadt Karlsruhe (Teil II). Forschungsbericht KLIMOPASS.
- Themeßl M.J., Gobiet A., Leuprecht A. (2011): Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. Int J Climatol 31(10):1530–1544.
- UBA (2016) - Umweltbundesamt: Heizen, Raumtemperatur. Online: www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (Abruf: 04.09.2020)
- UBA (2019): HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 4.1/November 2019. INF-RAS AG, Bern, Schweiz, Hrsg.: UBA (Umweltbundesamt) Berlin
- VDI (2008a): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.
- VDI (2008b): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.
- VDI (2014): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Entwurf.



Anhang

Tabelle A1: Regionalmodellensemble (GCM = Globales Klimamodell, RCM = Regionales Klimamodell)

GCM	RCM	historical	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
CanESM2	CCLM	✓	✗	✗	✓
EC-EARTH	CCLM	✓	✓	✓	✓
EC-EARTH	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
EC-EARTH	RACMO22E	✓	✗	✓	✓
EC-EARTH	RCA4	✓	✓	✓	✓
IPSL-CM5A	RCA4	✓	✗	✓	✓
MIROC5	CCLM	✓	✓	✗	✗
MIROC5	REMO2015	✓	✗	✗	✓
HadGEM2-ES	WETTREG2013	✓	✗	✗	✓
HadGEM2-ES	CCLM	✓	✗	✓	✓
HadGEM2-ES	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
HadGEM2-ES	STARS3	✓	✓	✗	✗
HadGEM2-ES	RCA4	✓	✓	✓	✓
MPI-ESM	WETTREG2013	✓	✓	✗	✗
MPI-ESM	CCLM	✓	✗	✓	✓
MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
MPI-ESM	STARS3	✓	✓	✗	✗
MPI-ESM	RCA4	✓	✓	✓	✓

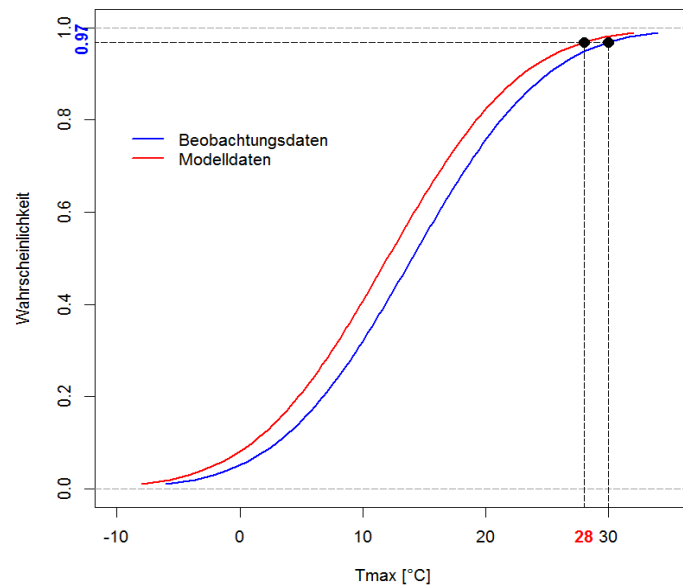


Abbildung A1: Methode der Adjustierung von Schwellenwerten für Kenntage. Die blaue Zahl auf der y-Achse zeigt das berechnete Perzentil des Schwellenwertes und die rote Zahl auf der x-Achse zeigt den adjustierten Schwellenwert

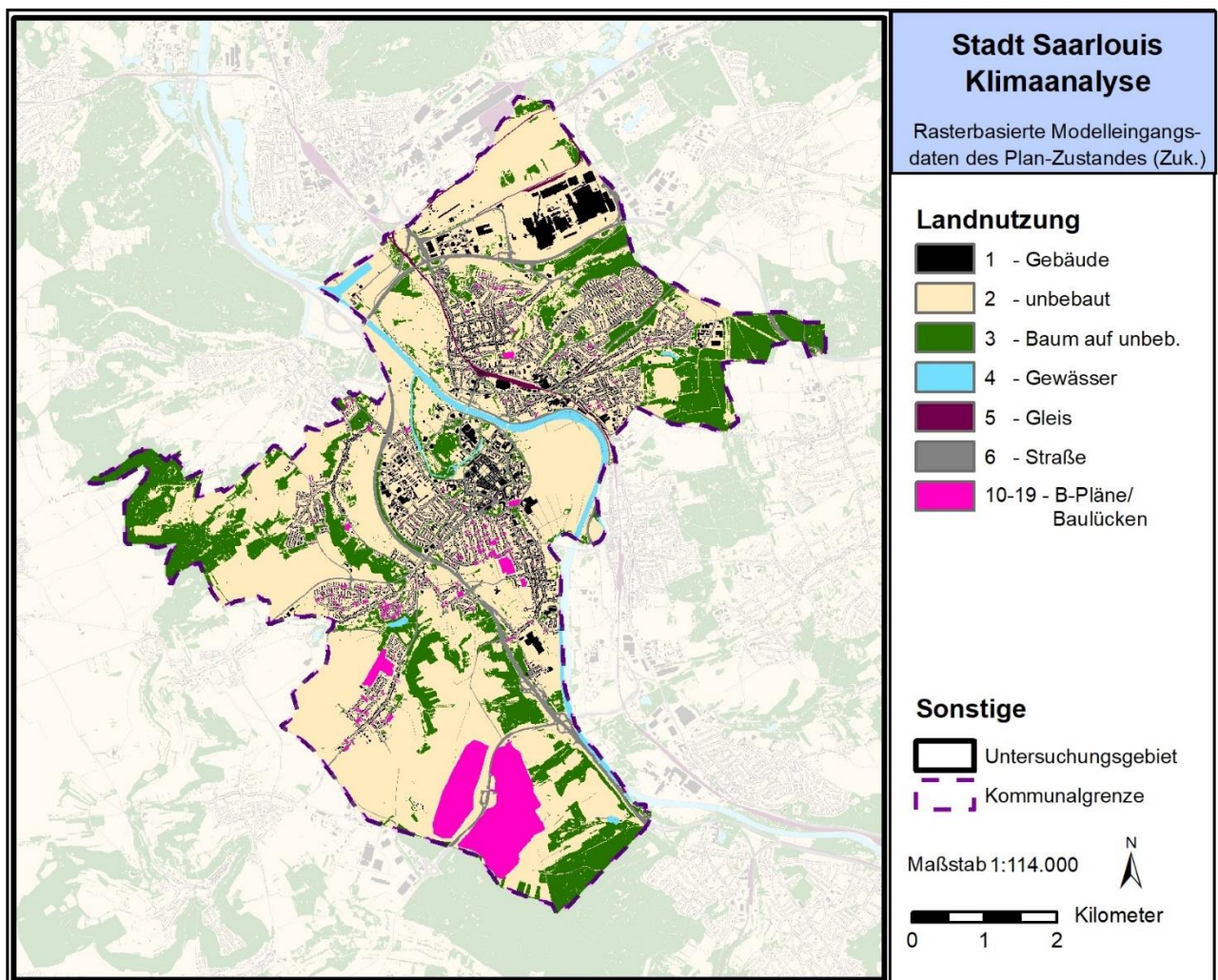


Abbildung A2: Landnutzungsklassifizierung für das Stadtgebiet Saarlouis (Zukunftssituation 2040); Flächen mit Mischpixelansatz magentafarben

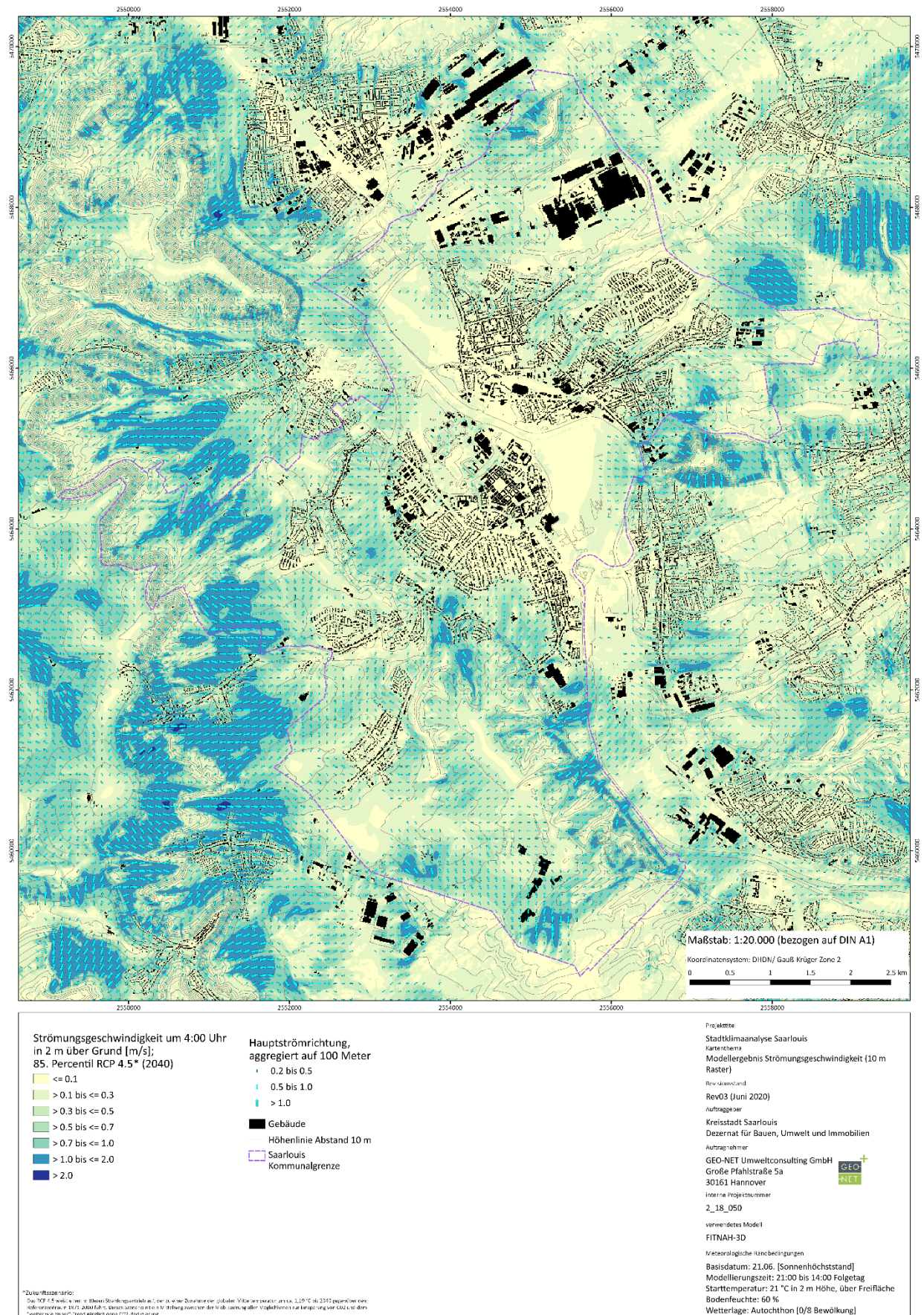


Abbildung A3: Nächtliches bodennahes Windfeld von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040)

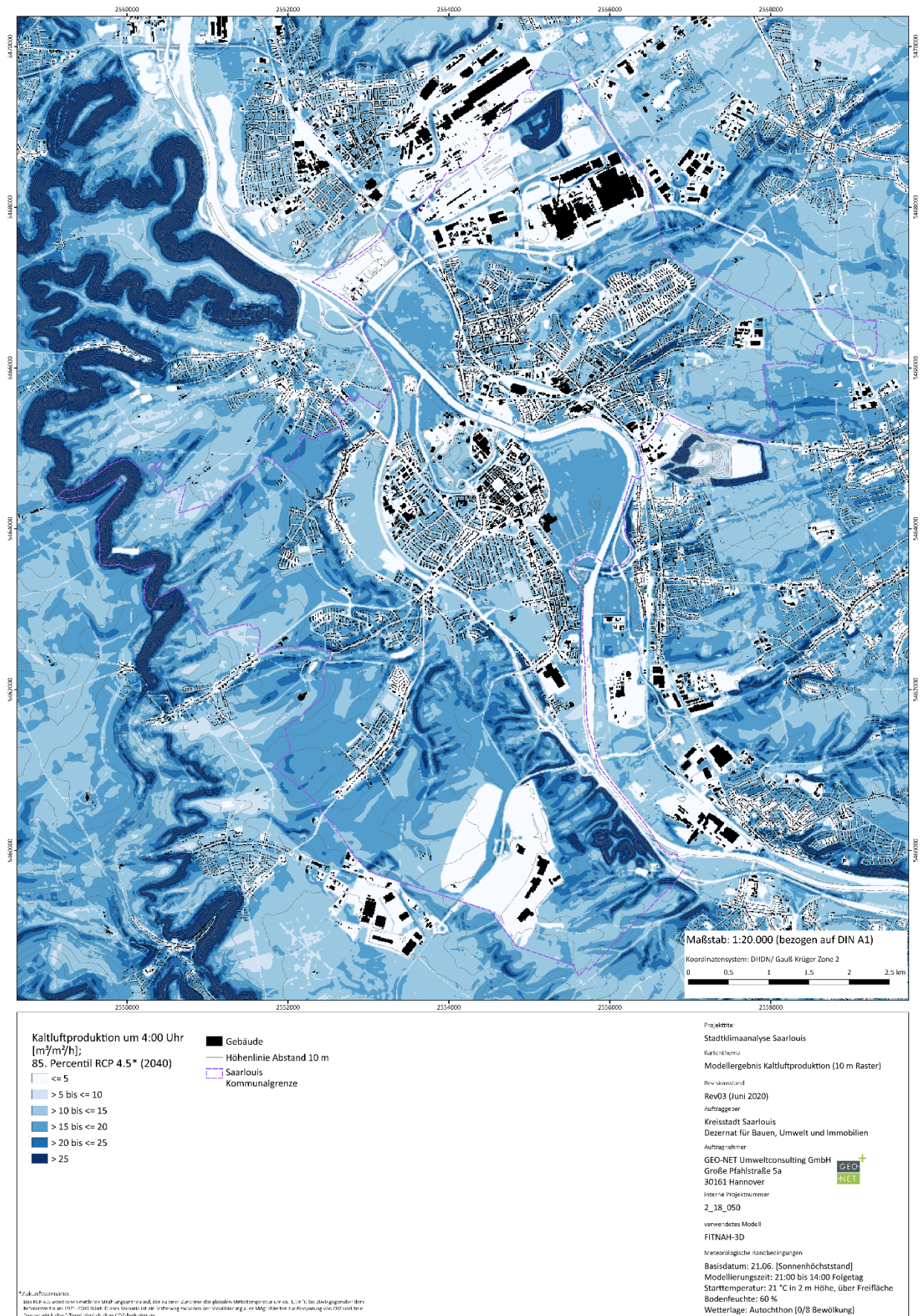


Abbildung A4: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate von 4 Uhr des Saarlouiser Stadtgebiets (Zukunftssituation 2040)

Ergebnisse von Lufttemperaturprofilmessfahrten am 26.06.2019, 23:00 Uhr

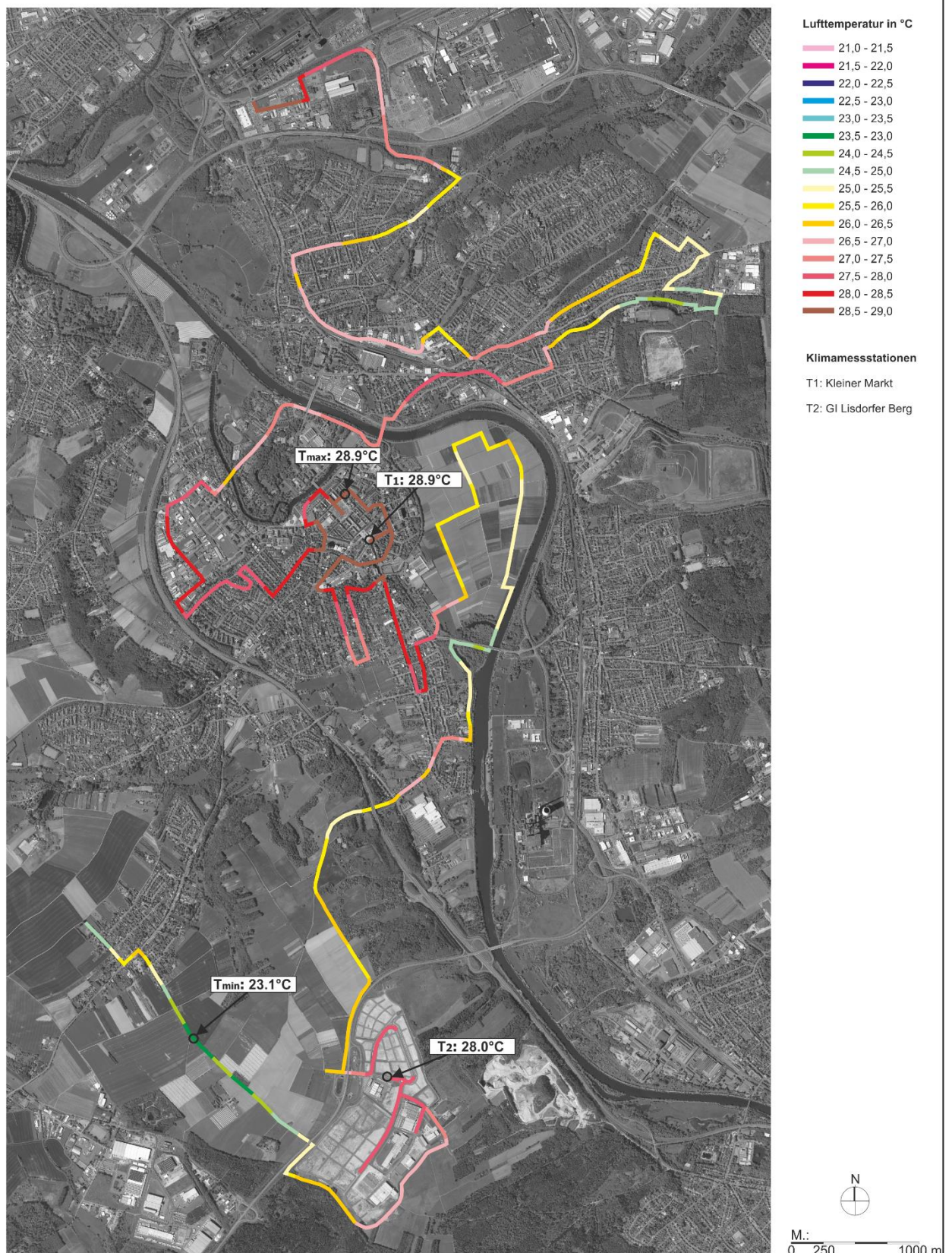


Abbildung A5: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 26.06.2019 normiert auf 23 Uhr MESZ.

Ergebnisse von Lufttemperaturprofilmessfahrten am 27.06.2019, 04:00 Uhr

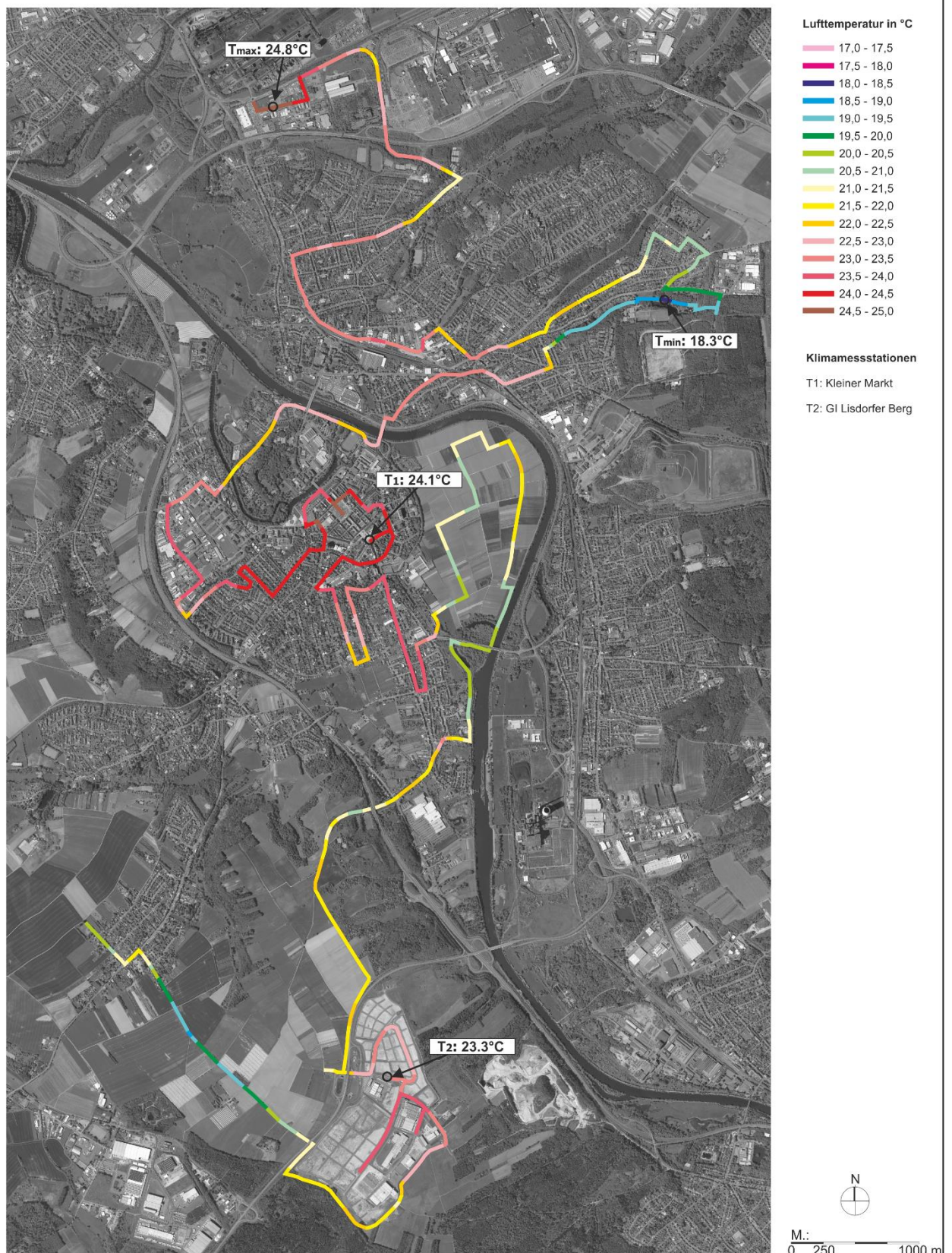


Abbildung A6: Profilmessfahrt der Lufttemperatur am 27.06.2019 normiert auf 4 Uhr MESZ.