

Stadtklimaanalyse für das Stadtgebiet von Lampertheim

(ohne Ortsteile)

SLAMP-2018-0006

November 2019

Auftraggeber (AG)

Stadt Lampertheim
Der Magistrat
Römerstraße 102
68623 Lampertheim

**Ansprechpartnerin**

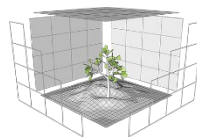
Birgit Reiner-Appelt
Tel.: +49 6206 935 333

E-Mail:

birgit.reiner-appelt@lampertheim.de

Auftragnehmer (AN)

Burghardt und Partner, Ingenieure
Am Sonnenhang 4
34128 Kassel

**BPI**

Burghardt und Partner, Ingenieure

Ansprechpartner

Dr. René Burghardt
Tel.: +49 561 76678963
E-Mail: info@lp-kassel.de

Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:

Hiermit überträgt der Auftragnehmer dem Auftraggeber die Nutzungsrechte hinsichtlich der vorliegenden Ausarbeitung

STADTKLIMAANALYSE FÜR DAS STADTGEBIET VON LAMPERTHEIM (ohne Ortsteile)

uneingeschränkt, zur öffentlichen Verwendung.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:
Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Unterschrift

René Burghardt (Dr.-Ing.)

Stempel

BPI

Burghardt und Partner, Ingenieure
Am Sonnenhang 4, D - 34128 Kassel
fon: +49 561 76678963 | fax: +49 561 9698855
info@lp-kassel.de | www.lp-kassel.de

Kassel, den 28.11.2019

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung.....	1
I.1	<i>Auftragsgegenstand</i>	<i>1</i>
I.2	<i>Beschreibung des Stadtgebiets und der Umwelt</i>	<i>1</i>
I.2.1	Geografische Lage	1
I.2.2	Stadtgliederung	2
I.2.3	Naturraum.....	2
I.3	<i>Klimatische Beschreibung des Stadtgebiets.....</i>	<i>2</i>
I.3.1	Temperatur und Niederschlag	2
I.3.2	Sommertage und Heiße Tage	4
I.3.3	Windverhältnisse.....	5
II.	Fachliche Grundlagen.....	7
II.1	<i>Stadtklima.....</i>	<i>7</i>
II.2	<i>Temperatur und die städtische Wärmeinsel.....</i>	<i>8</i>
II.3	<i>Vegetation und städtisches Grün.....</i>	<i>9</i>
II.4	<i>Wind und der städtische Luftstrom.....</i>	<i>11</i>
II.5	<i>Flurwind & Kaltluft.....</i>	<i>12</i>
II.6	<i>Städtische Belüftung – Rauigkeit und Porosität.....</i>	<i>14</i>
II.7	<i>Luftleitbahnen.....</i>	<i>16</i>
II.8	<i>Strömungsregime.....</i>	<i>17</i>
III.	Methodik und Software	18
III.1	<i>Stadtklimatische Untersuchung - Herleitung</i>	<i>18</i>
III.2	<i>Stadtklimatische Untersuchung - Ableitung der Klimafunktionskarte</i>	<i>20</i>
III.3	<i>Stadtklimatische Untersuchung – Technische Umsetzung.....</i>	<i>21</i>
III.4	GIS.....	23
III.5	KLAM_21.....	23
III.6	Airflow Analyst.....	24
IV.	Bestandsaufnahme und IST-Analyse	25
IV.1	<i>Klimarelevante Themenkarten.....</i>	<i>25</i>
IV.1.1	Topographie	25
IV.1.2	Landnutzung.....	26
IV.1.3	Vegetationsbedeckung.....	28
IV.1.4	Flurwind & Kaltluft	30
IV.1.5	Städtische Rauigkeit & Städtische Porosität	33
IV.1.6	Gebäudevolumendichte	35
IV.1.7	Sky-View Faktor	37
IV.2	<i>Klimafunktionskarte (KFK).....</i>	<i>39</i>
IV.3	<i>Städtische demographische Situation und klimatische Vulnerabilität.....</i>	<i>42</i>
IV.3.1	Demographische Situation und Verteilung im Stadtgebiet.....	42
IV.3.2	Abschätzung der Intensität klimatischer Vulnerabilität	43

V.	Stadt- und Landschaftsplanerische Analysen	45
V.1	Anteil Vegetationsbedeckung auf Flurstücksebene im Stadtgebiet.....	46
V.2	Anteil Flächenversiegelung durch Gebäude auf Flurstücksebene im Stadtgebiet.....	47
V.3	Anteil Flächenversiegelung ohne Gebäude auf Flurstücksebene im Stadtgebiet.....	48
V.4	Sonderkulturen mit temporären oder dauerhaften Folienbesatz.....	50
VI.	Klimaprojektionen	51
VI.1	RCP-Szenarien	51
VII.	Planung	55
VII.1	Planhinweiskarte (PHK).....	55
VII.2	Maßnahmensteckbriefe	57
VII.2.1	Objektmodifikationen.....	59
VII.2.2	Belüftung und Durchlüftung.....	65
VII.2.3	Aufenthaltsqualität.....	69
VII.2.4	Grünvernetzung und Entsiegelung	72
VII.3	Planungsschwerpunkte	76
VII.3.1	Eugen-Schreiber-Straße (A)	77
VII.3.2	Gleisdreieck (B).....	79
VII.3.3	Unterdorf (C)	81
VII.3.4	Biedensand Campus (D)	84
VII.3.5	Gleifweiler Gewann (E)	86
VIII.	Zusammenfassung.....	88
VIII.1	Fazit.....	91
IX.	Anlagen.....	92
IX.1	Abkürzungsverzeichnis.....	92
IX.2	Glossar	93
IX.3	Abbildungsverzeichnis.....	98
IX.4	Tabellenverzeichnis	101
IX.5	Literaturverzeichnis.....	102
IX.6	Datenverzeichnis.....	105

I. Einleitung

I.1 Auftragsgegenstand

Auftragsgegenstand ist die Erstellung einer Stadtklimaanalyse für die Stadt Lampertheim (Stadtgebiet ohne Ortsteile) sowie die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen (Maßnahmensteckbriefe) für eine klimaangepasste Stadtentwicklung. Hierfür wird zuerst eine Bestandsaufnahme der mesoklimatischen Gegebenheiten durchgeführt. Durch die Analyse vorhandener meteorologischer Messdaten, sowie weiterer digitaler Daten bspw. ATKIS-Katasterdaten, DGM, DOM, 3D-Stadtmodell, RGBI-Luftbilder, Baumkataster und Einwohnerstruktur wird der klimatische IST-Zustand des Untersuchungsraums abgebildet. Eine flächendeckende mesoskalige Modellierung sowie Analysen für ausgewählte Klimafaktoren z.B. Kaltluft, Strömungs- und Temperaturverhältnisse) dienen zur Erarbeitung von individuellen Themenkarten. Mit Hilfe dieser Themenkarten werden für die Bevölkerung zum einen belastende (Ungunst-) Faktoren, wie z.B. Überhitzungsareale (urbane Wärmeinsel), und zum anderen entlastende (Gunst-) Faktoren, wie z.B. Kaltluftentstehungsgebiete, Luftleitbahnen, Klimavielfalt herausgearbeitet. Die Ergebnisse der genannten Berechnungen und Analysen werden in einer Klimafunktionskarte (nach VDI-Richtlinie) zusammengeführt, welche die Bewertung der klimatischen Gegebenheiten der Stadt Lampertheim mittels Klimatope darstellt. Weitere Analysen (z.B. zur demographischen Vulnerabilität, Bedeutung von Grünflächen) dienen zur Identifikation von (potentiellen) klimatischen Konfliktpunkten und machen diese für eine zukünftige Stadtentwicklungsplanung sichtbar.

Mit Hilfe einer Planhinweiskarte werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Themenkarten, der Klimafunktionskarte und der verschiedenen Analysen in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Entwicklung der Stadt Lampertheim transformiert. Ausgewählte Entwicklungsvorhaben werden hierbei einer Detailbetrachtung unterzogen.

In Hinblick auf die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels werden anhand von Klimaprojektionen Aussagen zur Entwicklung des Stadtklimas und der Klimaveränderungen bis Mitte / Ende des Jahrhunderts mit Hilfe von regionalen Klimaprojektionen (basierend auf den RCP-Szenarien 8.5 und 4.5 des IPCC) getroffen.

I.2 Beschreibung des Stadtgebiets und der Umwelt

I.2.1 Geografische Lage

Geographisch liegt das Stadtgebiet Lampertheim im südhessischen Teil der Oberrheinischen Tiefebene. Der Rhein fließt in einer Entfernung von etwa 2,5 km westlich an der Ortslage vorbei. Der „Lampertheimer Altrhein“, eine ehemalige Rheinschleife, grenzt westlich unmittelbar an das Stadtgebiet an. Der Bereich zwischen dem Lampertheimer Altrhein und dem Rhein selbst ist als Naturschutzgebiet „Lampertheimer Altrhein“ ausgewiesen und eines der größten Naturschutzgebiete Hessens (siehe hierzu auch Kapitel I.2.3 Naturraum).

Die Stadt grenzt nördlich an die Gemeinden Biblis, östlich an die Gemeinden Bürstadt, Lorsch und Viernheim (alle Orte Kreis Bergstraße), im Süden an Mannheim bzw. seine Ortsteile Sandhofen und Kirschgartshausen (Baden-Württemberg) sowie im Westen an die kreisfreie Stadt

Worms und die Gemeinde Bobenheim-Roxheim (beide Rheinland-Pfalz). Lampertheim ist die drittgrößte Stadt im Kreis Bergstraße.

I.2.2 Stadtgliederung

Folgende Ortschaften gehören neben der Kernstadt als Stadtteile zur Stadt Lampertheim: Hofheim, Hüttenfeld, Neuschloß und Rosengarten. Zudem gehören die Siedlungen und Gehöftgruppen Heide, Oberlache-Rosenau, Am Küblinger Damm, Lache, An der Wormser Straße, In den Böllenruthen, In den Ruthen, Wehrzollhaus, Wildbahn und Seehof zum Stadtgebiet. Das Gemeindegebiet gliedert sich in die Gemarkungen Lampertheim, Hüttenfeld, Hofheim und Rosengarten.

I.2.3 Naturraum

Lampertheim ist mit seiner Lage im südhessischen Ried durch den Rhein im Westen sowie die Dünen- und Flugsandgebiete im Osten geprägt. Besondere Naturräume bilden die auch heute noch vom Hochwassergeschehen beeinflussten Auenlandschaften. Vor allem das ca. 516 ha große Naturschutzgebiet „Lampertheimer Altrhein“ mit dem Biedensand und der Bonaue enthält einige wichtige Lebensraumtypen wie bspw. „Magere Flachland-Mähwiesen“ oder „Hartholzauenwälder“ und bietet unterschiedlichsten geschützten Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum.

Der Lampertheimer Wald mit seinen eiszeitlichen Dünenbuckeln gehört zu einem der größten zusammenhängenden Waldgebiete in der Rheinebene.

Einen weiteren besonderen Landschaftsraum bildet die Feldflur. Die aus den eiszeitlichen Flugsanden entstandenen Böden erwärmen sich im Frühjahr schnell und bieten ideale Voraussetzungen für den Anbau des Lampertheimer Spargels und andere Sonderkulturen.

Quelle: Homepage Stadt Lampertheim: <https://www.lampertheim.de/de/bauen-umwelt/umwelt/> Zugriff: 01.07.2019

I.3 Klimatische Beschreibung des Stadtgebiets

I.3.1 Temperatur und Niederschlag

Da der Deutsche Wetterdienst (DWD) für das Stadtgebiet Lampertheim nur Klimadaten zur Niederschlagsmenge vorliegen hat, wurden für eine Verdeutlichung der klimatischen Verhältnisse im Bereich des Stadtgebiets Lampertheim, die Klimadaten der Messstationen Worms und Mannheim herangezogen. Diese beiden Messstationen wurden ausgewählt, da sie ähnliche Umgebungsstrukturen wie Lampertheim aufweisen.

Um einen Überblick der klimatischen Verhältnisse und der Klimaveränderungen bezüglich Temperatur und Niederschlag für Lampertheim zu erhalten, wurden die Daten der vieljährigen Mittel zwischen den Jahren 1961 bis 1990, 1971 bis 2000 und 1981 bis 2010 herangezogen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Gutachtens lagen keine bereinigten Daten bezüglich der Parameter Temperatur und Niederschlag vom DWD bis 2019 vor.

Die Zeitreihen beider Stationen (siehe Abbildung 1 & Abbildung 2) verdeutlichen die bereits stattgefundenen klimatischen Veränderungen, welche sich insbesondere während der Sommermonate in einer Abnahme des durchschnittlichen Niederschlags und einem Anstieg der Durchschnittstemperatur ausdrücken. Im Vergleich zum bundesweiten langjährigen Mittel von

789 l/m² liegt die Region Lampertheim mit 676 l/m² (Mannheim), respektiv 593 l/m² (Worms) zwischen 113 l/m² und 196 l/m² unter dem bundesweitem Durchschnitt. Im Kontext der Jahresdurchschnittstemperatur liegt die Region Lampertheim mit 10,6 °C (Mannheim), sowie ebenfalls 10,6 °C (Worms) über dem langjährigen zusammengefassten Mittel der Bundesländer Hessen, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz von 9,13 °C.

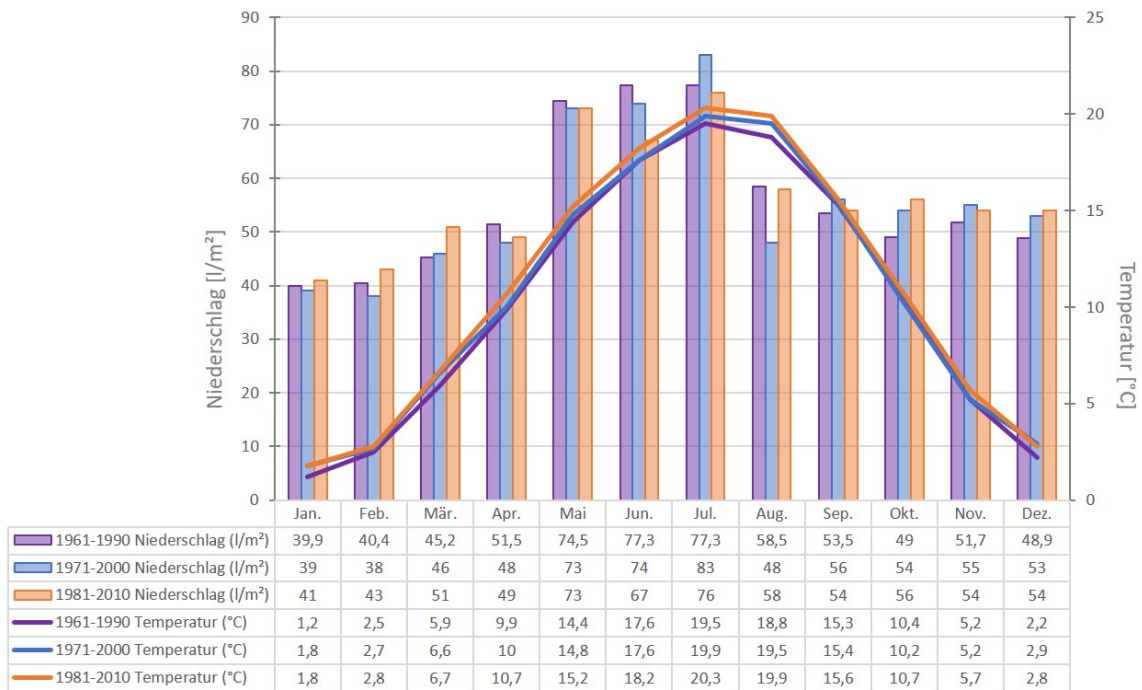


Abbildung 1: Monatliche Temperatur und Niederschlagsmenge im Stadtgebiet Mannheim im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010

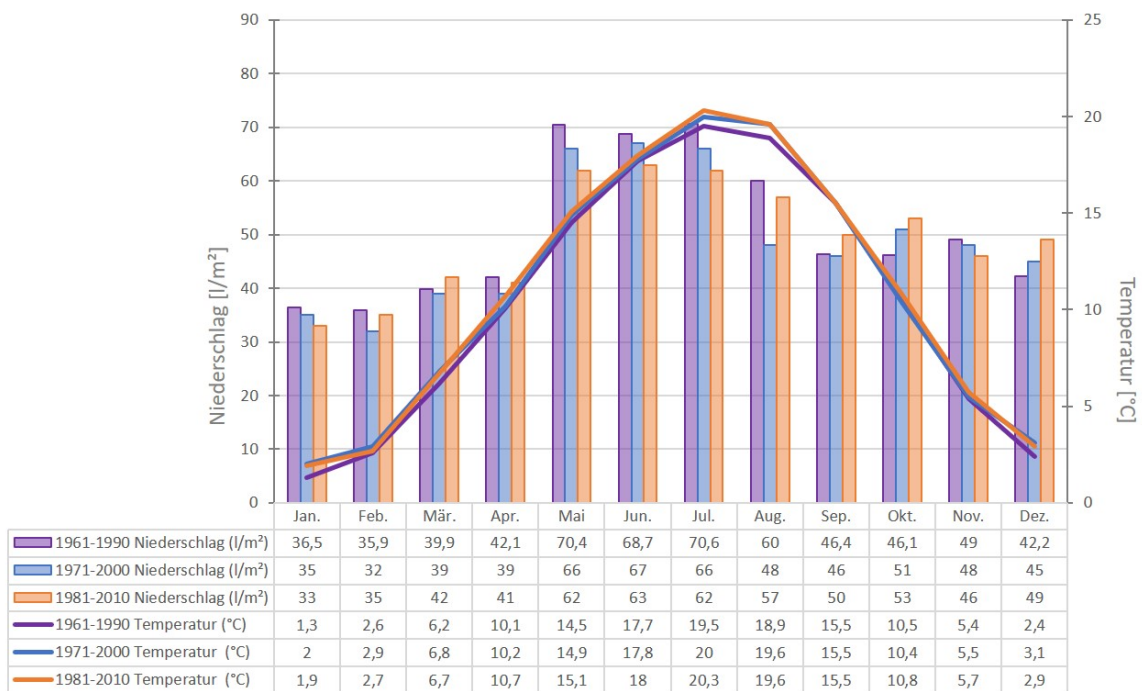


Abbildung 2: Monatliche Temperatur und Niederschlagsmenge im Stadtgebiet Worms im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010

I.3.2 Sommertage und Heiße Tage

Die Anzahl der Sommertage wie auch Heißen Tage sind nützliche Indikatoren zur Identifizierung besonderer thermischer Belastungen am Tag (primär für den Menschen). Dabei werden Tage mit einem Tagesmaximum von über 25 °C als Sommertage, und über 30 °C als Heiße Tage klassifiziert. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Anzahl der Sommertage und Heißen Tage für die Stationen Mannheim sowie Worms im vieljährigen Mittel. Vergleicht man die Zeitreihen 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010 miteinander, wird die Zunahme der Sommertage wie auch Heißen Tage insbesondere während der Monate April bis August deutlich. Erwartungsgemäß zeigen sich in den verbleibenden Monaten keine erkennbaren Änderungen. Aus der Abbildung 3 und Abbildung 4 lässt sich ableiten, dass es bereits in den vergangenen 60 Jahren zu einer merklichen Veränderung der (insbesondere) sommerlichen klimatischen Verhältnisse gekommen ist, die sich durch längere Trockenperioden und einer steigenden Wärmebelastung charakterisieren lässt. Unter Berücksichtigung der aktuellen Erkenntnisse zum Klimawandel und der zugrundeliegenden Klimaszenarien (siehe Kapitel VI.1), ist von einer Intensivierung der bereits bestehenden Trends auszugehen.

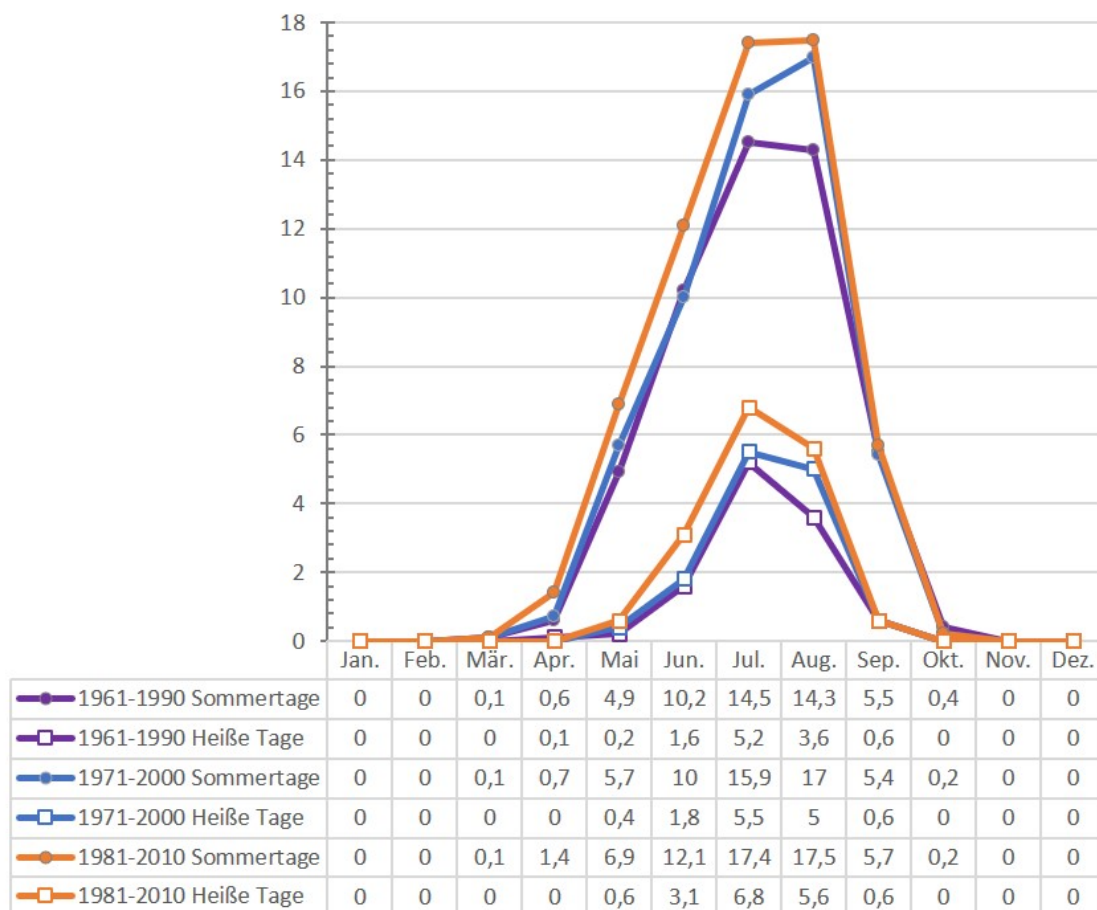


Abbildung 3: Anzahl der Sommertage sowie Heißen Tage im Stadtgebiet Mannheim im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010

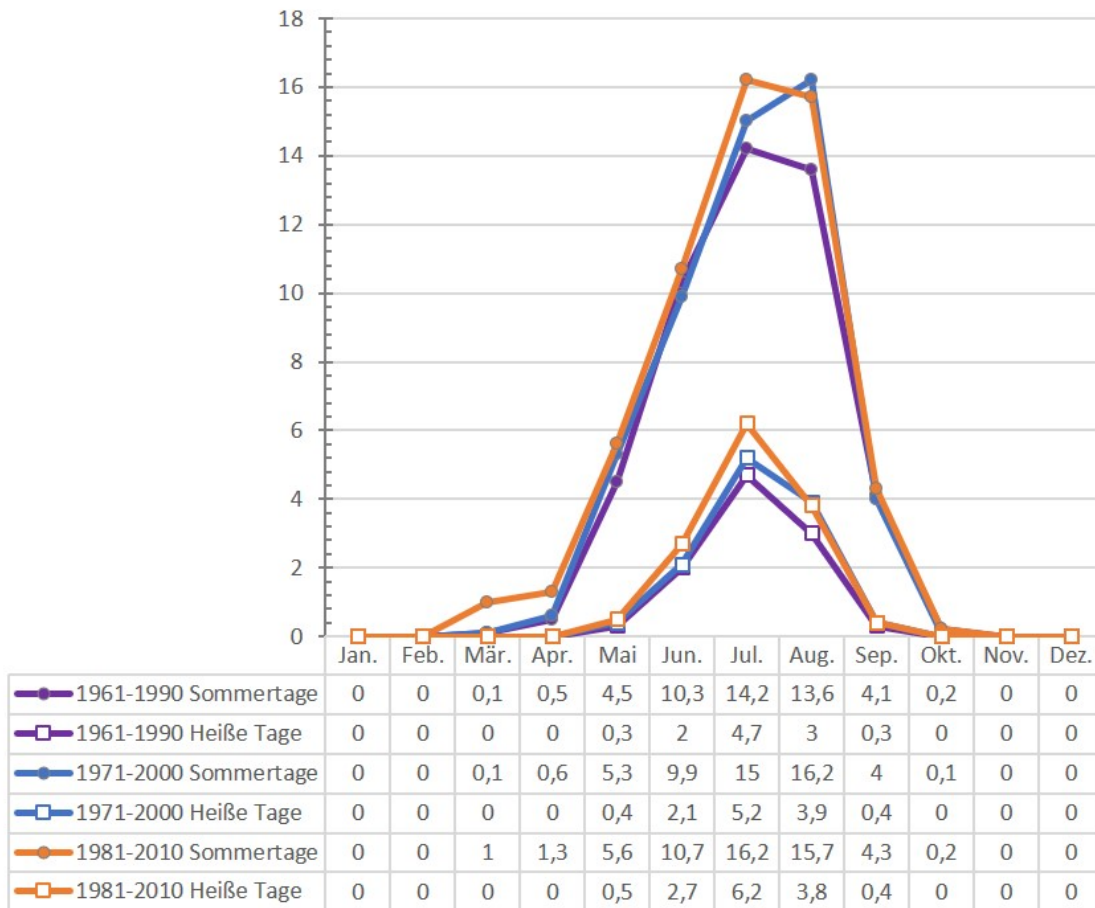


Abbildung 4: Anzahl der Sommertage sowie Heißen Tage im Stadtgebiet Worms im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010

I.3.3 Windverhältnisse

Die Region Lampertheim ist durch eine starke Südwest-Komponente geprägt. Abbildung 5 beschreibt die vorherrschenden Windrichtungen entsprechend der Anzahl der Stunden im Jahr an denen diese vorkommen. Dabei ist die Ausprägung für den Bereich von Südsüdwest bis Westsüdwest im Jahresmittel dominant. Ergänzt wird dieses Bild durch eine Ostnordost-Komponente, welche jedoch im Jahresdurchschnitt wesentlich seltener vorkommt. Auftretende (Schwach)Windsituationen (0 km/h bis < 5 km/h) entfallen ebenfalls auf die Südwest- und die Nordost-Komponenten. Es zeigt sich jedoch eine leicht stärkere Ausprägung der Ostnordost-Komponenten.

Betrachtet man den Jahresgang im Monatsmittel, nach Anzahl der Tage (siehe Abbildung 6) hinsichtlich der auftretenden Windgeschwindigkeiten, so wird eine windschwächere Situation in den Sommermonaten von Mai bis September deutlich. Windextreame sind reduziert bei gleichzeitiger Intensivierung der Bereiche > 12 km/h und 19 km/h. Eine besonders starke Ausprägung einer Schwachwindsituation in den Sommermonaten findet jedoch nicht statt. Während der Monate Oktober bis März zeigt sich eine zunehmend heterogene Verteilung der Windgeschwindigkeiten gegenüber dem restlichen Jahr.

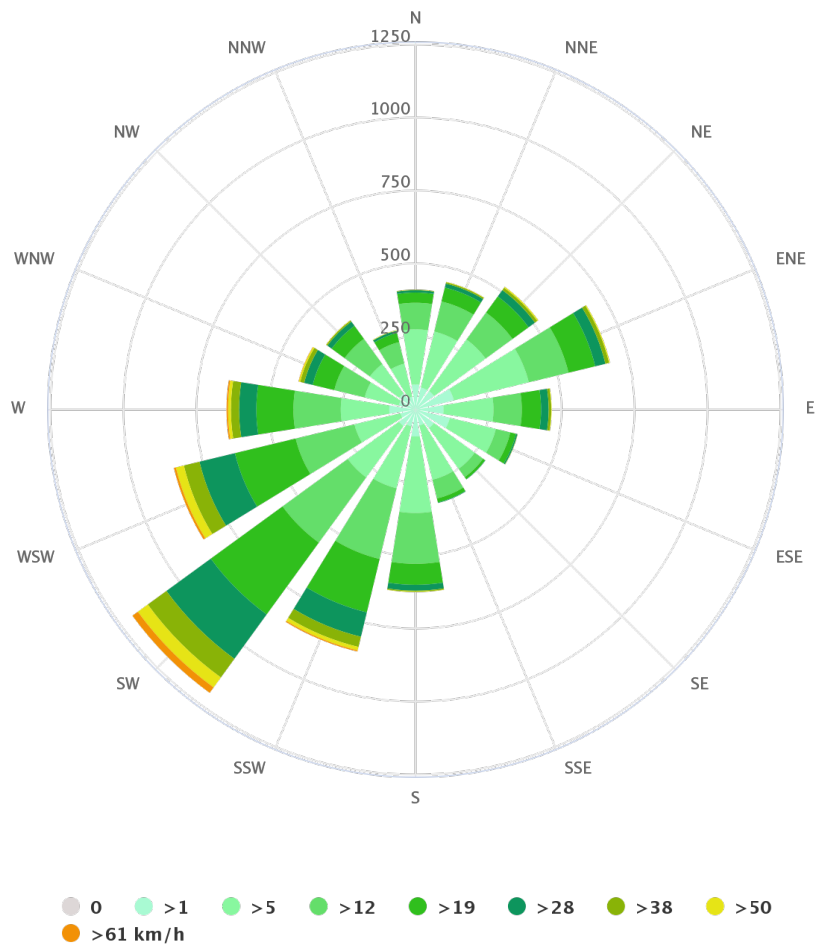


Abbildung 5: Verteilung und Intensität der Windrichtung im Jahr für die Stadt Lampertheim (DWD, 2019)

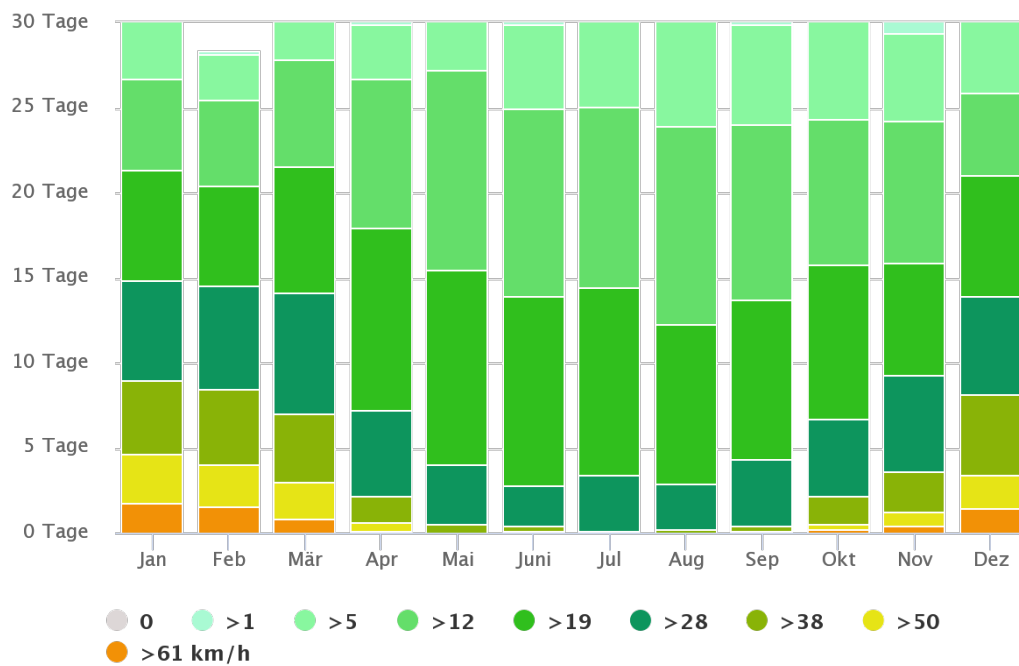


Abbildung 6: Windgeschwindigkeiten (km/h) im Jahresgang nach Monaten für die Stadt Lampertheim (DWD, 2019)

II. Fachliche Grundlagen

II.1 Stadtklima

Der städtische Siedlungsraum verursacht im Vergleich zu seiner nicht bebauten Umgebung mikro- und mesoklimatische Veränderungen, die allgemein unter dem Begriff Stadtklima zusammengefasst werden. Es handelt sich hierbei um eine anthropogene Klimamodifikation, die durch die Wechselwirkung mit der Bebauung sowie durch Abwärme und Luftbeimengungen hervorgerufen wird (Hupfer und Kuttler 1998).

Einige dieser Klimatelemente unterscheiden sich stadtteilbezogen nur wenig (z.B. Sonneneinstrahlung, Niederschlag), während andere, bspw. bedingt durch das Wärmespeichervermögen von Baustoffen, der Versiegelung des Bodens sowie durch anthropogene Abwärme, zum Teil recht große räumliche Unterschiede aufweisen (z.B. in Temperatur und Windverhältnisse). Kleinräumliche Unterschiede sind im Bereich von Gebäuden, Straßenzügen und Grünanlagen zu finden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkung (rechte Spalte) im städtischen Raum.

Parameter Ursache	Wirkung Risiko
Beeinflussung durch Oberflächengeometrie, die aerodynamische Rauigkeit sowie durch den Wärmeinseleffekt	Windfeldveränderung, Turbulenzen
Oberflächenversiegelung, geringer Grünflächenanteil	reduzierte Verdunstung
Oberflächenversiegelung	reduzierte Retentionsfähigkeit (kumulativ)
reduzierte Retentionsfähigkeit	Gefahr von Überschwemmungen
Reduzierte Verdunstung & erhöhte Wärmespeicherung durch Bebauung	Temperaturerhöhung
Temperaturerhöhung	Vorhandensein wärmeliebender Pflanzenarten
Temperaturerhöhung	Hitzestress, thermische Belastung
Temperaturerhöhung	Anstieg der hitzebezogenen Vulnerabilität unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen
..	..

II.2 Temperatur und die städtische Wärmeinsel

Hinsichtlich der Temperatur tragen Städte stets zu einer Erwärmung bei, was jedoch nicht als eine generell negative Eigenschaft des Stadtklimas verstanden werden muss. Städte sind im Jahresmittel um 1 bis 2 Grad Celsius wärmer als die sie umgebende Landschaft (Matzarakis et al. 2008; Kuttler 2011).

Bebauung und die damit einhergehende Bodenversiegelung beeinflusst langfristig den Mittelwert der Lufttemperatur. Eine 10%ige Erhöhung des Versiegelungsgrads in einem Quartier resultiert beispielsweise in einer langfristigen Anhebung des Lufttemperaturmittelwerts um ca. 0,2°C gegenüber der unbebauten Umgebung. Einzelne Tageswerte (Lufttemperaturminimum und -maximum) bei Strahlungswetterlagen unterliegen einer noch größeren Steigerung (Bründl et al. 1986).

Neben der eigentlichen Bebauung spielen auch die Materialeigenschaften (Absorptionsvermögen, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Verdunstungsfähigkeit) der unterschiedlichen Oberflächen sowie die Anordnung (Verschattung, verringerte Wärmeabstrahlung) und Ausmaße von Gebäuden in Bezug auf die Temperaturverhältnisse im urbanen Gebiet eine wichtige Rolle.

Ein Ergebnis der Wechselwirkungen dieser unterschiedlichen Faktoren und Effekte ist die städtische Wärmeinsel. Sie zeichnet sich durch eine starke Aufwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts wieder.

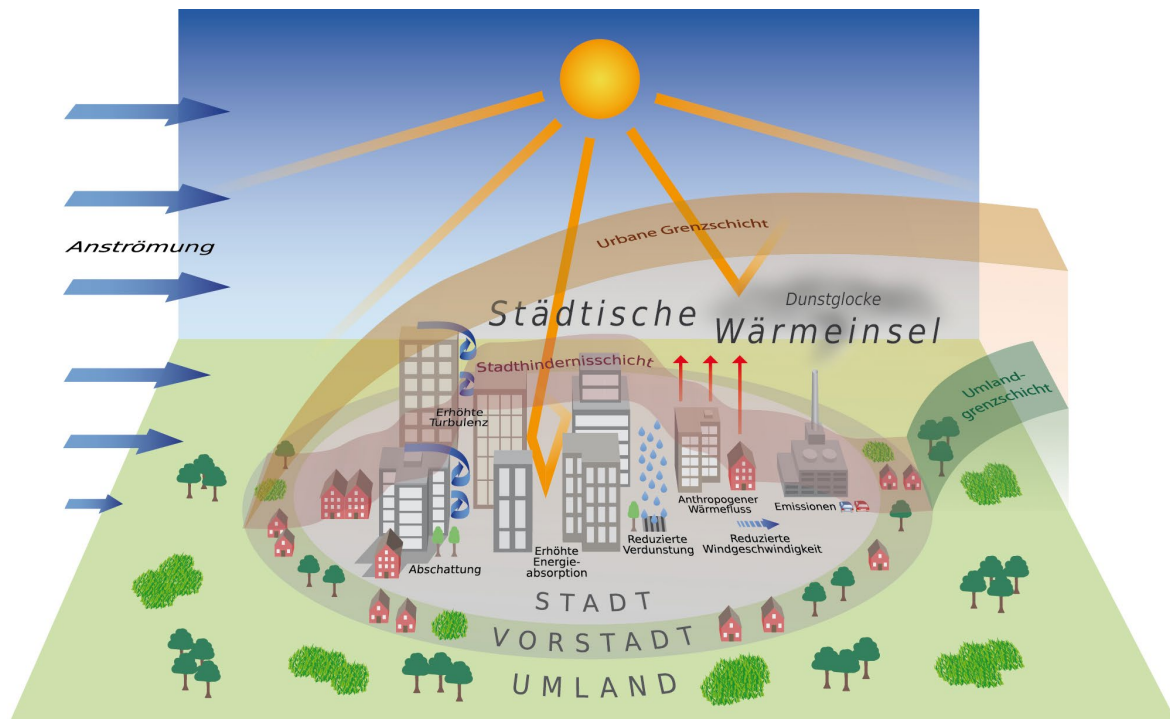


Abbildung 7: Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017).

II.3 Vegetation und städtisches Grün

Urbanes Grün erfüllt eine Vielzahl verschiedener Funktionen, die das städtische Klima und die Lufthygiene positiv beeinflussen. Auf das Stadtklima bezogen spielt es vor allem bei Verdunstungsprozessen und der Verhinderung der Bodenversiegelung (Retentionseigenschaften) eine wichtige Rolle. Städtische Vegetation bestimmt aber auch die urbane Struktur und hat eine soziale und ästhetische Funktion, wodurch die Identität der Stadt geprägt und die Lebensqualität der Bewohner beeinflusst wird.

Bei typischer urbaner Vegetation handelt es sich in der Regel um

- punktuelle oder flächige Grünstrukturen (Parks, Sportplätze oder Friedhöfe) oder
- lineare Elemente (begrünte Straßen oder Flussläufe),

die wieder zunehmend durch

- Fassadenbegrünungen (bodengebunden oder fassadengebunden) oder
- Dachbegrünungen (extensiv oder intensiv)

ergänzt werden.

Oft wird ein großer Teil des städtischen Grüns von Rasenflächen eingenommen. Bei guter Wasserversorgung weisen diese an Strahlungstagen im Vergleich zu angrenzenden versiegelten Flächen wesentlich niedrigere Oberflächentemperaturen und damit niedrigere Lufttemperaturen auf. Bei schlechter Wasserversorgung heizt sich Kurzgras allerdings stark auf, sodass von einer Kühlwirkung nicht mehr gesprochen werden kann. (Hupfer und Kuttler 1998). Wiesen, d.h. Vegetationsflächen mit größeren Wuchshöhen, können den Boden vor einer zu starken Überhitzung schützen. Auch die Oberflächentemperatur ist hier durch Eigenverschattung geringer. Eine extensive Pflege bzw. Mahd ermöglicht ein tieferes Vordringen der Wurzeln in den Boden, um die Versorgung mit Wasser und Nährstoffen aus tieferen Bodenschichten zu gewährleisten.

Ihre größte thermische Wirkung besitzen Rasenflächen abends und nachts, wenn, aufgrund der isolierenden Wirkung des Grasfilzes der Bodenwärmestrom gering und die Ausstrahlung hoch ist. Diese Rasenareale kühlen dann sehr stark ab und heben sich als innerstädtische Kaltluftflächen (vgl. Kapitel II.5) heraus. Baum- und strauchbestandene innerstädtische Flächen können, die oben genannten positiven klimatischen Effekte noch weiter verstärken, da sie neben ihrer Transpiration auch durch ihren Schattenwurf tagsüber für niedrigere Temperaturen sorgen. Nachts hingegen stellen sich dort höhere Temperaturen als auf einer Rasenfläche ein. Die relative Luftfeuchte ist in einem Stadtwald höher als über einer urbanen Rasenfläche. Die Ursache hierfür liegt in der Lufttemperatur und der Windstille im Baumbestand. Baumbestandene Flächen transpirieren im Vergleich zu Kurzgras mit 40% - 70% (je nach Baumart) deutlich mehr. Außerdem weisen sie nach Niederschlägen wegen ihres größeren Interzeptionsvolumens eine höhere Evaporationsrate als Rasenflächen auf. Da der größte Teil der Globalstrahlung bereits vom Kronendach absorbiert wird, steht tagsüber weniger Energie für die Bodenerwärmung und Speicherung zur Verfügung als bei Rasenflächen, Wiesen oder gar versiegelte Oberflächen. Ferner bewirken Baumbestände eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit (vgl. 0), wodurch Aerosole und Stäube, aber auch Gase aus der vorbeiströmenden Luft ausgefiltert werden können (Hupfer und Kuttler 1998). Unter klimatischen Gesichtspunkten nehmen bereits kleinräumige Grünflächen Einfluss auf das Mikroklima. Ab wann jedoch ein deutlicher „Abstrahlungseffekt“ entsteht, hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab. Dimoudi und Nikolopoulou (2003) haben die Klimarelevanz für Vegetationsflächen von min. 10 m x 10 m untersucht und nachgewiesen.

Um Vegetation in einem definierten Untersuchungsraum quantitativ, aber auch bis zu einem gewissen Grad qualitativ bestimmen zu können, werden, in Ergänzung zu den Landnutzungsdaten, zusätzlich digitale Orthophotos (mit Infrarotband) genutzt.

Vegetation verfügt über eine sehr charakteristische spektrale Signatur. Während die Blau – und Rotbereiche des sichtbaren Lichts vom Chlorophyll der Pflanzen absorbiert und zur Photosynthese genutzt werden, werden der Grün- und besonders der Nahinfrarotbereich reflektiert (siehe Abbildung 8). Das so erzeugte Reflexions-Spektrum unterscheidet sich deutlich von anderen Landnutzungen (siehe Abbildung 9).

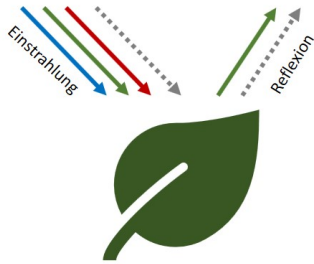


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Absorption und Reflexion von Vegetation.

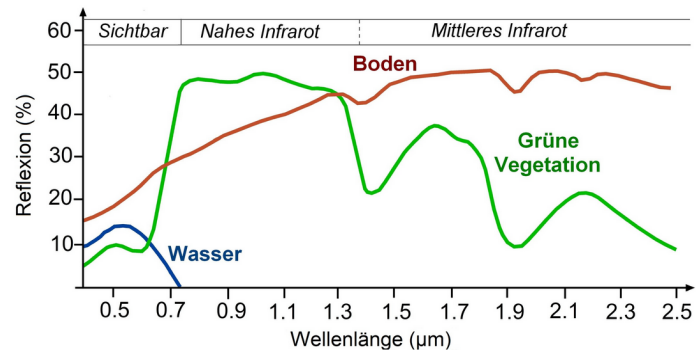


Abbildung 9: Reflexion von Wasser, Boden und Vegetation bei verschiedenen Wellenlängen (SEOS 2019).

Die Differenzierung zwischen einzelnen Vegetationsklassen (z.B. Laub- und Nadelbäume), zum Teil bis zur Artenunterscheidung, ist prinzipiell durch eine tiefergehende Analyse und Feinjustierung der Methodik möglich.

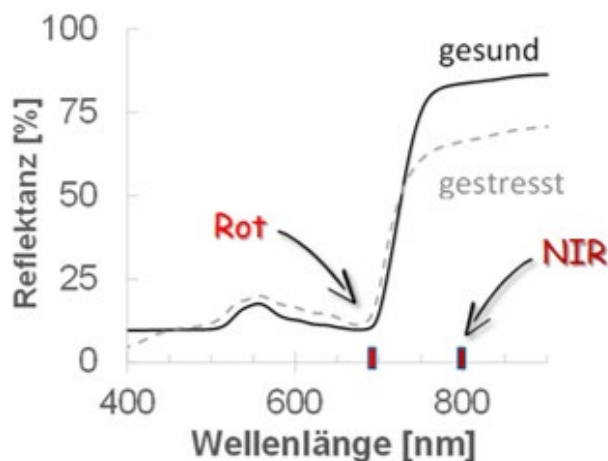


Abbildung 10: Unterschiedliche Reflektanzkurven am Beispiel eines gesunden und eines geschädigten Eichenblatts (Kokaly et al 2017). Im Nahinfrarotbereich zeigt die gestresste Pflanze (gestrichelte Linie) eine deutliche Abnahme der Reflexion.

Gleichzeitig können, über das Maß der infraroten Rückstrahlung der Vegetation, Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Pflanzen angestellt werden (siehe Abbildung 10). Geschädigte Vegetation weist eine deutlich reduzierte Infrarotrückstrahlung im Vergleich zu gesunder Vegetation auf.

II.4 Wind und der städtische Luftstrom

Die Unterscheidung zwischen ländlichem und städtischem Gebiet spielt im Hinblick auf den Faktor Wind eine große Rolle. Morphologische (vgl. II.6 und Abbildung 11) sowie thermische Charakteristika des urbanen Raums führen dort zu einer Veränderung der Windverhältnisse hinsichtlich der Windgeschwindigkeit sowie der Windrichtung.

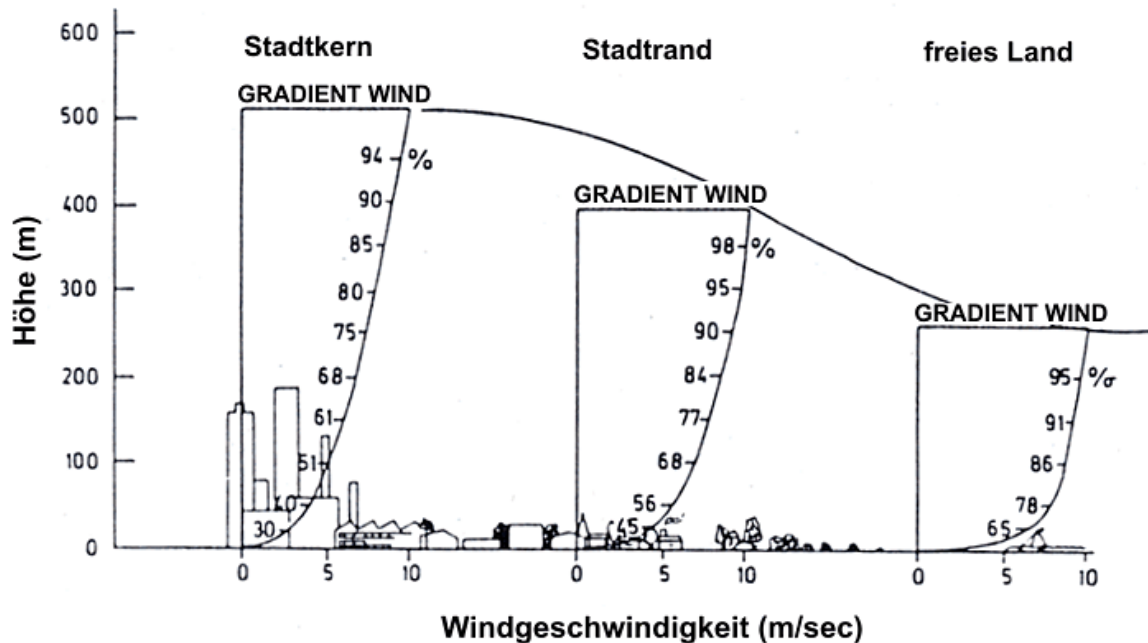


Abbildung 11: Vertikales Windprofil über der Innenstadt, Stadtrand und Freiland; (Robel et al., 1978)

Gleichfalls können lokale Windsysteme, die sich besonders bei schwachem überregionalem Wind ausbilden, die Luftbewegungen in der Stadt beeinflussen. Hierbei wird zwischen topographisch bedingten Systemen und durch Bebauung bedingten Windsystemen unterschieden (VM BW 2012).

Stark durch das vorliegende Relief geprägte Windsysteme (topographisch) sind z.B. Hangwinde sowie Berg- und Talwinde (siehe Abbildung 12). Vor allem bei Städten in Tal- und Kessellagen sind diese Zirkulationssysteme von Bedeutung, da sie die Frischluftzufuhr und den Abluftabtransport (z.B. hinsichtlich Schadstoffe) fördern.

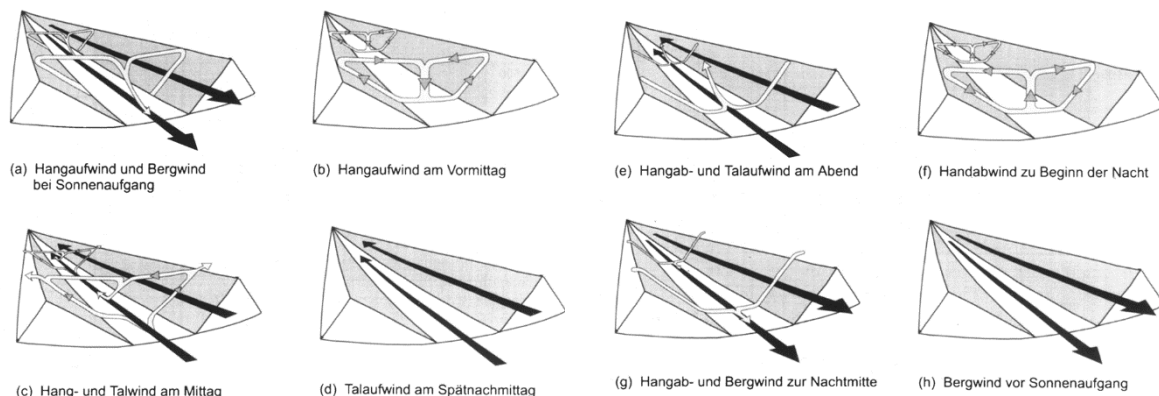


Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung der Zirkulation von Hang- sowie Berg- und Talwinden in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cehak 1979).

II.5 Flurwind & Kaltluft

Neben den durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen sogenannte Flurwinde aus. Das Flurwindssystem beschreibt Druckausgleichsströmungen zwischen verschiedenen Fluren (z.B. Stadt-Umland) wodurch das - durch Bebauung bedingte Windsystem - in diese Kategorie fällt. Sie sind an ein flaches Relief, bzw. an hindernisarme Freiflächen (Leitbahnen) gebunden. Flurwinde entstehen, wenn sich (insbesondere) durch die Überwärmung bebauter, bzw. versiegelter Gebiete – und dem damit einhergehenden konvektiven Aufstieg von Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut (siehe Abbildung 13). Der entstehende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Druckausgleichsströmung).

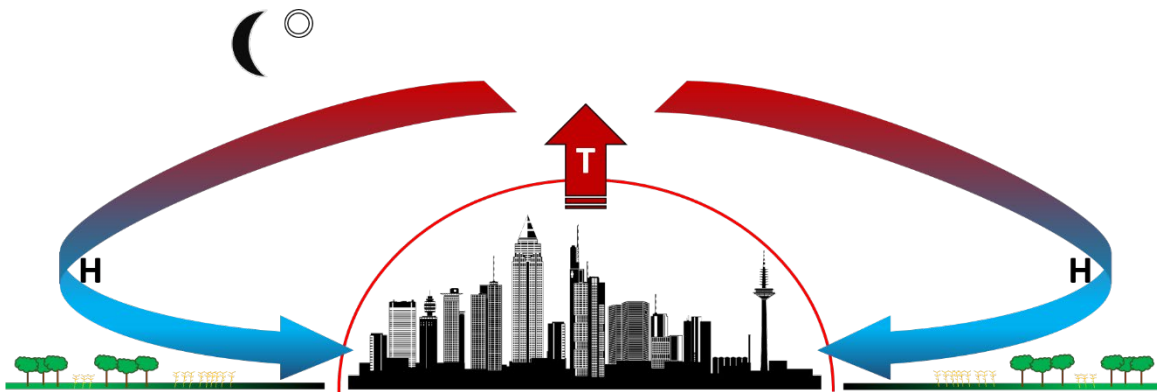


Abbildung 13: Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.

Im Gegensatz zu den topographischen Windsystemen ist dieses System eher in Städten mit einem flachen Relief zu finden. Es unterstützt aber gleichfalls die Kalt- und Frischluftzufuhr und den Luftabtransport, allerdings sind Flurwinde in der Regel in ihrer Intensität schwach ausgeprägt.

Auf mikro- und mesoskaliger Ebene (vgl. Planungsebenen Seite 19 Abbildung 17) beschreibt die Kaltluftentstehung den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Die Entstehung der Kaltluft beginnt während des Sonnenuntergangs, bedingt durch die fehlende solare Einstrahlung sowie die gleichzeitige thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht, und dauert bis in die frühen Morgenstunden an.

Durch die höhere Dichte der erkalteten Luft verhält sie sich ähnlich einer Flüssigkeit und strömt in Abhängigkeit vom Gefälle in tiefere Regionen. Eine signifikante Strömungsdynamik entwickelt sich ab ca. 1° bis 2° Gefälle und wird von der Rauigkeit (vgl. II.6) der überströmten Bodenschichten (siehe Tabelle 3) beeinflusst.

Das Entstehungsgebiet sowie die Kaltluftproduktionsrate werden von dem vorhandenen Untergrund bestimmt. Hierbei fördern besonders unversiegelte Freiflächen (z.B. Wiesen, Brachen, Grünflächen etc.) mit einer niedrigen Vegetationshöhe die Kaltluftproduktion. Liegen diese Areale in einem reliefierten Gebiet (z.B. unbebaute Hänge), werden die Kaltluftmassen über die topographischen Windsysteme (Hang- und Bergwinde) abgeleitet. Allerdings können Hindernisse, in Abhängigkeit ihrer Ausprägung (Länge, Höhe, Ausrichtung), den Kaltluftabfluss behindern oder auch komplett zum Erliegen bringen (siehe Abbildung 14).

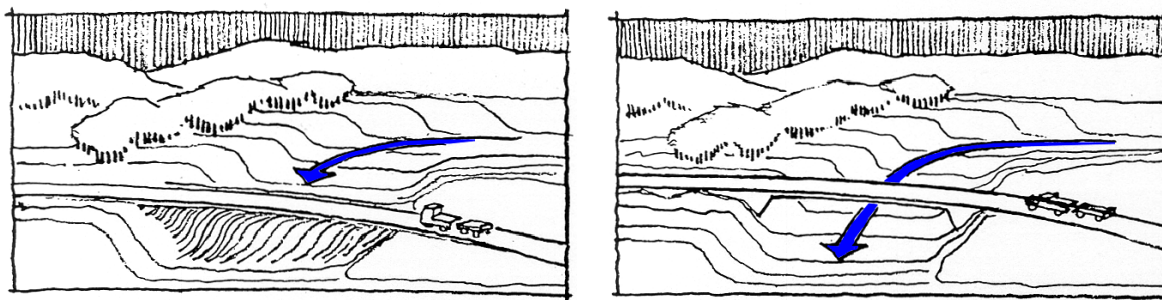


Abbildung 14: Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).

Fehlendes Gefälle bei diesen Kaltluftentstehungsflächen reduziert die Kaltluftproduktion nicht, limitiert allerdings den Wirkungsbereich durch den fehlenden Kaltluftabfluss. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde (vgl. Kapitel 0) den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark geneigten Flächen (LANUV NRW 2018) tragen ebenfalls zur Kaltluftproduktion bei. Durch die Neigung des Geländes wird die Durchströmung des kühleren Stammraums (Aufheizung wird durch die Baumkronen verringert) unterstützt, wodurch der Kaltluftabfluss aus dem bodennahen Waldbereich möglich wird. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von über 30 Metern anwachsen.

In Tabelle 2 werden Ergebnisse verschiedener Studien zur Kaltluftentstehung in Abhängigkeit von Boden zu Volumen auf Fläche und Zeit wiedergegeben. Trotz der abweichenden Angaben zu den einzelnen Produktionsraten kann zusammenfassend abgeleitet werden, dass die bereits oben genannten natürlichen, unversiegelten Untergründe für die Kaltluftentstehung entscheidend sind. Zudem kann eine geringe Bodenrauheit (keine bodennahen Hindernisse wie. z.B. Mauern, dichte Büsche, etc.) zu einem besseren Abflussverhalten am Hang führen, wodurch der Einflussbereich steigt. Im Durchschnitt wird den Acker- und Wiesenflächen das höchste Kaltluftentstehungspotential zugeordnet.

Tabelle 2: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds.

	Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter Boden pro Stunde ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$)			
	Acker	Wiese	Wald	Siedlung
King (1973)	/	12	/	/
Gross (1987, 1989)	11	11	13	/
GEONet (2002)	10 - 20	/	5 – 40	/
GEONet (2011)	10 - 15	20	15	1

In der Regel handelt es sich bei diesen Luftmassen um weniger stark belastete Luft, weshalb sie auch im Zusammenhang mit dem städtischen Luftaustausch als „Frischluff“ bezeichnet wird.

Besonders für urbane Räume in Kessel- oder Hanglagen ist die Kaltluftentstehung und deren Transport für die thermische Regulierung des Stadtklimas und der Luftreinhaltung von großer Wichtigkeit. Die Richtlinie 3787 Blatt 5 des VDI (VDI 2003) unterstreicht diese Bedeutung mit der Forderung, Kaltluftentstehung und Kaltluftabflüsse in der Stadt- und Regionalplanung zu berücksichtigen.

II.6 Städtische Belüftung – Rauigkeit und Porosität

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt verändert das urbane Profil die Windverhältnisse hinsichtlich der Windgeschwindigkeit sowie der Windrichtung. Die größere Oberfläche und Rauigkeit (Oberflächen- oder Terrainstruktur) einer städtischen Bebauung bewirkt durch die erhöhte Reibung eine Verminderung der Windgeschwindigkeit (bis zu 30 % im Jahresmittel). Insbesondere nimmt die Häufigkeit von Windstillen um bis zu 20 % zu, was auch zu einer Verminderung des Luftaustausches führt und damit den Schadstofftransport behindert (VM BW 2012).

Hinsichtlich der Rauigkeit einer Oberfläche oder eines Terrains sind zwei Parameter von Relevanz, zum einen die Rauigkeitslänge (Z_0) und zum anderen die Nullpunktverschiebung (Z_d). Typische Werte beider Rauigkeitsparameter für unterschiedliche Beispiele werden in Tabelle 3 wiedergegeben. Bei Z_0 handelt es sich um eine fiktive Höhe über dem Boden, in der die Windgeschwindigkeit theoretisch gleich Null ist. Z_d beschreibt den vertikalen Versatz von Z_0 (siehe Abbildung 15). Je höher die Werte von Z_0 und Z_d , desto stärker wird das Windprofil verformt, was u.a. eine Verminderung der Windgeschwindigkeit im Urban Canopy Layer (UCL) zur Folge hat. Der UCL beschreibt in der Stadt die Atmosphärenschicht zwischen Erdoberfläche und mittlerer Hausdachhöhe (Stadthindernisschicht), also den typischen Lebensraum für Menschen in der Stadt.

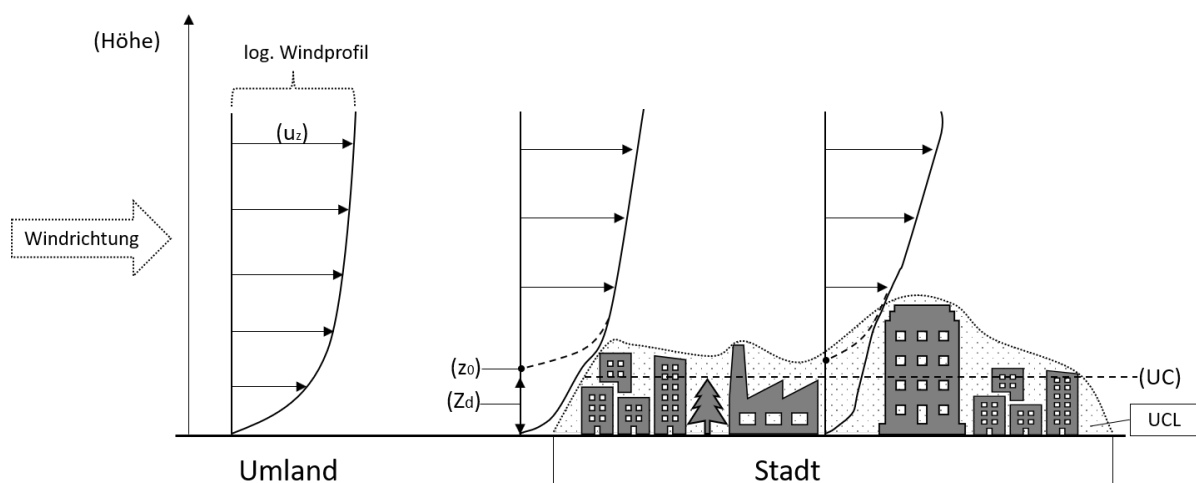


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC).

Tabelle 3: Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017)

	Oberfläche / Terrain	Rauigkeitslänge (Z_0)	Nullpunktverschiebung (Z_d)
rural	Eis, geteerte Fahrbahn	0,001 – 0,01mm	--
	Schnee, Wasser	0,1 – 1mm	--
	blanker Boden, geschnittenes Gras*	0,01 – 0,02m	--
	Gras*, Stoppelfeld	0,03 – 0,06m	0,1 – 0,3m
	Ackerland, Pflanzenbestand*	0,05 – 0,15m	0,2 – 0,7m
	Plantagen*, Buschland*	0,4 – 1m	1,3 – 2,5m
	Wald*	0,8 – 2m	9 – 24m

	Oberfläche / Terrain	Rauigkeitslänge (Z_0)	Nullpunktverschiebung (Z_d)
urban	niedrige Höhe und Dichte Häuser, Gärten, Bäume, Warenhäuser	0,3 – 0,8m	2 – 4m
	mittlere Höhe und Dichte Reihenhäuser, Stadtzentren	0,7 – 1,5m	3,5 – 8m
	hoch und hohe Dichte weniger als sechs Stockwerke, Reihen- und Block-Gebäude	0,8 – 2m	7 – 15m
* abhängig von der Windgeschwindigkeit, da Vegetation flexibel ist			

Die städtische Porosität (Ph_{var}) beschreibt den Zustand des offenen 3-dimensionalen Raums im Verhältnis zum bebauten Volumen. Ph_{var} wird parallel zu den Rauigkeitslängen (Z_0) und der Nullpunktverschiebung (Z_d) berechnet und basiert auf dem Ansatz der „Frontal Area Analyse“ (Unger 2009). Für die Berechnung der Porosität ist die vorherrschende Windrichtung nicht von Relevanz, da hierbei der 3-dimensionale Raum und die in ihm enthaltenen Baumassen untersucht werden.

Ergänzend zu den dynamischen Faktoren Z_0 und Z_d , die eine direkte Aussage über die Rauigkeit bzw. den Reibungsverlust treffen (vgl. II.6), zeigt die urbane Porosität (Ph_{var}) das Potential einer möglichen Durchlüftung an.

Damit ist Ph_{var} alleinstehend von größerer planerischer Relevanz als die Rauigkeitslänge und die Nullpunktverschiebung.

Die Einteilung der städtischen Porosität geschieht im Wertemaßstab von 0 bis 1, wobei 1 die höchste Porosität und 0 die niedrigste Porosität des 3-dimensionalen Raums darstellt.

Das heißt, je höher der Wert, desto geringer ist der Windwiderstand des Bereichs.

Mit Hilfe der berechneten städtischen Porosität können klare Planungshinweise abgeleitet werden. Durch die Erfassung mehrerer Bereiche mit einer hohen Porosität können Durchlüftungspotentiale definiert und in der Klimafunktionskarte dargestellt werden.

Darüber hinaus dienen die Ergebnisse der Themenkarte als Informationsbasis, um Potentiale und Möglichkeiten zur Schaffung einer besseren Durchlüftung in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen.

II.7 Luftleitbahnen

Sowohl der horizontale wie auch der vertikale Luftmassentransport regulieren die Belüftung des bodennahen Raums, ganzjährig relevant für die Durchlüftung von städtischen Gebieten ist jedoch nur die horizontale Luftströmung. Von besonderer stadtklimatischer Relevanz sind diese Luftströmungen besonders in den Nacht- und Vormittagsstunden bei austauscharmen Hochdruckwetterlagen. Diese Wettersituationen verstärken die typischen Eigenschaften des Stadtklimas, wodurch die thermische und lufthygienische Belastung der Bevölkerung gesteigert wird (Mayer 1992).

Stadtklimarelevante Luftleitbahnen ermöglichen besonders bei austauscharmen Wetterlagen das Ein- und Durchdringen vorhandener schwacher Horizontalströmungen in den UCL. Eine räumlich umfangreichere Möglichkeit zur Verminderung thermischer und lufthygienischer Belastungen innerhalb des Stadtraums liegt in der Freihaltung beziehungsweise Schaffung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen im UCL.

Entsprechend ihrer thermischen und lufthygienischen Eigenschaften sowie der thermischen und lufthygienischen Qualität der transportierten Luftmassen werden stadtklimarelevante Luftleitbahnen in

- Ventilationsbahnen
- Frischluftbahnen und
- Kaltluftbahnen unterteilt (VDI 2015).

II.8 Strömungsregime

In Abhängigkeit von der Stadtmorphologie können sich unterschiedliche lokale Strömungsregime im innerstädtischen Raum ausbilden (siehe Abbildung 16). Das hierbei relevante dimensionslose Höhen-Weiten-Verhältnis beschreibt den Raum zwischen zwei Objekten (z.B. Gebäuden) in Abhängigkeit einer angenommenen Windrichtung. Dabei definieren unterschiedliche Schwellenwerte des Höhen-Weiten-Verhältnis die Zugehörigkeit zu einem Strömungsregime (vgl. Tabelle 4).

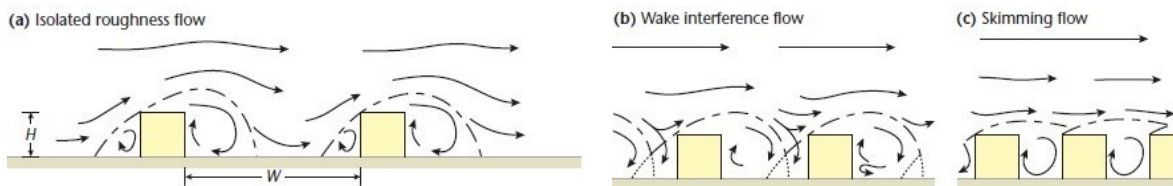


Abbildung 16 Schematische Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).

Tabelle 4: Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entsprechenden Strömungsregimen.

Höhen-Weiten-Verhältnis	Strömungsregime
kleiner als 0,3 bis 0,5	Isolierte Rauigkeitsströmung (vgl. Abbildung 16- a)
größer 0,5 und kleiner 0,65	Wirbelüberlagerungsströmung (vgl. Abbildung 16- b)
größer als 0,65	Abgehobene Strömung (vgl. Abbildung 16- c)

Informationen zu vorhandenen und, - bei baulichen Veränderungen, zukünftigen Strömungsregimen sind für die Stadtplanung bzw. -entwicklung von großem Interesse. So können konkrete Aussagen zu baulichen Vorgaben (keine Bebauung, definierte Bebauung etc.) z.B. im Bereich von bestehenden Luftleitbahnen getroffen werden, so dass deren Funktionalität weiterhin bestehen bleibt. Funktionierende Strömungssysteme können durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische und immissionsrelevante Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

III. Methodik und Software

III.1 Stadtklimatische Untersuchung - Herleitung

Die zunehmende Temperaturverschiebung und insbesondere die Zunahme der Sommertage ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) sowie Tropennächte ($\geq 20^{\circ}\text{C}$) rücken immer stärker in den Fokus der Stadtplanung. Insbesondere durch die Akkumulation der Wärme innerhalb des urbanen Umfelds kann es bereits in mittelgroßen Städten zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel kommen, was zu verstärkten thermischen Beeinflussung von Baustrukturen (und Infrastruktur) sowie bioklimatischer Belastung für Menschen, Tiere und Pflanzen führt. In Anbetracht der weiter voranschreitenden Klimaveränderung ist es daher eine wichtige Aufgabe der Kommunen, klimatische Aspekte bei der Stadtentwicklung systematisch zu berücksichtigen. Belastungen müssen durch eine vorausschauende Stadtplanung und die Umsetzungen von individuellen Klimaanpassungsmaßnahmen gezielt für das Umfeld abgebaut werden.

Die angewandte Stadtklimatologie befasst sich seit geraumer Zeit mit Analysemethoden (Burghardt 2015; Burghardt et al. 2014), die eine direkte beziehungsweise Zugang für eine Vielzahl planerischer Fragestellungen bieten. Prinzipiell werden beim Stadtklima zwei Aspekte betrachtet, die thermischen und die dynamischen. Der Arbeitskreis der Umweltmeteorologen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft definiert das Stadtklima wie folgt:

„...Ein ideales Stadtklima zeichnet sich durch eine möglichst große Inhomogenität mit einer charakteristischen Weglänge von 150 m und einem thermisch und lufthygienisch belastungsfreien Raum aus. Es soll die planerischen Absichten im Außenraum unterstützen...“

Demzufolge bietet ein heterogenes Mikroklima mehr Freiraum für die individuelle Anpassung von Menschen, Tieren und Pflanzen an ihre städtische Umwelt, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, stadtklimatische Belange mit planerischen Zielen in Einklang zu bringen.

Im stadtplanerischen Kontext wird zwischen mehreren Planungsebenen unterschieden. In Abhängigkeit der gewählten Planungsebene finden sich wiederum unterschiedliche klimatische Einordnungen (= klimatische Planungsebenen) (siehe Abbildung 17), die es zu beachten gilt. So bewegt sich ein Flächennutzungsplan im mesoklimatischen Bereich, wohingegen Einzelgebäude oder Gebäudegruppen sich auf der Ebene des Mikroklimas befinden. Bebauungspläne liegen, je nach Flächenumgriff, zwischen diesen beiden Ebenen und werden dem Lokalklima zugeordnet.

Trotz der direkten und indirekten Wechselbeziehungen der einzelnen stadtklimatischen Ebenen muss dennoch eine strikte fachliche Trennung erfolgen. So kann z.B. eine gesamtstädtische mesoklimatische Analyse nicht auf einen Objektplan gezoomt und angewendet werden. Dies ergibt sich zum einen aus den unterschiedlichen Auflösungen (Rastergrößen) und zum anderen aus den unterschiedlichen klimatischen Fragestellungen unter deren Aspekten die jeweiligen Klimaanalysen durchgeführt werden (siehe Abbildung 17). Ebenso kann die erforderliche Datenbasis in Abhängigkeit der klimatischen Planungsebene variieren.

Um ein Gesamtbild einer stadtklimatischen Situation darstellen zu können, ist eine mesoskalige Analyse notwendig. Die Ergebnisse der Analyse werden als Klimafunktionskarte dargestellt und geben Aufschluss über die Verteilung verschiedener Klimatope (Flächen, die sich durch bestimmte klimatische Eigenschaften charakterisieren lassen) sowie über den Einfluss der

regionalen Belüftungssituation, auch können für die Stadtentwicklung wichtige Empfehlungen erarbeitet werden. Sollten sich hierbei bereits einzelne „Hotspots“ herauskristallisieren, so können diese nachfolgend, unter Zuhilfenahme mikroklimatischer numerischer Simulationen, genauer untersucht werden, um detaillierte Maßnahmen zu erarbeiten.

Stadtklimatische Bewertungen, die den Außenraum und somit den direkten Lebens- und Aufenthaltsraum der Menschen betreffen, finden im Maßstab der Mikroklimata ($< 1:1000$) statt. Die Gestaltung der Umwelt hat direkten Einfluss auf die thermische Situation in diesem Bereich und beeinflusst dadurch auch indirekt das Wohlbefinden der Bewohner. In diesem Maßstab, in dem kleinräumige nachbarschaftliche Einflüsse eine größere Rolle spielen, zeigt sich, ob ein schattenspendender Baum am richtigen Ort gepflanzt wurde oder ob er durch die Baumkrone möglicherweise ein Belüftungshindernis darstellt. Auf den Menschen wirken permanent eine Vielzahl von unterschiedlichen Umwelteinflüssen ein, mit denen sich der Organismus auseinandersetzen muss. Um nun das subjektive Behaglichkeitsempfinden eines Individuums erfassen zu können, müssen alle relevanten Einflüsse, die wiederum in einem komplexen Zusammenspiel miteinander stehen, berücksichtigt werden (Frank 1975). Durch die Komplexität und Dynamik der mikroskaligen Energieflüsse ist eine gesamtstädtische Darstellung (Simulation) des vorherrschenden Mikroklimas mit einer Auflösung von ca. 1 m aus technischer Sicht heute noch nicht möglich.

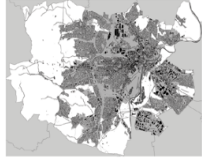
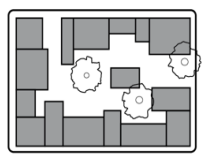
administrativer Bezug	Planungsebene	klimatische Einordnung	klimatische Fragestellung	Auflösung
 Region	Regionalplan > M 1: 100.000	Mesoklima	regionale Luftaustauschprozesse und Klimafunktionen	Rastergröße 100 m
 Stadt	Flächennutzungsplan > M 1: 10.000	Mesoklima	Wärmeinseleffekt, Belüftungsstrukturen (Rauhigkeiten)	Rastergröße 25 - 50 m
 Ortsteil	Bebauungsplan M 1: 5.000	Lokalklima	Übergang von Klimatop- zu Mikroklimaanalyse	Rastergröße 10 m
 Block	Bebauungsplan M 1: 1.000	Mikroklima	Mikroklimatische Untersuchungen, thermischer Komfort	Rastergröße 2 - 5 m
 Gebäude	Bauplan/ Objekt M 1: 200	Mikroklima/ Gebäudeklima	Strahlungs- und Gebäudeumströmungen	Rastergröße > 0 - 2 m

Abbildung 17: Klimatische Einordnung von regionalen und städtischen Planungsebenen (Fachgebiet UMET Universität Kassel, 2012)

III.2 Stadtklimatische Untersuchung - Ableitung der Klimafunktionskarte

Ziel der Erstellung einer Klimafunktionskarte ist es, Flächen und deren Verbindungen miteinander hinsichtlich ihrer Klimafunktionen zu bewerten und daraus Empfehlungen abzuleiten. Hierfür sind drei Aspekte grundlegend:

- (1) die **Wärmebelastung**, diese ist abhängig von der Einstrahlung, dem umgebenden Gebäudevolumen und der vorhandenen Vegetation,
- (2) das **übergeordnete Strömungsfeld** (Luftleitbahnen): für die Durchlüftung der Stadt sorgen häufig großräumige (synoptische) Winde. Die Winde in der Stadt hängen dabei von der Anströmrichtung, sowie der baulichen und topographischen Struktur der Stadt ab. Für die Durchlüftung der Stadt sind daher Luftleitbahnen (zusammenhängende, windoffene Flächen mit geringer Oberflächenrauigkeit) von entscheidender Bedeutung.
- (3) das **autochthone Windfeld**: ergänzend zu den großräumigen Winden bilden sich auch lokale (autochthone, also eigenbürtige) Strömungen aus. Häufig werden diese durch lokale Temperaturdifferenzen angetrieben (z.B. nächtliche kühle Hangwinde von Weinberglagen). Ihnen kommt in der stadtklimatischen Bewertung eine besondere Bedeutung zu, da sie an (windstillen) Hitzetagen die einzigen, vornehmlich kühlenden Windströmungen darstellen.

Für die Beurteilung der bioklimatischen Situation ist eine absolute Bewertung wenig sinnvoll. Im Einklang mit der grundlegenden VDI-Richtlinie 3785 (Blatt 1) wird daher mittels einer statistischen Analyse die Abweichung der Klimaparameter vom Mittelwert im Untersuchungsraum bewertet. Hierfür ist somit eine flächendeckende Bestimmung von Parametern, die die o.g. Aspekte (Wärmebelastung, synoptisches Windfeld, autochthones Windfeld) beschreiben, erforderlich. Dies kann grundsätzlich über drei Herangehensweisen erreicht werden:

- (a) Messtechnische Bestimmung
Die kontinuierliche Messung der Lufttemperatur und der Luftfeuchte über einen längeren Zeitraum liefert absolute Werte für diese zwei Parameter. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass diese Werte nur ein punktuelles Bild (Standort der Messstation) darstellen. Zur Ableitung flächendeckender Aussagen müssen diese Ergebnisse mindestens mit einer der beiden anderen Methoden ergänzt werden.
- (b) Heuristische Klassifizierung
Der Grad der fühlbaren Hitzebelastung und die lokale Ausprägung autochthoner Winde hängt entscheidend von lokalen Bedingungen wie der Topographie, der Vegetation, der Versiegelung und der Art der Bebauung ab. Somit können durch eine gewichtete Kombination unterschiedlicher Eingangsgrößen (vgl. III.3) verlässliche Strukturen (Cluster) abgeleitet werden, die dann wiederum Klimatopen zugeordnet werden können (Burghardt et al. 2014).
- (c) Strömungssimulationen mit prognostischen Modellen
Auf Grundlage von aufbereiteten Eingangsdaten mit räumlicher Auflösung, die eine gesamtstädtische Berechnung erlauben, können Klimaparameter modelliert werden. Die Einteilung der Klimatope erfolgt durch statistische Auswertung der resultierenden Werteverteilung.

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Kombination aus den Varianten (a), (b) und (c) gewählt.

Die Zuordnung der Klimatope und die Ableitung der Empfehlungen erfolgen daher auf Basis einer thermischen Analyse. Hinzu kommen alle räumlichen Aspekte, die die Hitzebelastung beeinflussen sowie eine dynamische Analyse, in der die Luftleitbahnen, Kaltluftursprünge / -abflüsse sowie das autochthone Flurwindssystem ermittelt werden.

III.3 Stadtklimatische Untersuchung – Technische Umsetzung

Die Technik der Erstellung einer Klimafunktionskarte hat sich seit Anfang der 1970er dahingehend verändert, dass durch den Einsatz moderner Geoinformationssysteme (GIS) wesentliche Verbesserungen in der Erfassung der klimatischen Wechselbeziehungen möglich wurden. Obwohl national wie auch international keine einheitlichen Standards zur Herleitung einer Klimafunktionskarte existieren, ist die Verschneidung zuvor erfasster stadtklimatischer Einflussgrößen mit dem Ziel der Klimatopausweisung und -evaluierung anerkannte wissenschaftliche Praxis (Katzschner et al. 2009; Lohmeyer 2008; Burghardt 2015; Oke 1987 & 2006; Gartland 2008). Insbesondere haben Ng & Ren (2015) mit ihrem umfassenden Werk „The Urban Climatic Map“ die internationale und nationale Verbreitung und Erstellung moderner Klimafunktionskarten thematisiert.

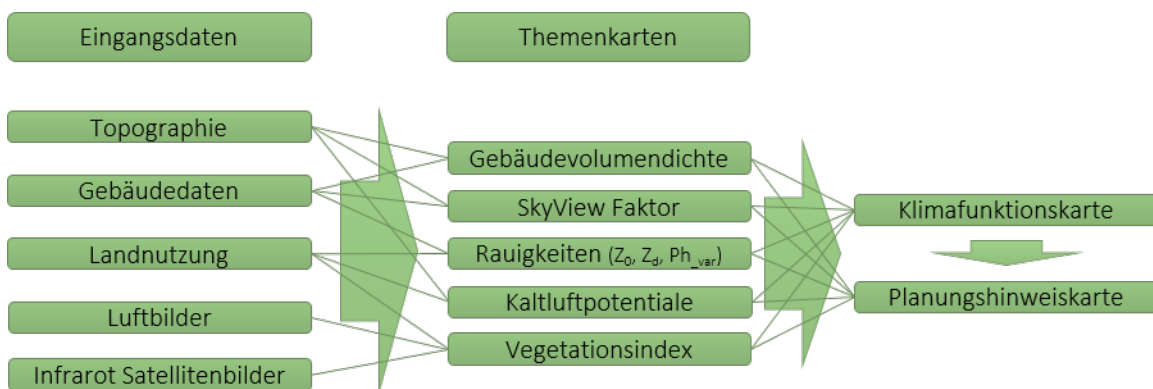


Abbildung 18: Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK

In diesem Zug erfolgt die Analyse einzelner klimatisch relevanter Größen (Themenkarten), die Berechnung der Klimafunktionskarte sowie die Entwicklung der Planungshinweiskarte innerhalb eines Geoinformationssystems.

Wie aus Abbildung 18 ersichtlich, werden die einzelnen Themenkarten (siehe Abbildung 19) mit Hilfe mehrerer und unterschiedlicher Eingangsdatensätzen erstellt. Entgegen der Eingangsdaten, welche diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen abbilden, repräsentieren die Themenkarten klimarelevante räumliche Ableitungen. Die Entwicklung der Themenkarten basiert auf physikalisch korrekten Berechnungen innerhalb des GIS. Die Methodik zur Herleitung wurde unter anderem im Rahmen unterschiedlicher Arbeiten entwickelt und geprüft (Burghardt 2015).

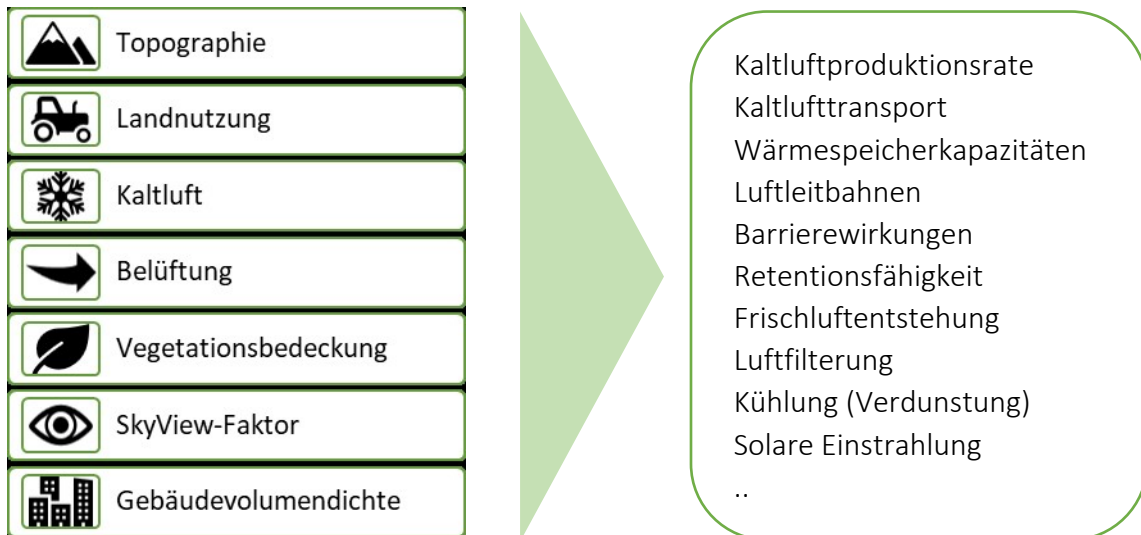


Abbildung 19: Die unterschiedlichen Themenkarten (links) mit deren Hilfe die klimatischen Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können

Auf Basis der Themenkarten wird in der Folge die Klimafunktionskarte (KFK) abgeleitet. Dies geschieht unter Zuhilfenahme einer linearen Wertungsmatrix, welche auf den geolokalen Besonderheiten der Stadt, sowie der wissenschaftlichen klimatischen Expertise beruht. Mit Hilfe der Planhinweiskarte (PHK) werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Themenkarten, der Klimafunktionskarte und – sofern vorhanden – stadtklimatische Analysen in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Entwicklung des Untersuchungsraums transformiert.

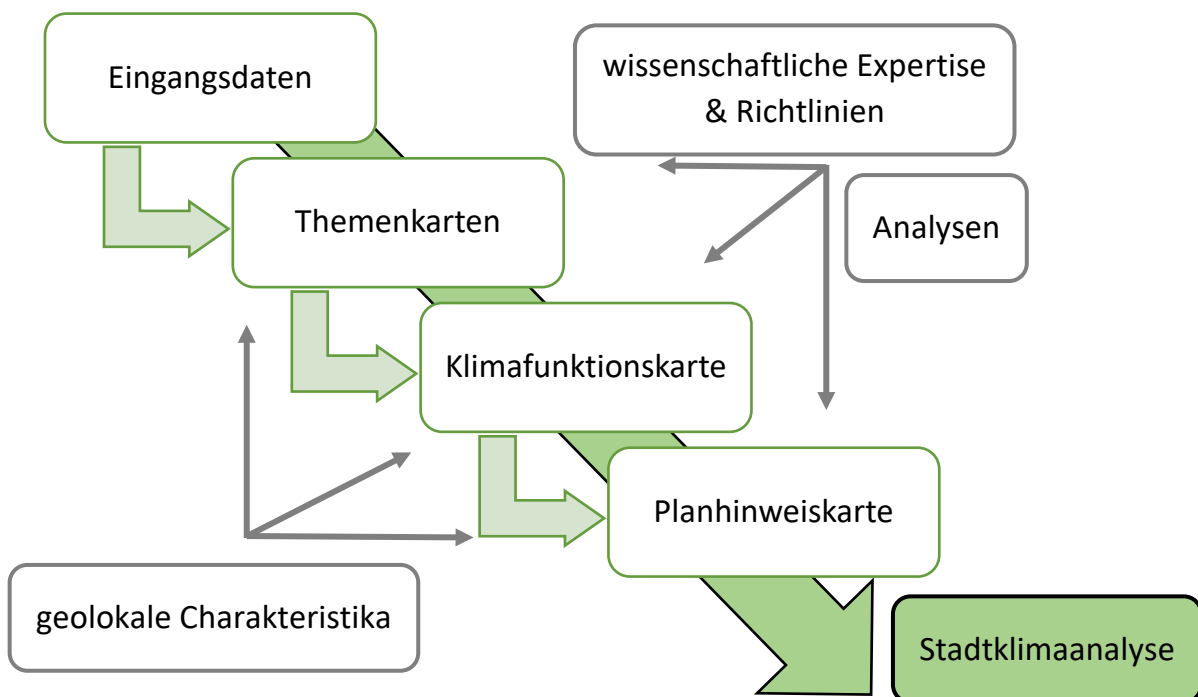


Abbildung 20: Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse

III.4 GIS

Geoinformationssysteme (GIS) stellen eine Schnittstellentechnologie zwischen räumlichen und technischen Sachdaten dar. Einzig über GIS ist es möglich, Daten im Raum zu verorten und gleichzeitig räumlich und zeitlich zu analysieren. Unter der Berücksichtigung bzw. der Erfassung räumlicher sowie zeitlicher Korrelationen, können analytische, planerische und entwerferische Mehrwerte generiert werden. Gleichzeitig organisieren GIS Geodatenbestände und ermöglichen so die Verwaltung von räumlichen, zeitlichen und technischen Daten auf Datenbankebene.

III.5 KLAM_21

Kaltluftproduktion und -abfluss

„KLAM_21 ist ein vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung. (...) Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig auswählbaren, rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt, typische Gitterpunktabstände sind dabei 20 bis 50 m. Die Modellgebietsgröße wird in der Regel so gewählt, dass alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete erfasst sind. Bei 50 m Gitterabstand beträgt z. B. die maximale Größe 22.500 km². Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung (schematisiert in 9 Nutzungsklassen, Sondernutzungen können bei Bedarf ergänzt werden) sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder Landnutzungs-kategorie wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine „Rauigkeit“ als Maß für den aerodynamischen Widerstand sowie gegebenenfalls eine „Porosität“ als Maß für die Durchlässigkeit von bebauten Flächen. Außerdem können aus dem Gelände herausragende Hindernisse (z. B. Einzelgebäude, Dämme, Schallschutzwände) modelliert werden, die von der Kaltluft erst dann überwunden werden, wenn sie eine entsprechende Höhe erreicht hat. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, Fließen und die Ansammlung der Kaltluft. Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine annähernd adiabatisch geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt eine geringe Bewölkung, angenommen. Möglich ist die Vorgabe einer schwachen, durch regionale Luftdruckunterschiede hervorgerufenen Grundströmung des Windes. Der Simulationszeitraum von 8 Stunden entspricht der mittleren Andauer einer Sommernacht. Im Gegensatz zu stark vereinfachenden Modellen, die auf einer „statischen“ Analyse des Reliefs und der Landnutzung beruhen, können mit KLAM_21 Kaltluftbewegungen in ihrer Dynamik und zeitlichen Entwicklung flächendeckend wiedergegeben werden. Die physikalische Basis des Modells bilden eine vereinfachte Bewegungsgleichung und eine Energiebilanzgleichung, mit der der Energieverlust und damit der „Kälteinhalt“ der Kaltluftschicht bestimmt wird. Aus dem Kälteinhalt einer jeden Säule wird dann (unter der Annahme einer bestimmten Höhenabhängigkeit der Abkühlung) die Kaltlufthöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten. Der Vergleich von IST- und Planungszuständen wird mit

Differenzkarten oder zeitlichen Animationen der Kaltlufthöhe, der Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme visualisiert.“ (DWD 2016)

III.6 Airflow Analyst

Airflow Analyst ist eine Software, die GIS und räumliche Daten verwendet, um komplexe Luftströmungsbewegungen in einem bestimmten Bereich zu simulieren.

Die Software verwendet einen Algorithmus für die Fluidodynamik, ein Kernelement für die Bereitstellung hochpräziser Luftstromanalysen, basiert auf dem RC-GIS-Berechnungsprogramm. Airflow Analyst ist eine Erweiterungssoftware für "ArcGIS for Desktop", der Firma ESRI.

IV. Bestandsaufnahme und IST-Analyse

IV.1 Klimarelevante Themenkarten

IV.1.1 Topographie

Der Untersuchungsraum des Stadtgebietes Lampertheim liegt in den Rhein Niederungen nördlich von Mannheim (Baden-Württemberg) und südöstlich von Worms (Rheinland-Pfalz). Ein Altarm des Rheins grenzt im Westen direkt an das Stadtgebiet an. Dabei bildet die Sohle des Altarms mit 83 m den für den gezeigten Kartenausschnitt topographisch tiefsten Punkt. Insgesamt ist die topographische Situation im Untersuchungsraum sehr homogen und spannungsarm geprägt. Das Gelände steigt aus westlicher Richtung nach Osten hin an, wobei der Anstieg in südöstlicher Richtung stärker ausgeprägt ist als nach Nordosten. Die maximale Höhendifferenz im gezeigten Kartenausschnitt beträgt 57.61 m. Innerhalb des eigentlichen Stadtgebietes reduziert sich diese Differenz auf 11.1 m (min. 85.9 m bis max. 97.0 m). Die durchschnittliche Geländehöhe beträgt im Stadtgebiet 91.1 m. Entsprechend der geringen Höhendifferenzen steigt auch das maximale Gefälle nicht über 2.93 ° (5.12 %). Im Mittel liegt das Gefälle im Stadtgebiet < 0.46 ° (0.8%).

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Topographische Ausprägung

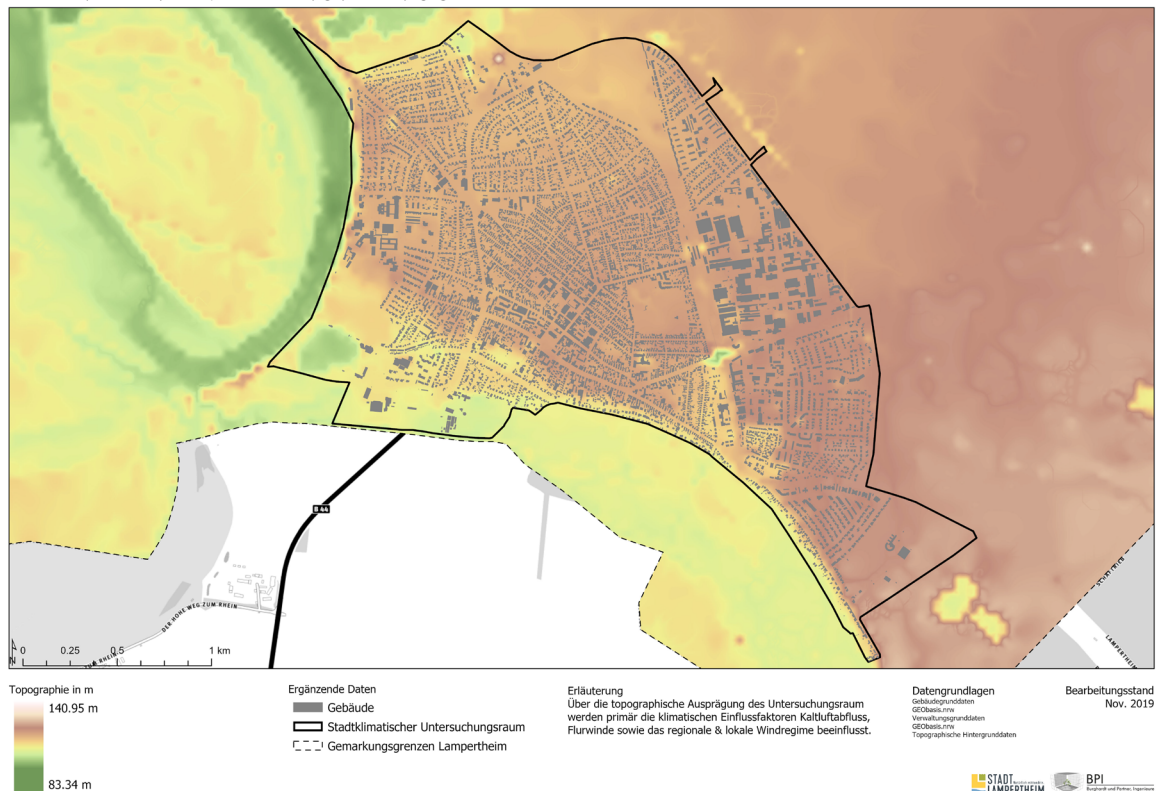


Abbildung 21: Topographische Ausprägung im weiteren Untersuchungsraum (Lampertheim)

Planungsrelevanz:

Die Informationen zu den topographischen Gegebenheiten stellen eine wichtige Grundlage für die Berechnungsmatrix der Klimafunktionskarte dar. Im Kontext der Planungsrelevanz für den Planungsalltag fördert sie in erster Linie das Verständnis wie das Stadtgebiet in seiner Geländeform aufgebaut ist. Die Karte verdeutlicht die geringe / fehlende Bedeutung des Untersuchungsraums für einen topographisch induzierten Kaltluftabfluss (vgl. Kapitel IV.1.4).

IV.1.2 Landnutzung

Die Themenkarte der Landnutzung stellt die einfache Klassifizierung der vorkommenden Landnutzung entsprechend des BasisDLM Objektartenkatalogs dar. In Hinblick auf die Erstellung der Stadtklimaanalyse der Stadt Lampertheim wird die Landnutzung zur Bilanzierung der flächendeckenden thermischen Grundbelastung herangezogen. Abbildung 22 zeigt die vorhandene Landnutzung für den eigentlichen Untersuchungsraum (Stadtgebiet) sowie für einen Teilausschnitt der Gesamtmarkung der Stadt Lampertheim.

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Landnutzungsklassifizierung

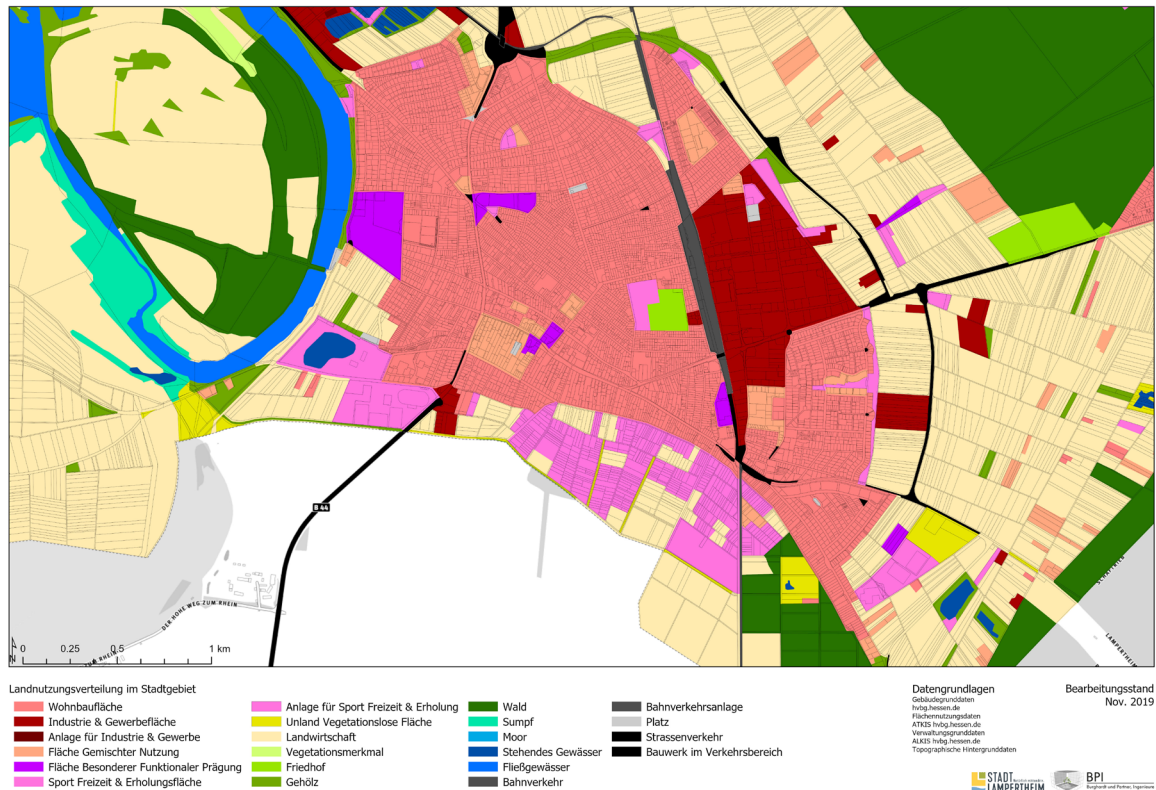


Abbildung 22: Landnutzungsverteilung entsprechend der ATKIS Grundlagendaten für die Region Lampertheim

In Abbildung 23 sind die alle vorkommenden Landnutzungsklassen entsprechend ihrer thematischen Zugehörigkeit in 10 Landnutzungsgruppen zusammengefasst und mit ihrem flächenbestimmten Anteil am jeweiligen Bezugsraum (Gesamtmarkung und Stadtgebiet (Untersuchungsraum)) dargestellt.

Auf der Gesamtfläche der Gemarkung Lampertheim dominieren landwirtschaftliche Flächen mit 47.2 % gefolgt von Wald & Gehölzen mit 29.1 %. Der hohe Waldanteil ist auf den Lampertheimer Stadtwald und den Hessischen Staatsforst zurückzuführen, die einen Großteil der östlichen Gemarkung bestimmen. Das Offenland liegt mit 2.8 % hinter den Gewässern (4.3 %) und hinter ausgewiesenen Industrie- & Gewerbeflächen mit 3.6 %.

Der Untersuchungsraum ist primär durch Wohnbaufläche (60.4 %) geprägt, gefolgt von 10.2 % Industrie- & Gewerbefläche. Trotz des Fokus auf das Stadtgebiet sind noch 8 % als landwirtschaftliche Flächen ausgewiesen und liegen damit noch vor den Flächen gemischter Nutzung (7.9 %) und dem funktionalen Grün mit 6.7 %. Der Anteil der Verkehrsflächen ist nicht realitätsnah, da der zu Verfügung stehende Datensatz die Straßenflächen im Stadtgebiet nicht

flächenscharf aufgelöst hat. Kompensatorisch konnte die Gesamtlänge des Straßennetzes im Untersuchungsraum mit 89,54 km erfasst werden.

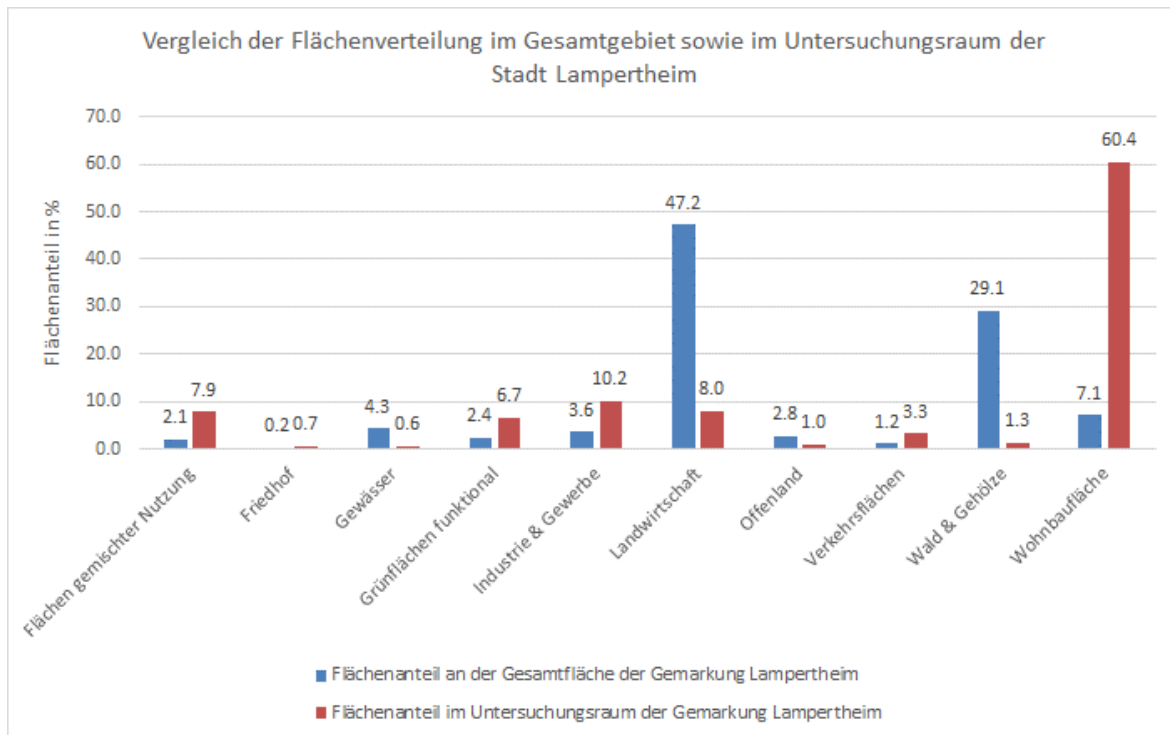


Abbildung 23: Vergleich der zusammengefassten Flächenverteilung im Gesamtgebiet sowie im Untersuchungsraum der Stadt Lampertheim

Planungsrelevanz:

Die Informationen zur Verteilung der Landnutzungsklassen im Untersuchungsraum sowie auf der Gesamtfläche der Gemarkung Lampertheim stellt primär eine wichtige Grundlage für die Berechnungsmatrix der Klimafunktionskarte dar. Im Kontext der Planungsrelevanz bleibt festzustellen, dass der dominierende Anteil von landwirtschaftlichen Flächen (in den Außenbereichen) die für das Stadtgebiet bedeutende hohe nächtliche Kaltluftproduktion (vgl. Kapitel IV.1.4) erklärt, gleichzeitig sind die im Osten liegenden Waldflächen wichtige Frischluftproduzenten.

IV.1.3 Vegetationsbedeckung

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Vegetationserfassung auf Basis Nahinfrarot-Aufnahmen

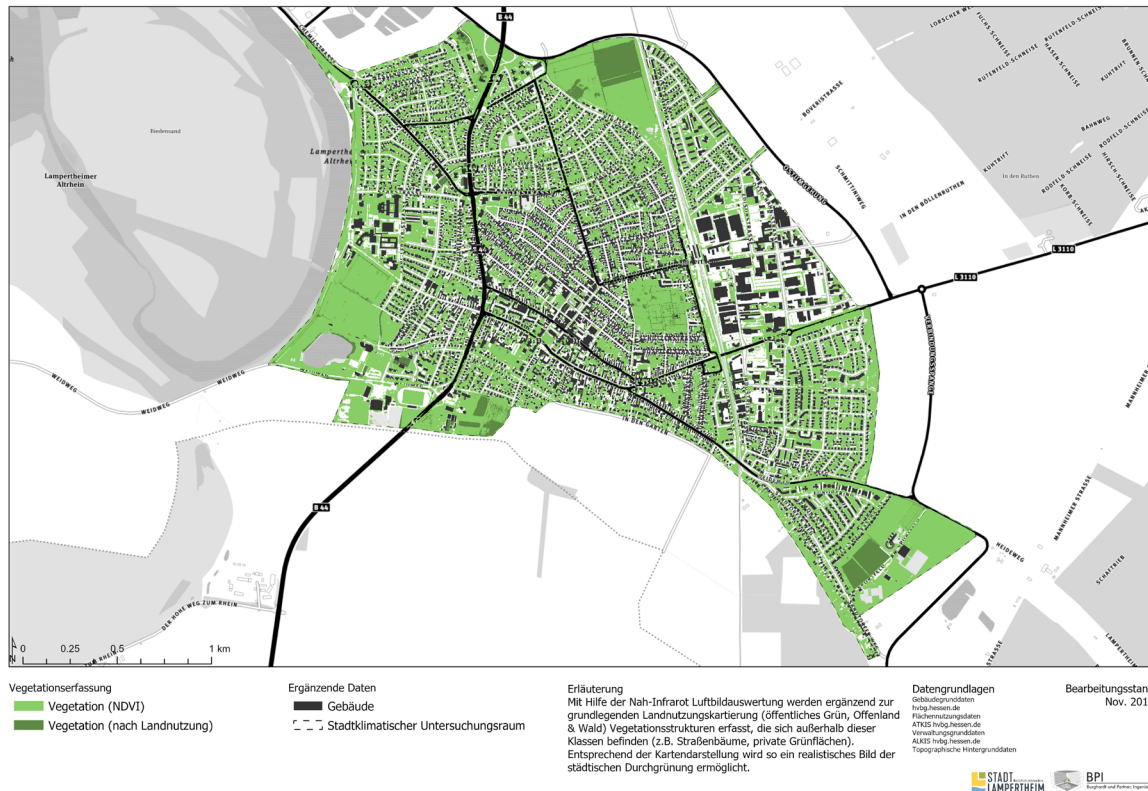


Abbildung 24: Vegetationserfassung auf Grundlage ATKIS Landnutzungsdaten sowie hochau aufgelöster Nahinfrarot Orthophotos (NDVI Analyse) im Untersuchungsraum Lampertheim

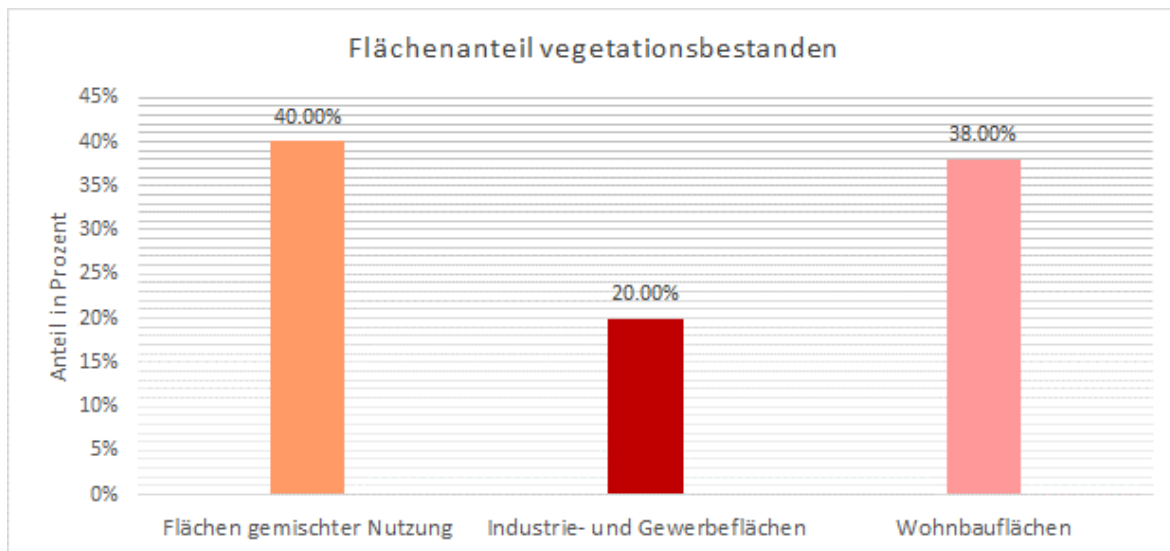


Abbildung 25: Darstellung des vorhandenen Vegetationsanteils innerhalb der 3 primären urbanen Landnutzungsclassen

Mit Hilfe der ergänzenden Vegetationserfassung (Mittels NDVI-Auswertung) ergibt sich die Möglichkeit einer realistischen Erfassung aller Grünstrukturen im Stadtgebiet Lampertheim, die über die Aufnahme mittels einfacher Landnutzungskartierung hinausgeht. Insbesondere die sonst im Kontext der Landnutzungsclassifizierung nicht verfügbaren Informationen zu bspw.

privatem Grün, Solitärgehölzen, Sukzessions- und Ruderalfluren können das klimatische und das städtebauliche Erscheinungsbild einer Stadt stark beeinflussen. In der Auswertung für die Stadt Lampertheim wurde diese Analyse für alle „nicht natürlichen“ Flächen durchgeführt (siehe Abbildung 24). Das Diagramm (siehe Abbildung 25) zeigt entsprechend wieviel der Grundflächen des entsprechenden Landnutzungstyps durch Vegetation bedeckt ist. Die Analyse zeigt, dass Industrie- und Gewerbeflächen typischer Weise im Vergleich zu den Wohnbauflächen schwächer durchgrünt sind, da hier in den meisten Fällen der verfügbare Freiraum als Lager- oder Stellplatzfläche genutzt wird, oder die Flächen im Kontext der Instandhaltungskosten nicht begrünt werden. Gleichzeitig gibt es innerhalb des Siedlungsraums teils große Unterschiede in der räumlichen Verteilung und Dichte der vorhandenen Vegetationsstrukturen.

Mit Hilfe dieser Analyse können defizitäre urbane Räume oder Landnutzungsarten identifiziert werden, und ergänzend (siehe Abbildung 24) detailliert räumlich verortet werden.

Planungsrelevanz:

Die Themenkarte der Vegetationsbedeckung sowie die Auswertung der prozentualen Anteile von Vegetation auf unterschiedlichen Landnutzungstypen ist für die Planung von besonderer Bedeutung, da sie die Durchgrünung des gesamten Stadtbildes widerspiegelt. Auf Grund der angewandten Methodik kann nicht nur eine quantitative, sondern im gewissen Rahmen auch eine qualitative Bewertung (Vitalität) der Vegetationsflächen erfolgen.

So können aus planerischer Sicht Bereiche identifiziert werden, die unter-/übersorgt sind. Planerisch können diese Informationen genutzt werden, um bspw. Entscheidungsprozesse der Grünflächenplanung qualitativ zu unterstützen.

Entsprechende statistische Auswertungen auf Grundlage der reduzierten Landnutzungsklassen zeigen den hohen Durchgrünungsanteil der Wohnbauflächen im Untersuchungsraum von mindestens 38 %. Das bedeutet, dass im Minimum knapp zwei Fünftel Siedlungsflächen mit Vegetation bedeckt sind (es bleibt zu beachten, dass bei Bäumen die Kronenflächen und nicht der Stammraum erfasst wurden). Insbesondere Industrie- und Gewerbeflächen sind im gesamtstädtischen Durchschnitt mit 20 % nur durchschnittlich durchgrünt. Hier gilt es den Vegetationsanteil zu fördern, um diese meist stark versiegelten Gebiete klimatisch zu entlasten und den Oberflächenabfluss von Regenwasser zu reduzieren.

IV.1.4 Flurwind & Kaltluft

Stadtklimaanalyse Stadt Langerthheim | Themenkarte - Flurwindausprägung

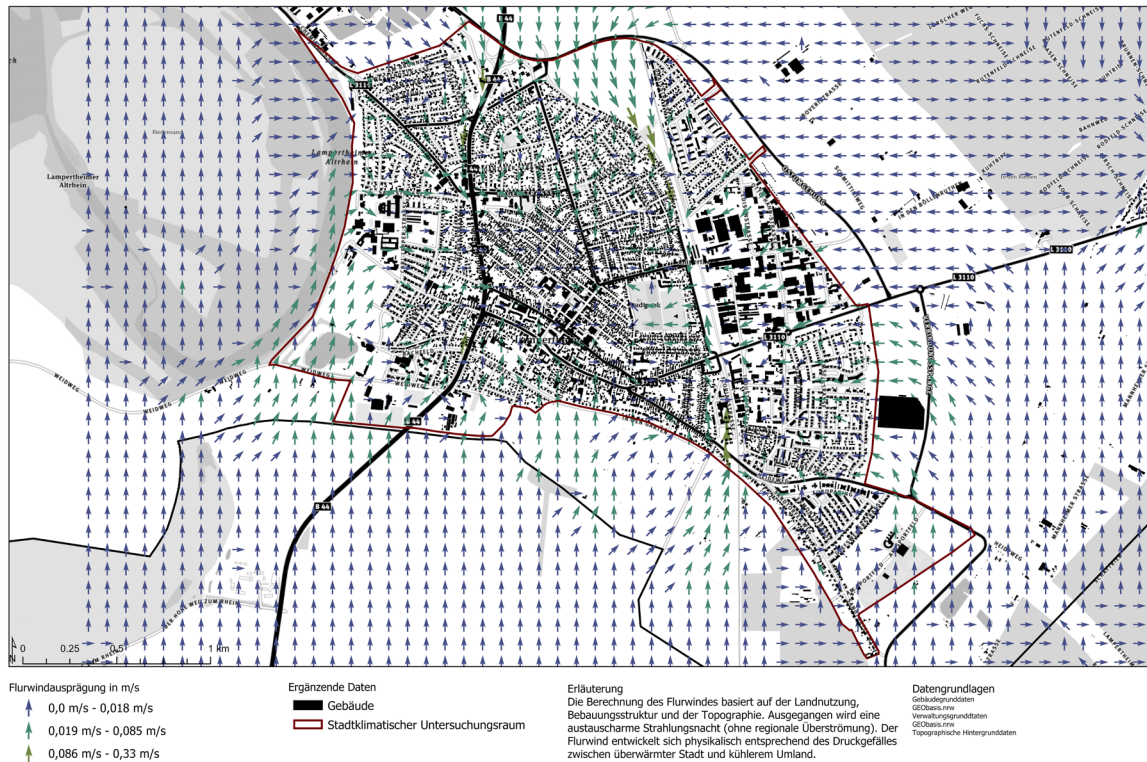


Abbildung 26: Flurwindausprägung (m/s) im weiteren Untersuchungsraum

Die Berechnung des Flurwindes geschieht parallel zur Kaltluftberechnung innerhalb des DWD Programms Klam_21. Die Berechnung des Flurwindes basiert auf der Landnutzung, Bebauungsstruktur und der Topographie. Ausgegangen wird eine austauscharme Strahlungsnacht (ohne regionale Überströmung). Der Flurwind entwickelt sich physikalisch entsprechend des Druckgefälles zwischen überwärmter Stadt und kühlerem Umland (siehe Kapitel II.5).

Das Strömungsbild in Abbildung 26 verdeutlicht, wie der Flurwind radial auf das Stadtgebiet einwirkt. Dabei kann der Wind besonders gut dort in den städtischen Raum eindringen, wo die Bebauung weniger dicht ist, oder die bauliche Anordnung der Gebäude / Siedlungsstrukturen eine Kanalisierung begünstigt. Diese Effekte zeigen sich besonders gut im Bereich des Gleisdreiecks im Norden, im Übergang der Bahntrasse in den Außenbereich im Süden, sowie südlich des bestehenden Biedensand-Campus.

Gleichzeitig fördern innerstädtische Frei- und Grünflächen die lokale Kaltluftproduktion (< 1 ha nur lokal, > 1 ha auch mit potenzieller Fernwirkung) und können, je nach Lage und Ausrichtung, das Eindringen des Flurwindes in den Siedlungsraum unterstützen. Dieser Effekt lässt sich auf den Flächen des Friedhofs / Stadtparks oder im Bereich des Unterdorfs feststellen.

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Kaltluflhöhe (in zeitlichen Schnitten)

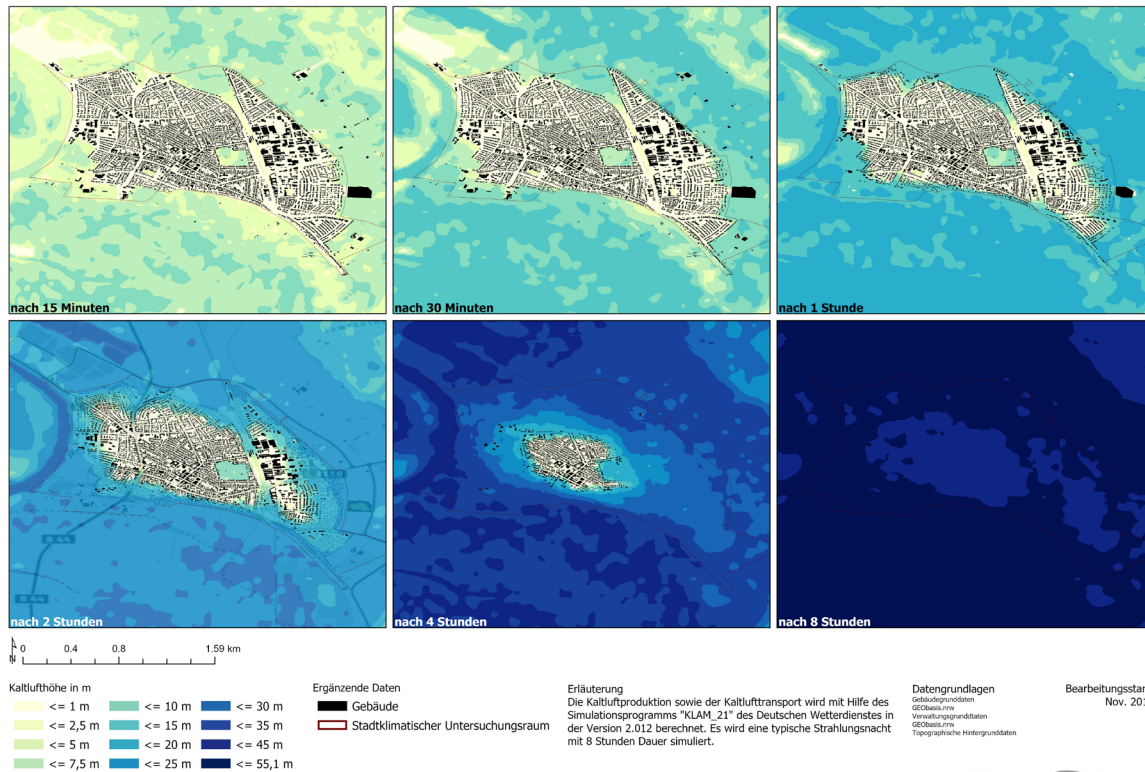


Abbildung 27: Darstellung der Kaltluflhöhe in zeitlicher Abhängigkeit

Entsprechend der technischen Beschreibung in Kapitel II.5 bildet sich Kaltluft in den Nachtstunden, vorzugsweise während Strahlungsnächten (wolkenlos). Der klimatisch wirksame Kaltluftabfluss / -transport ist zudem abhängig von einer autochthonen Wetterlage, ohne überlagernde regionale Anströmungen, da sonst der Kaltluftabfluss / -transport zum Erliegen kommen kann.

Die in Abbildung 27 dargestellte Kaltluflhöhen wurde für eine Referenzzeitspanne von 8 Stunden nach Sonnenuntergang mit dem DWD Programm Klam_21 berechnet. Durch die homogenen und flachen topographischen Gegebenheiten in der Region des Untersuchungsraums, kommt dem Flurwindsystems im Kontext der nächtlichen städtischen Abkühlung und Durchlüftung des Siedlungsraums eine besondere Bedeutung zu. Durch die Einbettung des Siedlungsraums in eine weiträumig offene Landschaft ist die nächtliche Kaltluftproduktionsrate in der Region besonders ausgeprägt. Wie in Abbildung 27 dargestellt, wird bereits nach kurzer Auskühlungsphase (< 1 Stunde) großflächig Kaltluftschichtdicken von bis zu 15 m erreicht. Durch die hohe Intensität der Kaltluftproduktion in Kombination mit dem lokalen Flurwind, werden große Teile des Siedlungsraums bereits nach der Hälfte der simulierten Nacht mit Kaltluft überströmt. Nach Abschluss der Simulationsdauer von 8 Stunden wird sichtbar, dass der gesamte Siedlungsraum der Stadt Lampertheim mit einer Kaltluftschichtdicke zwischen 45 m und 55 m überströmt wird.

Planungsrelevanz:

Insbesondere die Sicherstellung und Förderung der Kaltluftversorgung der bebauten Siedlungsbereiche ist im Kontext des klimawandelbedingten Anstiegs der Temperatur und der

durch Nachverdichtung steigenden städtischen Überwärmung von besonderer planerischer Relevanz. Künstliche topographische Veränderungen (z.B. Bahndämme oder Mulden) gilt es zu vermeiden, oder ausreichend durchlässig zu gestalten, damit der vorhandene Kaltlufttransport nicht behindert wird.

Die Simulationsergebnisse des Flurwindes und des Kaltlufttransportes unterstreichen die Planungsrelevanz dieses Themenfeldes im Kontext der Reduktion der thermischen Belastung insbesondere während länger anhaltender Wärme- und Hitzeperioden in den Sommermonaten.

IV.1.5 Städtische Rauigkeit & Städtische Porosität

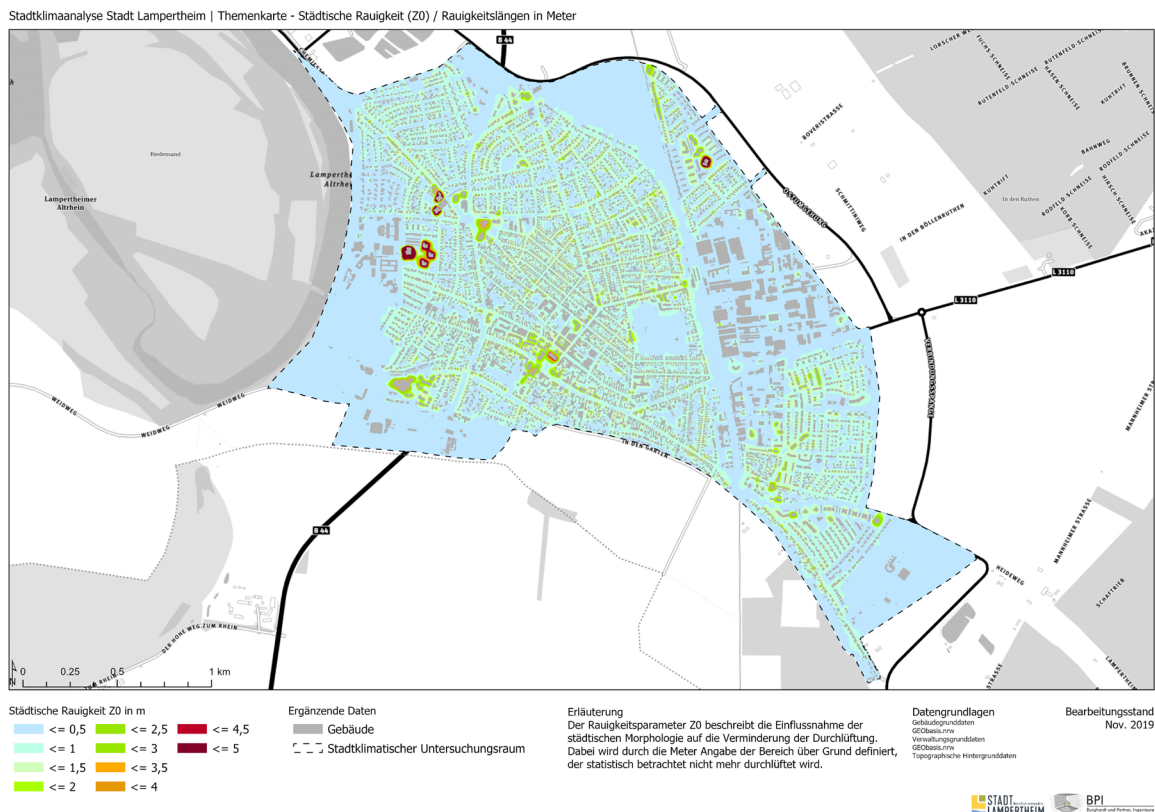


Abbildung 28: Städtische Rauigkeitslängen in Meter in Abhängigkeit der Gebäudeanordnung und Gebäudehöhen im Untersuchungsraum

Die Rauigkeitslängen Z_0 werden in Meter angegeben und beziehen sich immer auf ein Patch, welches ein Gebäude bzw. eine Gebäudegruppe von benachbarten Einzelgebäuden oder Gruppen abgrenzt. Gebäudegruppen liegen vor, wenn der Abstand der Gebäude zueinander < 3 m ist. Durch die Relation von Patch zu den darauf befindlichen Gebäuden können für unterschiedliche Windrichtungen die Rauigkeitslängen Z_0 berechnet werden. Für die Analyse für die Stadt Lampertheim wurde entsprechend der Windrichtungen aus Südwest sowie im Mittel aus aller Richtung kommend berechnet.

Die städtische Porosität beschreibt den Zustand des offenen 3-dimensionalen Raums im Verhältnis zum bebauten Volumen. Die städtische Porosität (Ph_{var}) wird parallel zu den Rauigkeitslängen und der Nullpunktverschiebung berechnet und basiert auf dem Ansatz der „Frontal Area“. Für die Berechnung der Porosität ist die vorherrschende Windrichtung nicht von Relevanz, da hierbei der 3-dimensionale Raum und die in ihm enthaltenen Baumassen untersucht werden.

Ergänzend zu den dynamischen Faktoren Z_0 und Z_d , welche eine direkte Aussage über die Rauigkeit bzw. den Reibungsverlust treffen, zeigt die urbane Porosität (Ph_{var}) das Potential einer möglichen Durchlüftung an. Damit ist Ph_{var} alleinstehend von größerer planerischer Relevanz als einzelnen Rauigkeitsparameter Z_0 und Z_d . Die Einteilung der städtischen Porosität geschieht im Wertemaßstab von 0 bis 1, wobei 1 die höchste Porosität und 0 die niedrigste Porosität des 3-dimensionalen Raums darstellt. Umso höher der Wert, desto geringer ist der Windwiderstand des jeweiligen 3-dimensionalen Patches.

Stadtklimaanalyse Stadt Langerthheim | Themenkarte - Städtische bauliche Porosität (Ph_var)

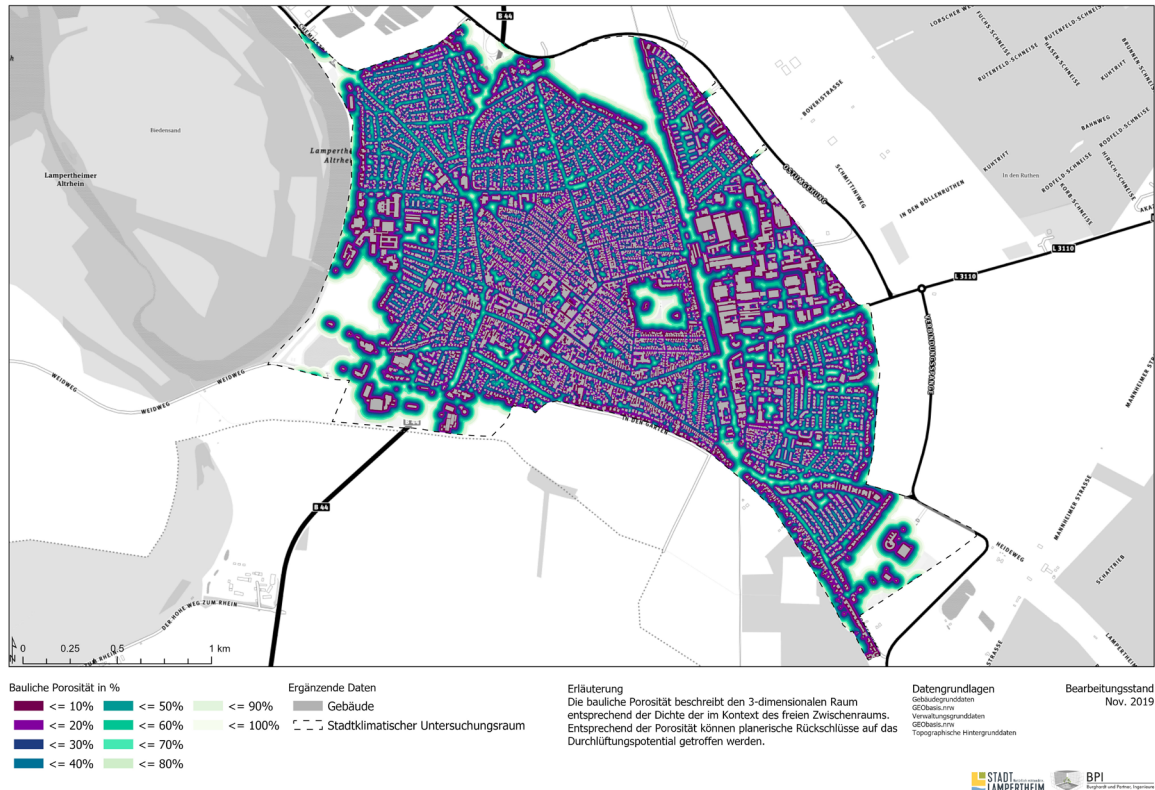


Abbildung 29: Städtische bauliche Porosität auf Grundlage der Gebäudeanordnung und Gebäudehöhen im Untersuchungsraum

Planungsrelevanz:

Obwohl die Themenkarte der städtischen Porosität gemeinsam mit der städtischen Rauigkeit primär für die Ableitung der Luftleit- und Durchlüftungsbahnen genutzt wird, bietet sie zusätzlich einen planerisch relevanten Aspekt. Eine geringe Rauigkeitslänge (Z_0) bedeutet eine geringe Abschwächung der Windgeschwindigkeit, da wenig Reibung zwischen der Luft / dem Wind und den Objekten bzw. dem Untergrund entsteht.

Im Rahmen der Planung ist darauf zu achten, dass sich möglichst viele Flächen geringer Rauigkeit (< 1) aneinanderreihen. Ab einer Länge von > 750 m (> 1000 m) mit geringer Rauigkeit kann die lokale Belüftungssituation positiv stark beeinflusst werden (vgl. Unger, 2009 & Matzarakis, 1992). Durch die Identifizierung und Aufwertung einzelner „rauer“ Patches (Gebiete) kann eine Verbesserung der städtischen Belüftungssituation unterstützt werden.

Durch die Erfassung mehrerer Patches mit einer hohen Porosität (Ph_var) können Durchlüftungspotentiale (Durchlüftungsbahnen & Luftleitbahnen) definiert werden. Zusätzlich können die Informationen der Karte dafür herangezogen werden, Potentiale und Möglichkeiten zur Schaffung einer besseren Durchlüftung in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen. Werte < 60 % sollten vermieden werden. Hier bietet sich Handlungsbedarf zur Reduktion der Gebäudemassen. > 60 % bis 80 % beschreiben Bereiche mit geringen bis mäßigen Belüftungspotentialen. Weitere vertikale Nachverdichtung sollte vermieden werden. Bereiche > 80 % zeichnen sich durch hohe Porosität und ein hohes Durchlüftungspotential aus. Nachverdichtung und Stadtentwicklung ist hier unter Berücksichtigung der Vermeidung von Clusterbildung möglich.

IV.1.6 Gebäudevolumendichte

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Gebäudevolumendichte

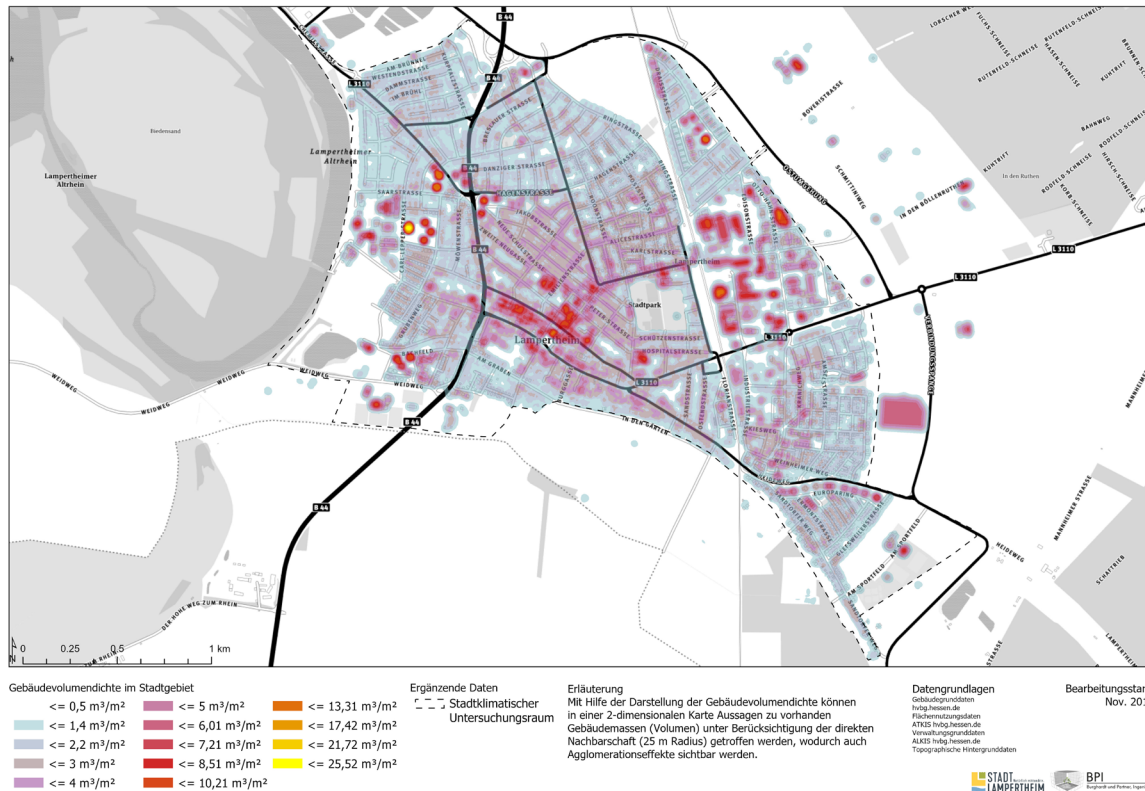


Abbildung 30: Darstellung der Gebäudevolumendichte im Untersuchungsraum

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

Bei der Berechnung der Gebäudevolumendichte handelt es sich um eine 3-dimensionale statistische Dichteanalyse, die für einen vordefinierten Radius von 25 m bei einer Auflösung von 1 m berechnet wird. Im Zuge der technischen Umsetzung werden die Gebäude in 2-dimensionalen attribuierten Punktwolken gemäß den Gebäudegrundflächen und den Gebäudehöhen konvertiert und dann mittels einer statischen Nachbarschaftsanalyse untersucht. Durch die Berücksichtigung der Gebäudehöhen innerhalb des Punktdatenbestandes wird eine planare 2-dimensionale Analyse mit 3-dimensionalen Bezug ermöglicht. Das Ergebnis zeigt die statische Verteilung von m^3 Bauvolumen pro m^2 Flächeneinheit.

Obwohl die Beschaffenheit der Fassaden (Albedo, Dämmung, Material) ebenso wie die Umgebungsparameter einen großen Einfluss auf die realistische Energieabsorption eines Gebäudes haben, hilft die Analyse der Gebäudevolumendichte bei der generellen Einschätzung zur verfügbaren beeinflussten Masse und dessen Nachbarschaftswirkung.

Planungsrelevanz:

Die Gebäudevolumendichte dient als Indikator für die (zunehmende) bauliche Dichte innerhalb des Stadtgebietes. Die Karte vereint 2-dimensionale Grunddaten mit 3-dimensionalen Höhendaten und berücksichtigt diese im nachbarschaftlich-räumlichen Kontext. Daraus resultiert für die Stadtplanung die Möglichkeit Bereiche zu identifizieren, die akkumulativ durch große Gebäudemassen geprägt sind. Planerisch können diese Informationen genutzt werden, um bspw. Entscheidungsprozesse der städtischen Nachverdichtung qualitativ zu unterstützen. Im Vergleich zu anderen Städten ist die Stadt Lampertheim von eher lockeren Baumassen geprägt (Innenstadtbereich bis ca. $11,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$, sowie an einem punktuellen Einzelstandort bis ca. $25 \text{ m}^3/\text{m}^2$).

Vergleichswerte:

Frankfurt Bahnhofsviertel: ca. $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis ca. $300 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Würzburg Altstadt: ca. $50 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis $150 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Bad Oeynhausen Innenstadtbereich: ca. $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis ca. $23 \text{ m}^3/\text{m}^2$

IV.1.7 Sky-View Faktor

Der SkyView-Faktor (SVF) beschreibt die horizontale und vertikale Offenheit der Erdoberfläche gegenüber dem Himmel. Ausgehend von der Bodenoberfläche wird untersucht, wieviel Prozent des Himmels sichtbar sind. Ausgedrückt wird dieses prozentuale Verhältnis mit einer numerischen Skala von 0 bis 1. Je kleiner der Wert, desto weniger ist vom Himmel sichtbar und wird somit durch Hindernisse blockiert. Unter Berücksichtigung der vorherrschenden Topographie und der Bebauungsstruktur (Gebäudegrundrisse mit Gebäudehöhen) wurde die Analyse für das Stadtgebiet von durchgeführt. Jeder Berechnungspunkt ist in einem regelmäßigen Abstand von 1 m zu seinem direkten Nachbarn angeordnet. Daraus ergibt sich eine Gesamtauflösung von 1 m für das Untersuchungsgebiet.

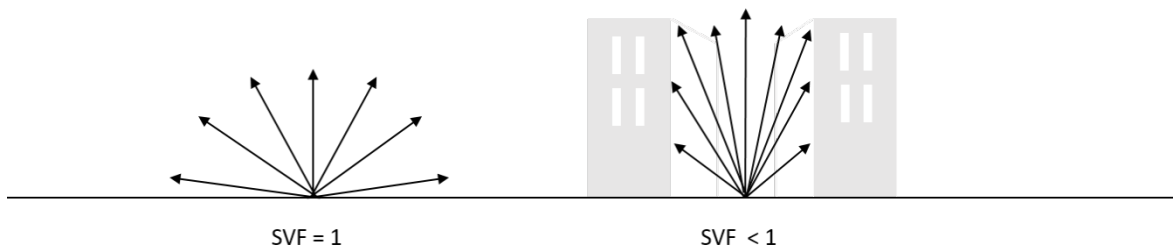


Abbildung 31: Schematische Darstellung der Ableitung des SkyView Faktors

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - SkyView Faktor im Stadtgebiet

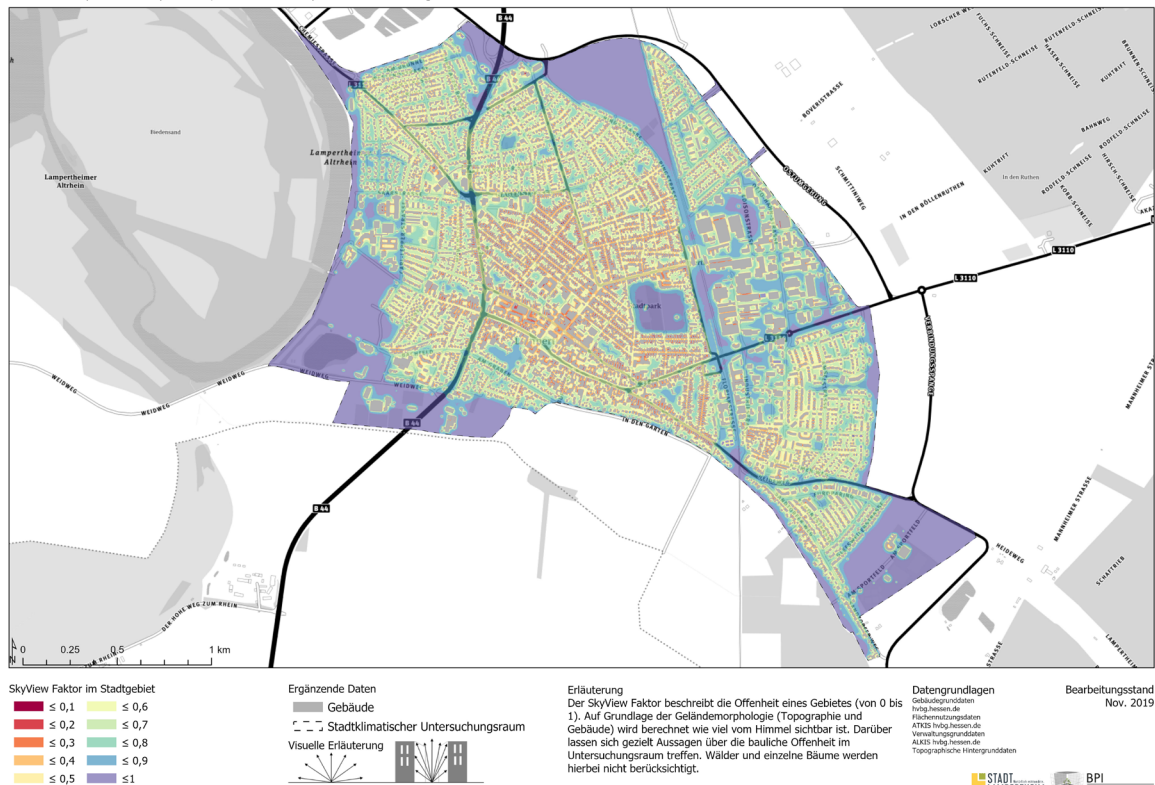


Abbildung 32: Darstellung des SkyView Faktors zur Ermittlung der vertikalen Offenheit für den Untersuchungsraum Lampertheim

Der SkyView-Faktor (SVF) beschreibt die horizontale und vertikale Offenheit der Erdoberfläche gegenüber dem Himmel. Ausgehend von der Bodenoberfläche wird untersucht, wieviel Prozent

des Himmels sichtbar ist. Ausgedrückt wird dieses prozentuale Verhältnis mit einer numerischen Skala von 0 bis 1. Je kleiner der Wert, desto weniger ist vom Himmel sichtbar und wird somit durch Hindernisse blockiert. Unter Berücksichtigung der vorherrschenden Topographie und der Bebauungsstruktur (Gebäudegrundrisse mit Gebäudehöhen) wurde die für die Analyse für den Untersuchungsraum Lampertheim sowie die Gesamtgemarkung durchgeführt. Jeder Berechnungspunkt ist in einem regelmäßigen Abstand von 1 m zu seinem direkten Nachbarn angeordnet. Daraus ergibt sich eine Gesamtauflösung von 1 m für das Untersuchungsgebiet.

Mit Hilfe des SkyView-Faktors können Rückschlüsse auf die Wärmespeicherung („Heat Trap Effect“) innerhalb von Straßenschluchten gezogen werden. Obwohl bei einem SVF von 1 die solare Exposition bei 100 % liegt, ergibt sich durch die hohe Offenheit eine geringe Umwandlung der eintreffenden kurzwelligen solaren Strahlung in langwellige Wärmestrahlung und durch das Fehlen geeigneter Objekte eine damit verbundenen geringe Wärmespeicherung. Demensprechend besteht die Gefahr der zusätzlichen Überwärmung unterhalb eines SVF von 0,5 – 0,15. Unterhalb von 0,15 kann es durch die fast gänzlich fehlende solare Einstrahlung zu einer Abkühlung innerhalb der Häuserschlucht kommen. Dieser Effekt ist oft bei kleineren Fußwegen und Gassen zu beobachten, welche meist für den Autoverkehr eine zu geringe Durchgangsbreite haben.

Planungsrelevanz:

Der SkyView Faktor stellt eine Berechnungsgröße dar, die es ermöglicht die bauliche „Enge“ zu beschreiben, und damit Hinweise zum Wärmespeichereffekt innerhalb einer Straßenschlucht abzuleiten oder Aussagen zum Lichtraumprofil des Straßenraums zu treffen.

Für den Wärmespeichereffekt gilt:

SVF 1 – 0,5 >>> kein bis geringer Wärmespeichereffekt im Straßenraum

SVF 0,5 – 0,15 >>> erhöhte Wärmespeicherung im Straßenraum (Gefahr der zusätzlichen Überwärmung)

SVF < 0,15 >>> Abkühlungseffekt durch fast gänzlich Fehlen solarer Einstrahlung

Wichtig! Der Wärmespeichereffekt im Straßenraum ist im hohen Maß von der Beschaffenheit der Oberflächen (Fassaden, Straßen, Gehwege) abhängig. Dies wird im SVF nicht berücksichtigt.

Problematische Bereiche mit einem SkyView Faktor von weniger als 0,5 sind großflächig selten, jedoch besonders im Innenstadtbereich vorzufinden. In weiteren Untersuchungen kann diese Analyse dazu genutzt werden um Aussagen bspw. zum Lichtraumprofil (Helligkeit im Straßenraum) zu treffen.

Wichtig! Die Verhältnisse zwischen direkter und diffuser Besonnung sind stark von den Faktoren Tageszeit, Jahreszeit, globale Lage (Breiten-/Längengrad) und Deckungsgrad abhängig. (pauschal liegt der Anteil diffuser Besonnung im Sommer bei $\frac{1}{4}$, im Winter bei $\frac{1}{2}$).

IV.2 Klimafunktionskarte (KFK)

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Klimafunktionskarte

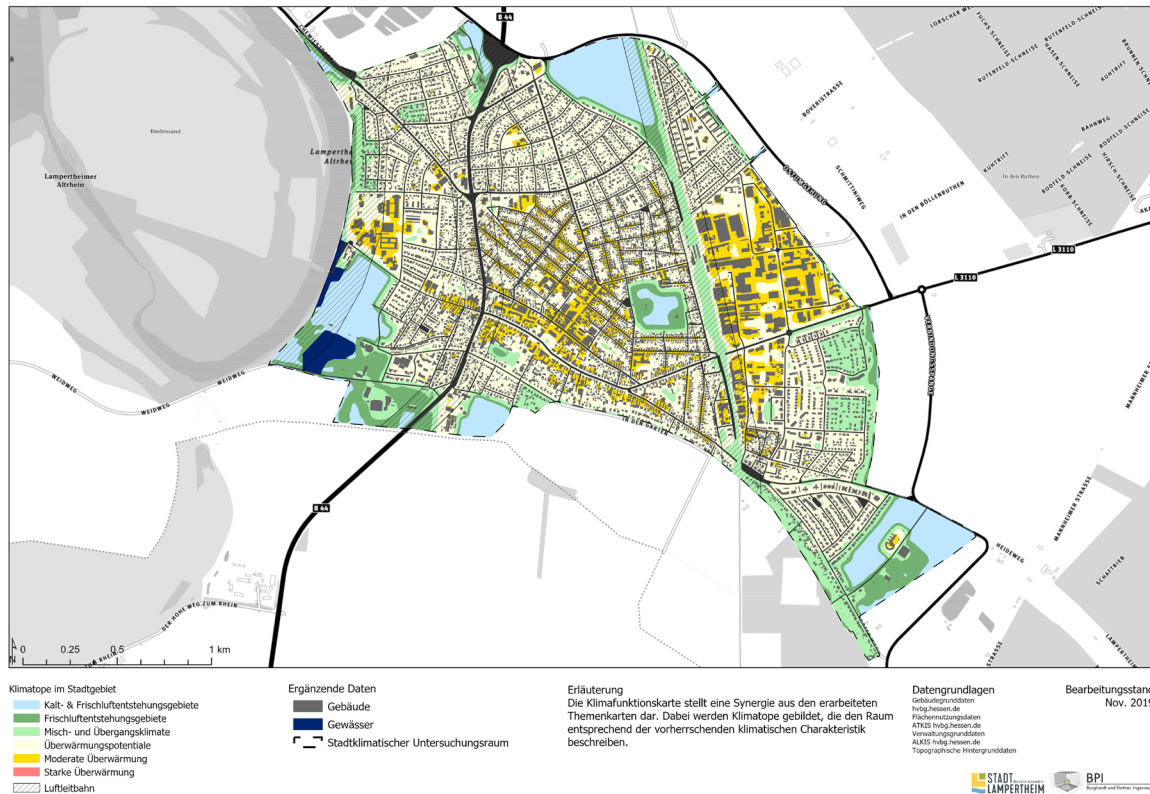


Abbildung 33: Klimafunktionskarte mit Klimatopklassifizierung für den Untersuchungsraum Lampertheim (Berechnung erstreckt sich über den Untersuchungsraum hinweg)

Die Klimafunktionskarte (siehe Abbildung 33 & Abbildung 34) stellt die fachliche Verschneidung der erarbeiteten Themenkarten dar, welche durch die GIS gestützte Verarbeitungsmatrix unter Berücksichtigung der Lokalisation des Untersuchungsraums die stadtklimatischen Zusammenhänge als sechs definierte Klimatopie beschreibt. In Anlehnung an die VDI Richtlinie 3787 können diese 6 Klimatopieklassen mit unterschiedlichen Klimateigenschaften assoziiert werden. Jedes Klimatopie besitzt zudem eine Beschreibung, welche seine wichtigsten klimatischen Eigenschaften charakterisiert (siehe Tabelle 5).

In baulich geprägten Bereichen führen verschiedene nutzungsbedingte "Ausstattungs-faktoren" je nach Ausprägungen zu mehr oder weniger starken Überwärmungstendenzen wie auch zu einer Einschränkung der Durchlüftung und Reduzierung / Verzögerung nächtlicher Abkühlung. Zu diesen Faktoren zählen z.B. Versiegelung, Gebäudestrukturen bzw. -kubaturen oder Durchgrünung, aber auch Aspekte wie Topografie, Lage, Größe etc. der entsprechenden Flächen sowie der ggfs. vorhandene kompensatorische Einfluss von benachbarten Ausgleichsflächen. Hieraus können im Zusammenspiel mit Emissionen je nach Wetterlage teilweise hohe Luftbelastungen resultieren, die in Abhängigkeit der Wetterlage und der Geländestruktur auch auf benachbarte Räume negativ einwirken.

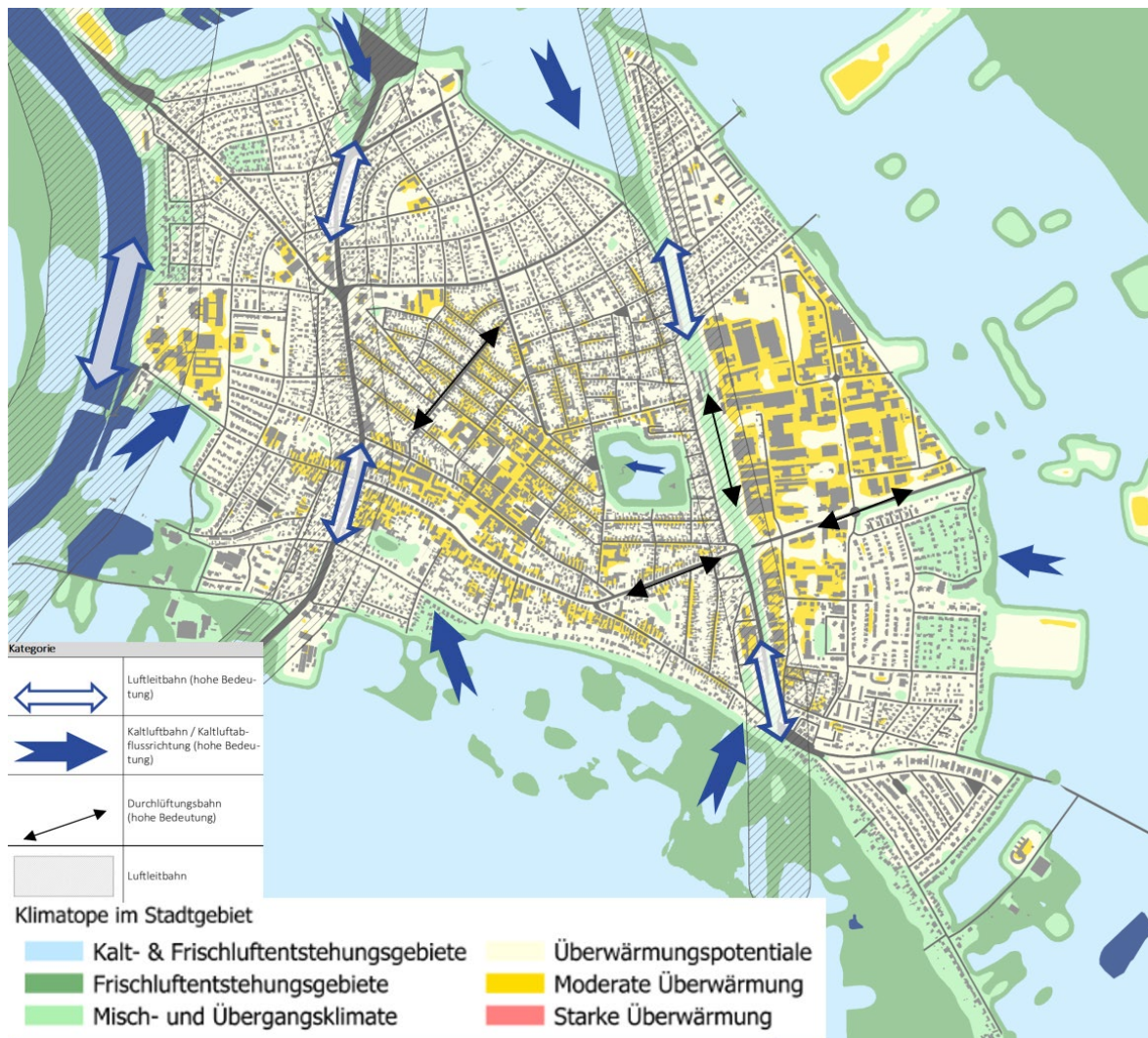


Abbildung 34: Klimafunktionskarte mit Klimatopklassifizierung und dynamischen Komponenten für den Untersuchungsraum Lampertheim

Tabelle 5: Darstellung und Beschreibung der Klimatope der Klimafunktionskarte

Kategorie		Beschreibung
	Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebiet	Diese klimatisch hochaktiven Flächen sind wichtige Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete. Sie sind meist durch niedrigen Bewuchs geprägt, womit eine geringe Oberflächenrauigkeit gegeben ist. Dementsprechend können sie in Abhängigkeit ihrer Exposition und Verteilung im Raum die Belüftungssituation und den Kaltluftabfluss beeinflussen. Zu den Gunstklimate gehören Flächen mit hoher nächtlicher Abkühlungsrate (vornehmlich Grünland sowie landwirtschaftliche Flächen und Brachen). Zudem sind diese Gunstklimate nur gering emissionsbelastet, wodurch ihnen eine wichtige Funktion in Zusammenhang mit dem regionalen und lokalen Belüftungs- und Zirkulationssystem zukommen.
	Frischluftentstehungsgebiet	Insbesondere die Frischluftentstehungsgebiete sind lufthygienisch bedeutende Flächen mit starker Filterwirkung für Luftschadstoffe sowie charakterisierende Frischluftproduktion. Größtenteils durch dichten Gehölzbestand gekennzeichnet.
	Misch- und Übergangsklimate	Diese vegetationsgeprägten Gebiete haben ausreichende Größe, um ein lokales klimatisches Ausgleichspotential zu generieren. Sie besitzen damit eine hohe klimaökologische Wertigkeit als Puffer- und Ausgleichsgebiete. Misch- und Übergangsklimate können als Pufferbereiche in der Stadt dienen. Auf diesen Flächen findet eine ausreichende lokale Belüftung und Evapotranspiration statt, wodurch sie besonders in den Sommermonaten mit ihrer Ausgleichsfunktion dem idealen Stadtklima entsprechen.
	Überwärmungspotential	Baulich geprägte Gebiete mit hohem Vegetationsanteil oder Offenheit, sowie moderatem nächtlichen Abkühlungspotential. Belüftung kann durch Bebauung eingeschränkt sein.
	Moderate Überwärmung	Verdichtete Gebiete mit großen Baumassen. Freiräume meist vegetationsfrei und mit eingeschränkter Belüftung. Überwärmungsrisiko erhöht.
	Starke Überwärmung (im Untersuchungsraum nicht vorkommend)	Stark verdichtete Gebiete, geprägt durch fehlende Vegetation und geringer Retentionseigenschaften. Stark eingeschränkte Belüftung. In Kombination mit großen Baumassen entsteht ein hohes Überwärmungsrisiko.

Tabelle 6: Darstellung & Beschreibung der dynamischen Komponenten der Klimafunktionskarte

Kategorie		Beschreibung
	Luftleitbahn (hohe Bedeutung)	Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt in Abhängigkeit der Windverteilung. Klimatisch und lufthygienisch von großer Bedeutung, insbesondere bei regionalen Schwachwindlagen.
	Kaltluftbahn / Kaltluftabflussrichtung (hohe Bedeutung)	Thermisch induziertes, bei regionalen Schwachwindlagen, nächtliches Windsystem. Produzierte Kaltluft auf / über unversiegelten Flächen fließt reliefbedingt hangabwärts.
	Durchlüftungsbahn (hohe Bedeutung)	Lokale Flächen, welche neben den übergeordneten Luftleitbahnen zur Belüftung beitragen können. Meistens Flächen mit geringer Oberflächenrauigkeit wie Straßen, Gleiskörper, Flussläufe etc. Planerisch für die lokale Belüftungssituation von hoher Bedeutung.
	Luftleitbahn	Flächen geringer Rauigkeit (flaches Gelände, keine Gebäude, etc.), mit besonderer Eignung zum bodennahen Transport von Luftmassen mit regionaler / lokaler Bedeutung.

IV.3 Städtische demographische Situation und klimatische Vulnerabilität

IV.3.1 Demographische Situation und Verteilung im Stadtgebiet

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Themenkarte - Demographische Verteilung

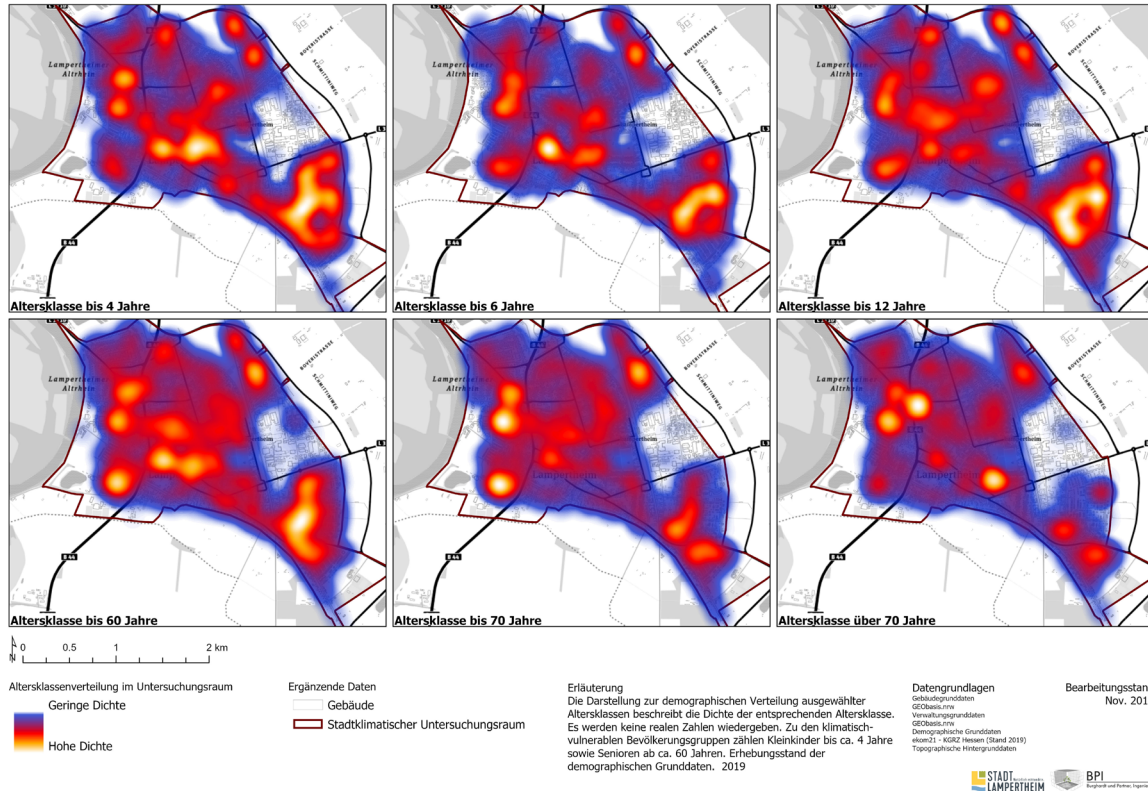


Abbildung 35: Demographische Verteilung nach Altersklassen im Untersuchungsraum

Daten zur demographischen Verteilung der vorkommenden Altersstrukturen innerhalb eines Untersuchungsraums können wichtige Planungs- und Entscheidungsgrundlagen darstellen. Insbesondere im klimatischen Kontext ist die hitzebedingte Vulnerabilität (Verletzlichkeit) maßgeblich abhängig vom Alter der Bevölkerung (siehe nachfolgendes Kapitel IV.3.2). Generell bietet die Analyse der demographischen Verteilung die Möglichkeit den Siedlungsraum auf Aspekte der Überalterung oder Verjüngung zu untersuchen. Im Rahmen der vorliegenden Analyse (Abbildung 35) wurde die aktuellen Daten (Stand Januar 2019) des Einwohnermeldeamtes ausgewertet (Anmerkung: Alle personenbezogenen Daten wurden in der Analyse und in den Ergebniskarten sowie Datenbanken dahingehend generalisiert, dass keine lagegenaue Verortung einzelner Personen mehr möglich ist). Das Ergebnis (Abbildung 35) der Analyse beschreibt den Untersuchungsraum der Stadt Lampertheim mit Hilfe einer „Heat-Map“. Diese zeigt die Dichte (Grad der räumlichen Agglomeration) unterschiedlicher Altersgruppen (Altersstrukturen) im räumlichen Kontext. Abbildung 35 beschreibt die Verteilung der Altersklassen bis 4 Jahre, bis 6 Jahre, bis 12 Jahre, bis 60 Jahre, bis 70 Jahre und über 70 Jahre. In den ersten drei Altersklassen zeigt sich eine deutliche Verdichtung im südöstlichen Siedlungsbereich, sowie in Teilen (Altersklasse bis 4 Jahre) im Innenstadtbereich. Die große Altersklasse zwischen 12 Jahren und 60 Jahren (diese Gruppe setzt sich aus den Altersklassen mit der geringsten hitzebedingten Vulnerabilität zusammen) beschreibt eine homogenere Verteilung mit einzelnen Spots im Stadtgebiet. Für die verbleibenden Altersklassen bis 70 Jahre und über 70 Jahre ist eine höhere Dichte im

westlichen Stadtgebiet charakterisierend. Ergänzend gibt es in der Altersklasse bis 70 Jahre einen Spot im nordöstlichen sowie einen kleineren Spot im südöstlichen Siedlungsraum. In der Altersklasse über 70 Jahre gibt es einen zusätzlichen Dichtespot im weiteren Bereich der Neuschlossstraße und der Wilhelmstraße.

Zur Sicherstellung des Datenschutzes wurden Angaben zur Personenzahl von der Dichteberechnung losgelöst und ergänzend in Abbildung 36 separat betrachtet. Im Vergleich zwischen Untersuchungsraum und der Gesamtgemarkung wird deutlich, dass der Großteil der Bevölkerung in Lampertheim zentral im Untersuchungsraum wohnt. Gleichzeitig wird deutlich, dass die älteren Bevölkerungsgruppen (> 60 Jahre) den jüngeren Bevölkerungsanteil (bis 12 Jahre) im Verhältnis von 2.6:1 in der Gesamtgemarkung und 2.5:1 im Untersuchungsraum übersteigt. Aus diesen Zahlen lässt sich jedoch nur der Status Quo ableiten, nicht jedoch der demographische Trend (statistisch und räumlich). Dies wäre ergänzend im Zuge der Betrachtung von mehreren Zeitreihen möglich.

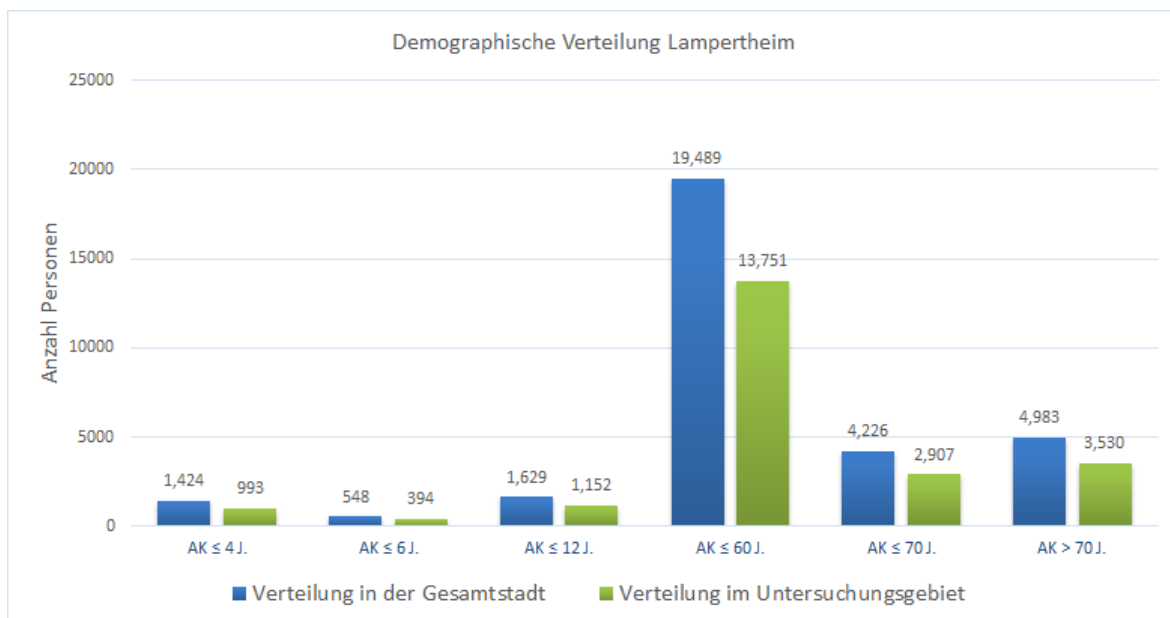


Abbildung 36: Vergleich der demographischen Verteilung nach Altersklassen zwischen Gesamtstadt und Untersuchungsraum

IV.3.2 Abschätzung der Intensität klimatischer Vulnerabilität

Die für die Analyse der Altersstrukturen verwendeten Daten stammen aus dem Jahr 2018 und sind auf Stadtteilebene verfügbar. Um zu ermitteln wie viele Personen einer bestimmten Altersklasse, statistisch betrachtet, in den bioklimatischen Belastungsklimatopen „Überwärmungspotential“ und „Moderate Überwärmung“ leben, wurden Altersklassen zusammengefasst, wobei die Altersklassen 0 bis 4 Jahre und über 70 Jahre als besonders vulnerabel gegenüber Hitze gelten, gefolgt von den Altersklassen 4 bis 6 Jahre und 60 bis > 70 Jahre. Mit diesen Informationen konnte abschließend eine Verschneidung der Verteilung der Altersstrukturen mit den Klimatopklassen der Klimafunktionskarte durchgeführt werden, um die Anzahl der potentiell betroffenen Personen zu erhalten.

Die Analyse in Abbildung 37 zeigt die Betroffenheit bzw. Exposition der potentiell vulnerablen Altersklassen gegenüber den in der Klimafunktionskarte definierten Klimatopen. Für eine bessere Lesbarkeit ist für Y-Achse eine logarithmische Skalierung gewählt worden. Die Analyse beschreibt, dass der Großteil der Bevölkerung innerhalb des stadttypischen „Überwärmungspotential“ lebt. Unabhängig von der betrachteten Altersklasse zeigt sich, dass ca. 70 % bis 75 % im Klimatop des „Überwärmungspotentials“ und ca. 17 % bis 21 % im Klimatop der „Moderaten Überwärmung“ leben. Hier stellt die Altersklasse über 70 Jahre mit ca. 24 % eine Ausnahme dar. Aus der Analyse lässt sich schließen, dass es aktuell eine sehr homogene Verteilung der Altersklassen innerhalb der im Stadtgebiet vorkommenden Klimatope gibt, so dass nicht von einer generellen hitzebedingten Mehrbelastung für eine bestimmte Altersgruppe gesprochen werden kann. Im Kontext des leicht erhöhten Anteils über 70-Jähriger im moderaten Überwärmungsklimatop können zukünftig Präventionsmaßnahmen (z.B. Aufklärungskampagnen bei Ärzten) in Betracht gezogen werden.

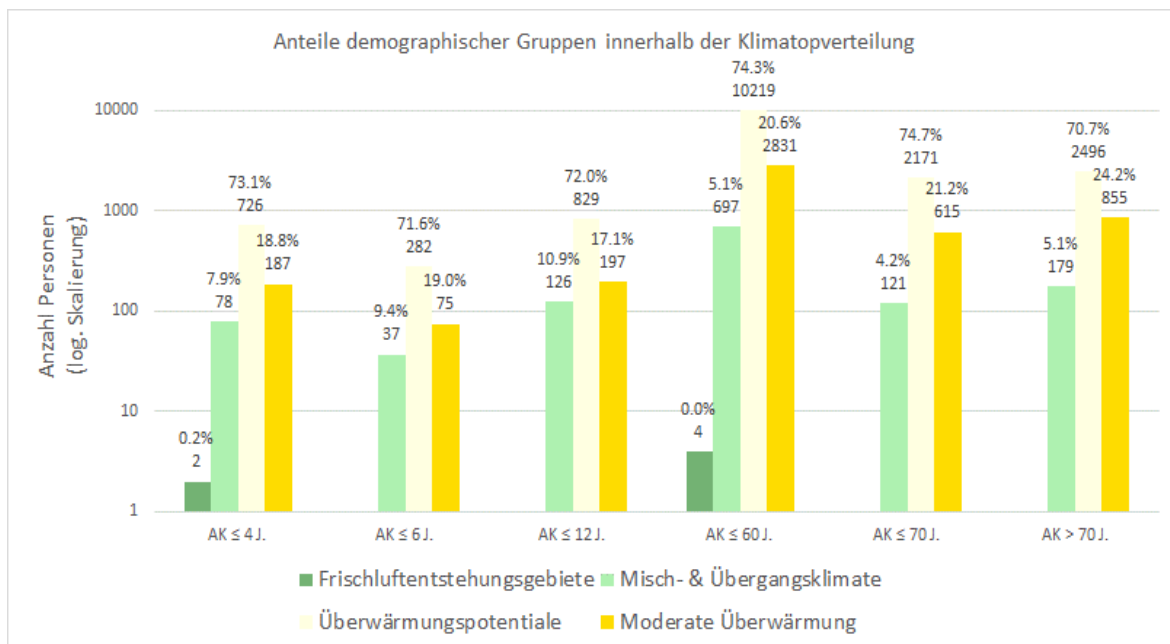


Abbildung 37: Darstellung der Anzahl betroffener Personen entsprechend der Klimatopverteilung im Untersuchungsraum sowie deren prozentualer Anteil an der entsprechenden Altersklasse im Untersuchungsraum

V. Stadt- und Landschaftsplanerische Analysen

Im Rahmen der Stadtklimatischen Analyse wurde drei ergänzende Themenkarten erarbeitet, die Aussagen über den Grad der Vegetationsbedeckung, der Gebäudeversiegelung sowie sonstigen Flächenversiegelung auf Flurstücksebene treffen.

- Der Grad der Vegetationsbedeckung wurde auf Grundlage aktueller Nah-Infrarot Luftbilder (Stand 2019) erfasst und entsprechend jeder Flurstücksfläche bilanziert. Der Anteil der Dachbegrünung pro Flurstück wurde (Toleranzabzug von 10 %, zur Kompensation z.B. überhängender Ästen) ebenfalls erfasst. Flächen, die direkt durch Vegetation bedeckt sind (durch Baumkronen), wurden entsprechend der Vegetation zugerechnet.
- Der Grad der Gebäudeversiegelung wurde auf Grundlage des aktuellen Gebäudebestandes (Stand 2019) erfasst und entsprechend jeder Flurstücksfläche bilanziert. Dabei wurden alle baulichen Strukturen eines Flurstücks berücksichtigt, sofern sie im offiziell zur Verfügung gestellten Datensatz aufgeführt wurden. Bauliche Anlagen unterhalb der Erdoberfläche (z.B. Tiefgaragen) wurden bei der Bestimmung des Grads der Gebäudeversiegelung nicht berücksichtigt.
- Der Grad der Restflächenversiegelung wurde 2-stufig gebildet. Dies erfolgte auf Grundlage von
 1. Der Differenzbildung aus den Summen der Vegetations- & Gebäudebedeckung und der Flurstücksfläche und
 2. Der Berücksichtigung zusätzlicher unversiegelter Flächen (z.B. Wasserflächen) gebildet. Da im Rahmen der Vegetationserfassung u.a. Baumkronen erfasst wurden und nicht die dem Baum zugehörige Baumscheibe (die Fläche direkt unter den Baumkronen), kann es bei Flächen mit starkem Baumbestand zu Abweichungen gegenüber den realen Gegebenheiten kommen.

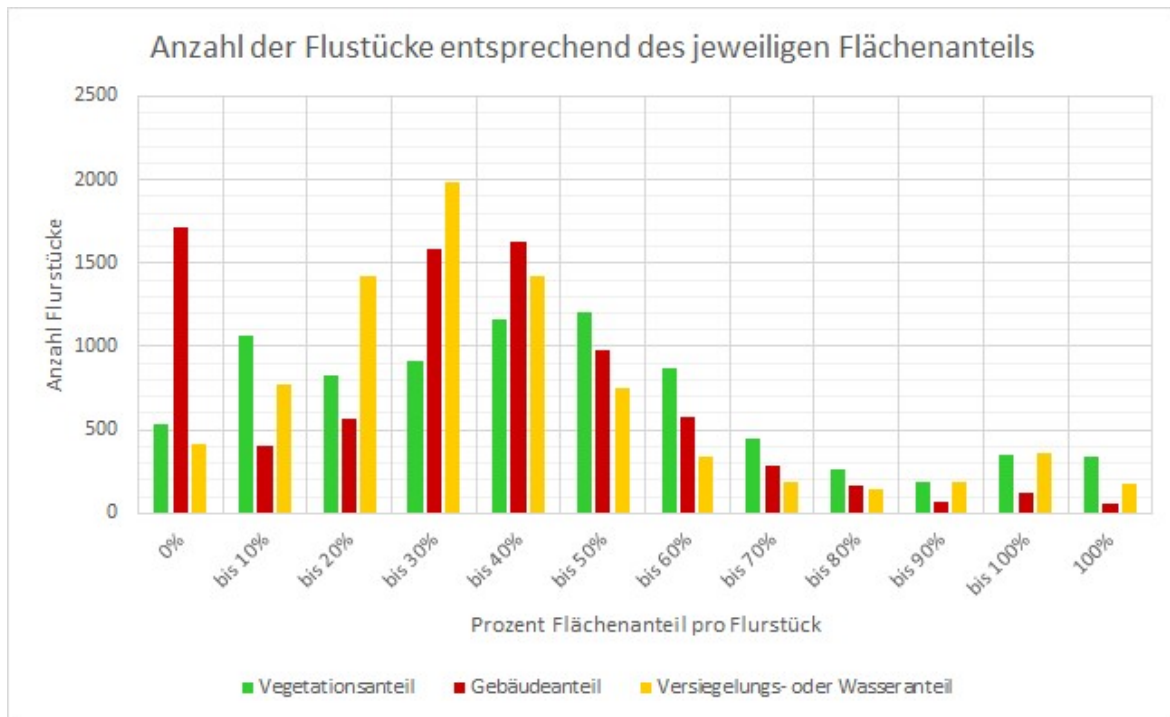


Abbildung 38: Übersicht der unterschiedlichen, prozentualen Flächenverteilungen je Flurstück

V.1 Anteil Vegetationsbedeckung auf Flurstücksebene im Stadtgebiet

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Analysekarte - Vegetationsbedeckung auf Flurstücksebene

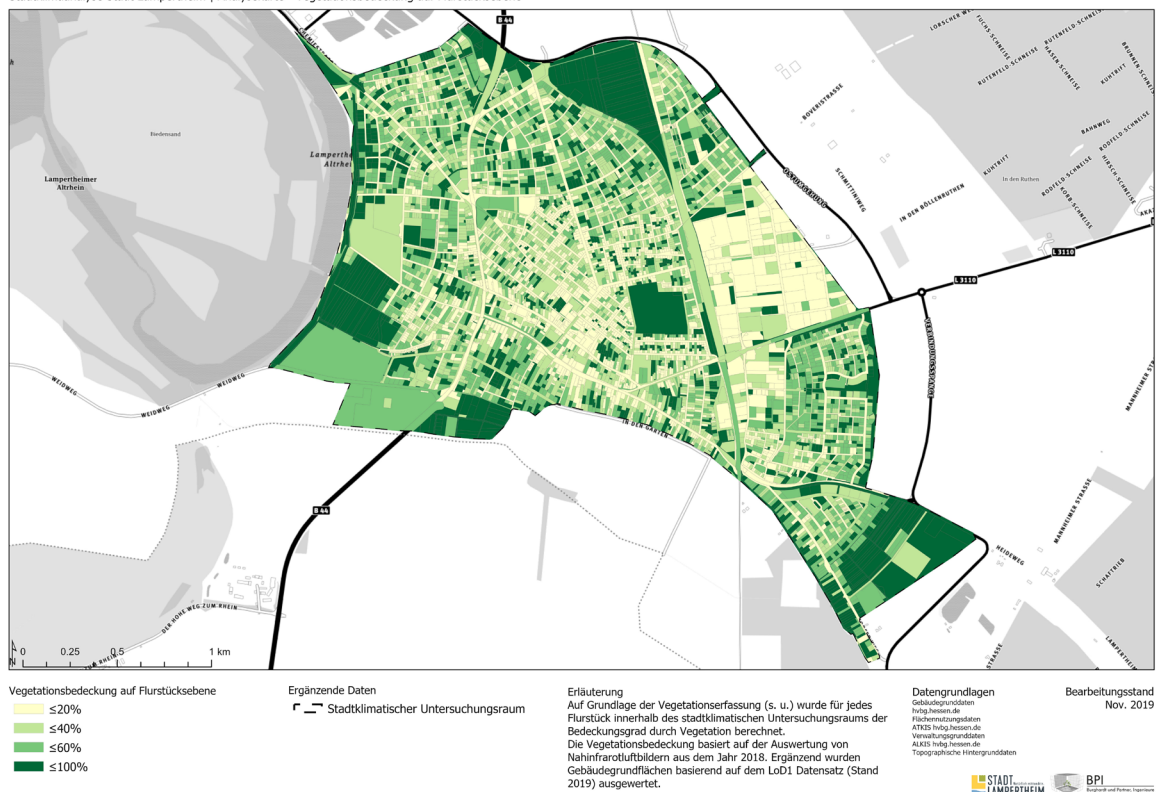


Abbildung 39: Vegetationsbedeckung auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum

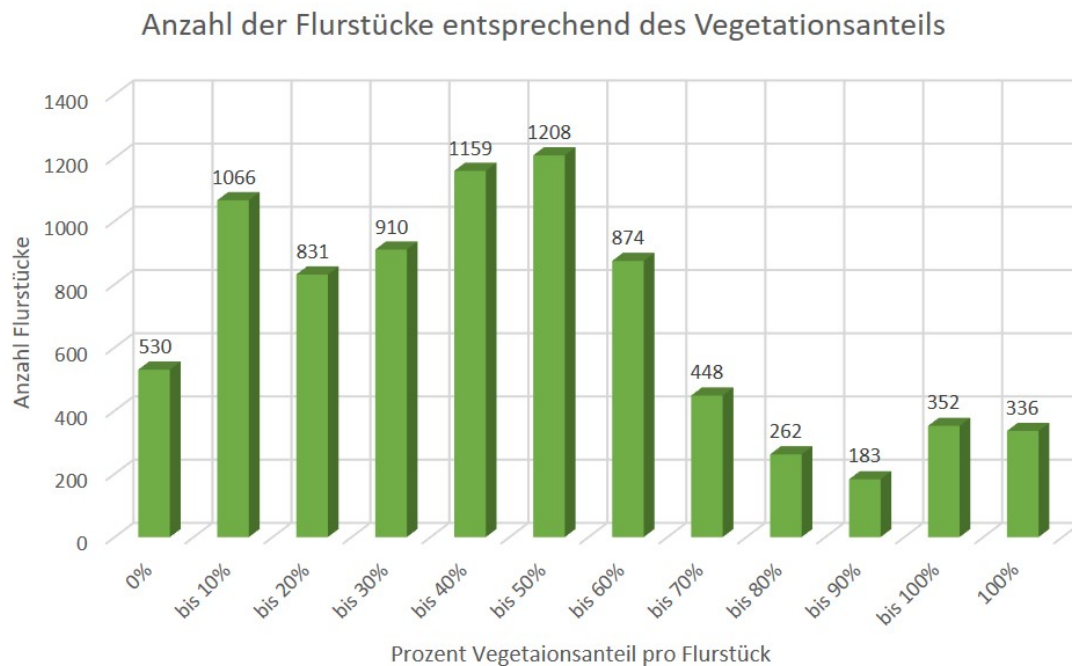


Abbildung 40: Statistische Auswertung des prozentualen Vegetationsanteils je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim

V.2 Anteil Flächenversiegelung durch Gebäude auf Flurstücksebene im Stadtgebiet

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Analysekarte - Versiegelungsgrad durch Gebäude auf Flurstücksebene

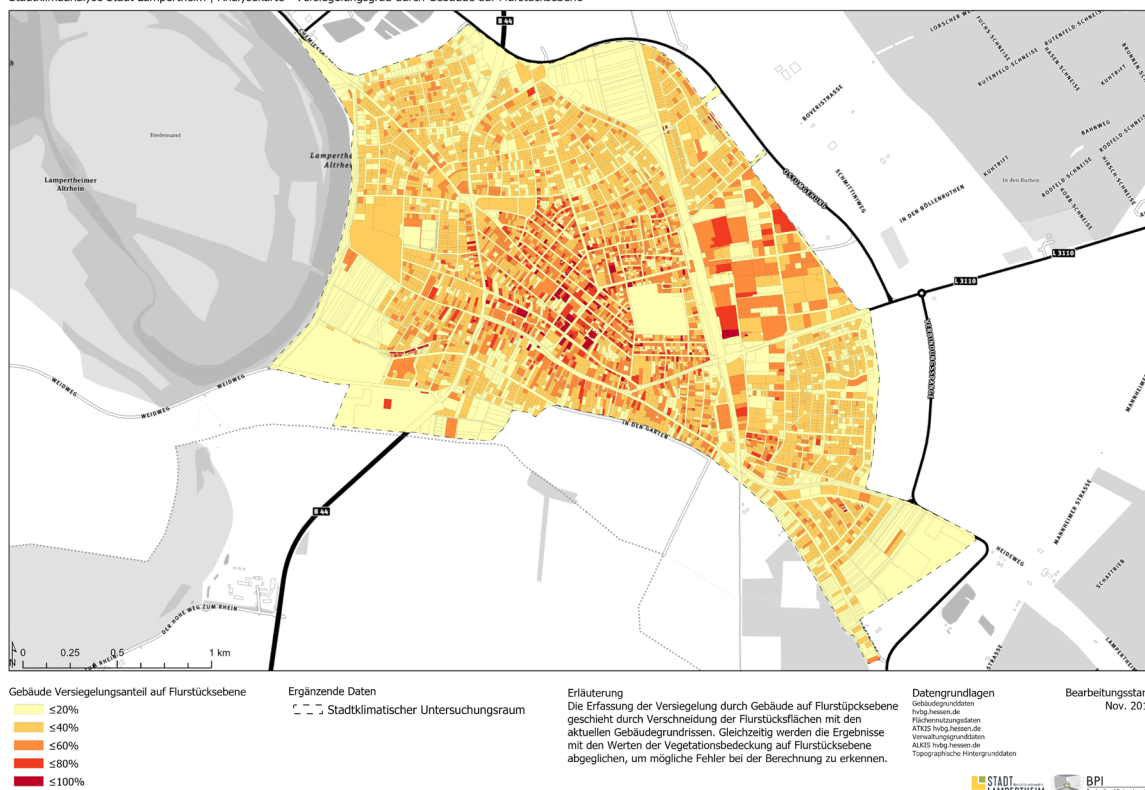


Abbildung 41: Versiegelungsgrad durch Gebäude auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum

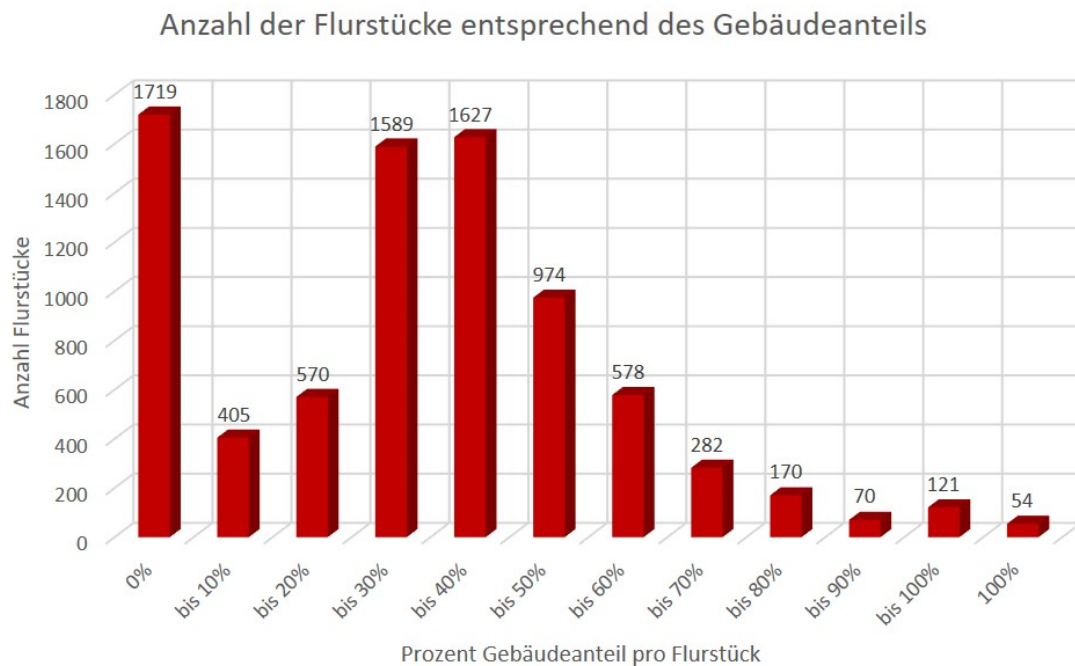


Abbildung 42: Statistische Auswertung des prozentualen Gebäudeanteils je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim

V.3 Anteil Flächenversiegelung ohne Gebäude auf Flurstücksebene im Stadtgebiet

Stadtklimaanalyse Stadt Lampertheim | Analysekarte - Flächenversiegelung (ohne Gebäude) auf Flurstücksebene

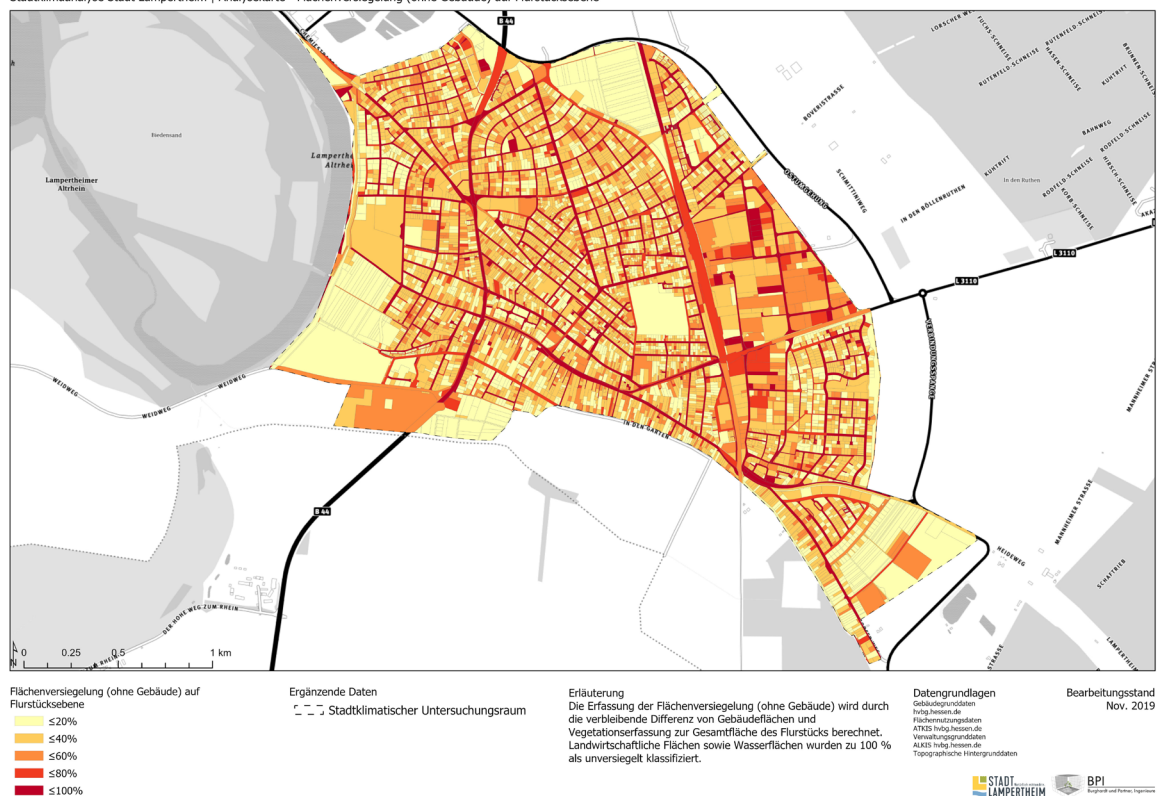


Abbildung 43: Flächenversiegelung ohne Gebäude auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum

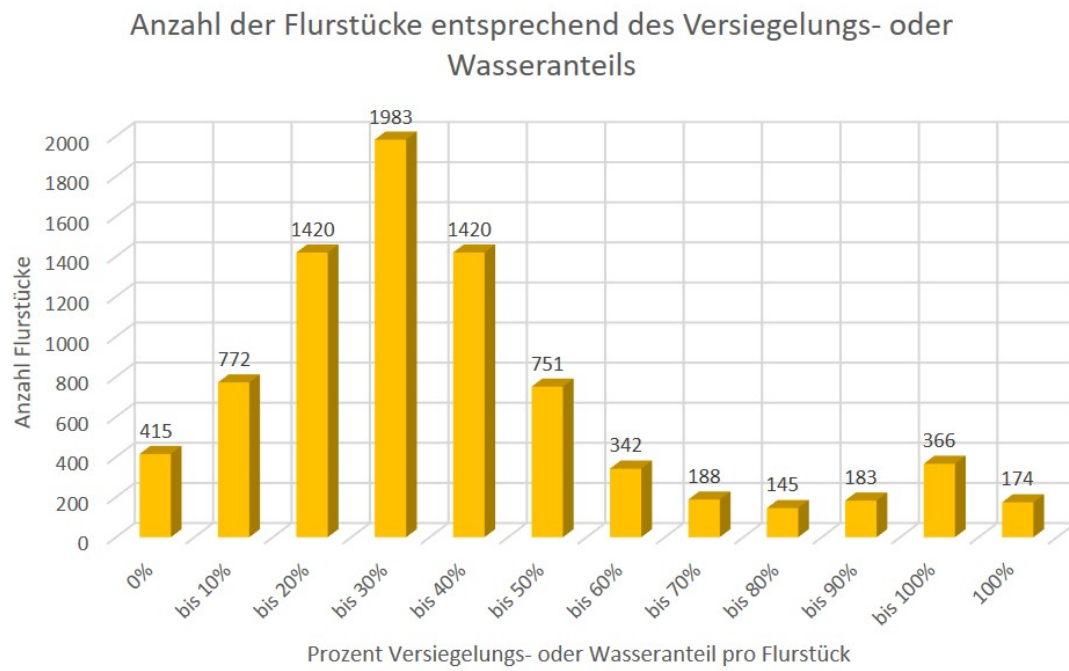


Abbildung 44: Statistische Auswertung des prozentualen Versiegelungsanteil je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim

V.4 Sonderkulturen mit temporären oder dauerhaften Folienbesatz

In den vergangenen Jahren hat der Einsatz von Folien in der Landwirtschaft – hauptsächlich bei Sonderkulturen, wie z.B. Spargel oder Erdbeeren – kontinuierlich zugenommen. Gleichzeitig kann neben dem flächenmäßigen Anstieg auch eine verlängerte Verweildauer (bis zu sechs Monate) von temporären Folien auf den Flächen beobachtet werden.

Zum einen ermöglicht die Nutzung von Folien eine Verlängerung, beziehungsweise einen früheren Start (spez. bei Spargel) der Erntesaison, zum anderen kann die Frucht (spez. Erdbeeren) vor den Folgen des Klimawandels (z.B. später Frost, Starkregen) besser geschützt werden.

Naturgemäß erzeugt diese Art der Bewirtschaftung in der offenen Landschaft allerdings auch Spannungen mit unterschiedlichen Umweltschutzgütern, so z.B. dem Boden, dem Artenschutz oder dem Landschaftsbild (Land Brandenburg 2012), (Jendro 2017).

Im Hinblick auf das Schutzgut Klima ist der lokale Einfluss von Folien bzw. Folienkonstruktionen auf beispielsweise die Kaltluftentstehung und ggf. auf den Kaltluftabfluss schwer abzuschätzen. Die Stärke der Beeinflussung kann deshalb nicht pauschalisiert werden, sondern hängt vielmehr von unterschiedlichen Faktoren, wie z.B. der Folienart, der Konstruktion, der Geländetopographie, ab.

Ein Hemmnis für die Kaltluftproduktion (vgl. II.5) stellen insbesondere Thermofolien, Schwarz-Weißfolien oder die Kombination aus beiden dar. Das Ziel der Thermofolien ist es die langwellige Infrarotstrahlung, die nachts vom Boden und den Pflanzen abstrahlt, zu reflektieren und in der Luftschicht unter der Folie zu halten, wodurch das Abkühlen des Bodens verhindert wird. Schwarz-Weißfolien werden als Standard im heutigen Spargelanbau eingesetzt und bieten die Basis für zusätzliche Foliensysteme. Sie versiegeln die Spargeldämme und können je nachdem ob die weiße oder die schwarze Seite oben liegt, Einfluss auf die Temperatur des Bodens und damit auf die Stärke des Ertrags nehmen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Reaktionszeit auf Temperaturveränderungen bei ca. zwei Tagen liegt (Krug et al. 2002).

Unabhängig von der Art der Folie kann auch die Folienkonstruktion selber Einfluss auf den Kaltluftabfluss nehmen. Liegen größere Folientunnel / Folienkonstruktionen quer zu einem Kaltluftabfluss, entfalten sie hier eine gewisse Riegelwirkung. Bei ausreichender Kaltluftproduktion staut diese sich an der angeströmten Seite des Hindernisses auf, bis sie es überströmen kann.

Da eine Reduktion des Anbaus mit Hilfe von Folien zukünftig unwahrscheinlich ist, empfiehlt sich die Ausarbeitung von individuell abgestimmten Konzepten (z.B. hinsichtlich der Verweildauer, Folienart etc.) – unter Einbeziehung aller Interessensvertreter – für betroffene Ortschaften und Gemeinden.

Generell ist anzumerken, dass die Effekte von landwirtschaftlichen Folien auf die unterschiedlichen Umweltschutzgüter bisher kaum wissenschaftlich untersucht wurde. Aktuell wird, unter Federführung des Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Thünen-Institut), im Rahmen des Forschungsprojekts "[Untersuchung der Mikroplastik-Senken und -Quellen von einem typischen Einzugsgebiet bis in die offene Ostsee](#)" u.a. der Einfluss von Mikroplastik (z.B. aus dem Folienanbau) über verschiedene Ökosysteme hinweg untersucht (Laufzeit bis Juli 2020). Die Einflussnahme auf klimatische Aspekte (z.B. auf das lokale Flurwindsystem) wird in diesem Forschungsprojekt jedoch nicht untersucht.

VI. Klimaprojektionen

VI.1 RCP-Szenarien

Bei RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) wurden von unabhängigen Forschergruppen für den 5. Sachstandsbericht (2013-2014) des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) entwickelt und ersetzen damit die früheren IPCC-eigenen SRES-Szenarien (Special Report on Emissions Scenarios).

Die RCPs repräsentieren verschiedene Entwicklungspfade der Konzentrationen von Treibhausgasen, Aerosolen und zugehörige Emissionen. Sie wurden mit gekoppelten Energie-Ökonomie-Klima-Landnutzungs-Modellen (sogenannte Integrated Assessment Modelle) erstellt und bilden konsistente Szenarien zukünftiger Treibhausgasemissionen (Kriegler 2016).

Die Bezeichnung der vier für den IPCC-Sachstandsbericht ausgewählten Konzentrationspfade resultiert aus dem jeweiligen Strahlungsantrieb im Jahr 2100 (siehe Tabelle 7). Hierbei ist anzumerken, dass jedes RCP-Szenario eine größere Zahl von in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichten Szenarien repräsentiert.

Tabelle 7: RCP-Szenarien des 5. IPCC-Sachstandsbericht (nach Van Vuuren 2011). RCP 8.5 stellt hierbei ein sehr hohes, während RCP 2.6 ein eher niedriges Emissionsszenario darstellt.

Bezeichnung		RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 2.6
2100	Treibhausgaskonzentration	1370 ppm CO ₂ -äq	850 ppm CO ₂ -äq	650 ppm CO ₂ -äq	400 ppm CO ₂ -äq
	Strahlungsantrieb	8,5 W/m ²	6,0 W/m ²	4,5 W/m ²	2,6 W/m ²

Mit dem Hamburger Erdsystemmodell MPI-ESM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie wurden Projektionen für die globale Mitteltemperatur bis ins Jahr 2100 je RCP-Szenarium durchgeführt. Hierbei erfuhr RCP 8.5 den stärksten Anstieg mit ca. 4,8°C, gefolgt von RCP 4.5 mit einem Anstieg von ca. 2,6°C und nur RCP 2.6 würde mit einem Anstieg von weniger als 2°C unter dem angestrebten 2-Grad-Klimaziel bleiben (siehe Abbildung 45) (DKRZ 2019).

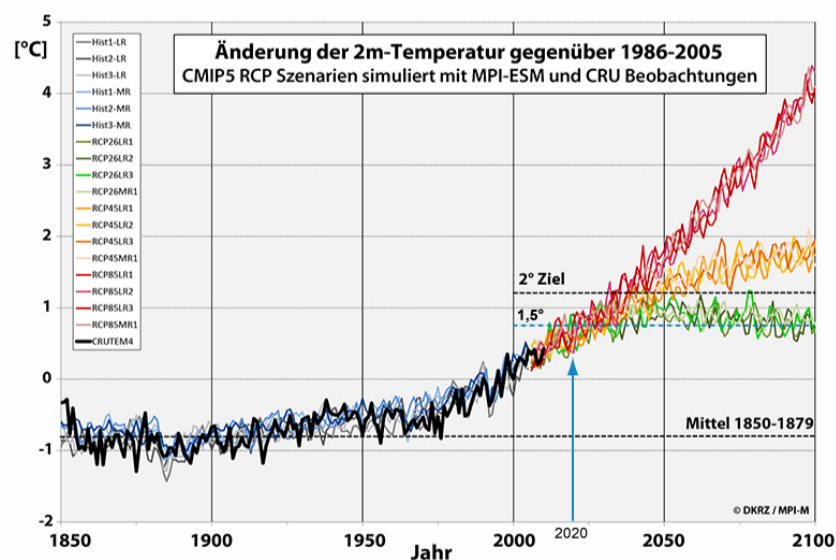


Abbildung 45: Änderung der globalen Mitteltemperatur 1850-2100 nach verschiedenen IPCC-Szenarien (DKRZ / MPI-M 2019). RCP 8.5 (rot), RCP 4.5 (orange) und RCP 2.6 (grün)

Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass es sich bei diesen Zahlen „nur“ um die globale

Mitteltemperatur handelt. Wie die geographische Verteilung der Temperaturerhöhung ausfällt, muss individuell betrachtet werden.

Für die Fläche der Bundesrepublik Deutschland wurde von 2014 bis Ende 2017 das ReKlies-DE (Regionale Klimaszenarien Ensemble für Deutschland) durch das BMBF gefördert. Dabei wurde mit einer räumlichen Auflösung von 12 km gerechnet. Insgesamt wurden 26 Simulationen im Ensemble für das RCP8.5 und 12 Simulationen im Ensemble für das RCP 2.6 Szenario durchgeführt. Betrachtet man die Veränderung in der Anzahl der Heißen Tage pro Jahr (siehe Abbildung 46), hier liegt der hessenweite Mittelwert bei ca. 6 Heißen Tagen, so kann in beiden Szenarien von einer Zunahme ausgegangen werden. Während jedoch im moderaten RCP2.6 Szenario die Veränderungen flächendeckend für das Land Hessen homogen sind, und bei nur +2.9 Tagen liegen, zeigt sich im RCP8.5 Szenario eine deutlich heterogenere Ausprägung. Der Mittelwert beträgt hierbei hessenweit +19.2 Tage. In der Region Südhessen, und dementsprechend auch in der Region der Stadt Lampertheim muss mit einem wesentlich stärkeren Anstieg von 30 bis 40 Heißen Tagen im Jahr gerechnet werden.

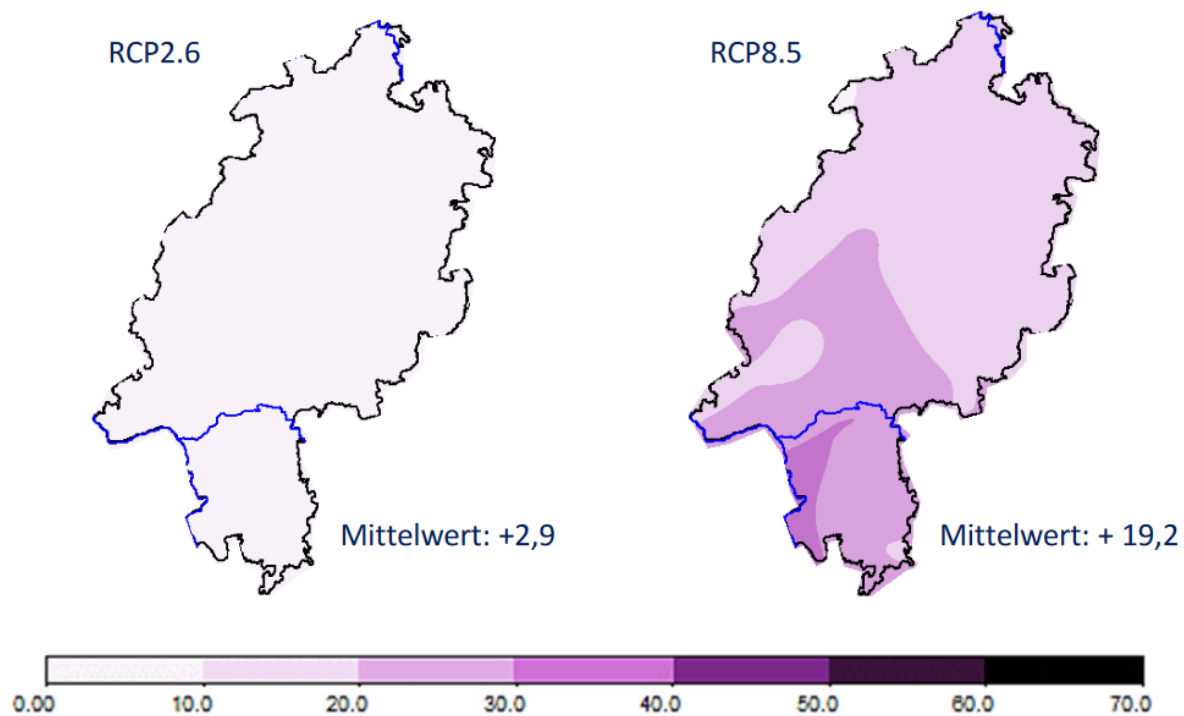


Abbildung 46: Änderung der Anzahl Heißen Tage pro Jahr. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019)

Neben der Anzahl der Heißen Tage trägt insbesondere die Dauer von längeren Wärmeperioden zur Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffektes bei. Wärmeperioden beschreiben eine Länge von mindestens 6 zusammenhängenden Tagen, bei der die Tageshöchsttemperatur höher ist als an den 10 % wärmsten Tage im Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Dabei ist die Länge der Wärmeperiode für die Definition unerheblich, solange sie über 6 Tagen liegt. Aktuell kommt es durchschnittlich zu einer Wärmeperiode pro Jahr. Dieses Bild (siehe Abbildung 47) wird sich im RCP2.6 Szenario für den Raum Lampertheim gering um +1.4 Wärmeperioden steigern, was einen Anstieg um ca. 150 % bedeutet. Im RCP8.5 Szenario wurde ein durchschnittlicher Anstieg um 6.4 (650 %) berechnet. Beim Auftreten der Wärmeperioden zeichnet sich für das Land Hessen in beiden Szenarien eine homogene Verteilung ab.

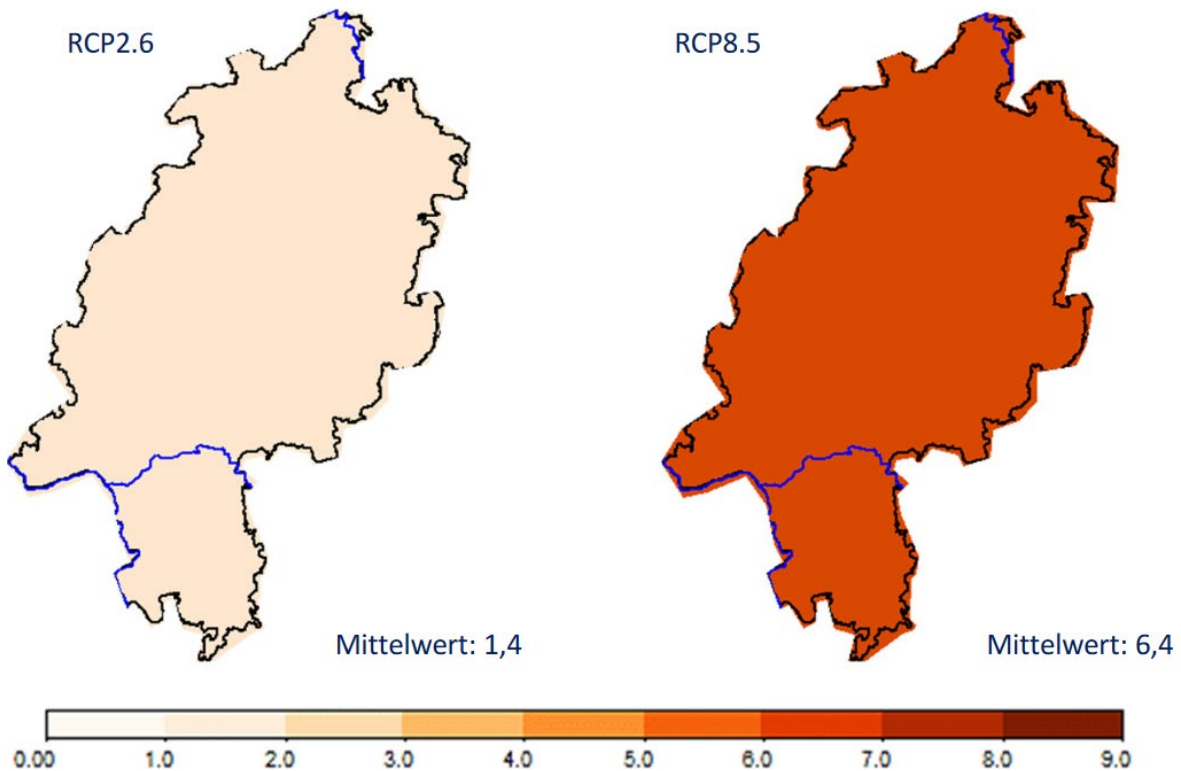


Abbildung 47: Änderung der Anzahl von Wärmeperioden pro Jahr. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019)

Die Simulation der Veränderungen der Jahresniederschläge kann nur in Teilen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit berechnet werden. Für die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar) wurde für das RCP8.5 Szenario eine Niederschlagszunahme berechnet (siehe Abbildung 48). Die Zunahme schwankt je nach Modell, im Mittel jedoch um 20 %.

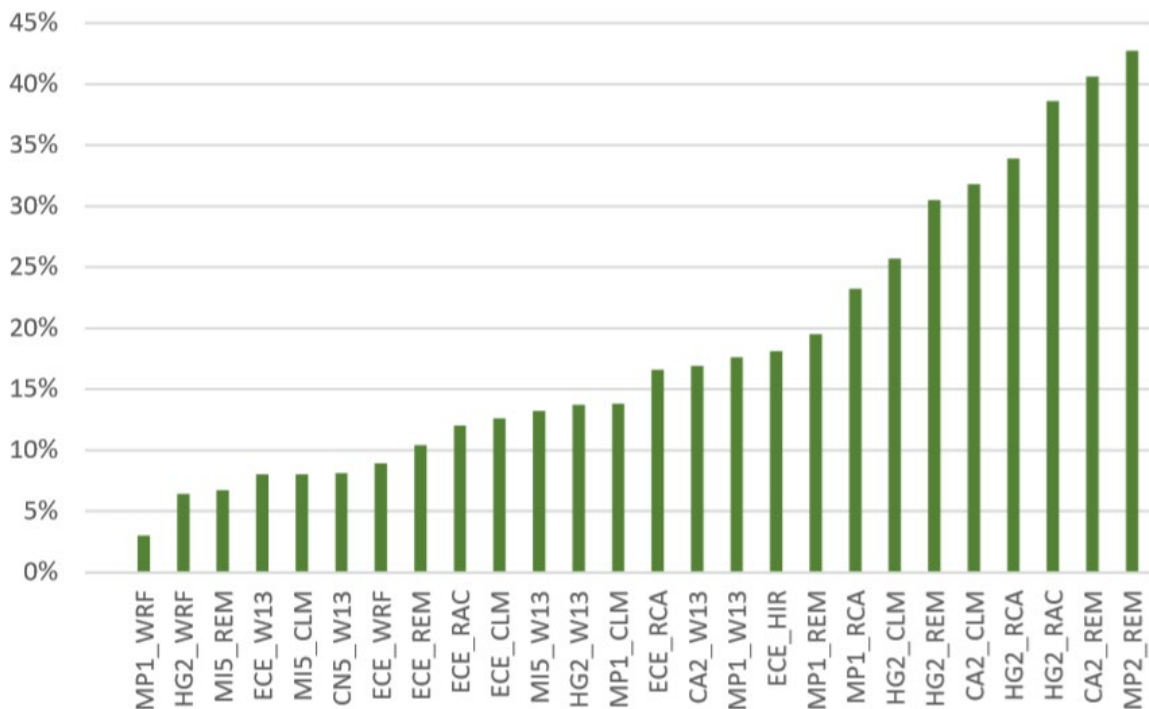


Abbildung 48: Änderung des Winterniederschlages (Dezember, Januar, Februar) in % gegenüber 1971 – 2000 für das RCP8.5 Szenario (26 Modelle)

Auch für die Frühjahrsmonate (März, April, Mai) ist von einer Niederschlagszunahme auszugehen. Bedingt durch die konfligierenden Ergebnisse unter den Modellen sind keine klaren Aussagen zu treffen. Gleiches gilt auch für die Sommermonate (Juni, Juli, August). Auch hier können weder im RCP2.6 Szenario noch im RCP8.5 Szenario eindeutige Ergebnisse generiert werden. Es lassen sich für die Sommermonate jedoch Trends mit einem durchschnittlichen Rückgang des Niederschlags von – 20 % im RCP8.5 Szenario ableiten. Für die verbleibenden Herbstmonate (September, Oktober, November) sind keine zunehmenden oder abnehmenden Trends in den zu erwartenden Niederschlägen erkennbar.

Neben den normalen Niederschlagsveränderungen ist auch von einer Veränderung in der Häufigkeit des Auftretens von Starkregenereignissen zu erwarten. Als Starkniederschläge werden Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag definiert. Im Referenzzeitraum von 1971 bis 2000 gab es im Mittel nur 4 Tage mit Starkniederschlag pro Jahr. Für die Szenarien RCP 2.6. und RCP8.5 sind die Tendenzen nicht eindeutig. Im Mittel wird für Hessen von einer Zunahme +0.3 Tage im RCP2.6 Szenario und +1.7 Tage im RCP8.5 Szenario ausgegangen (siehe Abbildung 49). Diese Werte lassen sich auch auf die Region Lampertheim übertragen.

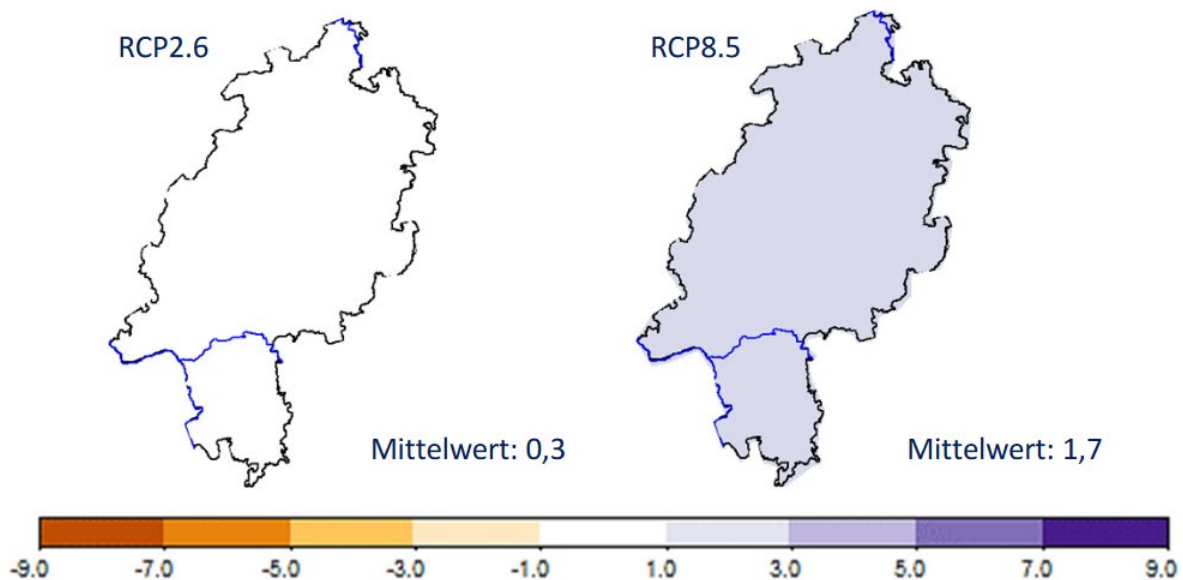


Abbildung 49: Änderung der Anzahl von Tagen pro Jahr mit mehr als 20 mm Niederschlag. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019)

VII. Planung

VII.1 Planhinweiskarte (PHK)

Die Planungshinweiskarte stellt eine Gesamtübersicht der im Stadtgebiet direkt verorteten Planungshinweise dar. Auf Grund der Heterogenität der Stadt wurde ähnlich strukturierte Areale zusammengefasst, auf klimatische Potentiale und Handlungsbedarf überprüft sowie korrespondierende Planungsempfehlungen definiert.

Weiterhin sind Maßnahmensteckbriefe (vgl. Kapitel VII.2) entwickelt worden, die als unterstützende Erläuterung für die nachfolgenden Planhinweise dienen, aber auch gleichzeitig unterschiedlichste Optionen für zukunftsorientierte Klimaanpassungsmaßnahmen im Stadtgebiet von Lampertheim darstellen.



Abbildung 50: Planhinweiskarte mit Verortung von Planungshinweisen

Tabelle 8 Planungshinweise mit Verortung und zugehörigen Maßnahmennummern

Planungshinweise	Verortung und Charakteristik	Maßnahmennummern
①	Industriegebiet zwischen „Neuschloßstraße“ und „Edisonstraße“	2;3;10
②	Östlicher Siedlungsrand / Offenlandbereich zwischen „Weinheimer Weg“ und „Neuschloßstraße“	5
③	Stadtpark, Friedhof & Übergang zu den Gleisanlagen	4;5;9
④	Offenlandbereich „Gleisdreieck“ zwischen „Ringstraße“ und „Draisstraße“	1;3;4;5;9
⑤	Innenstadtbereich „Kaiserstraße“	1;6;7;10
⑥	Innenstadtbereich zwischen „Römerstraße“, „Wilhelmstraße“ und „Kaiserstraße“	1;2;6;7;9
⑦	Offenland, strukturierte Kleingärten und landwirtschaftliche Flächen südlich „In den Gärten“	5
⑧	Westlicher Siedlungsrand / Offenlandbereich nördlich und südlich der „Biedensandstraße“	1;2;3;4;5;9
⑨	Siedlungsraum „Falterweg“ zwischen „Emilienstraße“ und „Hohenzollernstraße“	1;8
⑩	Industriegebiet „Edisonstraße“ und „Boveristraße“	2;3;10
⑪	Siedlungsraum „Bürstädter Straße“ zwischen „Andreasstraße“, „Römerstraße“ und „Hagenstraße“	1;3
⑫	Siedlungsraum „Wiesenstraße“ zwischen „Wormser Straße“ und „Andreasstraße“	1;3
⑬	Südlicher Siedlungsrand / Offenlandbereich (Bereich Gleisanlagen) südlich „Alte Vierheimer Straße“	5
⑭	Östlicher Siedlungsrand / Offenlandbereich zwischen „Neuschloßstraße“ und „Neuer Weg“	5
⑮	Industriegebiet zwischen „Neuschloßstraße“ und „Kiesweg“	2;3;10
⑯	Gleiskörper im Siedlungsraum	4;5;9;10

VII.2 Maßnahmensteckbriefe

Die Stadtklimaanalyse der Stadt Lampertheim betrachtet entsprechend ihrer Planungsebene den gesamtstädtischen Raum. Dadurch ist es nicht möglich, Detailaussagen zu vorgeschlagenen Maßnahmen und deren dezidiert Verortung im Rahmen dieser Untersuchung zu treffen. Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist die Entwicklung einer integrierten Klimafolgenanpassungsstrategie zielführend. Gleichwohl stehen Kenntnisse für eine klimagerechte Bauleitplanung im Kontext klimatischer Wirkungszusammenhänge in der Planungspraxis zur Verfügung und sind konsequent umzusetzen. Hauptsächlich kann dies nur über die Instrumente des Baugesetzbuchs (Darstellung im FNP, Festsetzung im B-Plan, im Vorhaben- und Erschließungsplan oder durch Vereinbarungen in einem "Städtebaulichen Vertrag") erfolgen.

„Da es keine bestimmte Festsetzung gibt, die für sich allein die Sicherung eines gesunden Stadtklimas bewirken könnte, kommt es darauf an, dass die Summe der Darstellungen und Festsetzungen im Gesamtergebnis den klimatischen Erfordernissen Rechnung trägt. Dabei ist jedoch der in § 9 (1) BauGB festgelegte Grundsatz zu beachten, dass alle Festsetzungen städtebaulich begründet sein müssen.“ (VM BW 2012)

Planungsempfehlungen, basierend auf der durchgeführten stadtklimatischen Untersuchung von Lampertheim, werden in Form von erklärenden Maßnahmensteckbriefen und unterteilt in die vier Themenbereiche

- Objektmodifikationen,
- Belüftung und Durchlüftung,
- Aufenthaltsqualität und
- Grünvernetzung und Entsiegelung

im folgenden Kapitel dargestellt.

In Hinblick auf die zu erwartende Klimaerwärmung mit dem Fokus auf Stadtgebiete wurden für den städtischen Raum von Lampertheim Maßnahmensteckbriefe erarbeitet, die als unterstützende Erläuterung für die Planhinweise (vgl. Tabelle 8) dienen, aber auch gleichzeitig unterschiedlichste Optionen für zukunftsorientierte Klimaanpassungsmaßnahmen im Stadtgebiet von Lampertheim darstellen.

Tabelle 9: Maßnahmenvorschläge (für Details vgl. VII.2.1 - VII.2.4) und potentielle Verortungsareale in der Übersicht

Nr.	Art	Planungshinweisnummern
<i>Objektmodifikation</i>		
1	Dachbegrünung	4;5;6;8;9;11;12
2	Fassadenbegrünung	1;6;8;10;15
3	Materialvorgaben	1;4;8;10;11;12;15
<i>Belüftung / Durchlüftung</i>		
4	Belüftungssicherung bei Neubaugebieten	3;4;8;16

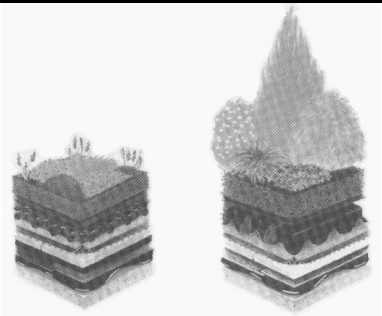
5	Sicherung von Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebieten sowie Luftleitbahnen	2;3;4;7;8;13;14;16
<i>Aufenthaltsqualität</i>		
6	Temporäre Verschattung	5;6
7	Trinkbrunnen	5;6
<i>Grünvernetzung und Entsiegelung</i>		
8	Straßenbegleitgrün	9;14
9	Sicherung und Schaffung von Grünflächen	3;4;6;8;16
10	Entsiegelung und Schaffung von Retentionsflächen	1;5;10;15;16

Tabelle 10: Kurzbeschreibung der in den Maßnahmensteckbriefen verwendeten Symbole

	klimatische Wirkungen			
	Herausforderungen			
	Planungs- und Festsetzungsgrundlagen			
	Kosten	günstig	moderat	teuer
		+	++	+++
	Durchführungszeit	kurz	moderat	lang
		+	++	+++
	Umsetzungszeitraum	kurzfristig (< 1 Jahr)	mittelfristig (1 – 5 Jahre)	langfristig (> 5 Jahre)
		+	++	+++

VII.2.1 Objektmodifikationen

Nr. 1	Dachbegrünung																												
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 4;5;6;8;9;11;12																													
Funktionelle Dachbegrünungen stellen heute eine gute Möglichkeit dar, die Überwärmung des Gebäudes über die Dachflächen zu reduzieren. Zudem ermöglichen Gründächer über die Bereitstellung zusätzliche Retentionsflächen die Schaffung von temporären Puffern für die Aufnahme von Regenwasser. Sie sind in der Lage bis zu 70% (abhängig von der Art der Begrünung) des Niederschlags aufzunehmen, zurückzuhalten und ihn zeitverzögert durch Verdampfung wieder abzugeben. Auf diese Weise wird zum einen die oft trockene Stadtluft zumindest im lokalen Umfeld befeuchtet und zum anderen die Stadtentwässerung erheblich entlastet (Rüngeler 1998). Ähnlich wie die Fassadenbegrünung hat das Gründach eine isolierende und ausgleichende Funktion bezüglich des Wärme- und Energietransfers von der Außenseite zur Innenseite des Gebäudes. Grundsätzlich wird zwischen dem extensiven und dem intensiven Gründach unterschieden. Für das extensive Gründach ist eine geringe Vegetationshöhe von bis zu 10 cm charakteristisch. Gewöhnlich sind diese Systeme nicht begehbar, durch ihre geringe Substratauflage und Vegetationsmasse können sie jedoch auch auf Flächen mit einer Dachneigung bis zu 30 Grad angebracht werden. Tabelle 11: Beispiele für Arten, die für eine extensive Gründachbepflanzung geeignet sind <table><tr><th>Wiss. Name</th><th>Deut. Name</th><th>Blühfarbe</th></tr><tr><td><i>Allium schoenoprasum</i></td><td>Schnittlauch</td><td>rosa</td></tr><tr><td><i>Dianthus deltoides</i></td><td>Heidenelke</td><td>rot</td></tr><tr><td><i>Origanum vulgare</i></td><td>Majoran</td><td>purpurn (hell)</td></tr><tr><td><i>Prunella vulgaris</i></td><td>Prunelle</td><td>blau-violett</td></tr><tr><td><i>Sanguisorba minor</i></td><td>Kleiner Wiesenknopf</td><td>rot</td></tr><tr><td><i>Sedum album</i></td><td>Weißer Mauerpfeffer</td><td>weiß</td></tr><tr><td><i>Sedum reflexum</i></td><td>Trippmadame</td><td>gelb</td></tr><tr><td><i>Thymus pulegioides</i></td><td>Feldthymian</td><td>purpurn</td></tr></table>			Wiss. Name	Deut. Name	Blühfarbe	<i>Allium schoenoprasum</i>	Schnittlauch	rosa	<i>Dianthus deltoides</i>	Heidenelke	rot	<i>Origanum vulgare</i>	Majoran	purpurn (hell)	<i>Prunella vulgaris</i>	Prunelle	blau-violett	<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf	rot	<i>Sedum album</i>	Weißer Mauerpfeffer	weiß	<i>Sedum reflexum</i>	Trippmadame	gelb	<i>Thymus pulegioides</i>	Feldthymian	purpurn
Wiss. Name	Deut. Name	Blühfarbe																											
<i>Allium schoenoprasum</i>	Schnittlauch	rosa																											
<i>Dianthus deltoides</i>	Heidenelke	rot																											
<i>Origanum vulgare</i>	Majoran	purpurn (hell)																											
<i>Prunella vulgaris</i>	Prunelle	blau-violett																											
<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf	rot																											
<i>Sedum album</i>	Weißer Mauerpfeffer	weiß																											
<i>Sedum reflexum</i>	Trippmadame	gelb																											
<i>Thymus pulegioides</i>	Feldthymian	purpurn																											
Das intensive Gründach ähnelt viel mehr einem kompletten Garten auf Dachniveau. Oft finden sich auf diesen Gründächern hohe Gräser, Stauden oder geeignete Bäume. Um genügend Wurzelraum zur Verfügung zu stellen, muss die Substratauflage entsprechend mächtig ausgeprägt sein. Im Aufbau beider Systeme kann es zu kleineren Unterschieden kommen, die grundsätzliche funktionelle Anordnung der einzelnen Schichten ist jedoch identisch. Bedingt durch den zu erzielenden Aufwuchs besteht der größte Unterschied in der Stärke der verwendeten Substratschichten. Beim Entwurf von Neubauten lässt sich die für ein Gründach zusätzlich benötigte Tragkraft vorab berücksichtigen. Im Gegensatz dazu müssen im Bestand die Statik und Tragkraft jedes Gebäudes einzeln auf das zusätzliche Gewicht geprüft und ggf. nachgerüstet werden. In einem gewissen Umfang sind Parallelnutzungen mit Photovoltaik oder Solarthermie möglich. Um die sehr guten gebäudeklimatischen Eigenschaften eines Gründaches zu gewährleisten, muss eine ausreichende Wasserversorgung garantiert werden. Insbesondere während länger andauernder Hitzewellen besteht die Gefahr, dass ein Gründach austrocknet und die vorhandene Vegetation verdorrt. Passiert dies, hebt sich die positive klimatische Wirkung auf.																													

Parameter	intensiv	extensiv	
Aufbauhöhe	ca. 25 cm	ca. 10 cm	
Gewicht (trocken)	100-200 kg/m ²	25-150 kg/m ²	
Gewicht (nass)	220-420 kg/m ²	85-270 kg/m ²	
Tabelle 12: Gewichts- und Massenvergleich zwischen intensiven und extensiven Gründach (nach Gartland 2008)			Abbildung 51: Dachbegrünung im Schichtaufbau (links extensiv, rechts intensiv) (American Hydrotech 2000)
Der Wirkungsbereich eines einzelnen Gründaches ist lokal beschränkt (im Normalfall auf das Gebäude). In wie weit eine flächendeckende Ausstattung eines ganzen Stadtquartiers mit Dachbegrünung stadtklimatisch messbare Verbesserungen nach sich zieht, ist bis heute noch nicht eingehend untersucht, jedoch ist induktiv von einem positiven stadtklimatischen Effekt auszugehen.			
Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen werden beispielsweise in der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie (2018), Pflege und Wartung von begrünten Dächern (2002) und Leitfaden Gebäude Begrünung Energie (2014) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.			
Abbildung 52: Extensives Gründach auf einem ehemaligen Parkdeck in Kassel (2019)			
+	- Minderung der Temperaturextreme		
	- Wärmedämmung (Winter)		
	- Kühlung und Isolierung (Sommer)		
	- Unterstützung des Luftfeuchtigkeitshaushalts		
	- Retentionsfläche		
!	- verzögerte Wasserabgabe		
	- Privatbesitz		
	- Denkmalschutz		
	- Eignung der Bausubstanz		
	- Tragkraft und Statik		

	- Wasserversorgung - Brandschutz - Dachneigung - Pflanzenauswahl				
	Dachbegrünungen können in zukünftigen Bebauungsplänen oder bei Änderungen von Bebauungsplänen rechtsverbindlich festgesetzt werden. Wie jede andere Festsetzung darf auch diese nur nach gerechter Abwägung aller berührten Belange (z.B. Brandschutz etc.) getroffen werden. <u>Beispiel:</u> „<i>Flachdächer (0-15 Grad) sind mindestens mit einem Anteil von 60 % der Dachfläche (ausgenommen Flächen für technische Aufbauten) bei einer Substratschicht von mindestens 8 cm mit Gräsern und Wildkräutern zu bepflanzen und zu unterhalten. Begründete Ausnahmen z.B. zur Gewinnung von Solarenergie sind zugelassen.</i>“				
	++ / +++		++		++

Nr. 2	Fassadenbegrünung	
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 1;4;8;10;11;12;15		
Fassadenbegrünung hat in Deutschland, insbesondere im Bereich der Industriegebäude, eine lange Tradition. Die „natürliche“ jahreszeitliche Isolierung durch Vegetation kann zu einem ausgeglichen homogenen Energiefluss zwischen Gebäudeinnenseite und Gebäudeaußenseiten beitragen. Insbesondere ältere Gebäude (z.B. Backsteingebäude) lassen sich durch eine nachträgliche Fassadenbegrünung effizient „dämmen“. Bei den Grünfassaden muss zwischen der bodengebundenen Begrünung und der fassadengebundenen Begrünung unterschieden werden. Zusätzlich kann eine gesunde Grünfassade einen Beitrag zur Lufthygiene leisten. Untersuchungen zur Filterwirkung hinsichtlich Schwermetallen bei Grünfassaden haben, insbesondere im bodennahen Raum, eine hohe Filterwirkung nachgewiesen (Thoennesen 2002). Für Gebiete mit hoher Gebäudedichte und starkem Verkehrsaufkommen, wo außerdem Straßenbäume nicht möglich oder nicht sinnvoll sind (z.B. Reduktion Belüftungspotential), kann die Fassadenbegrünung gerade im belebten Niveau der Straße zu einer Reduktion der Luftschadstoffbelastung beitragen. Die bodengebundene Begrünung einer Fassade setzt eine direkte Verbindung zum Erdreich oder einen /mehrere Pflanzbehälter voraus, in dem die Pflanzen wurzeln können. Für diese Art der Begrünung sind stark rankende Pflanzen notwendig. Klassisch finden unterschiedliche Arten des Efeus oder des Weins Verwendung. Tabelle 13: Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung		
Pflanzenart	Charakteristika	Höhe in 4 Jahren
Chinesischer Blauregen <i>Wisteria sinensis</i>	- schnell wachsend - sehr guter Wuchs über die gesamte Höhe - starke Befestigungen nötig	10m
Kolomikta Strahlengriffel <i>Actinidia kolomikta</i>	- langsam wachsend - empfindlich bei Trockenheit	3m
Große Trompetenblume <i>Campsis tagliabuana</i>	- moderat wachsend bei geschütztem Stand - attraktive Blüten	4-5m
Waldrebe <i>Clematis paniculata</i> <i>Clematis orientalis</i> <i>Clematis tangutica</i>	- langsam wachsend - empfindlich bei Insekten - professionelle Pflege	3m
Kletter Hortensie <i>Hydrangea petiolaris</i>	- langsam wachsend - attraktive Pflanze - professionelle Pflege	3m
Rostrote Weinrebe <i>Vitis coignetiae</i>	- langsam wachsend - attraktive Früchte - Führungselemente für den Stamm	3m
Hedera helix	- ausladend - giftig	5m
Parthenocissus quinquefolia	- Halt durch Haftscheiben - Haupttriebe können 10 cm Durchmesser erreichen - schnell wachsend	6m
Parthenocissus tricuspidata "Veitchii"	- Haftplättchen - anspruchslos & pflegeleicht	4m

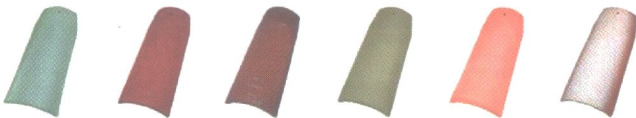
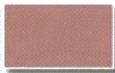
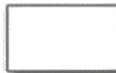
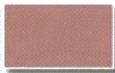
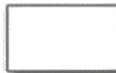
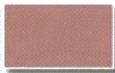
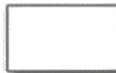
Bei der **fassadengebundenen Begrünung** handelt es sich um ein Pflanzsystem, das dauerhaft mit der Fassade verankert wird. Meistens sind Pflanzcontainer über die gesamte Höhe der Grünfassade verteilt, wodurch kein Wurzelraum auf Straßenniveau benötigt wird. Ebenso kann eine Vielzahl von Pflanzen verwendet werden. Eine starke rankende Eigenschaft wie bei der bodengebundenen Begrünung ist nicht zwingend erforderlich. Die erhöhte Artenzahl fördert die Biodiversität (bei Pflanzen und Tieren). Das System der fassadengebundenen Begrünung erfordert allerdings ein höheres Maß an Pflege und technischer Wartung. Zudem liegen die Investitionskosten wesentlich höher als bei einer bodengebundenen Begrünung.

Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen werden beispielsweise in der FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinie (2018) und dem Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen (2015) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.



Abbildung 53: Fassadengebundene Begrünung als Teil der Fassade des „La Caixa Forum“ in Madrid (2016).

+	- Wärmedämmung (Luftpuffer) - Kühlung (Verdunstung und Absorption und Reflexion von Strahlung) - Feuchteproduktion (Verdunstung) - Fassadenschutz (Temperatur-, UV-, Starkregenbeanspruchung) - Verringerung Wärmeverlust (Windfang, bei Änderung der Strahlungsverhältnisse) - Filterwirkung (Luftschadstoffe und Stäube)
⚠	- Privatbesitz - Denkmalschutz - Eignung der Bausubstanz - Fassadenausrichtung - Pflanzenauswahl - Wasserversorgung - Hohe Pflege- und Instandhaltungskosten
📌	Fassadenbegrünungen können in zukünftigen Bebauungsplänen oder bei Änderungen von Bebauungsplänen rechtsverbindlich festgesetzt werden. Wie jede andere Festsetzung darf auch diese nur nach gerechter Abwägung aller betroffenen Belange getroffen werden. <u>Beispiel:</u> „Ein Drittel der Fassadenfläche ist zu begrünen. Technisch begründete Ausnahmen können zugelassen werden.“
🏠	++ / +++ ⌚ + / ++ ➡ ++

Nr. 3		Materialvorgaben																																										
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern):																																												
Dachabdeckung Die klassische und heute immer noch meist genutzte Art der Dachabdeckung ist die Verwendung von gebrannten Dachziegeln oder Dachpfannen. Als Elemente aus gebranntem Ton, zählen diese zu den natürlichen Baumaterialien, wodurch die Wärmeleitzahl, welche die Wärmeleitfähigkeit (Watt pro Meter mal Kelvin) beschreibt, im moderaten Bereich liegt. In Kombination mit unterschiedlichen Oberflächenfarben lässt sich der potentielle energetische Gesamteintrag zusätzlich reduzieren. Wird die Reflexionseigenschaft der verwendeten Materialien erhöht, verringert sich automatisch die vom Dach absorbierte Menge an Energie. <table><tr><td>38%</td><td>42%</td><td>43%</td><td>51%</td><td>61%</td><td>68%</td></tr></table> Abbildung 54: Solare Reflexionseigenschaften in Prozent (%) von klassisch gebrannten Dachziegeln mit unterschiedlicher Farbgebung (Gartland 2008). Dachbeschichtungen Die nachträgliche Beschichtung von Dachfläche bietet eine Alternative, um bestehende Dachabdeckungen klimatisch und energetisch aufzuwerten. Die Englischen Begriffe „Cool Roofs“ und „White Coating“ beschreiben den Überzug einer bestehenden Dachfläche mit einem speziellen Elastomer, das einen sehr niedrigen U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) aufweist. In Kombination mit einer hohen Albedo durch die weiße Farbe lässt sich so die thermische Belastung besonders bei großflächigen Dächern stark reduzieren. Durch die Möglichkeit, fast jede Art von Dachabdeckung (Metall, Ton, Bitumen, u.a.) mit einem „White Coating“ zu versehen, bietet sich die Anwendung insbesondere für Industrieanlagen an, welche oftmals mit leichttragenden Metalldächern versehen sind und i.d.R. zusätzliche schwere Dachlasten (z.B. durch Dachbegrünung) nicht tragen dürfen. <table><tr><td> 27%</td><td> 28%</td></tr><tr><td> 33%</td><td> 58%</td></tr></table> Abbildung 55: Solare Reflexionseigenschaften von Metall mit unterschiedlichen Deckfarben (Gartland 2008).  Abbildung 56: Nachträgliches „White Coating“ eines Metalldachs mit einer Elastomer-Beschichtung <tr><td> + </td><td colspan="6"> - Reduktion der thermischen Belastung - Reduzierung der Energiespeicherung / Wärmespeicherung </td></tr> <tr><td> ! </td><td colspan="6"> - Privatbesitz - Denkmalschutz </td></tr> <tr><td> 📌 </td><td colspan="6"> Festlegung im Bebauungsplan / im Städtebaulichen Vertrag</td></tr> <tr><td> 🔧 </td><td> ++ / +++</td><td> ⌚ </td><td> +</td><td> ➡ </td><td colspan="2"> ++</td></tr>							38%	42%	43%	51%	61%	68%	 27%	 28%	 33%	 58%	+	- Reduktion der thermischen Belastung - Reduzierung der Energiespeicherung / Wärmespeicherung						!	- Privatbesitz - Denkmalschutz						📌	Festlegung im Bebauungsplan / im Städtebaulichen Vertrag						🔧	++ / +++	⌚	+	➡	++	
38%	42%	43%	51%	61%	68%																																							
 27%	 28%																																											
 33%	 58%																																											
+	- Reduktion der thermischen Belastung - Reduzierung der Energiespeicherung / Wärmespeicherung																																											
!	- Privatbesitz - Denkmalschutz																																											
📌	Festlegung im Bebauungsplan / im Städtebaulichen Vertrag																																											
🔧	++ / +++	⌚	+	➡	++																																							

VII.2.2 Belüftung und Durchlüftung

Nr. 4 | Belüftungssicherung bei Neubaugebieten

Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 3;4;8;16

Eine dichte oder zu dichte Bebauung kann zu einer schlechten Durchlüftungssituation und der Speicherung von Wärme in den Baumaterialien führen.

Während bei bereits stark verdichteten Stadtteilen eine klimagerechte Nachverdichtung nur in einem vergleichsweise engen Handlungsrahmen möglich ist, bieten sich für Neubauplanungen eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten und Maßnahmeninstrumenten.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung der Siedlungsstruktur können bauleitplanerische Festsetzungen, wie z.B.

- Maß der baulichen Nutzung,
- Baulinien,
- Baugrenzen,
- Bauweise,
- Mindestmaß der Grundstücke und
- kleinräumig wirksame Frischluftschneiden

herangezogen werden. Die Festsetzungen müssen für jedes Siedlungsareal in individueller Abstimmung mit den lokalen klimatischen Bedingungen (z.B. Anströmung etc.) erarbeitet werden.

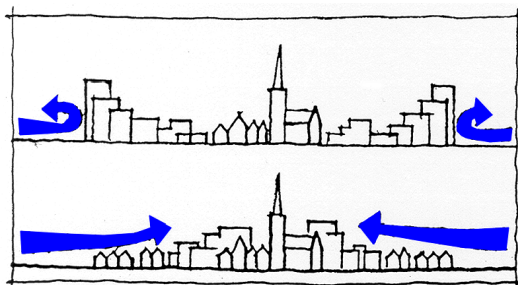


Abbildung 57: Beispiel für den Effekt von unterschiedlich hohen städtischen Randbebauungen (VM BW 2012)

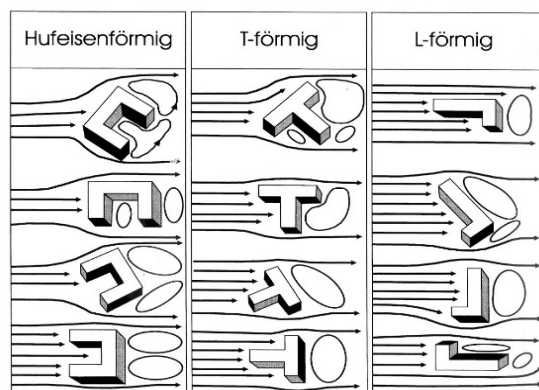


Abbildung 58: Schematisierte Strömungsveränderungen durch Gebäudeanordnungen (Dütz und Martin 1982)

Neubaugebiete am Stadtrand dürfen keinen abriegelnden Bebauungsgürtel bilden. Vielmehr soll dort die Bebauung in aufgelockerter Form erfolgen, so dass auch bei schwachen Luftströmungen ein Durchlüften der Stadt von außen nach innen möglich ist.

Besonders bei Städten in Kessellagen spielt die Art und der Umfang einer potenziellen Hangbebauung eine große Rolle, sofern sie nicht komplett vermieden werden kann.

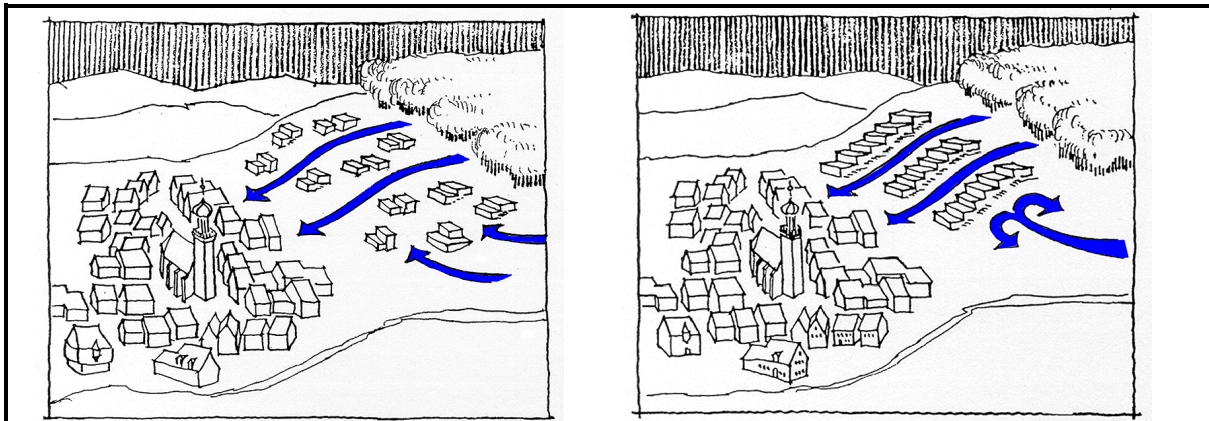


Abbildung 59: Beispiel für eine durchlässige Hangbebauung (VM BW 2012)

Abbildung 60: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012)

	- Frischluftversorgung - Belüftung und Durchlüftung (Luftschadstoffe und Stäube) - Reduktion der thermischen Belastung				
	- Privatbesitz - Konflikt Maximalgewinn – reduzierte Gebäudezahl - Konflikt Attraktivitätsverlust durch Festlegungen				
	Nach § 1a (5) BauGB ist bei der Aufstellung der Bauleitpläne den Erfordernissen des Klimaschutzes Rechnung zu tragen. Bauvorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes müssen den getroffenen Festsetzungen nach § 9 BauGB entsprechen. Das Maß der baulichen Nutzung ist durch die Grundflächenzahl und die Höhe der Anlagen gemäß §16 BauNVO festzusetzen. <u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden: ..die Bauweise, die überbaubaren und die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen.. (§9 (1) – 2. BauGB); ..vom Bauordnungsrecht abweichende Maße der Tiefe der Abstandsflächen. (§9 (1) – 2a. BauGB) oder ..für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke Mindestmaße.. (§9 (1) – 3. BauGB)“				
	++ / +++		+		+ / ++ / +++

Nr. 5	Sicherung von Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebieten (in Hanglagen) sowie Luftleitbahnen
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 2;3;4;7;8;13;14;16	
Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker) mit geringem Gehölzbestand, auf denen sich insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungsbedingungen die Oberfläche und somit auch die darüberliegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen. Frischluftentstehungsgebiete sind emissionsarme Kaltluftentstehungsgebiete, die oftmals durch einen hohen Grünanteil mit einhergehender lufthygienischer Filterfunktion gekennzeichnet sind (beispielsweise Wälder, dichtere Parkanlagen und Streuobstbereiche). In städtischen Wärmeinseln können bereits ohne Effekte des Klimawandels bis zu 10°C höhere Temperaturen herrschen als im Umland. Zur städtischen Temperierung und zum Schutz vor Hitzestress ist die Flächenfreihaltung im Umland in Zukunft damit noch entscheidender. Ziel dieser Maßnahme ist sowohl die ordnungspolitische Vorrangstellung als auch zusätzliche Erweiterung von Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebieten auf land-, forstwirtschaftlichen, und sonstigen zielführenden Flächen außerhalb von Städten zu erreichen, damit diese kühlenden Funktionen in Zukunft unter erwärmten Bedingungen garantiert werden können. Klimaschutz und Klimaanpassung zählen über die Aufgabe „Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter“ zu den allgemeinen Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege gemäß § 1 Bundesnaturschutzgesetz. Nach § 1 Abs. 3 Nr. 4 sind 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. Anpassungseffekte und Verbesserungen der Lufthygiene können bei der Umsetzung dieser Maßnahme sowohl Städten als auch Flächen und Siedlungen im Umland zugutekommen. Die Bedeutung der städtischen Temperierung, Kühlung, und Durchlüftung dient auch dem Bevölkerungsschutz vor Hitzestress, welcher schon jetzt spürbar zugenommen hat, und in Zukunft noch entscheidender sein wird.	
	- Sicherung von klimatischen Ausgleichspotentialen für entfernte Flächen - Frischluftversorgung - Lufthygienische Filterfunktion
	- Privatbesitz - Flächenkonkurrenz durch Nachverdichtung und Stadtentwicklung
	Größere Flächen, deren Freihaltung erforderlich ist können als Grünflächen, Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung oder als von Bebauung freizuhaltende Flächen (mit Nutzung – z.B. Kleingärten) in den Bebauungsplan (nach §9(1) BauGB) aufgenommen werden. In der Begründung des FNP (§5(5) BauGB) bzw. der Begründung des B-Plans (§9 (8) BauGB) ist auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung einzugehen. <u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden: ..die öffentliche und private Grünflächen.. (§9 (1) – 15. BauGB);

	<i>..die Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung (§9 (1) – 10. BauGB);</i> <i>..die Flächen für die Landwirtschaft (§9 (1) – 18.a) BauGB)“</i>				
	++		++		+ / ++ / +++

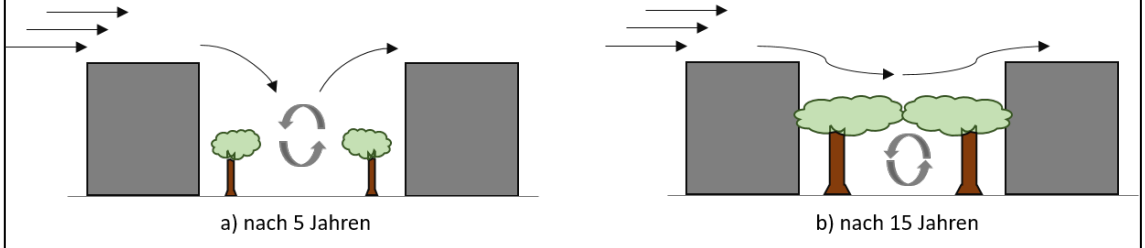
VII.2.3 Aufenthaltsqualität

Nr. 6	Temporäre Verschattung
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 5;6	
Historisch gewachsene Stadtkerne sind oft durch einen geringen Vegetationsanteil und hohem Versiegelungsgrad geprägt. Fehlender frei nutzbarer Straßenraum führt oft dazu, dass kleinklimatisch aufwertende Maßnahmen, wie z.B. das Einsetzen von Solitärgehölzen nicht möglich sind. Ebenso wird der vertikale Raum auch oft durch das Oberleitungsnetz des ÖPNV beansprucht, wodurch das Einbringen von zusätzlichen Vegetationsstrukturen zusätzlich erschwert wird.	
	
Abbildung 61: Beispiel für temporäre Verschattungsmaßnahmen aus Textilstoffen während der Sommermonate in Málaga (Spanien). Im Winter und Frühjahr werden die Verschattungselemente wieder entfernt, so dass während dieser Zeit die Besonnung des Straßenzugs nicht behindert wird (2016).	
Die Verwendung von temporären Verschattungsmaßnahmen (siehe Abbildung 61) kann hier eine effektive Methode zur Reduzierung der thermischen Belastung in den Sommermonaten darstellen.	
Die Auswirkungen flächiger textiler Verschattungsmaßnahmen auf Dachniveau auf mikroklimatischer Ebene und auf lokale Belüftungsverhältnisse sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgiebig untersucht worden. Dementsprechend muss Material, Form, Höhenniveau an die lokalen Gegebenheiten individuell angepasst werden. Gleichzeitig besteht so die Möglichkeit, den Sonnen- und Schattenverlauf im Maßnahmenraum als stadtplanerisches Gestaltungselement zu nutzen. Sind die Grundverankerungen einmal installiert, sind die eigentlichen Verschattungselemente nach Bedarf und ohne größeren zeitlichen Aufwand schnell wieder zu montieren.	
	
Abbildung 62: Temporäre Verschattungsmaßnahmen (Sonnensegel) im Außenbereich (Spanien 2019)	

	- Reduktion der thermischen Belastung - Reduktion der solaren Einstrahlung - Verbesserung der PET-Werte (Physiological Equivalent Temperature)				
	- Privatbesitz - Denkmalschutz - Eignung der Bausubstanz - Tragkraft und Statik - Brandschutz - konkurrierende Nutzung des Raums				
	Initiative der Stadt unter Berücksichtigung aller betroffenen Belange. Beispiel: Planung und Umsetzung im Zuge einer öffentlichen Veranstaltung (z.B. Stadtfest)				
					+ / + + / + + +

Nr. 7		Trinkbrunnen				
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 5;6						
Häufiger werdende Hitzeereignisse steigern die Belastung für die Bevölkerung. In urbanen Räumen wird dies noch durch den urbanen Hitzeinseleffekt verstärkt. Die Schaffung neuer Trinkbrunnen als eine leicht zugängliche Trinkwasserversorgung bei Hitze kann hier Erleichterung schaffen. Die Bereitstellung von Trinkwasser im öffentlichen Raum kann unter den Vorgaben des prognostizierten Klimawandels als Aufgabe der Gesundheitsvorsorge verstanden werden. Hier-von würden ebenfalls besonders die empfindlichen Bevölkerungsgruppen (Kinder, alte Menschen) profitieren. Die Installation von Trinkbrunnen im Stadtgebiet wertet den öffentlich Raum, insbesondere in den Sommermonaten, auf. Trinkwasserbrunnen sind nicht nur eine Serviceleistung an Einwohner und Touristen, sie dienen auch der Gesundheitsförderung und können zudem ein Gestaltungselement im öffentlichen Raum darstellen sowie als Vernetzungselement z.B. entlang einer ausgewiesenen Stadtspaziergangsrouten für Touristen oder entlang von Radwegen.						
		 Abbildung 63: Unterschiedliche öffentliche Trinkwasserbrunnen (rechts barrierefrei) in Spanien (2019)				
		- Verbesserung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum - Gesundheitsvorsorge (Hitzestress) für gefährdete Bevölkerungsgruppen - Serviceleistung an Bevölkerung und Tourismus				
		- Einhaltung Trinkwasserqualität (Hygiene, Beprobung, Desinfektion) - Sommer- und Winterbetrieb (Frostschutz, Außerbetriebnahme bzw. Abbau über Winter) - Hoher Wartungs- und Instandhaltungsaufwand				
		Einbindung in den Grünordnungsplan. Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan				
		++/+++		+		+/++/+++

VII.2.4 Grünvernetzung und Entsiegelung

Nr. 8	Straßenbegleitgrün
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 9;14	
Der Einsatz von straßenbegleitendem Grün, speziell Straßenbäumen, ist eine Möglichkeit, der potentiellen Überhitzung von nichtbegrüntem Straßenzügen entgegenzuwirken und eine Verbesserung des thermischen Komforts für den Menschen im Außenbereich zu erzielen. Die thermische Entlastungsfunktion von Straßenbegleitgrün wurde im Rahmen einer Studie für die Stadt Nürnberg belegt (Schätz 2012).	
Im Straßenraum und auf Parkplätzen erzielen großkronige hochstämmige Bäume über ihre Schattenwirkung die besten Kühleffekte. Die erzielbaren thermischen Entlastungseffekte sind über die Verdunstungskälte zudem von der Baumgröße, der Baumart und der Bladdichte, aber auch von der Windrichtung abhängig. Bei der Wahl des Standorts ist insbesondere die Ausrichtung der Straße im Hinblick auf Sonnenstand und Schattenverlauf relevant. Obwohl Straßenbäume in ihrer Anwendung und ihrem Nutzen sehr facettenreich sind, muss darauf geachtet werden, negative Effekte zu vermeiden. Durch die Wahl des falschen Standortes in Kombination mit der falschen Baumart, kann es beispielsweise nach mehreren Jahren Wachstum zu einer Verschlechterung der Luftqualität im Straßenraum kommen (siehe Abbildung 64). Das über Jahre gewachsene Kronendach führt zu einer vertikalen Trennung der Luftschichten wodurch der vertikale Luftaustausch verhindert wird. Trotz der weiterhin bestehenden Filterwirkung der Vegetation kann es so zu einer Schadstoffakkumulation im bodennahen Bereich kommen.	
	
Abbildung 64: Schematische Darstellung einer möglichen Verschlechterung der Belüftung durch Straßenbegleitgrün. Bei der linken Darstellung liegt kein Kronenschluss der Straßenbäume vor, wodurch die Durchmischung der vertikalen Luftschichten nicht behindert wird. Der Kronenschluss der Bäume (rechts) separiert die unterschiedlichen vertikalen Luftschichten und verhindert so deren Durchmischung.	
Zur standortgerechten und klimaangepassten Auswahl der Straßenbäume empfiehlt sich die Einbeziehung der GALK-Straßenbaumliste. Die Liste enthält Informationen zur Wuchshöhe, Kronenbreite, Lichtdurchlässigkeit, Lichtbedarf, Verwendbarkeit als Straßenbaum sowie ergänzende Bemerkungen zu einer Vielzahl von Baumarten. Hinzu kommen Ergebnisse und Empfehlungen aus zwei Straßenbaumtests die ab Mitte der 90er Jahre seitens der GALK e.V. im Hinblick auf die Eignung ausgewählter Baumarten als Straßenbäume unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen durchgeführt wurden.	
Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Straßenbäumen werden beispielsweise in den FLL-Regelwerken Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 1 (2015), Teil 2 (2010) und dem Leitfaden für funktionsgerechte Gehölzpflanzung (1999) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.	

	- Kühlung (Verdunstung und Absorption und Reflexion von Strahlung) - Feuchteproduktion (Verdunstung) - Filterwirkung (Luftschadstoffe und Stäube)				
	- Konkurrenz zum Straßenraum - Konkurrenz zu Parkplätzen - Konkurrenz zu Versorgungsleitungen - Pflege- und Sicherungsaufwand (Wasserversorgung besonders bei Neupflanzungen) - Behinderung der Belüftung				
	Einbindung in den Grünordnungsplan. Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan (z.B. Emissionsschutzbelange oder Festsetzung von Anpflanzungen und Pflanzbindung §9(1) 25. BauGB)				
	++ / +++		++/+++		+

Nr. 9		Sicherung und Schaffung von Grünflächen				
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 3;4;6;8;16						
Urbane Vegetation spielt vor allem durch Verdunstung und Verhinderung von Bodenversiegelung eine wichtige Rolle. Sie bestimmt aber auch die urbane Struktur auf Basis derer sozialen und ästhetischen Funktion und definiert dadurch die Identität der Stadt und die Lebensqualität der Bewohner. Dabei gibt es punktuelle Grünstrukturen wie Parks und Friedhöfe und lineare Elemente wie begrünte Straßen oder Flussläufe. Urbanes Grün erfüllt verschiedene Funktionen, die das städtische Klima und die Lufthygiene positiv zu beeinflussen. Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verursachen und andererseits bei hohem Baumanteil tagsüber thermisch ausgleichend wirken. Innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv; zudem fördern Vegetationsflächen am Siedlungsrand den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen ein hohes klimatisch-lufthygienisches Regenerationspotential dar. Insbesondere bei vorhandenem räumlichem Bezug zum Siedlungsraum sind sie für den Luftaustausch sehr wichtig. Multifunktionale Grünflächen stellen eine Hybrid-Maßnahme dar. Die Hauptnutzung besteht als Grünfläche, während sie im Fall eines Starkregenereignisses kontrolliert geflutet werden können und das Niederschlagswasser temporär zurückgehalten wird.			 Abbildung 65: "Bewässerungssäcke", die die kontinuierliche Bewässerung von Neuanpflanzungen während längerer Trockenphasen sichern (Kassel 2019)			
		- Lokal-klimatische Ausgleichsfunktion - Zusätzliche Retentionsflächen - Lufthygienische Filterfunktion				
		- Flächenkonkurrenz - Instandhaltungskosten				
		Landschaftspläne (LP) und Grünordnungspläne (GOP) umfassen eine Bestandsaufnahme der natürlichen Gegebenheiten sowie der Nutzungsansprüche an das Gebiet. Sie dienen zur Verwirklichung der Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege im Rahmen der Bauleitplanung (Lapro auf Ebene des LEP; LRP auf Ebene des RP). Darstellungen im LP oder im GOP können in Bebauungspläne aufgenommen und durch entsprechende Festsetzungen rechtsverbindlich werden. <u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden: ...die öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, ..., Spielplätze (§9 (1) – 15. BauGB)“				
		++/+++		++/+++		+/++

Nr. 10		Entsiegelung und Schaffung von Retentionsflächen				
Besondere Relevanz für Planungshinweise (Nummern): 1;5;10;15;16						
Die Entsiegelung in Kombination mit der Ausweitung grüner Strukturen und grüner Flächen können das Stadtklima positiv beeinflussen. Der Erhalt von Freiflächen sowie die Entsiegelung befestigter Flächen sind sinnvolle Maßnahmen, um Niederschlagswasser direkt vor Ort versickern zu lassen. Zum einen wird durch den dezentralen Rückhalt des Wassers im Boden das Kanalnetz bei Starkregenereignissen entlastet und somit die Überlastungsgefahr für technische Anlagen (beispielsweise Kläranlagen) verringert und zum anderen wird die natürliche Funktion des Bodens unterstützt und Wasser dort gespeichert, so dass es auch in Trockenperioden noch einige Zeit für die Pflanzen zur Verfügung steht. Ein kommunales Entsiegelungskonzept stellt eine geeignete Planungsgrundlage für die Durchführung solcher Maßnahmen dar (Kemper, Riechel, Schuller 2011).						
Die Entsiegelung und Begrünung z.B. von Innenhöfen tragen zur Verbesserung des Mikroklimas und der Aufenthaltsqualität im unmittelbaren Umfeld bei. Im mesoklimatischen Bereich können kleinflächige Entsiegelungsmaßnahmen durch einen kumulativen Effekt positive Auswirkungen hinsichtlich Wasserrückhaltung und Lufthygiene haben.						
Das Leitbild der kompakten (europäischen) Stadt und die gerade in den bereits stark verdichteten Quartieren notwendige Beschränkung weiterer Bodenversiegelung bzw. die gebotene Entsiegelung führen in Einzelfällen zu Zielkonflikten, welche nur im konkreten Fall vor Ort gelöst werden können. Hier bedarf es lokaler detaillierter Entscheidungshilfen, um bestehende Brachflächen entweder primär einer Nachverdichtung oder einer Steigerung des Vegetationsgrades zuzuführen. (BMVBS 2011)						
Nach § 179 BauGB kann eine Gemeinde den Eigentümer verpflichten, dauerhaft nicht mehr genutzte Flächen zu entsiegeln, wenn dies der Umsetzung des Bebauungsplans dient. Eine entsprechende Regelung bedarf jedoch der Einzelfallbetrachtung. Sie ist zudem in aller Regel mit Entschädigungsansprüchen verbunden. Bei zahlreichen privilegierten Vorhaben im Außenbereich greift die Rückbauverpflichtung nach § 35 Abs. 5 BauGB. Eine Förderung von Rückbau und Entsiegelungsmaßnahmen ist im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen nach § 171a-d BauGB möglich. (Kemper, Riechel, Schuller 2011)						
Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von entsiegelten Flächen werden beispielsweise in der FLL-Empfehlung zur Versickerung und Wasserrückhaltung (2005) und der Richtlinie Begrünbare Flächenbefestigungen (2018) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.						
	- Zusätzliche Retentionsflächen - Reduzierung der Wärmebelastung - Verbesserung der Lufthygiene					
	- Privatflächen - Nutzungskonkurrenz - Bei Überstauung der Flächen keine oder eingeschränkte Nutzung möglich					
	Einbindung in den Grünordnungsplan. Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan Regelungen zum Versiegelungsgrad in Stellplatzsatzung durch Festsetzungen im Bebauungsplan (auch bei Großanlagen, Einkaufszentren usw.) sowie durch Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 179 BauGB) Städtebauliche Pflanz-, Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 178 BauGB)					
	++ / +++		+ / ++		+ / ++	

VII.3 Planungsschwerpunkte

Im Stadtgebiet Lampertheim haben sich verschiedene Planungsschwerpunkte ergeben, welche sich ggf. auf die klimatischen Situationen im direkten Bereich der Schwerpunktgebiete auch im näheren Umfeld dieser auswirken. Folgend werden die einzelnen Planungsschwerpunkte hinsichtlich Ihrer Lage und Struktur im Ist- sowie im Planungszustand vorgestellt und klimatisch bewertet. Es werden Empfehlungen ausgesprochen, um ggf. negative Einflüsse der neuen Strukturen der Areale auf klimatische Themen zu minimieren.

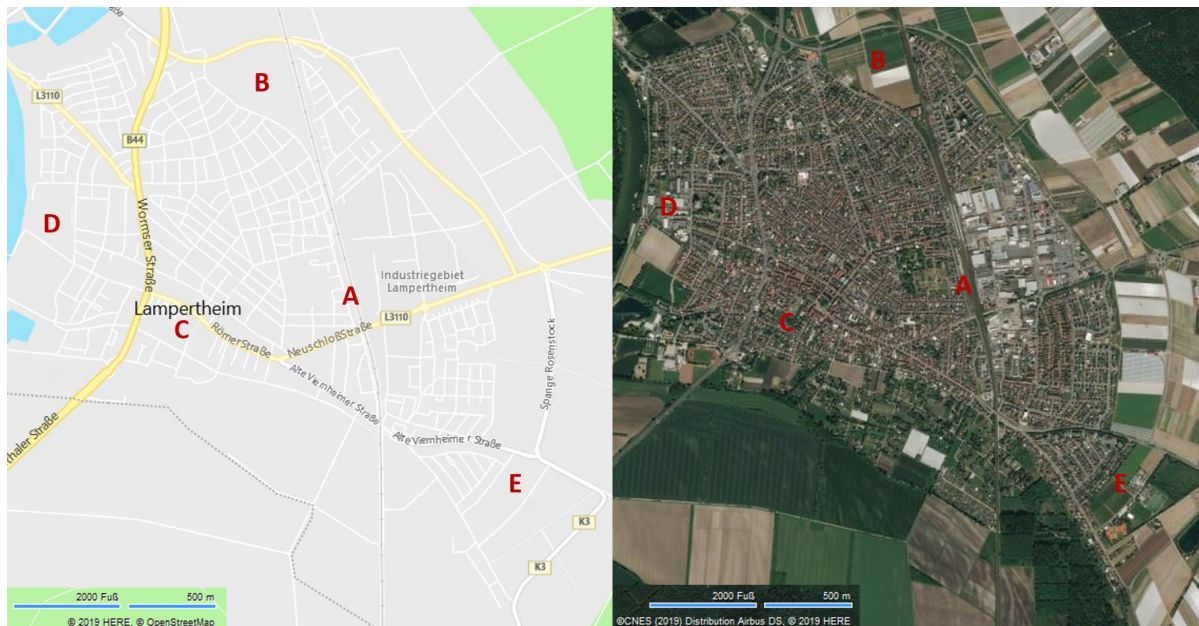


Abbildung 66: Verteilung der für klimatische Detailbetrachtungen ausgewählten Planungsschwerpunkte im Stadtgebiet von Lampertheim (A – Eugen-Schreiber-Straße, B – Gleisdreieck, C – Unterdorf, D – Biedensand Campus und E – Gleifswelder Gewann).

	Vorhaben	Planungsstand
A	Eugen-Schreiber-Straße	Aufstellungsbeschluss
B	Gleisdreieck	Städtebaulicher Entwurf
C	Unterdorf	Städtebaulicher Entwurf
D	Biedensand Campus	Planung des Kreises Bergstraße - Vorplanungen
E	Gleifswalder Gewann	Im Flächennutzungsplan dargestellt als potentielle Wohnbaufläche

VII.3.1 Eugen-Schreiber-Straße (A)

Das Planungsgebiet „Eugen-Schreiber-Straße“ befindet sich in Mitte bis südöstlichen Bereich innerhalb des Stadtgebiet Lampertheim, südlich des Bahnhof. Das Planungsgebiets wird im Osten von einer Bahntrasse eingegrenzt. Weiter östlich angrenzend an die Bahntrasse befindet sich ein Industriegebiet. Westlich wird das Gebiet von Wohnbebauung eingegrenzt. Im nördlichen Bereich des genannten westlichen Wohngebiets befindet sich weiter westlich einer größeren zusammenhängenden Freifläche, welche durch den Stadtpark und einem Friedhof definiert wird. Das Planungsgebiet selbst liegt auf einer Ruderalfläche.

Der zu erarbeitenden klimatischen Betrachtung im Ist- und Planungszustand des Gebiets liegt das Bebauungskonzept Variante IX zugrunde. In dieser Variante soll im östlichen Bereich angrenzend an die Bahnlinie eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 2,80 m errichtet werden. Die Bebauung selbst soll durch drei Reihenhäuserblöcke realisiert werden.



Abbildung 67 Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes A (Eugen-Schreiber-Straße) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019)

Klimatische Einschätzung

Bei der bestehenden Fläche bzw. Planung handelt es sich um eine Neubebauung einer zuvor offenen Freifläche. Diese Freifläche besitzt im Kontext der Kaltluftversorgung durch das vorhandene Flurwindsystem eine besondere Bedeutung als Verbindungselement zwischen dem Korridor des Gleiskörpers und des Friedhofs bzw. Stadtparkflächen. Trotz der an den östlichen Rand des Friedhofs grenzende schmale Bebauungsreihe werden auch weiter westlich gelegene Siedlungsbereiche durch das Flurwindsystem positiv beeinflusst (verbesserte

nächtliche Abkühlung). Im Fall einer Bebauung wird empfohlen, insbesondere bei der Gebäudeausrichtung, das vorhandene Flurwindssystem zu berücksichtigen und gleichzeitig große unversiegelte Freiflächen zwischen den Gebäuden zu schaffen, über die eine Kanalisierung des Windes geschehen kann. Durch die Einbeziehung der Siedlungsflächen „Humboldtstraße“ und „Parkstraße“ im Rahmen einer baulichen Überplanung könnte die zusätzliche Bebauung kompensiert werden und die Austauschleistung zwischen Stadtpark und Gleiskörper erhöht werden (z.B. durch Berücksichtigung der Maßnahmen 8, 9 und 10). Der Einsatz einer feststehenden, durchgängigen Schallschutzwand wird aus klimatischen Gründen nicht empfohlen. Alternativ könnte eine Schallschutzlösung mit beweglichen Wandelementen in Betracht gezogen werden, die im Sommer während der Nacht geöffnet werden kann.

VII.3.2 Gleisdreieck (B)

Das Planungsgebiet „Gleisdreieck“ befindet sich angrenzend im Norden des Stadtgebiets Lampertheim und ist weitestgehend bereits durch städtische Bebauung eingegrenzt. Nur der nördliche Rand wird durch Ackerfluren geprägt. Das Gebiet selbst wird ackerbaulich genutzt und wird durch die Umgehungsstraße L 3110 im Norden zu den weiteren Feldfluren abgeteilt. Im südlichen Bereich grenzt das Baugebiet an einen Spiel- und Bolzplatz.

„Mit dem Neubaugebiet "Gleisdreieck" soll ein Wohngebiet mit gemischt strukturierten Wohnformen entwickelt werden. Wichtige Rahmenbedingungen ergeben sich durch die Lage am Ortsrand sowie der erforderlichen Integration der bestehenden naturschutzrechtlichen Ausgleichsflächen und die Einbindung ökologischer Anforderungsprofile. Die Anbindung des Gebietes an die umgebende Infrastruktur erfolgt im Schwerpunkt über einen Verkehrskreis im Knotenpunkt Ringstraße / Andreasstraße. Entlang einer Haupteerschließungsstraße werden verdichtete Wohnformen in lockerer Gliederung angeordnet. (...)

Dem Planungsstand des Entwurfes entsprechend werden die Wohnbaugrundstücke als schematische Cluster dargestellt. Das heißt, dass im Moment noch alle Grundstücke weitgehend den gleichen Zuschnitt haben - es sind überwiegende freistehende Einfamilienhäuser dargestellt. Der Entwurf ist aber für alle Bauformen offen und soll auch moderne Wohnformen und experimentelles Wohnen ermöglichen. Beschränkungen ergeben sich nur durch das bereits fixierte Erschließungskonzept und die Vorgaben des energetisch optimierten Städtebaus.

Einen Schwerpunkt des Freiraumkonzeptes bildet die Schaffung einer "Grünen Achse", die als Quartiersmittelpunkt der Durchgrünung und klimatischen Aufwertung sowie der wohnortnahen Erholung dient. Die Erhaltung und Ergänzung der umgebenden Grün- und Pflanzbereiche lassen als breiter Grüngürtel die Aufrechterhaltung eines "Ortsrandweges" zu und nehmen die einzige mögliche Wegeverbindung nach außen (über die L3110 in die Feldflur) auf.“

Quelle: Homepage der Stadt Lampertheim https://www.lampertheim.de/de/bauen-umwelt/planen-bauen/planen-bauen-stadtentwicklung.php#anchor_65e9481e_Accordion-Gleisdreieck -letzter Zugriff 08.07.2019



Abbildung 68: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes B (Gleisdreieck) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019)



Abbildung 69: Planungsentwurf für den Planungsschwerpunkt B (Gleisdreieck) (Stadt Lampertheim, 2019)

Klimatische Einschätzung

Bei der bestehenden Fläche bzw. Planung handelt es sich um eine Neubebauung einer zuvor offenen Freifläche. Diese Freifläche besitzt im Kontext der Kaltluftversorgung durch das vorhandene Flurwindssystem eine besondere Bedeutung. Die trichterartige Ausformung der Fläche fördert den Kanalisierungseffekt des nächtlichen Flurwindes in südlicher Richtung entlang des Gleiskörpers, aber auch in und entlang der „Mozartstraße“, der „Lönsstraße“, der „Händelstraße“, der Wilhelm-von-Kettler-Straße sowie der „Hagenstraße“. Eine zukünftige Bebauung muss im besonderen Maße diesem Umstand Rechnung tragen. Die im vorliegenden Entwurf geplante Grünachse ist klimatisch substanziell zu bewerten. Es wird jedoch empfohlen, den Siedlungskörper mit weiteren Grünachsen zu versehen (durch Reduzierung der Bebauung) und die Ausrichtung noch stärker an die vorhandenen Richtungen des Flurwindes anzupassen. Ergänzend werden „intensive“ Dachbegrünungen sowie helle Materialien empfohlen. Von Stein(vor)gärten ist Abstand zu nehmen. Private und öffentliche Flächen sollten, sofern technisch und funktionell möglich, unversiegelt sein, um eine schnellere nächtliche Auskühlung des Bodens zu fördern und um gleichzeitig mehr Retentionsfläche (insbesondere für Starkregenereignissen) zu schaffen.

VII.3.3 Unterdorf (C)

„Das Planungsgebiet „Unterdorf“ befindet sich im Ortsteil Lampertheim, dem größten Ortsteil der Stadt Lampertheim. Das Unterdorf befindet sich im Kontext des Ortsteils am südlichen Ortsrand, in einer Zwischenzone zwischen Innenstadt (nördlich der Römerstraße) und dem aufgelockerten Ortsrand (südlich Am Graben).“

In diesem Gebiet ist eine wohnbauliche Nachverdichtung geplant.

„Der Wirkungsbereich der Planungen ist der Block, der durch Mannheimer Straße, Römerstraße, Am Graben und Riesengasse begrenzt wird. Bei der Mannheimer Straße und Römerstraße handelt es sich um Hauptverkehrsstraßen, die für Lampertheim wichtige Funktionen einnehmen. Insbesondere die Mannheimer Straße (B44) stellt die wichtigste Nord-Süd-Verkehrsachse durch Lampertheim dar. Die Straßen Am Graben und Riesengasse hingegen sind Erschließungsstraßen für Wohngebiete; insbesondere die Riesengasse als Sackgasse mit sehr engem Querschnitt erfüllt nur Erschließungsfunktion für die unmittelbaren Anlieger.“ Quelle: Teilräumliches Entwicklungskonzept - Quartier Unterdorf

Bisher liegen lediglich zwei Bebauungsvarianten aus dem „Teilräumlichen Entwicklungskonzept – Quartier Unterdorf“ mit dem Arbeitsstand von 10.05.2019 vor. Ein konkretes Bebauungskonzept wurde noch nicht erstellt. Daher werden in der folgenden Betrachtung beide Bebauungsvarianten für eine klimatische Einschätzung berücksichtigt.

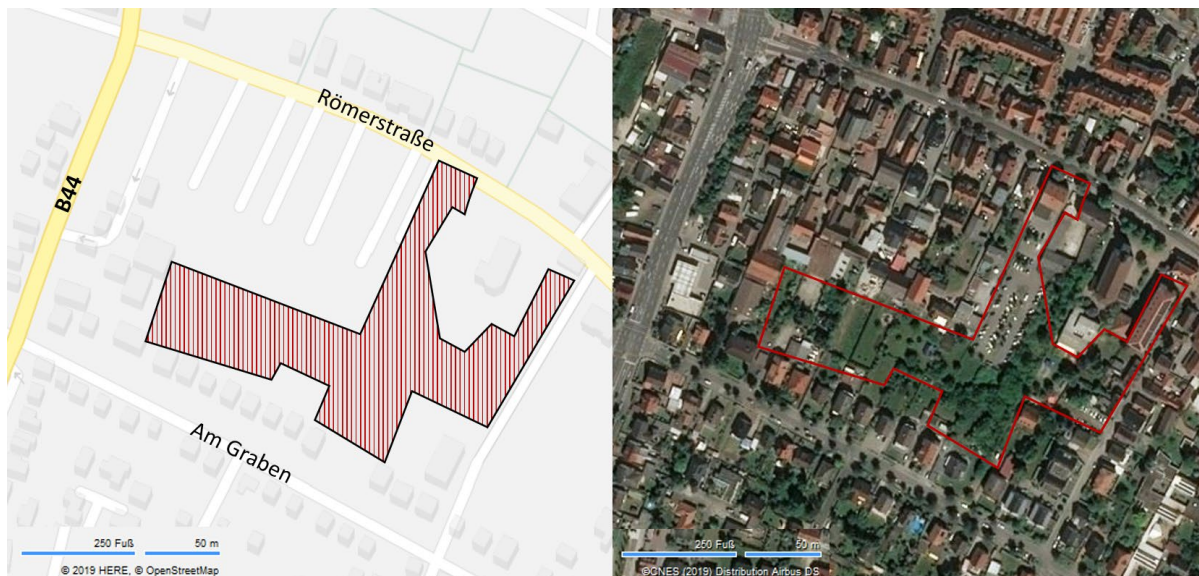


Abbildung 70: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes C (Unterdorf) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019)



Abbildung 71: Entwurf 1 für den Planungsschwerpunkt C (Unterdorf) (Stadt Lampertheim, 2019)



Abbildung 72: Entwurf 2 für den Planungsschwerpunkt C (Unterdorf) (Stadt Lampertheim, 2019)

Klimatische Einschätzung

Das Planungsgebiet des „Unterdorfs“ stellt im aktuellen Zustand ein lokales klimatisches Ausgleichspotential dar. Gleichzeitig unterstützen Teilbereiche (insbesondere der mittlere und östliche Bereich) das nächtliche Flurwindssystem als eine Art „Trittstein“, wodurch weiter nördlich gelegene Siedlungsbereiche der Innenstadt klimatisch positiv beeinflusst werden (verbesserte nächtliche Abkühlung).

Insbesondere die in beiden Entwürfen geplante Quartiergarage sollte als oberirdisches Bauwerk vermieden werden, da diese (aktuell offene Fläche) mit ihrer geringen Oberflächenrauigkeit sehr förderlich auf die Durchlüftung einwirkt. Als Alternative wird eine begrünte Tiefgarage vorgeschlagen, um die Freihaltung der Fläche zu gewährleisten. Ebenso ist die Gebäudeausrichtung und die Gebäudeposition des weiter südlich anschließenden Gebäudes (Entwurf 2) zu überdenken, um die Barrierewirkung für den Wind zu reduzieren. Auch die im Entwurf 1 geplanten zwei einzelnstehenden Gebäude südlich der Quartiersgarage sind klimatisch kritisch zu bewerten, da auch hier von einer starken Barrierewirkung für die Durchlüftung ausgegangen werden muss.

VII.3.4 Biedensand Campus (D)

Das Planungsgebiet „Biedensand Campus“ befindet sich am westlichen Rand des Stadtgebiets Lampertheim und grenzt unmittelbar an den „Lampertheimer Altrhein“ an. Nördlich und östlich wird das Planungsgebiet von Wohnbebauung eingegrenzt. Innerhalb der östlich anschließenden Wohnbebauung liegt direkt angrenzend an das Planungsgebiet eine Fläche, welche mit 4 Hochhäusern bebaut ist, mit dazwischenliegenden größeren Freiflächen. Südlich des Planungsraums befinden sich Ackerfluren. Zwischen der südlich liegenden Ackerflur und dem „Lampertheimer Altrhein“ befinden sich weitere wenige Gebäude.

Das Planungsgebiet selbst ist bereits mit unterschiedlichen Gebäuden und Sportflächen bebaut. Die Flächen sind weitestgehend versiegelt. Einige Bäume befinden sich im Planungsareal, welche häufig einen alleeartigen Charakter aufweisen. Eine Neustrukturierung des Areals sowie Umbauten sind geplant. Ein konkretes Bebauungskonzept wurde bisher noch nicht erstellt.



Abbildung 73: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes D (Biedensand Campus) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019)

Klimatische Einschätzung

Das Planungsgebiet grenzt an eine klimatisch hoch aktive Fläche des Außenraums an. Zudem werden Teilbereiche aktiv durch die vorhandene Luftleitbahn entlang des Altrheins beeinflusst. Beim Biedensand Campus handelt es sich um eine Neuplanung eines bereits bebauten und großen Teils versiegelten Fläche. Durch diese Kombination aus Lage und Umplanung besteht für das Planungsgebiet das Potential, die lokale klimatische Situation sowie die des angrenzenden Siedlungsraums zukunftsgerecht zu entwickeln, was zu einer klimatischen Verbesserung (Aufwertung) führen kann. Im Entwurf ist darauf zu achten, dass möglichst große unversiegelte Freiflächen entstehen, die mit ihrer Offenheit die Durchlüftung fördern.

In diesem Kontext sind höhere (aber dafür mit geringerer Grundfläche) Gebäude zu präferieren. Die blockierende Anordnung von Gebäuden oder Gebäudekomplexen (orthogonal zur vorherrschenden Anströmung) ist zu vermeiden. Positiv ist für dieses Planungsgebiet insbesondere zu bewerten, dass die regionale dominierende Anströmung aus Südwest identisch mit dem nächtlichen Flurwindsystem ist, wodurch der planerische Aufwand reduziert werden kann.

VII.3.5 Gleifsweiler Gewann (E)

Zuwachs Siedlungsfläche

Im Südosten von Lampertheim, zwischen Gleifsweiler Straße und Sportzentrum Ost.

Die Wohnbauflächen liegen in Bereichen, die bei Strahlungswetterlagen von Flurwinden überströmt werden, welche aus dem östlich gelegenen Lampertheimer Wald Frischluft in den östlich der geplanten Wohnbaufläche angrenzenden Siedlungskörper führen und dort zur Durchlüftung sowie zur Minderung thermischer Belastungen beitragen. Die Flurwinde können derzeit die Flächen des Sportzentrums Ost sowie die Gebäude der Schule über- bzw. umströmen. Bei einer Bebauung der geplanten Wohnbauflächen wird es zu einer Beeinträchtigung und Unterbindung der Flurwindströmung und damit zu einer verringerten Durchlüftung des westlich liegenden Siedlungskörpers kommen.

Der Landschaftsplan empfiehlt folgende Maßnahmen:

Sicherung von drei, Ost-West gerichteten, mindestens 50m breiten, hindernisfreien Durchlüftungsleitbahnen, um die bei Strahlungswetterlagen vom Lampertheimer Wald herziehenden Flurwinde möglichst weit in den Siedlungskörper zu lenken und damit die Durchlüftung und Minderung thermischer Extreme zu gewährleisten. Darüber hinaus Festsetzung offener Bauweisen, um die Durchströmbbarkeit des neu entstehenden Siedlungskörpers zumindest teilweise zu gewährleisten. Sicherung einer hohen Durchgrünung mit einem hohen Anteil an Großbäumen, um thermisch belastende, versiegelte Flächen und Fassaden zu beschatten.

Quelle: Auszug aus dem Landschaftsplan 2002, Kap.5; Landschaftsplan der Stadt Lampertheim Nutzungen, BfL Mühlinghaus Projekt 9723



Abbildung 74: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes E (Gleifsweiler Gewann) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019)

Klimatische Einschätzung

Die Kaltluft- und Flurwindberechnungen haben gezeigt, dass es sich beim Planungsgebiet zwar um eine kaltluftproduzierende landwirtschaftliche Fläche handelt, jedoch nur mit geringer klimatischer Bedeutung für das angrenzende Siedlungsgebiet. Dies ist unter anderem auf die keilförmige Einbettung des Planungsgebietes und der angrenzenden Bebauung in die offene Landschaft zurückzuführen, wodurch von mehreren Seiten klimatische Ausgleichpotentiale lokal auf den Siedlungsraum einwirken können. Gleichzeitig entsteht bei der regionaltypischen Anströmung aus Südwest kein bzw. nur geringer Widerstand, da keine Bebauung / Siedlungsstrukturen in der weiteren Windrichtung liegen. Grundsätzlich ist eine Bebauung im Planungsgebiet aus stadtklimatischer Sicht als unkritisch zu bewerten. Dennoch sollte im Entwurf darauf geachtet werden, dass der negative Einfluss auf das vorhandene Strömungsregime des Flurwindes reduziert wird. Dies kann primär durch die Gebäudeanordnung sowie durch die Offenheit des Freiraums gewährleistet werden.

VIII. Zusammenfassung

Die vorliegende stadtklimatische Untersuchung der Stadt Lampertheim stellt die Grundlage für die zukunftsgerichte und damit auch klimaangepasste Stadtentwicklung dar. Die Untersuchung hatte zum Ziel, das grundlegende Verständnis von klimatischen Zusammenhängen im städtischen und ländlichen Raum zu fördern und die klimatische Gesamtsituation der Stadt Lampertheim darzustellen. Die klimatische Beschreibung der Stadt sowie des näheren Umlandes geschieht mit Hilfe der Klimafunktionskarte, die es ermöglicht, die klimatische Charakteristik der Stadt in 6 Klassen, den sogenannten Klimatopen, abzubilden. Dadurch erhält der Leser / Planer das Grundverständnis der klimatischen Zusammenhänge. Im Zuge der Berechnung der Klimafunktionskarte werden mehrere unterschiedliche Themenkarten generiert, die zwei Funktionen übernehmen. Zum einen sind sie grundlegender Bestandteil der Berechnungsmatrix der Klimafunktionskarte, zum anderen stellen sie eine wichtige planerische Handreichung für die Stadt- und Landschaftsplanung der Stadt dar.

Die Themenkarte der Landnutzung ist eine Zusammenfassung und Abstrahierung der vorhandene Landnutzungstypologien (des umfangreichen ATKIS Basis-DLM) und ermöglicht, die vorherrschenden Nutzungen entsprechend ihrer klimatischen Relevanz gebündelt darzustellen. So kann, dezidiert nach Untersuchungsraum (Stadtgebiet) und Gesamtgemarkung der Stadt Lampertheim, eine statistische Betrachtung Aufschluss über die typische Landnutzungsverteilung geben.

Dieses Gesamtbild einer durchgrünten Stadt wird durch die Themenkarte der zusätzlichen Vegetationserfassung unterstützt. Die Analyse erfasst dabei mit Hilfe von Nah-Infrarot Luftbildaufnahmen alle vorhandenen Grünstrukturen. So werden neben straßenbegleitenden Solitärgehölzen und Kleinstgrünflächen auch alle privaten (nicht öffentlichen) Vegetationsflächen erfasst. Daraus ergibt sich für die Planung ein erheblicher Mehrwert, da so ein realistisches Gesamtbild der Vegetationsbedeckung der Stadt möglich ist. Eine entsprechende statistische Auswertung des Untersuchungsraums auf Grundlage der vereinfachten Landnutzungsklassen zeigt den mittel starken Durchgrünungsanteil der Siedlungsflächen von mindestens 38 %. Das bedeutet, dass knapp zwei Fünftel der Siedlungsflächen im Untersuchungsraum mit Vegetation bedeckt sind (es bleibt zu beachten, dass bei Bäumen die Kronenflächen und nicht der Stammraum erfasst wurden). Insbesondere Industrieflächen sind im gesamtstädtischen Durchschnitt mit 20 % unterdurchschnittlich stark durchgrünt. Dies gilt es zu fördern, um diese meist stark versiegelten Gebiete, klimatisch zu entlasten und den Oberflächenabfluss von Regenwasser zu reduzieren. In weiteren Untersuchungen können diese Analyseergebnisse bspw. dazu genutzt werden, Aufschluss über die Retentionsfähigkeit (Aufnahme und Rückhaltung von Regen über den offenen unversiegelten Boden) zu geben.

Die Themenkarten der Gebäudevolumendichte sowie des SkyView Faktors beschreiben zwei planerisch bedeutsame stadtmorphologische Einflussfaktoren. Die Gebäudevolumendichte beschreibt im 3-dimensionalen Raum die Gebäudemassen unter Berücksichtigung der umgebenden baulichen Dichte. Im Maximum liegt die Gebäudevolumendichte über $25.52 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Hierbei handelt es sich jedoch um einen einzelnen Bereich entlang der „Carl-Lepper-Straße“ (zwischen „Fronhäuser Straße“ und „Schifferstraße“). Die verbleibenden Bereiche starker baulicher Prägung, wie bspw. der Innenstadtbereich oder Teile der im Stadtgebiet östlich liegenden Industrie- und Gewerbeflächen erreichen Maximalwerte von weniger als $12 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Im Vergleich

zu anderen Städten (Frankfurt Bahnhofsviertel: ca. $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis ca. $250 \text{ m}^3/\text{m}^2$, Würzburg Altstadt: ca. $50 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bis $150 \text{ m}^3/\text{m}^2$) ist die Stadt Lampertheim durch sehr lockere Baumassen geprägt, was auch zu dem bereits erwähnten Ausbleiben des Klimatops „Starke Überwärmung“ beiträgt. Der SkyView Faktor beschreibt als zweite stadtmorphologische Einflussgröße die vertikale Offenheit und bietet in der Planung die Möglichkeit, das Überwärmungsrisiko innerhalb der Straßen(schluchten) abzuleiten. Problematische Bereiche mit einem SkyView Faktor von weniger als 0,5 sind großflächig selten, jedoch besonders im Kernbereich der Stadt vorzufinden. In weiteren Untersuchungen kann diese Analyse dazu genutzt werden, um Aussagen bspw. zum Lichtraumprofil (Helligkeit im Straßenraum) zu treffen.

Während die zuvor beschriebenen Faktoren primär die Überwärmung durch Wärmespeicherung beeinflussen, gehören die Kaltluftversorgung sowie die städtische Rauigkeit (Durchlüftung) zu den dynamischen Einflussfaktoren. Im Zuge der Analyse zur Kaltluftentstehung, des Kaltlufttransportes und des Flurwindsystems hat sich ein durch die fehlende Topographie bedingtes Bild abgezeichnet, dass nächtlich produzierte Kaltluft von den landwirtschaftlichen Flächen und des Offenlandes mit Hilfe des Flurwindes radial auf das Stadtgebiet einwirkt. Insbesondere die Sicherstellung und Förderung der Kaltluftversorgung der bebauten Siedlungsbereiche ist im Kontext des klimawandelbedingten Anstiegs der Durchschnittstemperaturen, der Anzahl der Heißen Tage (und Sommertage), dem Anstieg des Auftretens längerer Wärmeperioden und der durch Nachverdichtung generell steigenden städtischen Überwärmung von besonderer planerischer Relevanz. Die Durchlüftung der Stadt wird maßgeblich durch die Lage und Topographie der Stadt, der Ausrichtung der Straßen und der Bebauung beeinflusst. Zusammengefasst kann dies als die städtische Rauigkeit beschrieben werden. Die städtische Rauigkeit untergliedert sich in drei Faktoren, die gemeinsam das Durchlüftungspotential innerhalb der Stadt bestimmen. Für die Stadt Lampertheim treten nur selten Rauigkeitslängen $> 3 \text{ m}$ (Höhe über Grund, bei der es eine Beeinflussung des lokalen Windfeldes gibt) auf. Dies ist generell positiv zu beurteilen. Im Zuge der Nachverdichtung und der Stadtentwicklung ist jedoch darauf zu achten, dass eine Akkumulation von Bereichen mit hohen Rauigkeiten vermieden wird.

Wie bereits zu Beginn geschrieben, beschreibt die Klimafunktionskarte die Synergie aller klimatischer Themenkarten, um den Untersuchungsraum in 6 Klimatopklassen zu unterteilen. Dabei stehen die letzten 3 Klimatope für ein erhöhtes Überwärmungspotential, und gelten dadurch als Risikobereich für hitzevulnerable (hitzesensible / verwundbare) Gesellschaftsgruppen. Zu diesen Gruppen gehören insbesondere Kleinkinder sowie Senioren. In Abhängigkeit der sozialen Rahmenbedingungen kann die Anfälligkeit gegenüber Hitze / Überwärmung innerhalb dieser Gruppen variieren. Um ein Abbild des aktuellen demographischen Zustandes in Bezug auf die Überwärmungsklimatope zu generieren, wurde für das Stadtgebiet eine räumlich-statistische Auswertungen (Heat-Map) bezüglich der vorkommenden Altersstrukturen durchgeführt, und in den Kontext der dortigen Überwärmungsklimatopen gebracht. So konnten auf Grundlage der demographischen Daten Räume im Stadtgebiet identifiziert werden, die für das Auftreten bestimmter Altersstrukturen charakteristisch sind. Gleichzeitig wurde ermittelt, wie viele Personen der Risikogruppen einem besonderen gesundheitlichen Risiko bei bspw. längeren Hitzeperioden ausgesetzt sind. Auf Grund der demographischen Verteilung sowie der stadtklimatischen Situation leben in Lampertheim die meisten Personen der Risikogruppen in einem Überwärmungsklimatop, wodurch ihr gesundheitliches Risiko steigt. Hier können Präventionsmaßnahmen angestoßen werden, um bei längeren Hitzeperioden die Zahl der Betroffenen zu

reduzieren. Weiterführende Untersuchungen zu den demographischen Veränderungen innerhalb des Stadtgebietes können Aufschluss darüber geben, welche voraussichtlichen städtischen Räume sich wie gesellschaftlich weiterentwickeln.

Ergänzend zur durchgeführten stadtklimatischen Analyse wurde auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten ein Grün-, Bebauungs-, und Versiegelungskataster auf Flurstücksebene erstellt. Obwohl diese Daten (auf Flurstücksebene) nicht primär in die Stadtklimaanalyse geflossen sind, stellen sie jedoch einen stadt- und landschaftsplanerischen Mehrwert im Planungsalltag dar, und können als Grundlage bspw. zur Ermittlung des Oberflächenabflusses (auf Flurstücksebene) und der daran geknüpften Bemessung der Abwassergebühren genutzt werden.

Mit Hilfe der vorliegenden Stadtklimaanalyse der Stadt Lampertheim inklusive der Verortung konkreter Maßnahmenvorschläge sowie der Auswertung der Altersstrukturverteilung innerhalb der Belastungsklimatope in den Stadtteilen kann die zukunftsgerichtete und klimaangepasste Stadtentwicklung der Stadt Lampertheim gefördert werden.

Dabei ist grundsätzlich für die Stadt Lampertheim eine günstige stadtklimatische Situation festzustellen. Obwohl es mehrere Bereiche innerhalb des Stadtgebietes gibt, die ein „moderates Überwärmungspotential“ aufweisen, und mit denen dementsprechend sensibel in der zukünftigen Stadtplanung umzugehen ist, wird die Stadt durch vorhandene rurale Kaltluftentstehungsgebiete (sowie auch teils urbane (z.B. Stadtpark) Gebiete), oder die vorhandenen Luftleitbahnen entlang des Altrheins, der Bundesstraße 44 und der Bahntrasse positiv beeinflusst. Zusätzlich funktionieren die linearen und offenen Strukturen als Durchlüftungsbahnen, die in Kombination mit den in mehreren Bereichen offen gestalteten Siedlungsrändern den lokalen Luftaustausch unterstützen.

Durch die Erarbeitung stadtklimatischer Grundlagen und deren Anwendung auf das Stadtgebiet Lampertheim sind unterschiedliche Themenkarten generiert worden, die im Planungsalltag individuell einsetzbar sind. Sei es bspw., um eine bessere Übersicht zur Durchgrünung einzelner Stadtgebiete zu erhalten oder um zukünftige Planungsräume auf ihre klimatische Einbettung in der Nachbarschaft zu überprüfen.

Die aus der Klimafunktionskarte abgeleitete Verortung von Planhinweisen verweist auf entsprechenden Maßnahmensteckbriefe, welche als Planungsinstrument dienen können. Die Maßnahmensteckbriefe sind in vier Klassen eingeteilt (Objektmodifikation, Belüftung/Durchlüftung, Aufenthaltsqualität und Grünvernetzung und Entsiegelung). Inhaltlich finden sich in diesen einzelnen Steckbriefen jeweils eine Beschreibung der Maßnahme selbst und deren klimatische Wirkung, Herausforderungen bei der Umsetzung und Planungs- und Festsetzungsgrundlagen. Auch werden Hinweise auf die zu erwartenden Kosten und die Dauer der Umsetzungs- und Durchführungszeit gegeben. Durch einen Verweis auf einzelne städtische Bereiche können die Maßnahmen für eine zielgerichtete Umsetzung verortet werden. Alle formulierten Maßnahmen können aber auch im gesamten Stadtgebiet Anwendung finden und sind nicht unbedingt ortsgebunden.

VIII.1 Fazit

Die Stadt Lampertheim ist eine „grüne“ Stadt. Ein Großteil der Siedlungsflächen besitzt einen hohen Vegetationsanteil, insbesondere durch private Grünstrukturen.

In Kombination mit der insgesamt positiv zu bewertenden stadtklimatischen Situation verfügt die Stadt Lampertheim über ein hohes Potential für eine zukunftsgerechte und klimaangepasste Stadtentwicklung. Zu diesem Potential gehört auch die Neuplanung des Planungsareals „Biedensand Campus“, welches als klimatisches Verbindungselement zwischen Siedlungs- und Außenbereich entwickelt werden kann. Durch die Förderung einer nachhaltigen grünen Infrastruktur und der Vernetzung des klimatischen Ausgleichspotential zwischen Innen- und Außenbereich kann die Stadtentwicklung und die städtebauliche Nachverdichtung vorangetrieben werden, ohne die typische klimatische Charakteristik der Stadt massiv zu verschlechtern.

Um das stadtklimatische Entwicklungspotential der Stadt Lampertheim zu fördern und gleichzeitig vorausschauend bereits heute auf die zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel im Vorfeld reagieren zu können, ist zu empfehlen, eine Klimafolgenanpassungsstrategie für die Stadt Lampertheim zu erarbeiten. Durch die vorliegende stadtklimatische Untersuchung wurde eine wichtige Grundlage geschaffen, die zum Verständnis der klimatischen Situation der Stadt Lampertheim beiträgt. Gleichzeitig zeigen die Maßnahmenvorschläge Handlungspotentiale auf, die im Rahmen einer Klimafolgenanpassungsstrategie entsprechend weiterentwickelt werden können.

IX. Anlagen

IX.1 Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional	LEP	Landesentwicklungsprogramm
AG	Auftraggeber	LP	Landschaftsplan
AN	Auftragnehmer	LRP	Landschaftsrahmenplan
B	Bundesstraße	m	Meter
BAB	Bundesautobahn	m ²	Quadratmeter
BauGB	Baugesetzbuch	m ³	Kubikmeter
BauNVO	Baunutzungsverordnung	m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull
B-Plan	Bebauungsplan	NE	Nordost
bzw.	beziehungsweise	NIR	Nahinfrarot
cm	Zentimeter	PET	Physiological Equivalent Temperature
CO ₂ -äq	Kohlenstoffdioxidäquivalent	ppm	parts per million
d.h.	das heißt	PHK	Planungshinweiskarte
FLL	Forschungsgesellschaft, Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau e.V.	PS	Planungsschwerpunkt
FNP	Flächennutzungsplan	RCP	Representative Concentration Pathways
GALK	Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e.V.	RP	Regionalplan
GOP	Grünordnungsplan	RGBI	Rot Grün Blau Nahinfrarot
ha	Hektar	SE	Südost
i.d.R.	in der Regel	SRES	Special Report on Emissions Scenarios
inkl.	inklusive	UC	Urban Canopy
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	UCL	Urban Canopy Layer
i.R.	im Rahmen	UTC	Coordinated Universal Time
K	Kelvin	v.a.	vor allem
KFK	Klimafunktionskarte	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
km	Kilometer	W	Watt
km ²	Quadratkilometer		
L	Landstraße		
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen		
Lapro	Landschaftsrahmenprogramm		

IX.2 Glossar

Absorption	wellenlängenabhängige Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen, bei welcher Strahlungsenergie in Wärmeenergie überführt wird. Die Absorption von Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche ist Ursache für die unterste Heizschicht der Atmosphäre als Energiequelle für alle atmosphärischen Bewegungsvorgänge.
Aerosole	Aerosole sind (meteorologisch gesehen) Bestandteile von Beimengungen der Atmosphäre. Sie beteiligen sich wesentlich am luftchemischen Wirkungskomplex und spielen bei Strahlungsprozessen (Absorption, Streuung, Extinktion) eine wichtige Rolle.
Albedo	Rückstrahlvermögen diffus reflektierender (aber nicht spiegelnder) Oberflächen, angegeben als Verhältnis von reflektierter zu einfallender kurzwelliger Strahlung. Eine Oberfläche mit einer Albedo von 0,3 z.B. reflektiert 30 % der einfallenden Strahlung und absorbiert 70 %. Je heller die Oberfläche, desto größer ist ihre Albedo.
Allochthone Witterung	"fremdbürtige", durch großräumige Luftströmungen bestimmte Witterung, die durch mehr oder weniger unperiodische Änderungen der Wetterelemente (kein ausgeprägter Tagesgang) gekennzeichnet ist.
Autochthone Witterung	"eigenbürtige", durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Witterung, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist.
Bergwind	weht abends, nachts und in der Frühe. Nachts kühlt sich die Luft im Gebirge stärker ab als über der Ebene. Die vergleichsweise schwere Kaltluft fließt die Berghänge hinunter und weht zum Teil sehr kräftig durch die Täler hindurch.
Bioklima	Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.
Calme***	nahezu windstille Gebiete (auch Kalme)
Emission*	die Abstrahlung oder Aussendung elektromagnetischer Wellen oder Teilchen als Strahlung, ebenso wie der Ausstoß fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe in die Außenluft sowie in Wasser oder andere Umweltbereiche
Flurwind*	eine thermisch bedingte kleinräumige Ausgleichsströmung zwischen einer Stadt und ihrer Umgebung
Globale Durchschnittstemperatur	die über die gesamte Erdoberfläche (Land/Wasser) gemittelte Temperatur in einem bestimmten Zeitraum.
Globalstrahlung	die gesamte am Erdboden ankommende Sonnenstrahlung, also die Summe aus direkter Strahlung und (diffuser) Himmelsstrahlung
Hangwind*	Wind, der unter dem Einfluss der Tageserwärmung an Berghängen entsteht und tagsüber bergaufwärts (Hangaufwind), nachts bergabwärts (Hangabwind) weht. Hangwinde sind in der Regel bei einer ruhigen Strahlungswetterlage besonders gut ausgebildet.
Heißer Tag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$ beträgt (früher auch Tropentag).

Hitzewelle	eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
Immission*	Einwirkung von unmittelbar oder mittelbar durch menschliche Tätigkeit verursachte Emissionen auf die Umwelt. Zu den Immissionen gehören vorwiegend Luftverunreinigungen, Geräusche, Gerüche, Erschütterungen, Licht, Strahlen und Wärme.
Klimafaktoren	(auch klimatologische Wirkungsfaktoren) sind Faktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte usw.) und damit das Klima eines Ortes beeinflussen.
Kaltluftabfluss	der nächtliche Abfluss von örtlich gebildeter Kaltluft, dabei wird genügend Gefälle vorausgesetzt - trifft insbesondere an unbewaldeten und unbebauten Hängen auf.
Kaltluftfluss	die in windschwachen, klaren Nächten hangabwärts strömende kalte Luft. Sie sammelt sich am Erdboden und ist dann schwerer als die wärmere Luft der Umgebung. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft hängt von der Hangneigung, der Bodenrauigkeit und der Größe des Kaltlufteinzugsgebietes, das heißt, von der Größe des Gebietes, in dem Kaltluft produziert wird ab.
Kaltluftstau	die abriegelnde Wirkung eines Hindernisses auf einen Kaltluftfluss. Die Kaltluft kann sich sowohl vor orografischen Hindernissen (z.B. Hügelrücken) als auch vor künstlichen Hindernissen (z.B. Bauwerke, Dämme) stauen.
Klimamodell*	mathematisches Gleichungssystem welches das Klima bzw. dessen Änderungen simuliert. Als Variablen dienen physikalische und chemische Beziehungen.
Klimaprojektion	Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde unter Nutzung von Klimamodellen. Sind in der Lage alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre des Planeten, zu beschreiben. Mit ihnen können die beobachteten Änderungen des Klimas in der Erdgeschichte analysiert und nachvollzogen werden.
Kontinentalklima	Klima, welches charakteristisch für das Innere größerer Festlandsmassen ist. Im Allgemeinen ist das Kontinentalklima durch große jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur, eine geringe relative Feuchte sowie mäßigen oder geringen, unregelmäßig fallenden Niederschlag geprägt.
Lokalklima	Klima an einem konkreten Ort. Es ist eingebettet in das Regionalklima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt.
Makroklima	Klima, welches von großskaligen Prozessen geprägt ist
Maritimes Klima	Klima von Gebieten, die an die See bzw. das Meer angrenzen oder davon umgeben sind (auch ozeanisches Klima). Geringe Tages- und/oder Jahresgänge der Temperatur und hohe relative Luftfeuchte sind charakteristisch für das maritime Klima.
Mesoklima	Bereich, der zwischen dem Mikroklima und dem Makroklima liegt. Während das Makroklima hauptsächlich von großskaligen und das Mikroklima vor allem von kleinskaligen, lokalen Prozessen beeinflusst ist, ist es im Mesoklima eine Mischung von beiden. Damit umfassen die Skalen der

	mesoskaligen Phänomene etwa eine horizontale Ausdehnung von ca. 1 bis 2000 km und eine typische Lebensdauer von einer Stunde bis hin zu einer Woche. Geländeform, Hangneigung und Beschaffung der Erdoberfläche sind dabei wichtige Parameter.
Mikroklima	mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene im mikrometeorologischen Maßstabsbereich. Nach Orlanski (1975) werden atmosphärische Prozesse mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern der Mikroskala zugeordnet. Mit Mikroklima ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist.
Patch	Gebietsabgrenzung. Im Kontext der vorliegenden Arbeit, ist der Patch eine Flächendefinition für die Rauigkeitsberechnungen. Dabei ist jedes Patch ein Voronoi Polygon, d.h. jeder Punkt innerhalb eines Patches liegt näher an dessen Mittelpunkt bzw. den darin befindlichen Gebäuden als zu einem Gebäude oder Mittelpunkt eines anderen Patches.
Rauigkeit***	(auch Rauheit) bezeichnet die Unebenheit von Oberflächen
Regionalklima	eng verwandt mit der Begrifflichkeit Mesoklima. Dabei sind Phänomene mit sehr ähnlichen Raum- und Zeitskalen gemeint, die durch sowohl groß- als auch kleinskalige Prozesse beeinflusst werden, aber auch von regionalen Gegebenheiten wie der Geländeform und der Landnutzung abhängen. Beim Regionalklima, im Gegensatz zum Mesoklima, wird deutlicher der Bezug zu natur- oder kulturräumlichen Klimabesonderheiten hergestellt.
Resilienz**	Die Leistungsfähigkeit eines Systems Störungen zu absorbieren, und sich in Phasen der Veränderung so neu zu organisieren, dass wesentliche Strukturen und Funktionen erhalten bleiben.
Retention**	Rückhaltevermögen von unterschiedlichen Oberflächen für flüssiges Wasser.
Sommertag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$ beträgt
Spektrale Signatur**^S	für eine Oberfläche typisches Verhältnis der Messwerte in mehreren Spektralbereichen, mit denen Unterschiede in der Reflexionscharakteristik verschiedener Oberflächen erfasst werden können
Städtische Wärmeinsel*^L	ein typisches Merkmal des Stadtklimas welches durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen wird. Durch die starke Aufwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer.
Strahlungsantrieb*^S	Maß für die global gemittelten klimarelevanten Störungen des atmosphärischen Strahlungs- und Energiehaushaltes
Strahlungsbilanz*	Differenz zwischen Ein- und Ausstrahlung einer Fläche. Insbesondere terrestrische und solare Strahlung sind dabei von Bedeutung.
Strahlungswetterlage*	eine Form des Hochdruckwetters mit geringer Bewölkung und höchstens mäßigen Winden

Synoptik	ein Teilgebiet der Meteorologie, das in einer großräumigen Zusammenschau die Wetterzustände in ihrer räumlichen Verteilung und zeitlichen Änderung für einen gegebenen Zeitpunkt untersucht (Analyse oder Wetterlage).
Talwind	bei Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Luft im Gebirge stärker als über der Ebene. Dadurch steigt die Luft nach oben und der Luftdruck sinkt über dem Gebirge. Zum Ausgleich beginnt die Luft unterhalb der Gipfel von außen - also durch die Täler - ins Gebirge einzuströmen.
Tropennacht	eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20\text{ °C}$ beträgt
Übergangsklima*	beschreibt den fließenden Übergang zwischen dem maritimen Klima und dem kontinentalen Klima. Das Übergangsklima kommt überwiegend in Europa vor. Daher ist der Westen dieses Klimas ozeanisch geprägt, während der Osten eher kontinental beeinflusst wird
Überwärmungsakkumulationseffekt**^L	während längeren Hitzeperioden kann die nächtliche Abkühlung die erhöhte tägliche Wärmeaufnahme von Atmosphäre und Gebäuden nicht mehr kompensieren, d.h. auch die Minima der nächtlichen Temperaturen steigen an
Urban Canopy Layer	Atmosphärenschiicht zwischen Erdoberfläche und mittlerer Hausdachhöhe in der Stadt
Vulnerabilität**	der IPCC definiert Vulnerabilität als das Maß, zu dem eine Person, Region oder ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Dabei wird die Vulnerabilität bzw. Verwundbarkeit als eine Funktion von Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit verstanden.
Windstärke	anhand der Auswirkungen des Windes auf die Wasseroberfläche oder auf Objekte an Land geschätzter Stärkewert. In der international vereinbarten 13-teiligen Beaufort-Skala (0 = Windstille bis 12 = Orkan) sind jedem Stärkewert Windgeschwindigkeitsbereiche zugeordnet.
zyklonal	Drehsinn der Luftströmung um ein Gebiet tiefen Luftdrucks (Nordhalbkugel: gegen den Uhrzeigersinn, Südhalbkugel: im Uhrzeigersinn) Außerdem die Bezeichnung für eine Wetterlage mit überwiegendem Tiefdruckeinfluss, welche zumeist durch wolken- und niederschlagsreiches Wettergeschehen gekennzeichnet ist.

Sofern nicht anders gekennzeichnet gilt als primäre Quelle das Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienst (DWD) (www.dwd.de/lexikon oder www.wetterlexikon.eu).

* Wetter-Lexikon von wetter.net - Q.met GmbH
(<https://www.wetter.net/wetterlexikon>)

** Lexikon der Nachhaltigkeit der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (<https://www.nachhaltigkeit.info>)

*** Duden - Bibliographisches Institut GmbH (<https://www.duden.de>)

- *^L Enironmental Sciences Europe – Kuttler 2011 (<http://www.enveurope.com>)
- *^S Spektrum – Lexikon der Geowissenschaften
(www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften)

IX.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Monatliche Temperatur und Niederschlagsmenge im Stadtgebiet Mannheim im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010	3
Abbildung 2: Monatliche Temperatur und Niederschlagsmenge im Stadtgebiet Worms im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010	3
Abbildung 3: Anzahl der Sommertage sowie Heißen Tage im Stadtgebiet Mannheim im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010	4
Abbildung 4: Anzahl der Sommertage sowie Heißen Tage im Stadtgebiet Worms im vieljährigen Mittel 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010	5
Abbildung 5: Verteilung und Intensität der Windrichtung im Jahr für die Stadt Lampertheim (DWD, 2019)	6
Abbildung 6: Windgeschwindigkeiten (km/h) im Jahresgang nach Monaten für die Stadt Lampertheim (DWD, 2019)	6
Abbildung 7: Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017)	8
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Absorption und Reflexion von Vegetation.	10
Abbildung 9: Reflexion von Wasser, Boden und Vegetation bei verschiedenen Wellenlängen (SEOS 2019).	10
Abbildung 10: Unterschiedliche Reflektanzkurven am Beispiel eines gesunden und eines geschädigten Eichenblatts (Kokaly et al 2017). Im Nahinfrarotbereich zeigt die gestresste Pflanze (gestrichelte Linie) eine deutliche Abnahme der Reflexion.	10
Abbildung 11: Vertikales Windprofil über der Innenstadt, Stadtrand und Freiland; (Robel et al., 1978)	11
Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung der Zirkulation von Hang- sowie Berg- und Talwinden in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cehak 1979)	11
Abbildung 13: Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.	12
Abbildung 14: Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).	13
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC)	14
Abbildung 16 Schematische Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).	17
Abbildung 17: Klimatische Einordnung von regionalen und städtischen Planungsebenen (Fachgebiet UMET Universität Kassel, 2012)	19
Abbildung 18: Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK... ..	21
Abbildung 19: Die unterschiedlichen Themenkarten (links) mit deren Hilfe die klimatischen Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können	22
Abbildung 20: Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse	22

Abbildung 21: Topographische Ausprägung im weiteren Untersuchungsraum (Lampertheim)	25
Abbildung 22: Landnutzungsverteilung entsprechend der ATKIS Grundlagendaten für die Region Lampertheim	26
Abbildung 23: Vergleich der zusammengefassten Flächenverteilung im Gesamtgebiet sowie im Untersuchungsraum der Stadt Lampertheim	27
Abbildung 24: Vegetationserfassung auf Grundlage ATKIS Landnutzungsdaten sowie hochaufgelöster Nahinfrarot Orthophotos (NDVI Analyse) im Untersuchungsraum Lampertheim	28
Abbildung 25: Darstellung des vorhandenen Vegetationsanteils innerhalb der 3 primären urbanen Landnutzungsklassen	28
Abbildung 26: Flurwindausprägung (m/s) im weiteren Untersuchungsraum	30
Abbildung 27: Darstellung der Kaltluflthöhe in zeitlicher Abhängigkeit	31
Abbildung 28: Städtische Rauigkeitslängen in Meter in Abhängigkeit der Gebäudeanordnung und Gebäudehöhen im Untersuchungsraum	33
Abbildung 29: Städtische bauliche Porosität auf Grundlage der Gebäudeanordnung und Gebäudehöhen im Untersuchungsraum	34
Abbildung 30: Darstellung der Gebäudevolumendichte im Untersuchungsraum	35
Abbildung 31: Schematische Darstellung der Ableitung des SkyView Faktors	37
Abbildung 32: Darstellung des SkyView Faktors zur Ermittlung der vertikalen Offenheit für den Untersuchungsraum Lampertheim	37
Abbildung 33: Klimafunktionskarte mit Klimatopklassifizierung für den Untersuchungsraum Lampertheim (Berechnung erstreckt sich über den Untersuchungsraum hinweg)	39
Abbildung 34: Klimafunktionskarte mit Klimatopklassifizierung und dynamischen Komponenten für den Untersuchungsraum Lampertheim	40
Abbildung 35: Demographische Verteilung nach Altersklassen im Untersuchungsraum	42
Abbildung 36: Vergleich der demographischen Verteilung nach Altersklassen zwischen Gesamtstadt und Untersuchungsraum	43
Abbildung 37: Darstellung der Anzahl betroffener Personen entsprechend der Klimatopverteilung im Untersuchungsraum sowie deren prozentualer Anteil an der entsprechenden Altersklasse im Untersuchungsraum	44
Abbildung 38: Übersicht der unterschiedlichen, prozentualen Flächenverteilungen je Flurstück	46
Abbildung 39: Vegetationsbedeckung auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum	46
Abbildung 40: Statistische Auswertung des prozentualen Vegetationsanteils je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim	47
Abbildung 41: Versiegelungsgrad durch Gebäude auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum	47
Abbildung 42: Statistische Auswertung des prozentualen Gebäudeanteils je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim	48
Abbildung 43: Flächenversiegelung ohne Gebäude auf Flurstücksebene im Untersuchungsraum	48
Abbildung 44: Statistische Auswertung des prozentualen Versiegelungsanteil je Flurstück für das Stadtgebiet von Lampertheim	49

Abbildung 45: Änderung der globalen Mitteltemperatur 1850-2100 nach verschiedenen IPCC-Szenarien (DKRZ / MPI-M 2019). RCP 8.5 (rot), RCP 4.5 (orange) und RCP 2.6 (grün)	51
Abbildung 46: Änderung der Anzahl Heißer Tage pro Jahr. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019).....	52
Abbildung 47: Änderung der Anzahl von Wärmeperioden pro Jahr. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019).....	53
Abbildung 48: Änderung des Winterniederschlages (Dezember, Januar, Februar) in % gegenüber 1971 – 2000 für das RCP8.5 Szenario (26 Modelle)	53
Abbildung 49: Änderung der Anzahl von Tagen pro Jahr mit mehr als 20 mm Niederschlag. Links RCP2.6, rechts RCP8.5 (HLNUG, 2019).....	54
Abbildung 50: Planhinweiskarte mit Verortung von Planungshinweisen	55
Abbildung 51: Dachbegrünung im Schichtaufbau (links extensiv, rechts intensiv) (American Hydrotech 2000).....	60
Abbildung 52: Extensives Gründach auf einem ehemaligen Parkdeck in Kassel (2019)	60
Abbildung 53: Fassadengebundene Begrünung als Teil der Fassade des „La Caixa Forum“ in Madrid (2016).....	63
Abbildung 54: Solare Reflexionseigenschaften in Prozent (%) von klassisch gebrannten Dachziegeln mit unterschiedlicher Farbgebung (Gartland 2008).	64
Abbildung 55: Solare Reflexionseigenschaften von Metall mit unterschiedlichen Deckfarben (Gartland 2008).....	64
Abbildung 56: Nachträgliches „White Coating“ eines Metaldachs mit einer Elastomer-Beschichtung	64
Abbildung 57: Beispiel für den Effekt von unterschiedlich hohen städtischen Randbebauungen (VM BW 2012)	65
Abbildung 58: Schematisierte Strömungsveränderungen durch Gebäudeanordnungen (Dütz und Martin 1982).....	65
Abbildung 59: Beispiel für eine durchlässige Hangbebauung (VM BW 2012)	66
Abbildung 60: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012)	66
Abbildung 61: Beispiel für temporäre Verschattungsmaßnahmen aus Textilstoffen während der Sommermonate in Málaga (Spanien). Im Winter und Frühjahr werden die Verschattungselemente wieder entfernt, so dass während dieser Zeit die Besonnung des Straßenzugs nicht behindert wird (2016).	69
Abbildung 62: Temporäre Verschattungsmaßnahmen (Sonnensegel) im Außenbereich (Spanien 2019).....	69
Abbildung 63: Unterschiedliche öffentliche Trinkwasserbrunnen (rechts barrierefrei) in Spanien (2019).....	71
Abbildung 64: Schematische Darstellung einer möglichen Verschlechterung der Belüftung durch Straßenbegleitgrün. Bei der linken Darstellung liegt kein Kronenschluss der Straßenbäume vor, wodurch die Durchmischung der vertikalen Luftschichten nicht behindert wird. Der Kronenschluss der Bäume (rechts) separiert die unterschiedlichen vertikalen Luftschichten und verhindert so deren Durchmischung.	72
Abbildung 65: "Bewässerungssäcke", die die kontinuierliche Bewässerung von Neuanpflanzungen während längerer Trockenphasen sichern (Kassel 2019).....	74

Abbildung 66: Verteilung der für klimatische Detailbetrachtungen ausgewählten Planungsschwerpunkte im Stadtgebiet von Lampertheim (A – Eugen-Schreiber-Straße, B – Gleisdreieck, C – Unterdorf, D – Biedensand Campus und E – Gleifswiler Gewann).....	76
Abbildung 67 Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes A (Eugen-Schreiber-Straße) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019).....	77
Abbildung 68: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes B (Gleisdreieck) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019).....	79
Abbildung 69: Planungsentwurf für den Planungsschwerpunkt B (Gleisdreieck) (Stadt Lampertheim, 2019)	80
Abbildung 70: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes C (Unterdorf) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019).....	81
Abbildung 71: Entwurf 1 für den Planungsschwerpunktes C (Unterdorf) (Stadt Lampertheim, 2019).....	82
Abbildung 72: Entwurf 2 für den Planungsschwerpunktes C (Unterdorf) (Stadt Lampertheim, 2019).....	82
Abbildung 73: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes D (Biedensand Campus) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019).....	84
Abbildung 74: Übersicht & Verortung des Planungsschwerpunktes E (Gleifswiler Gewann) (OpenStreetMap & Here Maps, 2019).....	86

IX.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkung (rechte Spalte) im städtischen Raum.	7
Tabelle 2: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds.	13
Tabelle 3: Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017).....	14
Tabelle 4: Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entsprechenden Strömungsregimen.	17
Tabelle 5: Darstellung und Beschreibung der Klimatope der Klimafunktionskarte	41
Tabelle 6: Darstellung & Beschreibung der dynamischen Komponenten der Klimafunktionskarte.....	41
Tabelle 7: RCP-Szenarien des 5. IPCC-Sachstandsbericht (nach Van Vuuren 2011). RCP 8.5 stellt hierbei ein sehr hohes, während RCP 2.6 ein eher niedriges Emissionsszenario darstellt.	51
Tabelle 8 Planungshinweise mit Verortung und zugehörigen Maßnahmennummern	56
Tabelle 9: Maßnahmenvorschläge (für Details vgl. VII.2.1 - VII.2.4) und potentielle Verortungsareale in der Übersicht	57
Tabelle 10: Kurzbeschreibung der in den Maßnahmensteckbriefen verwendeten Symbole ...	58
Tabelle 11: Beispiele für Arten, die für eine extensive Gründachbepflanzung geeignet sind ..	59
Tabelle 12: Gewichts- und Massenvergleich zwischen intensiven und extensiven Gründach (nach Gartland 2008).....	60
Tabelle 13: Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung	62

IX.5 Literaturverzeichnis

AMERICAN HYDROTECH 2000, The Garden Roof Planning Guide, Chicago

BREIT, A. & DÜSTERDIEK, F., DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG

BUNDESINSTITUT FÜR BAU,-STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BMVBS) 2011, Klimagerechte Stadtentwicklung, Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen, Schriftenreihe Forschungen, Heft 149

BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR LÄNDLICHE RÄUME, WALD UND FISCHEREI (THÜNIEN INSTITUT) 2017 – 2020, Untersuchung der Mikroplastik-Senken und -Quellen von einem typischen Einzugsgebiet bis in die offene Ostsee, Online-Quelle URL: www.thuenen.de/de/lr/projekte/mikroplastik-in-der-umwelt-untersuchungen-im-warnow-einzugsgebiet/?no_cache=1 Abruf: 11/2019

BURGHARDT, R. ET AL. 2014, Klimabewusste Stadtgestaltung. In: RaumPlanung, Fachzeitschrift für räumliche Planung und Forschung, Ausgabe 01/2014, Informationskreis für Raumordnung, Dortmund

BURGHARDT, R. 2015, Development of an ArcGIS extension to model urban climate factors, Kassel University Press

BRÜNDL W., MAYER H., BAUMGARTNER A. 1986, Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten, Abschlussbericht zum Teilprogramm „Klimamessungen München“

DEUTSCHEN KLIMARECHENZENTRUM (DKRZ) / MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE (MPI-M), Globale Mitteltemperatur 1850-2100, Online-Quelle URL: www.dkrz.de/kommunikation/klimasimulationen/de-cmip5-ipcc-ar5/ergebnisse/Mitteltemperatur Abruf: 06/2019

DEUTSCHE REIHENHAUS AG 2018, 1444, Bebauungsplan Variante IX, Erstellt: RO

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Informationsblatt: Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21, - Stand 03/2016

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Städtische Wärmeinsel, Online-Quelle URL: www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtplan/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html Abruf: 09/2017

DIMOUDI A. UND NIKOLOPOULOU M. 2003, Vegetation in the urban environment: Microclimatic Analysis and Benefits. Energy and Buildings, 35(1), 69-76

DÜTZ M., MÄRTIN H. 1982, Energie und Stadtplanung, Berlin

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Dachbegrünungsrichtlinie - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen, 6. Ausgabe

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2002, Hinweise zur Pflege und Wartung von begrünten Dächern, 1. Ausgabe

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen, 3. Ausgabe

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2015, Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2014, Leitfaden Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen (Forschungsbericht)

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2015, Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2010, Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 1999, Leitfaden für die Planung, Ausführung und Pflege von funktionsgerechten Gehölzpflanzungen im besiedelten Bereich

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2005, Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung

- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen
- FRANK, W. 1975, Raumklima und thermische Behaglichkeit: Literatúrauswertung, In: Berichte aus der Bauforschung, Bd. 104, Berlin
- GALK 2012, Straßenbaumliste, Online-Quelle URL: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste> Abruf: 04/2019
- GALK 2001, Straßenbaumtest 1, Online-Quelle URL: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumtest-1> Abruf: 04/2019
- GALK 2012, Straßenbaumtest 2, Online-Quelle URL: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumtest-2> Abruf: 04/2019
- GARTLAND L. 2008, Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas in the UK and USA in 2008. Earthscan, London
- GEONET 2002, GIS-basierte Aufbereitung der Modellergebnisse zur Kaltluftsimulation für die Nutzung im Rahmen der Landes- und Regionalplanung in Thüringen; Abschlussbericht
- GEONET 2011, MORO Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel Leitfaden „Klimaökologie“, Baden-Baden
- GROSS G. 1987, Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate: A numerical study; In: Boundary-Layer Meteorology; 28 (4); S. 315-337
- HUPFER P. UND KUTTLER W. (Hrsg.) 1998, Witterung und Klima, Vieweg + Teubner Verlag
- HUSSAIN M. UND LEE B.E. 1980, A wind tunnel study of the mean pressure forces acting on large groups of low-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.6, Iss.3-4, p 207-225
- JENDRO, F. 2017, Spargelanbau unter Folie und Natura 2000-Gebiete. (Wahlperiode Brandenburg, 6/35). Potsdam: Landtag Brandenburg, Parlamentarischer Beratungsdienst
- KATZSCHNER L. UND THORSSON S. 2009, Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design, The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan
- KEMPER T., RIECHEL R., SCHULLER T. 2011, Kommunen im Klimawandel- Wege zur Anpassung, Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (klamis), TU Darmstadt, Institut IWAR
- KING E. 1973, Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten; Berichte des Deutschen Wetterdienstes 130; 17
- Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., DRISCOLL, R.L., AND KLEIN, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p.
- KRIEGLER E. 2016, Klimanavigator – Die neuen RCP-Szenarien für den kommenden 5. IPCC-Sachstandsbericht, Online-Quelle URL: www.klimanavigator.de/dossier/artikel/012038/index.php Abruf: 06/2019
- KRUG, H., LIEBIG, H.-P., STÜTZEL, H. UND BENDER J. 2002, Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Ulmer Verlag, Stuttgart
- KUTTLER W. 2011, Climate change in urban areas – part 1, Effects Environmental Sciences Europe 23
- LAND BRANDENBURG 2012 – Drucksache 5/6027: Antwort auf die Kleine Anfrage 2323 (Drucksache 5/5865) Folieneinsatz im Spargelanbau in Brandenburg
- LANUV 2018, Fachbericht 86 – Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- LILJEQUIST G.H. UND CEHAK K. 1979, Allgemeine Meteorologie, Friedr. Vieweg & Sohn Verlags-gesellschaft mbH, Braunschweig
- LOHMEYER, A. 2008, Klimafunktions- und Klimaplanungskarten, In: Lohmeyer Aktuell, Bd. 20, Karlsruhe

- MATZARAKIS A., RÖCKEL R., RICHTER C.-J., HÖFL. H.-C., STEINICKE W., STREIFENEDER M., MAYER H., 2008, Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas am Beispiel von Freiburg im Breisgau, Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 68, 334-340
- MAYER H. 1992, Stadtklima und Lufthygiene, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 4 „Stadtökologie“, 21-30
- NG E. UND REN C. 2015, The Urban Climatic Map, Routledge, London & New York
- OKE, T.R. 1987, Boundary Layer Climates. 2nd Edition, Methuen Publishers, Lagos
- OKE, T.R. 1988, Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings 1, 103-113
- OKE, T.R. 2006, Towards better scientific communication in urban climate, In: Theoretical and Applied Climatology 84 (1), 179-190
- OKE, T.R. (Hrsg.) 2017, Urban Climates, Cambridge University Press
- ROBEL F., HOFFMANN U., RIEKERT A., 1978, Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie, Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart
- RÜNGELER S. 1998, Die Funktion von Dachbegrünungen in urbanen Wasserkreisläufen, Diplomarbeit, Technische Universität Berlin
- SCHÄTZ K. 2012, Computergestützte Simulation der thermischen Effekte von Baumpflanzungen, Bachelorarbeit, Technische Universität München
- SCIENCE EDUCATION THROUGH EARTH OBSERVATION FOR HIGH SCHOOLS (SEOS), Online-Quelle URL: www.seos-project.eu/
Abruf: 03/2019
- STOLL, M., BOEFFEL, C., Teilräumliches Entwicklungskonzept - Quartier Unterdorf; UmbauStadt PartGmbH, M. Fladt,
- THOENNESSEN M. 2002, Elementdynamik in fassadenbegrünendem Wilden Wein, Kölner Geograph. Arbeiten, Heft 78:1-110
- UNGER, J. UND GÁL, T. 2009, Detection of ventilation paths using high resolution roughness parameter mapping in large urban areas. Building and Environment 44, 198-206
- VAN VUUREN, D.P., EDMONDS, J., KAINUMA, M. ET AL. 2011, Climatic Change (2011) 109: 5.
<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- VDI 2015, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1
- VDI 2003, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5
- VM BW (Hrsg.) 2012, Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg

IX.6 Datenverzeichnis

Daten	Tp	Quelle
Landnutzung	DLM_2019	Stadt Lampertheim
Topographie	DGM_2016 (1 m aufgelöst)	
Gebietsentwürfe	Digital (nicht georeferenziert) *.pdf	
Landschaftsplan	Raster Daten *.tif (2002)	
Flächennutzungsplan	Raster Daten Geo.tif (1994)	
Gemarkung	Polygone	
Baumstandorte	Kronendurchmesser & Baumhöhe; *.xls	
Bebauung	LoD1 - Digitales Klötzchen Modell (06.2018)	Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
Demographie	Einwohnermeldedaten *.xlsx	ekom21 – KGRZ Hessen
Nah-Infrarot Luftbilder	DOP_2019 (RGBI)	AfB Heppenheim