



Klimagerechter Städtebau Stadt Lohr a.Main

Erstellung eines Klimaanpassungskonzepts
als Planungs- und Orientierungsinstrument für
die Bauleitplanung

Teil 1 – Klimaanalyse und Planung

Februar 2023



Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Wohnen, Bau und Verkehr



BEARBEITUNG

Dr.-Ing. René Burghardt
Joann Richtzenhain, B.Sc.
Frederik Hilden, B.Sc.
Swantje Kalthoff
Dipl.-Biol. Nicole Burghardt, M.Sc.

Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:
Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI) - 2022

Auftraggeber (AG)

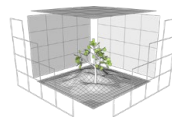
Stadt Lohr a.Main
Stadtentwicklung, Bauen + Umwelt
Schlossplatz 3
97816 Lohr a.Main

**Lohr a.Main***... einfach märchenhaft!***Ansprechpartner**

Manfred Wirth
Tel.: +49 9352 848 130
E-Mail: mwirth@lohr.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

KLIMAAANPASSUNGSKONZEPT ALS PLANUNGS- UND ORIENTIERUNGSTRUMENT FÜR DIE BAULEITPLANUNG

KLIMAGERECHTER STÄDTEBAU - STADT LOHR A.MAIN

gez.

Dr. René Burghardt

Kassel im Februar 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Modellvorhaben „Klimagerechter Städtebau“	5
1.2	Auftragsgegenstand	5
1.3	Bisherige Thematisierung von Klimaanpassung und -schutz bei der Stadt Lohr a.Main	6
2	Fachlicher Hintergrund	8
2.1	Stadtklima	8
2.2	Temperatur und städtische Wärmeinsel	10
2.3	Vegetation und städtisches Grün	12
2.4	Regionaler Wind und städtische Durchlüftung	13
2.4.1	Rauigkeit und Porosität	15
2.4.2	Luftleitbahnen	17
2.4.3	Strömungsregime	18
2.5	Flurwind und Kaltluft	19
3	Methodisches Vorgehen und verwendete Software	22
3.1	Ableitung der Klimafunktionskarte	24
3.2	Ableitung der Planungshinweiskarte	25
3.3	Technische Umsetzung	26
3.4	Verwendete Software	28
3.4.1	Geoinformationssystem	28
3.4.2	Kaltluftproduktion und -abfluss	28
3.4.3	Windfeldsimulation	29
4	Charakterisierung des Untersuchungsraums	30
4.1	Räumliche Charakterisierung der Region	30
4.2	Topographie	31
4.3	Naturräumliche Einordnung	32
5	Historische Klimaanalysen	34
5.1	Klimatische Charakterisierung der Region	34
5.1.1	Temperatur und Niederschlag	35

5.1.2	Ereignistage	42
5.1.3	Windverhältnisse.....	46
6	Bestand Lohr a.Main.....	53
6.1	Topographische Analysen.....	54
6.1.1	Landnutzung	54
6.1.2	Hangneigung und Hangrichtung.....	57
6.1.3	Oberflächeneinzugsgebiete und Starkregengefahrenkarte (BlueSpot Analyse).....	59
6.2	Bebauungs-Analysen	66
6.2.1	Bauliche und räumliche Offenheit (SkyView Factor)	66
6.2.2	Bauvolumendichte.....	68
6.2.3	Grundflächenzahl zu Gebäudevolumendichte.....	70
6.3	Vegetations-Analysen	73
6.3.1	Vegetationserfassung	73
6.3.2	Städtische Durchgrünung.....	75
6.4	Klimatische Analysen	78
6.4.1	Nächtliche Kaltluftschichtdicke und bodennahes Windfeld.....	78
6.4.2	Bodennahe nächtliche Lufttemperatur	84
7	Klimatischer Bestand und Szenarien.....	86
7.1	Klimafunktionskarte (KFK)	86
7.2	Klimaprojektionen.....	89
7.2.1	Szenarien und Klimamodelle.....	89
7.2.2	Auswertung der Klimaprojektionen für Lohr a.Main.....	90
8	Planung.....	96
8.1	Planungshinweiskarte (PHK).....	96
8.2	Stadtteilsteckbriefe.....	100
8.2.1	Klimatische Charakterisierung und Verortung der Maßnahmen zur Klimaanpassung..	100
8.2.2	Städtische Baulandreserven	100
8.3	Klimatische Bewertung der Grünzäsur mit den „Sackenbacher Wiesen“	101
9	Zusammenfassung	104
10	Anhang	106

10.1	Glossar.....	106
10.2	Literaturverzeichnis.....	110
10.3	Abbildungsverzeichnis.....	113
10.4	Tabellenverzeichnis.....	119
10.5	Diagrammverzeichnis.....	120
10.6	Diagramme.....	122

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent	LP	Landschaftsplan
<	kleiner als	m	Meter
>	größer als	m ²	Quadratmeter
≤	kleiner gleich	m ³	Kubikmeter
≥	größer gleich	MAM	März, April, Mai
§	Paragraph	Max.	Maximum
°	Grad	Min.	Minimum
°C	Grad Celsius	min.	Minuten
3D	dreidimensional	mm	Millimeter
AG	Auftraggeber	N	Norden
AN	Auftragnehmer	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
B	Bundesstraße	O	Osten
BauGB	Baugesetzbuch	o.ä.	oder ähnliches
B-Plan	Bebauungsplan	O ₂	Sauerstoff
bspw.	beispielsweise	offiz.	offiziell
bzw.	beziehungsweise	PDF	Portable Document Format
CFD	Computer Fluid Dynamics	Ph _{var}	städtische Porosität
cm	Zentimeter	PHK	Planhinweiskarte
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	PNG	Portable Network Graphics
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment	PR	Planungsraum
DGM	Digitales Geländemodell	RCM	regional climate models
DJF	Dezember, Januar, Februar	RCP	Representative Concentration Pathways
DLM	Digitales Landschaftsmodell	S	Süden
DWD	Deutscher Wetterdienst	SKV	SkyView-Faktor
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy	SON	September, Oktober, November
ESD	Empirisch-Statistischen Downscaling Methoden	spez.	speziell
etc.	et cetera	Std.	Stunden
FFL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.	TK25	Topographische Karte 1:25000
FNP	Flächennutzungsplan	ü. NHN	über Normalhöhennull
GIS	Geoinformationssystem	ü.G.	über Grund
h	hour	UC	mittlere Gebäudehöhe
ha	Hektar	UCL	Urban Canopy Layer
inkl.	inklusive	UR	Untersuchungsraum
JJA	Juni, Juli, August	U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
k.A.	keine Angaben	u _z	Windgeschwindigkeit
Kap.	Kapitel	VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
KFK	Klimafunktionskarte	vgl.	vergleiche
kg	Kilogramm	W	West
km	Kilometer	WCRP	World Climate Research Programme
L	Landstraße	z.B.	zum Beispiel
log.	logarithmisch	Z ₀	Rauigkeitslänge
		Z _d	Nullpunktverschiebung

1 Einleitung

1.1 Modellvorhaben „Klimagerechter Städtebau“

Die Stadt Lohr a.Main ist Teilnehmergemeinde des vom Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr geförderten Modellvorhabens „Klimagerechter Städtebau“, welches das Ziel hat, dass Aspekte der Klimaanpassung möglichst frühzeitig bei Planungsentscheidungen berücksichtigt werden.

Bei der Stadt Lohr a.Main wird die Koordinierung des Modellprojektes durch das Amt III „Stadtentwicklung und Umweltschutz“ wahrgenommen, verantwortlich hierbei ist die städtische Umweltstelle.

Die Durchführung des Modellprojektes obliegt den acht Modellkommunen in Zusammenarbeit mit den jeweiligen beauftragten externen Fachbüros. Die Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes umfasst zwei Phasen zwischen April 2021 und Mitte 2022. Phase 1 beinhaltet die Bestandsaufnahme und eine Potenzialanalyse. In Phase 2 wird darauf aufbauend das eigentliche Stadtklimakonzept inkl. Maßnahmenplan erstellt.

1.2 Auftragsgegenstand

Vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels lässt die Stadt Lohr a.Main für den gesamten Raum Lohr, also der Kernstadt mit allen Ortsteilen, ein Klimaanpassungskonzept als Planungs- und Orientierungsinstrument für die dortige Bauleitplanung erstellen.

Aufgrund der verhältnismäßig extremen Tatkesselage der Stadt Lohr a.Main sind hierbei besonders die Kaltluftentstehung und die Luftströmungsverhältnisse von überragendem Interesse. Außerdem ist es der Wille des Stadtrates, dass bei zukünftigen Stadtentwicklungsprojekten immer auch die Möglichkeiten von Anpassungsmaßnahmen auf die zum Teil völlig veränderten stadtklimatischen Bedingungen, wie extreme Hitzesommer mit Trockenheit von April bis Ende September mit zahlreichen Tropennächten, aber auch mit phasenweise ungewohnten Windhäufigkeiten und dergleichen mehr, zu reagieren.

Das heißt, neben dem eigentlichen Klimaanpassungskonzept wird auch ein Maßnahmenkonzept (Potentialermittlung) zur Klimawandelanpassung für die Stadt Lohr a.Main erarbeitet.

In einem ersten Schritt der Phase 1 (Bestandsaufnahme und Potentialermittlung) erfolgte die Erfassung und Prüfung der stadtklimatischen Gegebenheiten. Hierfür wurden meteorologische Messdaten (Messstandorte des DWD) beschafft und, im Rahmen einer eigenen Messkampagne (Mitte Juni bis Anfang Oktober 2021), zusätzliche Daten erhoben. Ergänzend wurden Informationen zu den morphologischen, topografischen und (historischen) klimatologischen Charakteristika der Stadt Lohr a.Main zusammengestellt, um das klimatische Profil der Stadt abbilden zu können.

Auf dieser Basis aufbauend wurden innerhalb einer GIS-Umgebung Modellrechnungen und Simulationen zum Stadtklima durchgeführt. Die Ergebnisse umfassen unterschiedlichste (klimatische) Themenkarten (z.B. Kaltluftentstehung und -transport, Vegetationserfassung) und spezielle Analysen.

Die Ergebnisse wurden entsprechend den Vorgaben der VDI und unter Berücksichtigung von Fachpublikationen (z.B. the urban climatic map for sustainable urban planning) in die Klimafunktionskarte (KFK) überführt. Themenkarten, Analysekarten (z.B. die Bewertung der aktuellen Baulandreserven im klimatischen Kontext) und nicht zuletzt die Klimafunktionskarte stehen zukünftig als interdisziplinäre Planungsinstrumente für unterschiedlichste Fragestellungen der Stadt zur Verfügung.

Der offizielle Abschluss der Phase 1 erfolgt mit einer Präsentation der Ergebnisse sowie eines Ausblicks zur Bearbeitung der Phase 2 am 09. Mai 2022 im Lohrer Stadtrat.

In Phase 2 entstand das Klimaanpassungskonzept mit individueller Maßnahmenempfehlung bzw. -planung. Neben der fachlichen Expertise wurde hierbei auch großer Wert auf die Einbeziehung der Fachabteilungen der Stadt Lohr a.Main gelegt. Auf diese Weise wird auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der städtischen Verwaltung eingegangen, so dass diese die Ergebnisse und Anregungen des Klimaanpassungskonzepts zukünftig in ihre Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse miteinbezieht.

Neben der Gesamtschau des Gemeindegebiets von Lohr, wurden zum einen die einzelnen Stadtteile anhand von klimatischen Steckbriefen näher charakterisiert und mit individuellen Maßnahmenempfehlungen versehen. Zum anderen wurde der Grünzug zwischen den Stadtteilen „Sackenbach“ und „Lindig“ bzw. der Kernstadt „Lohr“ sowie 19 Einzelflächen (Baulandreserven) im Kontext ihres städtebaulichen Entwicklungspotentials klimatisch bewertet.

1.3 Bisherige Thematisierung von Klimaanpassung und -schutz bei der Stadt Lohr a.Main

Die Stadt Lohr a.Main befindet sich in topographischer Hinsicht in einer Sondersituation. Umgeben von mehreren bis deutlich über 500 m hohen Erhebungen befindet sich die Kernstadt – und dies trifft auf sechs von acht Ortsteilen zu – in einer Talkesselage. Landschaftlich reizvoll, aber in punkto Stadtentwicklung ab und an auch problematisch, ist die Teilung des Siedlungsbereichs durch den Fluss Main, der „mitten“ durch das Stadtgebiet fließt.

Ein weiteres Wesensmerkmal der Stadt Lohr a.Main ist die industrielle Ausrichtung der Stadt. Glas- und Metallverarbeitende Industrie besetzen der Kleinstadt mit rd. 16.000 Einwohnern ein Aufkommen von etwa 10.000 Einpendlern pro Tag. Die Emissionen der genannten Branchen in Kombination mit der Enge des Talkessells, führten schon vor mehreren Dekaden zu Überlegungen, die heutzutage unter dem Terminus „Klimaanpassung“ subsumiert werden, worauf nachfolgend eingegangen wird.

Ebenso war und ist die Talkesselage der Stadt dafür ausschlaggebend, dass die Stadtverantwortlichen sich zu jeder Zeit mit Hochwasserereignissen auseinander zu setzen hatten und praktikable Lösungen gesucht werden mussten. Der Aspekt Hochwasser in all seinen Facetten hat also auch in Lohr a.Main zu entsprechenden Maßnahmen geführt und wird auch in Zukunft in erheblichem Umfang das Stadtgeschehen beeinflussen.

Aus der Kombination der vorgenannten Aspekte ergibt sich für diesen Unterpunkt somit folgendes Bild.

Bereits 1976 hat die Stadt Lohr a.Main einen Landschaftsplan erstellen und in den Flächennutzungsplan integrieren lassen. Eine Besonderheit dieses Landschaftsplans war, dass dieser auch eine sog. Klimasondierung (Gutachten Dr. Zeitz) enthalten hatte, die sich vorrangig mit den Aspekten Kaltluftentstehung, Kaltluftabflussbahnen, dem Ventilationsgeschehen insgesamt sowie den vorherrschenden Windverhältnissen befasste.

Hintergrund dessen waren die teils erheblichen Industrieemissionen, die sich im Lohrer Talkessel oftmals zu einer Art „Dunstglocke“ kumulierten, insbesondere bei Inversions-Wetterlagen und den Bewohnern der Kernstadt sowie der angeschlossenen Ortsteile, Einbußen in ihrer Lebensqualität bereiteten (Abgase, Gerüche, Rußpartikel usw.) und in Einzelfällen sich auch gesundheitsgefährdend auswirkten. Es muss allerdings angemerkt werden, dass sich die Emissionsbelastung der Loher Innenstadt inzwischen durch verbesserte Filtertechnik sowie durch die in den Betrieben installierten Umweltmanagementsysteme (Integrierter Umweltschutz anstelle des „End-of-the-pipe-Denkens“) entspannt hat.

Gleichwohl sind die Industrieabgase noch längst nicht auf einem „Null-Emissionsstandard“, so dass diese auch heutzutage, gerade in den Sommermonaten, immer noch ein nahezu alltägliches Problemfeld darstellen, welches auch immer wieder vom Stadtrat thematisiert wird.

Deshalb war es über all die Jahre hinweg eine städteplanerische Selbstverständlichkeit, an den Ergebnissen des Zeitz-Gutachtens von 1976 festzuhalten und insbesondere die sog. „Durchlüftungszone“ zwischen den Ortsteilen Lindig und Sackenbach bis in die Jetztzeit hinein

aufrechtzuerhalten und bei der Stadtentwicklung stärkend zu berücksichtigen.

Selbstkritisch ist anzumerken, dass die Stadt Lohr a.Main in ihren bisherigen Klimaschutzbemühungen, also in punkto tatsächlicher CO₂-Reduktion sowie bei der Energieeinsparung in Bayern sicherlich nicht an vorderster Stelle zu finden ist. Gleichwohl wurde schon vor Jahren (2014) ein Energienutzungsplan erstellt, aus dem auch verschiedene Maßnahmen umgesetzt wurden.

Beitrag der Umweltstelle der Abteilung Stadtentwicklung, Bauen + Umwelt der Stadt Lohr a.Main (02/2022).

2 Fachlicher Hintergrund

2.1 Stadtklima

Der städtische Siedlungsraum unterscheidet sich hinsichtlich seiner klimatischen Wirkungsweise deutlich von seinem unbebauten Umfeld. In Städten und Ballungsräumen herrscht das sogenannte Stadtklima, welches sich aus der menschengemachten Modifikation des natürlichen Mesoklimas (Lokalklimas) ergibt, während das Meso- und Mikroklima (Kleinklima) (siehe Abbildung 1) mitunter standortbedingt von den stadtklimatischen Veränderungen der urbanen Bebauung, Abwärme, Luftbeimengungen u.a. beeinflusst wird (Hupfer und Kuttler 1998).

Das Stadtklima wirkt sich wiederum auf die meso- und mikroklimatische Ebene aus, wobei seine konkrete Ausprägung in Abhängigkeit von den vorhandenen Klimaeinflussfaktoren und Klimamodifikatoren variiert (siehe Tabelle 1). Hiervon unterscheiden sich einige Parameter, z.B. in Bezug auf einzelne Stadtteile, nur wenig (z.B. Sonneneinstrahlung, Niederschlag); andere wiederum, die z.B. durch das Wärmespeichervermögen von Baustoffen, die Versiegelung des Bodens oder anthropogene Abwärme etc. bedingt werden, können spürbar große Unterschiede aufweisen.

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

PARAMETER URSACHE	WIRKUNG RISIKO
Beeinflussung durch Oberflächengeometrie, aerodynamische Rauigkeit, Wärmeinseleffekt	Windfeldveränderungen, Turbulenzen
Oberflächenversiegelung	Reduzierte Retentionsfähigkeit (kumulativ)
Oberflächenversiegelung, geringer Grünflächenanteil	Reduzierte Verdunstung
Reduzierte Retentionsfähigkeit	Gefahr von Überschwemmungen
Reduzierte Verdunstung und erhöhte Wärmespeicherung durch Bebauung	Temperaturerhöhung
Temperaturerhöhung	Vorhandensein wärmeliebender Pflanzenarten
	Hitzestress, thermische Belastung
	Anstieg der hitzebezogenen Vulnerabilität unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen

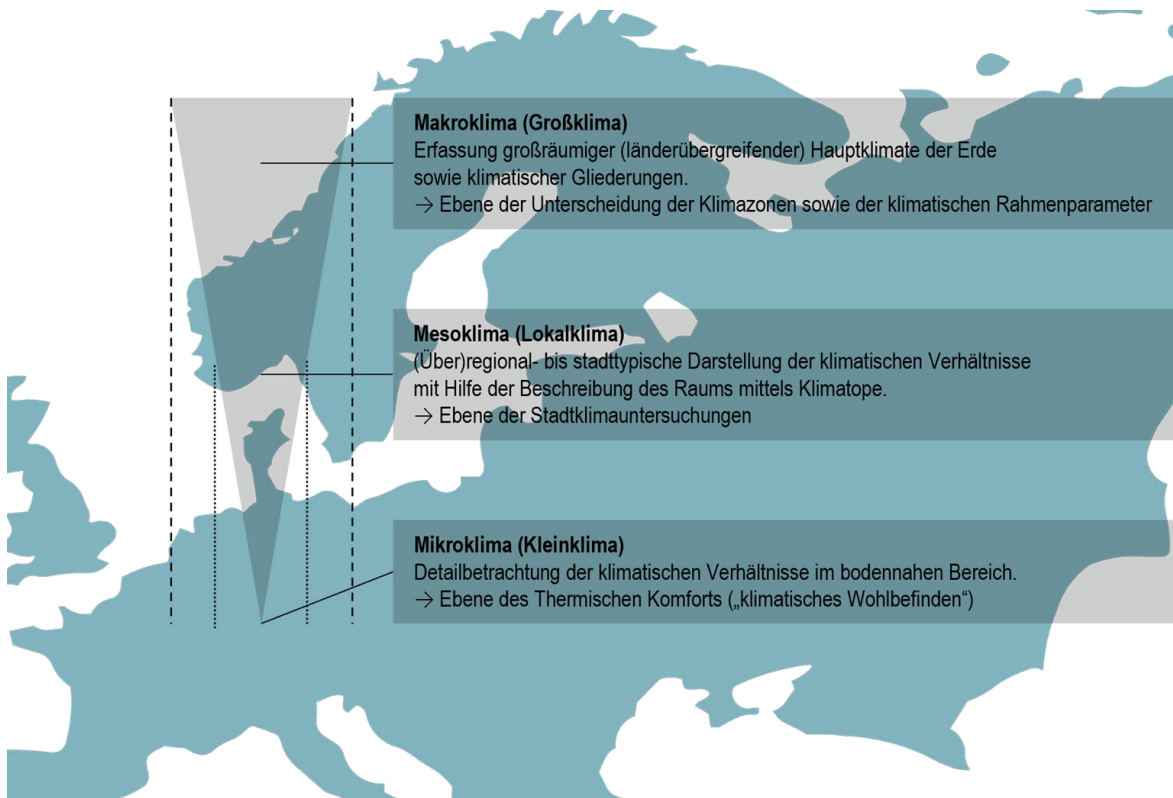


Abbildung 1: Übersicht der Klimaebenen im typischen Planungskontext. Je nach klimatischer Ebene unterscheiden sich Einflussgrößen, Fragestellungen, Bezugsraum und Anwendungsmöglichkeiten.

2.2 Temperatur und städtische Wärmeinsel

Ähnlich unterschiedlich wie die Ursachen für die Modifikation des städtischen Mesoklimas sind die Auswirkungen des Stadtklimas auf Menschen, Tiere, Pflanzen und auch die unbelebte Natur (z.B. Gebäude). Obwohl nicht alle Eigenschaften des Stadtklimas generell schädlich sind, werden viele der stadtklimatischen Wirkungskomplexe wegen ihrer Auswirkung auf die städtische Infrastruktur, das Wohlbefinden oder die Gesundheit der Stadtbewohner negativ konnotiert. Ein solcher Wirkungskomplex ist der städtische Wärmeinseleffekt, der aus der Wechselwirkung von verschiedenen Faktoren und Effekten im urbanen Kontext resultiert. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Städte tragen stets zur Erwärmung der Lufttemperatur bei; im Jahresmittel sind sie durchschnittlich um 1 bis 2 °C wärmer als die sie umgebende Landschaft (Matzarakis et al. 2008; Kuttler 2011). Der Mittelwert der Lufttemperatur wird langfristig durch urbane Charakteristika, wie die Bebauung und die damit einhergehende Bodenversiegelung, beeinflusst. Wird beispielsweise der Versiegelungsgrad innerhalb eines Quartiers um 10 % erhöht, steigt auch der Lufttemperaturmittelwert um ca. 0,2 °C gegenüber seiner unbebauten Umgebung an. Dieser Wert kann in Hinsicht auf einzelne Tageswerte, sprich Temperaturminima und -maxima, bei Strahlungswetterlagen noch stärker überschritten werden (Bründl et al. 1986).

Ergänzend zu der eigentlichen Bebauung spielen auch die Eigenschaften der eingesetzten Materialien (Absorptionsvermögen, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeemissionsvermögen und Verdunstungsfähigkeit) sowie die

Kubaturen, die Baumassen und die Bebauungsmorphologie im Kontext des Überwärmungsrisikos städtischer Räume eine bedeutende Rolle (siehe Abbildung 2).

Aus diesem Zusammenspiel urbaner Eigenschaften und klimatischer Effekte entsteht die ballungsraumtypische Wärmeinsel (siehe Abbildung 3). Sie ist durch eine starke Erwärmung am Tag und eine nur eingeschränkte Abkühlung während der Nacht geprägt. Die akkumulative Intensität dieses Effekts kann durch Extremwetter, wie länger anhaltende Hitzeperioden, zusätzlich verstärkt werden. Im Zuge des Klimawandels treten diese immer häufiger auf. In dieser Form stellt der Effekt der städtischen Wärmeinsel ein gesundheitsbedingtes Risiko für eine ebenfalls zunehmende Zahl an hitzevulnerablen Menschen, Tieren, Pflanzen und Infrastruktur dar und zählt somit zu den negativen Effekten des Stadtklimas.

Eine **Hitzewelle** ist eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Sie ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann. Neben der Lufttemperatur sind hierbei weitere Parameter, wie die Luftfeuchte, Strahlung und Wind von Bedeutung.

International existiert keine einheitliche Definition des Begriffs Hitzewelle. Definitionen basieren häufig auf einer Kombination von Perzentil basierten Schwellenwerten (z.B. 98. Perzentil der Tagesmaxima-Werte und einer minimalen Andauer z.B. 3 Tage). (DWD 2022)

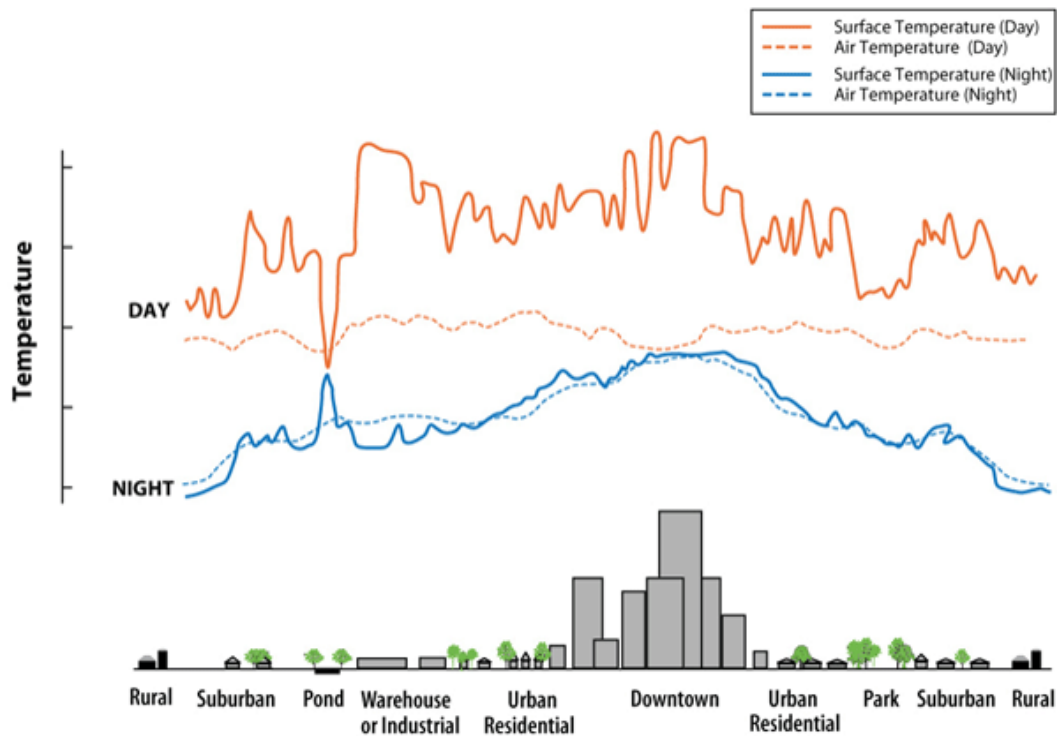


Abbildung 2: Darstellung der typischen Temperaturentwicklungen (nicht während einer Hitzewelle) am Tag und in der Nacht in Abhängigkeit von der Umgebung. Die orangenen Graphen stellen die Oberflächen- (durchgehend) und Lufttemperaturen (gestrichelt) am Tag dar, die blauen Graphen beide Temperaturen bei Nacht. Hierbei zeigt sich deutlich die unterschiedliche Wärmespeicherkapazität verschiedener Materialien oder Objekte. Am Tag steigt die Temperatur des Teichwassers (Pond) kaum bzw. nur sehr langsam an, auf Grund der guten Wärmespeicherkapazität des Wasserkörpers fällt sie in der Nacht, ohne Strahlungseintrag, aber auch nicht bzw. nur kaum ab. Ein gegensätzliches Beispiel stellen Industrieanlagen oder -hallen (Warehouse or Industrial) dar. I.d.R. bestehen die Dächer dieser Bauten aus Metall und erhitzen sich am Tag, bei Strahlungseintrag, sehr stark. Nachts kühlen sie sich dagegen recht schnell ab, u.a. auch weil die Gebäude keine Massivbauten sind und keine große Masse besitzen (EPA 2008).

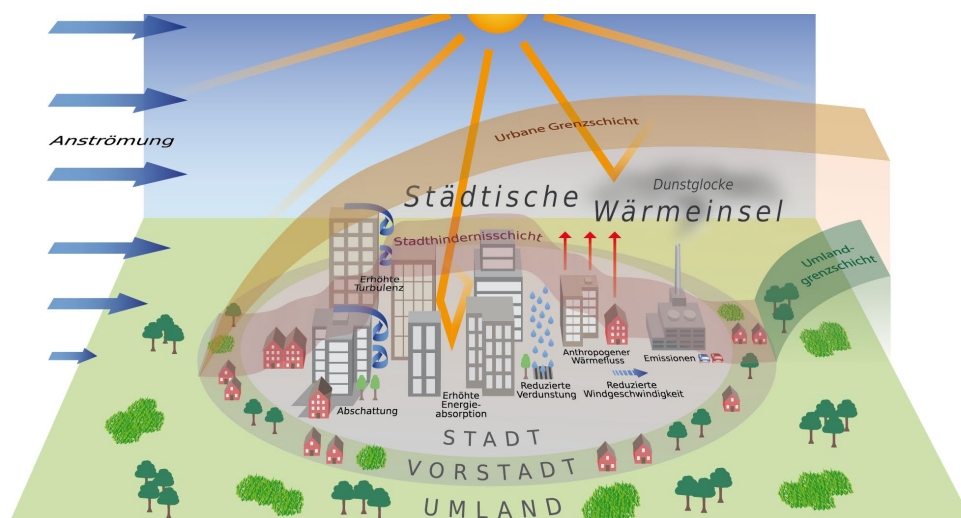


Abbildung 3: Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017).

2.3 Vegetation und städtisches Grün

Urbanes Grün erfüllt eine Vielzahl unterschiedlicher 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 (Retentionseigenschaft) 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.

Oft wird ein großer Teil des öffentlichen 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 Bodewärmestrom gering und die Ausstrahlung hoch ist. Diese Rasenareale kühlen dann sehr stark ab und heben sich als innerstädtische

Kaltluftflächen (vgl. Kapitel 2.5) 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 Boden-erwärmung und Speicherung zur Verfügung als bei Rasenflächen, Wiesen oder gar unbeschatteten versiegelten Oberflächen. Ferner bewirken Baumbestände eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit (vgl. Kapitel 2.4), 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

2.4 Regionaler Wind und städtische Durchlüftung

Die Unterscheidung zwischen ländlichem und städtischem Gebiet spielt im Hinblick auf den Faktor Wind eine große Rolle. Die morphologischen (siehe Abbildung 5) und thermischen Charakteristika des urbanen Raums führen dort zu einer Veränderung der Windverhältnisse (Windgeschwindigkeit & Windrichtung).

Die Luftbewegungen in der Stadt werden insbesondere durch lokale Windsysteme beeinflusst, die entweder von den topographischen Gegebenheiten oder von der Art und Anordnung

seiner Bebauung abhängig sind (VM BW 2012). Diese Windsysteme bilden sich gerade dann heraus, wenn der überregionale Wind nur schwach ausgeprägt ist.

Stark durch das vorliegende Relief geprägte Windsysteme (topographisch) sind bspw. Hangwinde sowie Berg- und Talwinde (siehe Abbildung 4). 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.

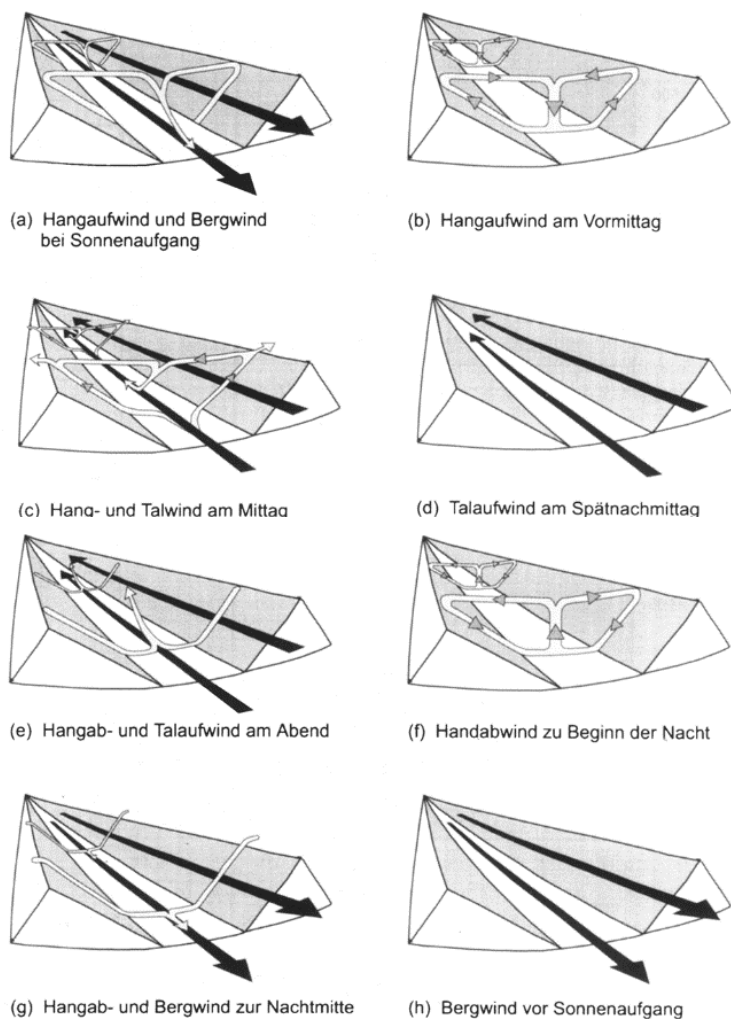


Abbildung 4: Darstellung der Zirkulation von Hang- (helle Pfeile) sowie Berg- und Talwinden (dunkle Pfeile) in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cehak 1979).

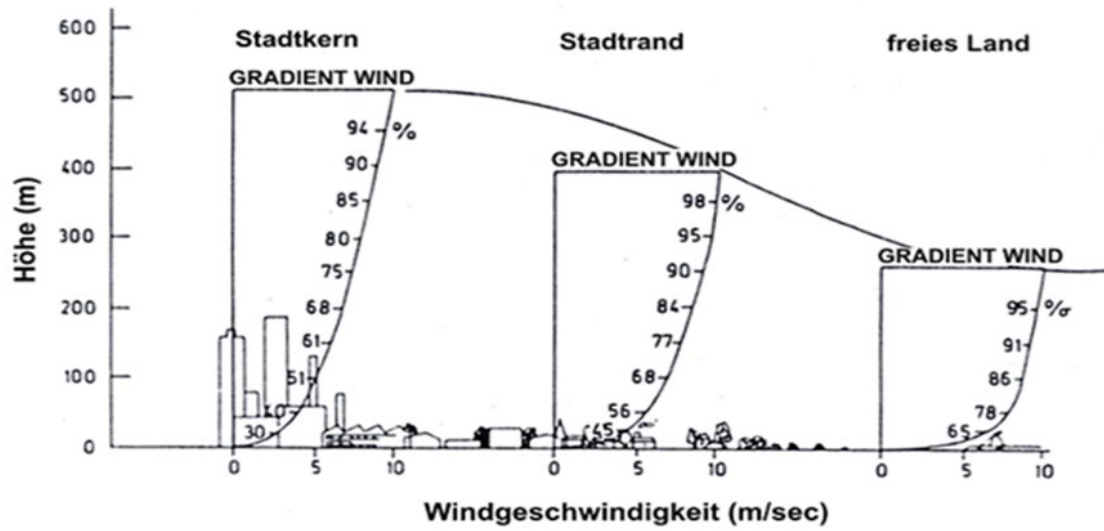


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Windprofile über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978).

2.4.1 Rauigkeit und Porosität

Wie bereits beschrieben 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 2 wiedergegeben. Z_0 beschreibt den durch die Oberflächenrauigkeit eines Hindernisses beeinflussten vertikalen Raum über dem Objekt. Z_d beschreibt den vertikalen Versatz von Z_0 (siehe Abbildung 6). 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. Das logarithmische Windprofil wird als Näherung zur Beschreibung von Geschwindigkeitsprofilen verwendet, die durch die Bodenrauigkeit oder die Bebauung in der Windströmung entstehen.

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 (siehe Tabelle 2), zeigt die urbane Porosität (Ph_{var}) das Potential einer möglichen Durchlüftung an. Damit ist Ph_{var} allein stehend 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 (Kaltluft mit dem bodennahen Strömungsfeld) als Informationsbasis, um Potentiale und Möglichkeiten zur Schaffung einer besseren Durchlüftung in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen.

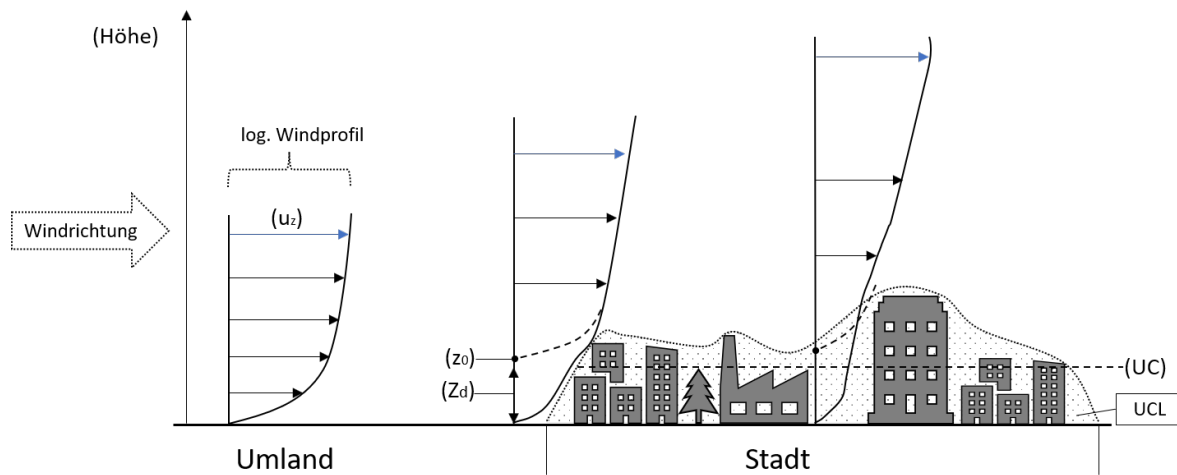


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit (blauer Pfeil mit gleicher Geschwindigkeit, aber auf unterschiedlicher Höhe = vertikale Streckung des Profils) und den Raum unterhalb der mittleren Gebäude-höhe (UC).

Tabelle 2: Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017).

OBERFLÄCHE TERRAIN		RAUIGKEITSLÄNGE (Z_0)	NULLPUNKTVERSCHIEBUNG (Z_d)
Eis, geteerte Fahrbahn		0,001 – 0,01 mm	--
Schnee, Wasser		0,1 – 1 mm	--
blanker Boden, geschnittenes Gras*		0,01 – 0,02 m	--
rural	Gras*, Stoppelfeld	0,03 – 0,06 m	0,1 – 0,3 m
	Ackerland, Pflanzenbestand*	0,05 – 0,15 m	0,2 – 0,7 m
	Plantagen*, Buschland*	0,4 – 1 m	1,3 – 2,5 m
	Wald*	0,8 – 2 m	9 – 24 m
niedrige Höhe und Dichte Häuser, Gärten, Bäume, Warenhäuser		0,3 – 0,8 m	2 – 4 m
urban	mittlere Höhe und Dichte Reihenhäuser, Stadtzentren	0,7 – 1,5 m	3,5 – 8 m
	hoch und hohe Dichte weniger als sechs Stockwerke, Reihen- und Block-Gebäude	0,8 – 2 m	7 – 15 m

* abhängig von der Windgeschwindigkeit, da Vegetation flexibel ist

Jedes Objekt besitzt eine gewisse **Oberflächenrauigkeit**. Bezogen auf die Be- und Durchlüftung kann diese spezifische Rauigkeit als Barrierewirkung interpretiert werden. Die Barrierewirkung wiederum äußert sich in einer erhöhten Reibung zwischen Luftstrom und Objekt. Je stärker die Reibung, desto mehr (Bewegungs-)Energie wird dem Luftstrom entzogen, wodurch die Be- bzw. Durchlüftung verringert werden kann.

2.4.2 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).

Kaltluft beschreibt ausschließlich einen Temperaturzustand von Luftmassen, nimmt aber keinen Bezug auf lufthygienische Aspekte (Thematik Frischluft).

2.4.3 Strömungsregime

In Abhängigkeit von der Stadtmorphologie können sich unterschiedliche lokale Strömungsregime im innerstädtischen Raum ausbilden (siehe Abbildung 7). 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 (siehe Tabelle 3).

Informationen zu bestehenden Strömungsregimen bzw. deren mögliche Veränderung (z.B. durch bauliche Nachverdichtung oder Abriss von Gebäuden) 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.

Tabelle 3: Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entspr. Strömungsregimen

HÖHEN-WEITEN-VERHÄLTNIS	STRÖMUNGSREGIME
kleiner als 0,3 bis 0,5	Isolierte Rauigkeitsströmung (siehe Abbildung 6 – a)
größer 0,5 und kleiner 0,65	Wirbelüberlagerungsströmung (siehe Abbildung 6 – b)
größer als 0,65	Abgehobene Strömung (siehe Abbildung 6 – c)

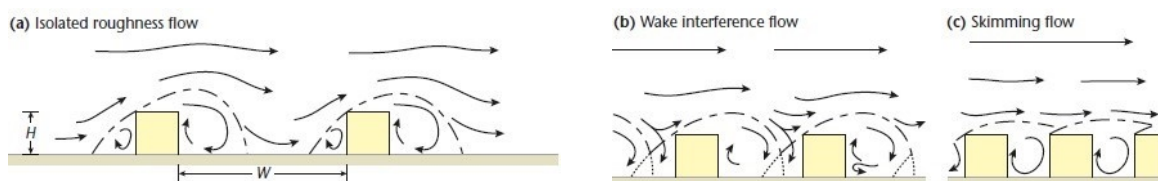


Abbildung 7: Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).

2.5 Flurwind und 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) und ist an ein flaches Relief oder an hindernisarme Freiflächen (Leitbahnen) gebunden. Der flache städtische Raum ist stark von seiner baulichen Gestaltung abhängig und fällt als ein durch Bebauung bedingtes Windsystem in diese Kategorie. Diese Windsysteme sind ein unterstützender Faktor bei der Kalt- und Frischluftzufuhr und dem Luftabtransport, wenngleich die Flurwinde in ihrer Intensität regulär recht schwach ausgeprägt sind.

Flurwinde entstehen, wenn sich in Gebieten gegenüber ihrem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Dies wird insbesondere durch die Überwärmung bebauter oder versiegelter Gebiete und dem damit einhergehenden konvektiven Aufstieg von Luftmassen (siehe Abbildung 8) gefördert. Der entstehende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Druckausgleichsströmung).

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.

Die Kaltluftentstehung beschreibt auf mikro- und mesoskaliger Ebene den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Mit dem Sonnenuntergang beginnt auf ausreichend großen Grün- und Freiflächen die Kaltluftproduktion. Diese dauert bis in die frühen

Morgenstunden an und wird sowohl durch die ausbleibende solare Einstrahlung als auch durch die thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht bedingt. Da sich die Luft mit dem Erkalten auch verdichtet, strömt sie anschließend flüssigkeitsähnlich der Reliefausprägung folgend in tiefere Regionen. Eine signifikante Strömungsdynamik entwickelt sich hierbei ab ca. 1 – 2 ° Gefälle und wird stets von der Rauigkeit (vgl. 2.4.1) der überströmten Bodenschichten beeinflusst (siehe Tabelle 2).

Sowohl das Entstehungsgebiet als auch 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 9).

Das fehlende Gefälle der Kaltluftentstehungsflächen reduziert zwar nicht die Kaltluftproduktion, verringert jedoch den Wirkungsbereich, aufgrund des fehlenden Kaltluftabflusses. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark geneigten Flächen (LANUV NRW 2018) tragen ebenfalls zur Kaltluftproduktion bei. Durch die Baumkronen wird das Aufheizen tagsüber verringert und die Neigung des Geländes unterstützt die Durchströmung des kühlen Stammraums. Dies ermöglicht den Kaltluftabfluss aus dem bodennahen Waldbereich. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und

Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von über mehreren Dekametern anwachsen.

In Tabelle 4 werden die Ergebnisse verschiedener Studien zur Entstehung von Kaltluft im Vergleich dargelegt. Die Kaltluftproduktion wird anhand des Volumens innerhalb einer Stunde gemessen und mit dem Aufkommen in vier verschiedenen Landschaftsstrukturen gegenübergestellt. 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 Bodenrauigkeit (keine bodennahen Hindernisse wie Mauern, dichte Büsche etc.) zu einem besseren Abflussverhalten an einem Hang führen und sich der Wirkungsraum somit vergrößern kann. Im Durchschnitt wird den Acker- und Wiesenflächen das höchste Kaltluftentstehungspotential zugeordnet.

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

jedoch nicht korrekt, da Kaltluft nur einen Temperaturzustand von Luftmassen beschreibt und entsprechend auch aus lufthygienischer Sicht belastet sein kann. Liegt beispielsweise eine starke Emissionsquelle (lufthygienisch) im Abflussbereich eines Kaltluftentstehungsgebiets, so entsteht zwar weiterhin Kaltluft, diese kann aber nicht als unbelastete Luft bezeichnet werden. Entsprechend müssen die Umgebung oder mögliche lufthygienische Störfaktoren bei der Bewertung von potenziellen Frischluftzuflüssen miteinbezogen werden. Der Begriff der Frischluft beschreibt den am Tag durch Photosynthese neu gebildeten Sauerstoff (O₂) der Vegetation (vornehmlich in Walgebieten). Dadurch ist Frischluft per se unbelastet, und nicht mit Kaltluft gleichzusetzen.

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.

Tabelle 4: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k. A. = keine Angaben).

	KUBIKMETER KALTLUFT PRO QUADRATMETER BODEN PRO STUNDE (M ³ /M ² /H)			
	Acker	Wiese	Wald	Siedlung
King (1973)	k. A.	12	k. A.	k. A.
Gross (1987)	11	11	13	k. A.
GEONet (2002)	10 - 20	k. A.	5 – 40	k. A.
GEONet (2011)	10 - 15	20	15	1



Abbildung 8: Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Während einer strahlungsarmen Nacht steigen die wärmeren "Stadtluft"-Massen auf (geringere Dichte) um nach Abkühlung (höhere Dichte) wieder abzusinken. Zusammen mit den nach Sonnenuntergang entstehenden Kaltluftmassen des ruderalen Raums etabliert sich so ein sensibles Flurwindsystem (Sogwirkung durch den Luftdruckgegensatz).

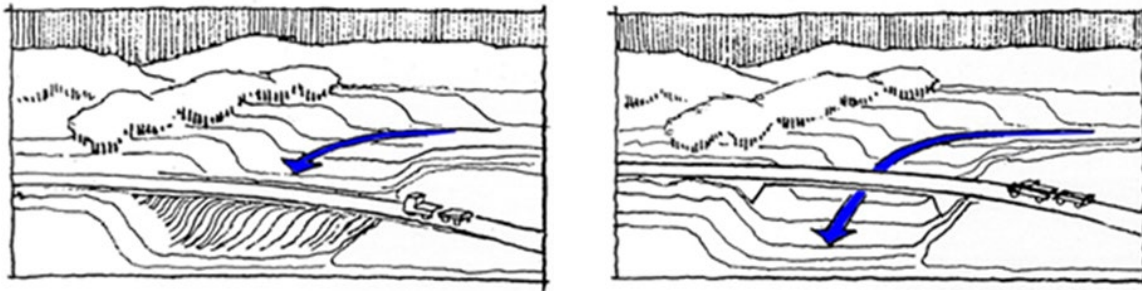


Abbildung 9: Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).

3 Methodisches Vorgehen und verwendete Software

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 von städtischen Wärmeinseln kommen. Diese führen wiederum zur verstärkten thermischen Beeinflussung von Baustrukturen (und Infrastruktur) sowie zu der bioklimatischen Belastung für Menschen, Tiere und Pflanzen. 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, während positive Effekte gefördert und erhalten werden müssen.

Die angewandte Stadtklimatologie befasst sich seit geraumer Zeit mit Analysemethoden (Burghardt 2015; Burghardt et al. 2014), die eine direkte Grundlage und einen 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 (2018) 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 10), die es zu beachten gilt. So bewegt sich ein Flächennutzungsplan im mesoklimatischen Bereich, wohingegen Einzelgebäude oder Gebäudegruppen sich auf der Ebene des Mikroklimas wiederfinden. 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 10). 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 1 m aus technischer Sicht heute noch nicht möglich.






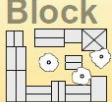

administrativer Bezug	Planungsebene	klimatische Fragestellung	Auflösung (Rastergröße)	klimatische Einordnung
 Region	Regionalplan > M 1: 100.000	regionale Luftaustauschprozesse und Klimafunktionen	100m	 <p>Mesoklima</p> <p>Mikroklima</p> 
 Stadt	Flächennutzungsplan > M 1: 10.000	Wärmeineleffekt, Belüftungsstrukturen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

Abbildung 10: Die unterschiedlichen Planungsebenen mit ihrem administrativen Bezug sowie den korrespondierenden klimatischen Fragestellungen und den möglichen Auflösungen.

3.1 Ableitung der Klimafunktionskarte

Ziel der Erstellung einer Klimafunktionskarte (KFK) ist es, Flächen und deren Verbindungen miteinander hinsichtlich ihrer Klimafunktionen zu bewerten und daraus planungsrelevante

Empfehlungen für die Stadt- und Landschaftsplanung abzuleiten. Hierfür werden vier klimatische Aspekte (siehe Tabelle 5) unter Einbeziehung ihres Ursprungs und ihrer Abhängigkeiten zugrunde gelegt.

Tabelle 5: Vier grundlegende Aspekte und deren Ursprung bzw. ihren Abhängigkeiten, die zur Bewertung der Klimafunktionen herangezogen werden.

KLIMATISCHER ASPEKT	URSPRUNG UND ABHÄNGIGKEIT
Wärmebelastung	<ul style="list-style-type: none"> • solare Einstrahlung • umgebendes Gebäudevolumen • vorhandene Vegetation
Übergeordnetes Strömungsfeld (Luftleitbahnen)	<p>Für die Durchlüftung der Stadt sorgen häufig großräumige (synoptische) Winde. Die Winde in der Stadt hängen dabei von:</p> <ul style="list-style-type: none"> • der Anströmrichtung, • der baulichen und • der topographischen Struktur der Stadt ab. <p>Für die Durchlüftung der Stadt sind daher Luftleitbahnen (zusammenhängende, windoffene Flächen mit geringer Oberflächenrauigkeit) von entscheidender Bedeutung.</p>
Autochthones Windfeld (Flurwind)	<p>Als Ergänzung zu den großräumigen Winden bilden sich, vornehmlich während austauscharmer Wetterlagen, auch lokale (autochthone, also eigenbürtige) Strömungen aus.</p> <p>Häufig werden diese durch lokale Temperaturdifferenzen angetrieben. Ihnen kommt in der stadtklimatischen Bewertung eine besondere Bedeutung zu, da sie an (windstillen) Hitzetagen / Tropennächten die einzigen, vornehmlich kühlenden Windströmungen darstellen.</p>
Nächtliche Kaltluftproduktion	<p>Beim Ausbleiben des externen Strahlungsantriebes der Sonne (nach Sonnenuntergang) findet die Aus- bzw. Abkühlung aller Flächen und Objekte auf der Erdoberfläche statt. Dabei kühlen insbesondere Acker- und Wiesenflächen besonders schnell und stark ab, wodurch die Temperatur der bodennahen Luftschichten sinkt, und so Kaltluft entsteht.</p>

3.2 Ableitung der Planungshinweiskarte

Die Planhinweiskarte (PHK) transformiert die wissenschaftlichen Erkenntnisse der KFK sowie weiterer Analysen, Szenarien und Studien in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Stadtentwicklung. Durch die integrierte Berücksichtigung vieler unterschiedlicher Thematiken können so synergetische, aber auch konkurrierende Effekte - und die damit verbundenen Maßnahmenempfehlungen - in Bezug auf die kommunale Planung herausgearbeitet werden.

Über die statistische Verteilung der stadtklimatisch relevanten Einflussgrößen (Themenkarten) lassen sich Stadtteilcharakteristika ablesen. Diese können für eine individuelle klimatische Beschreibung der einzelnen Stadtteile sowie der gesamten Stadt und für zukünftige Planungsentscheidungen z.B. in Hinblick auf eine optimierte städtische Belüftung oder den Abbau von Wärmeinseln herangezogen werden. Die Planungshinweiskarte in Kombination mit den im Erläuterungsbericht genannten konkreten Handlungsempfehlungen dient zukünftig als Instrument um die Schutz- und Entwicklungsmöglichkeiten von Stadträumen in Bezug auf ihre Empfindlichkeit gegenüber strukturellen Veränderungen hinsichtlich der klimatischen Wirkgrößen frühzeitig abzuleiten. Die Funktionsräume werden dabei konkret beschrieben und in mehreren planerischen Bewertungsstufen dargestellt.

Den einzelnen Bewertungsstufen wiederum werden allgemeine Planungshinweise zu planerisch relevanten Themenkomplexen, wie z.B.

- Nachverdichtungs-/Bebauungsempfindlichkeit,
- Schutzbedürftigkeit,

- Verbesserung/Erhalt Luftaustausch,
- Bedarf an Aufwertungs- und Sanierungsmaßnahmen oder
- Prävention (z.B. Hitze)

zugewiesen.

3.3 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.

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

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich, werden die einzelnen Themenkarten (siehe Abbildung 12) mit Hilfe mehrerer und unterschiedlicher Eingangsdatensätzen erstellt. Entgegen den 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). Dabei werden die Ergebnisse der Themenkarten immer auch in den planerischen Kontext gesetzt, so dass die Verwendbarkeit im Planungsalltag gewährleistet wird.

Auf Basis der Themenkarten wird in der Folge die Klimafunktionskarte abgeleitet. Dies geschieht unter Zuhilfenahme einer linearen Wertungsmatrix, welche auf den geolokalen Besonderheiten der Stadt, sowie der wissenschaftlichen klimatischen Expertise beruht.

Gleichzeitig fließen auch numerische Simulationen in den Entstehungsprozess ein.

Mit Hilfe der Planhinweiskarte werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Themenkarten, der Klimafunktionskarte und – sofern vorhanden – weiterer stadtklimatische Analysen und Untersuchungen in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Entwicklung des Untersuchungsraums transformiert.

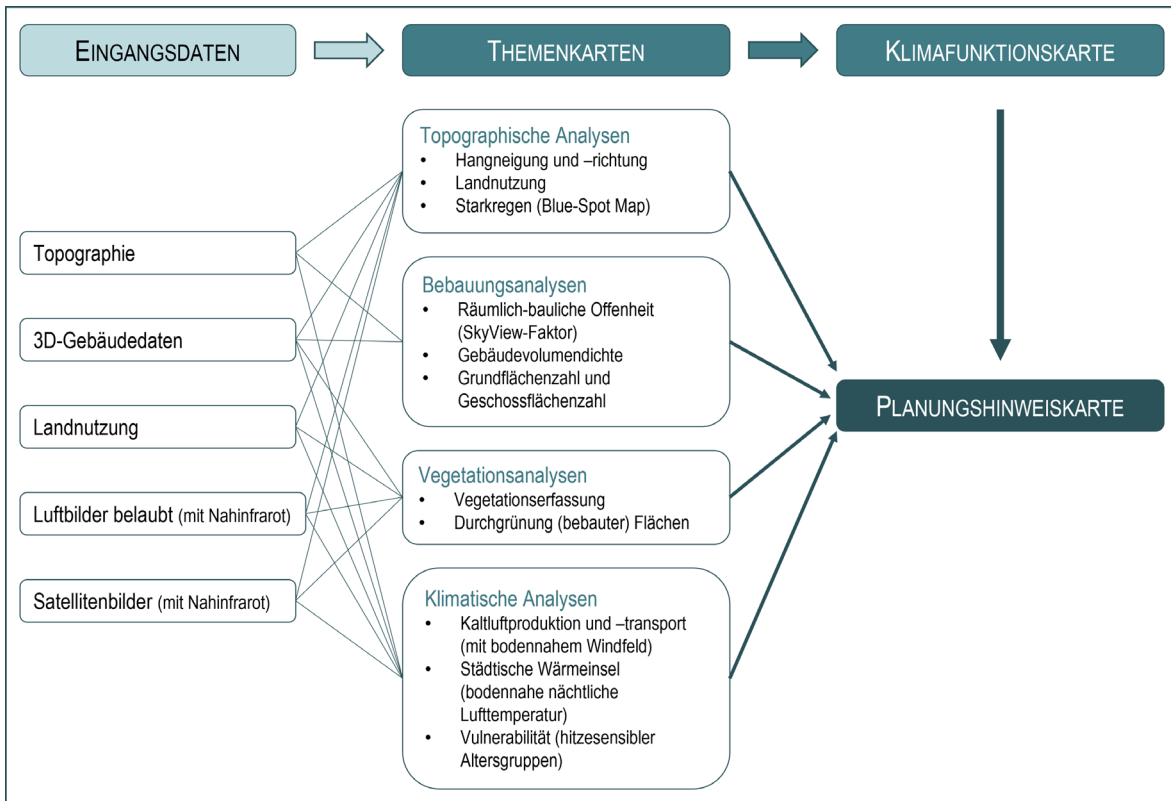


Abbildung 11: Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK. Die Eingangsdaten bilden diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen ab, die Themenkarten repräsentieren (klimarelevante) räumliche Ableitungen.

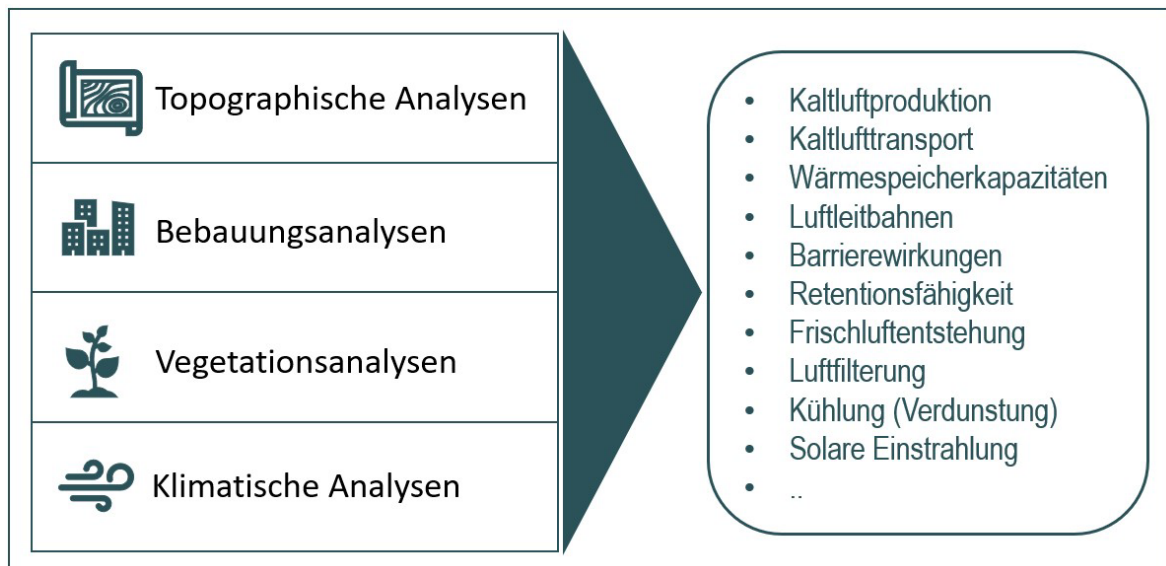
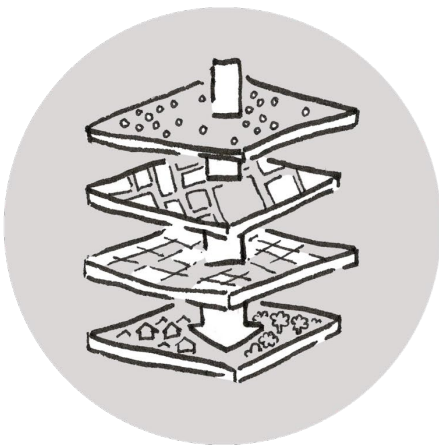


Abbildung 12: Vier Themenkartengruppen (links) mit deren Hilfe unterschiedlichste klimatische Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können.

3.4 Verwendete Software

3.4.1 Geoinformationssystem

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 (siehe Abbildung 13). Unter der Berücksichtigung bzw. der Erfassung räumlicher sowie zeitlicher Korrelationen, können analytische, planerische und entwerferische Mehrwerte generiert werden. Gleichzeitig organisieren Geoinformationssysteme Geodatenbestände und ermöglichen so die Verwaltung von räumlichen, zeitlichen und technischen Daten auf Datenbankebene.



Räumliche und zeitliche Analyse unterschiedlichster Eingangsdaten

Unterschiedliche Geo- und Sachdaten

- Vektordaten (Punkt-, Linien-, Flächendaten mit unterschiedlichsten Attributen)
- Rasterdaten (z.B. Luftbilder, Satellitenbilder, etc.)
- Sachdaten (mit einem Positionsbezug – z.B. Einwohnermeldedaten, etc.)

Abbildung 13: Schematische Darstellung der Funktionsweise eines GIS. Unterschiedlichste Eingangsdaten (Raster- oder Vektordaten) können miteinander verschnitten und analysiert werden, um ein möglichst genaues digitales Abbild der Realität zu schaffen.

3.4.2 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 Gitterpunktstände 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 Landnutzungsklasse 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 Kaltluflhöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltluflhöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten. Der Vergleich von IST- und Planungszuständen wird mit Differenzkarten oder zeitlichen Animationen der Kaltluflhöhe, der Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme visualisiert.“ (DWD 2016)

3.4.3 Windfeldsimulation

Um die Interaktionen der vielen unterschiedlichen Faktoren realitätsnah zu simulieren, werden Windfeldsimulationen primär mit numerischen Strömungsmechanik-Modellen (CFD Computer Fluid Dynamics) durchgeführt.

Durch die Verwendung der international evaluierten Softwareerweiterung „Airflow Analyst“ ist es möglich, das Windfeld direkt innerhalb des Geoinformationssystems zu berechnen. Bei der Berechnung des Windfeldes wird eine räumliche Auflösung von 0,5 bis 1 m zugrunde gelegt. Da das berechnete Windfeld den 3-dimensionalen Raum abdeckt, können unterschiedlichste Informationen zum Windfeld für jede beliebige Höhe abgefragt werden. Dies ist insbesondere dann von großem Interesse, wenn zu überprüfen ist, inwieweit vertikale und horizontale Veränderungen (z.B. durch neue Gebäudestrukturen, Vegetation o.ä.) im Windfeld auftreten.

Innerhalb des Geoinformationssystems kann die Simulationssoftware numerische Analysen turbulenter Strömungen über komplexer Topografie im urbanen und ruralen Raum durchführen. Als Eingangsparameter werden eine gitterartige Beschreibung der Geländehöhe, Rauigkeit sowie Windbeobachtungsdaten oder ein alternatives Grenzschichtprofil, welches in einer Datei vorliegt, verwendet. Das Windfeld wird in einem 3D-Raster berechnet und ermöglicht die Nachbearbeitung der Ergebnisse sowie den Export von Daten in ein GIS-konformes Austauschformat.

4 Charakterisierung des Untersuchungsraums

4.1 Räumliche Charakterisierung der Region

Der Untersuchungsraum der Stadt Lohr am Main umfasst eine Fläche von 90,43 km², die sich beiderseits entlang des Mainufers erstreckt (Lohr 2014). Das Stadtzentrum befindet sich bei 49° 99' 550, nördlicher Breite und bei 9° 57' 339 östlicher Länge auf einer Höhe von etwa 160 m ü. NHN.

Die administrative Einteilung erfasst die folgenden zehn Ortsteile (siehe Abbildung 14):

- Altstadt (Lohr am Main, Kernstadt),
- Halsbach,
- Lindig (nicht amtlich benannt),
- Sackenbach,
- Sendelbach,
- Steinbach,
- Pflochsbach,

- Rodenbach,
- Ruppertshütten und
- Wombach.

Eine Besonderheit ist der Stadtteil Ruppertshütten, der als eine Art Exklave nicht mit dem restlichen Stadtgebiet verbunden ist und eine Entfernung von ca. 5 km zum Siedlungsrand von Lohr aufweist.

Die Gemeinde zählt insgesamt rund 15.000 EinwohnerInnen mit einer leicht zurückgehenden Tendenz. Damit einhergehend ist ein hoher Altenquotient von 43,4 Jahren. Über die Hälfte der EinwohnerInnen ist über 50 Jahre alt (Stand 31.12.2020; Statistik Bayern 2021). Lohr ist eine kreisangehörige Stadt des unterfränkischen Landkreises Main-Spessart.

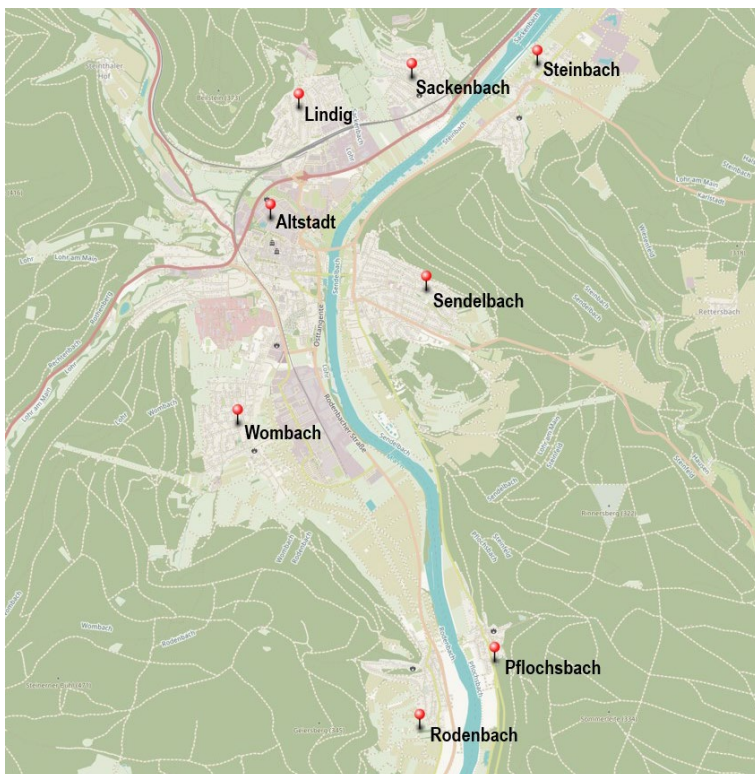


Abbildung 14: Ortsteile von Lohr a.Main – Ruppertshütten (nördl.) und Halsbach (östl.) sind nicht eigezeichnet

4.2 Topographie

Topographisch befindet sich der Untersuchungsraum in der Talregion des Mains (siehe Abbildung 15). Das Minimum liegt bei ca. 150 m im Flusslauf des Main. Das Siedlungsgebiet erstreckt sich beiderseits der Ufer des Main und wird im Westen durch den Ostabhang des Spessarts begrenzt. Hier befinden sich ebenfalls die höchsten Punkte des Stadtgebiet auf 542 m ü. NHN. in Gestalt der „Steckenlaubshöhe“ bzw. auf 536 m ü. NHN. („Sohlhöhe“) im Bereich des

Steckenbacher Forst. Aus dem Spessart entspringt der namensgebende Bach „Lohr“, der nahe des Stadtzentrums in dem Main mündet, sowie der „Rechtenbach“. Insbesondere die Lohr formt eine ausgeprägte Tallage in nord-westlicher Richtung. Nach Osten hin erfährt das Gelände deutlich geringere Steigungen mit Höhen, die nicht über 330 m hinaus gehen. Aufgrund der unmittelbaren Lage des Stadtgebietes am tiefsten Punkt im Maintal resultieren hieraus dennoch große Höhendifferenzen von 180 m, respektive bis zu 392 m.

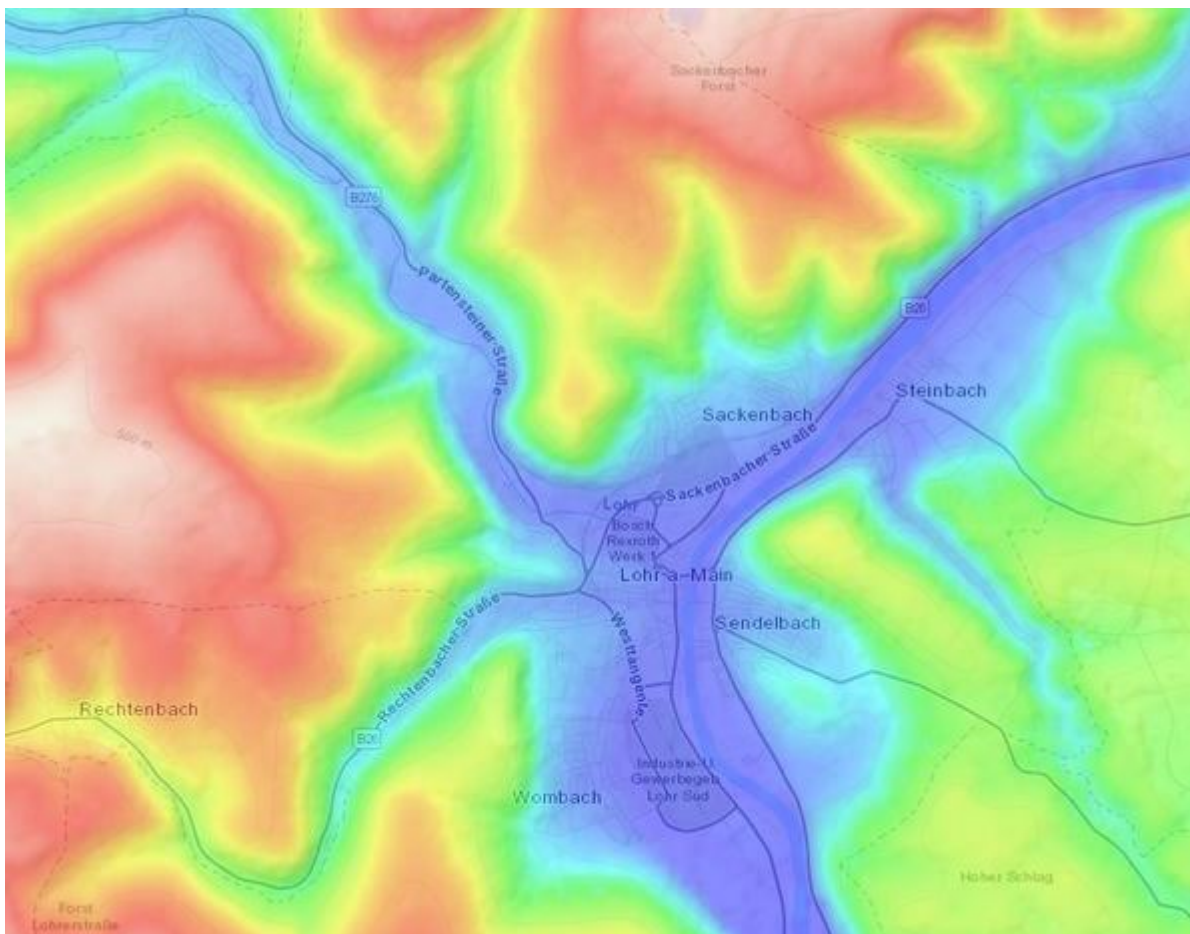


Abbildung 15: Topographisches Profil der Stadt Lohr a. Main. Die weiß-roten Bereiche stellen die Höhenzüge („Sohlhöhe“ 536 m ü. NHN, nördlich und „Steckenlaubshöhe“ 542 m ü. NHN, westlich) und die violett-blauen Bereiche die Niederungen des Mains (rd. 150 m ü. NHN) dar.

4.3 Naturräumliche Einordnung

Eine Gliederung Deutschlands dient der einheitlichen Einteilung und Kategorisierung von Landschaften. Die Methodik nach Meynen und Schmithüsen (2012) beinhaltet die Unterscheidung in naturräumliche Großregionen, Haupteinheiten und Untereinheiten und berücksichtigt in erster Linie geomorphologische, geologische, hydrologische, biogeographische und bodenkundliche Kriterien (siehe Abbildung 16).

Die Einteilung in Naturräumliche Großregionen wird der 1. Ordnung zugeschrieben. Verortet ist das Untersuchungsgebiet im „Schichtstufenland beiderseits des Oberrheingrabens“.

Die lokalräumlichen Gegebenheiten (2. Ordnung) des Untersuchungsgebietes entsprechen dem „Südwestdeutschen Stufenland“ und bilden auf der Ebene der Untereinheiten (3. Ordnung) einen Übergangsbereich aus „Odenwald, Spessart und Südrhön“ (Nr. 14) und den „Mainfränkischen Platten“ (Nr. 13), welche auch als „Schwäbisch-Fränkischen Gäue“ bekannt sind.

Laut dem Bundesamt für Naturschutz wird die Stadt Lohr a.Main von drei Landschaften eingfasst. Der unmittelbare Siedlungsbereich wird im Landschaftstypen 3.1 „Gehölz- bzw. waldreiche Kulturlandschaft“ (ID 14101) verortet, welcher hauptsächlich der Tallage des Mains folgt. Das Maintal ist auf der Höhe der Stadt Lohr a.Main besonders steilhangig und dicht bewaldet. In Richtung Westen schließt sich dem Siedlungsgebiet die Landschaft des „Sandsteinspessart“ an, der als „Reine Waldlandschaft“ bezeichnet wird. Von Lohr a.Main aus im Osten gelegen,

findet sich die „Marktheidenfelder Platte wieder. Typisch sind hier „Gehölz- bzw. waldreiche ackergeprägte Kulturlandschaften“. Die drei Landschaft werden als „Schutzwürdige Landschaft (mit Defiziten)“ bewertet (BfN 2022a).

Wie bereits in den Landschaftssteckbriefen des BfU ersichtlich wird, ist die Landschaft im Untersuchungsgebiet charakteristisch von Wäldern geprägt. So macht die bewaldete Fläche mehr als 2/3 der Gesamtfläche des Gemeindegebiets aus, mit leicht steigender Tendenz. Eine Ausweitung der Gebäude- und Freiflächen zwischen 1980 und 2010 ging vor allem zu Lasten der landwirtschaftlichen Flächen, insbesondere der Bewirtschaftung mit Streuobstwiesen, deren Anteil in diesem Zeitraum um 259 ha zurückging (Lohr 2014).

Für den vorliegenden Bericht konnte des Weiteren identifiziert werden, inwieweit Schutzgebiete in Lohr am Main ausgewiesen sind (siehe Abbildung 17). Genaue Zahlen zu den Flächenanteilen liegen jedoch nicht vor. Die besondere zu schützende Wertigkeit der Landschaft kommt im Landschaftsschutzgebiet zum Ausdruck, das innerhalb des Naturparks Spessart verortet ist und das gesamte Siedlungsgebiet umschließt und weitere Schutzkategorien enthält (BfN 2022a; siehe Abbildung 16). So sind rund zwei Drittel des sog. Stadtwaldes, welcher sich westlich der Stadt im Spessart befindet, Natura 2000- und FFH-Gebiet (Lohr 2014). Entlang des Mainufers sind zudem zwei Naturschutzgebiete verortet, das „NSG Romberg“ (55 ha) und das „NSG Graureiherkolonie am Salzberg“ (159 ha) (BfN 2022).



Abbildung 16: Lage der Stadt Lohr a.Main (roter Marker) im Kontext der naturräumlichen Großregionen Deutschlands nach Meynen und Schmithüsen (2012).

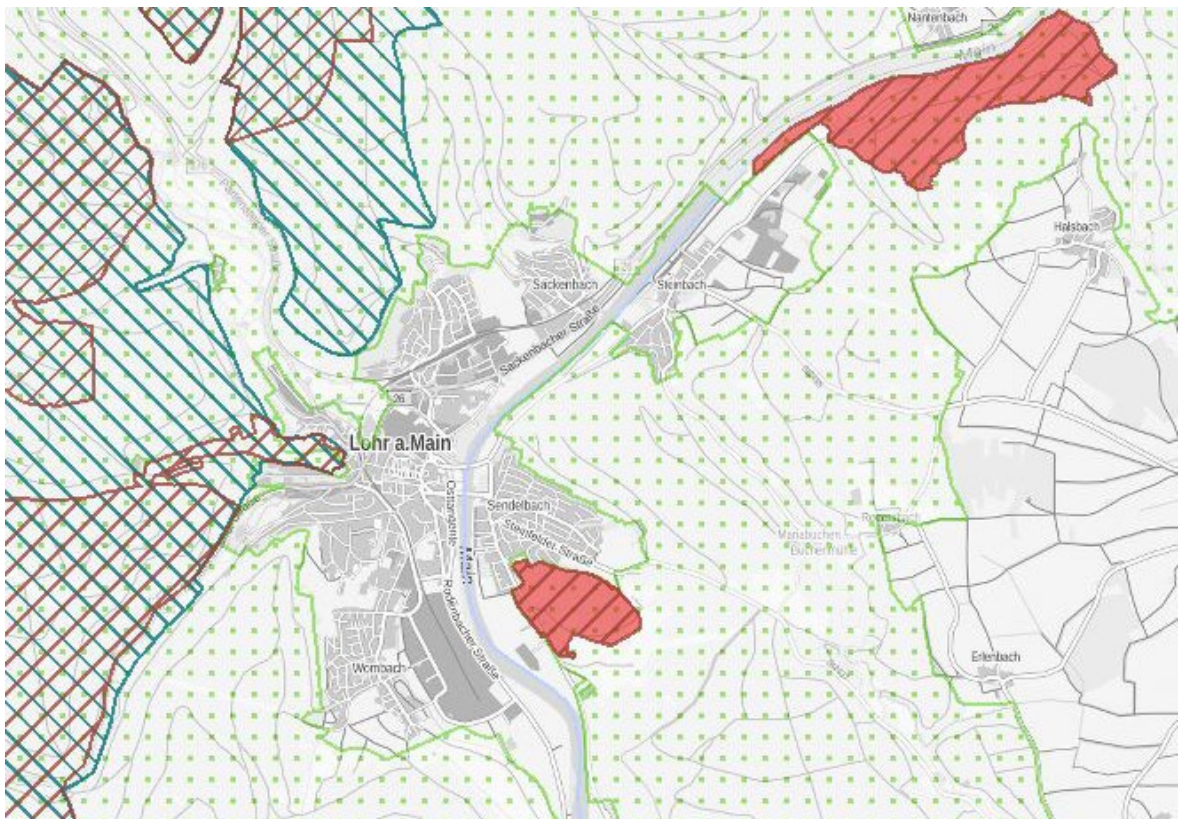


Abbildung 17: Schutzgebiete im Bereich Lohr a.Main. (Rot eingefärbt = NSG; Grün punktiert = LSG; Rot straffiert = FFH-Gebiet; Blau straffiert = Vogelschutzgebiet) (BfN 2022).

5 Historische Klimaanalysen

5.1 Klimatische Charakterisierung der Region

In der bioklimatischen Bewertung (DWD 2022) zeichnet sich eine sehr kleinteiliges Klima ab, welches maßgeblich durch das steile Maintal beeinflusst wird. So variiert die Bioklimatische Bewertung zwischen gelegentlicher und häufiger Wärmebelastung (Stufe 4 bzw. 5 von 6) bei gelegentlichen Kältereiz (Stufe 2 von 6). Grundsätzlich sind die niederen Lagen am Main einer höheren Wärmebelastung ausgesetzt und somit auch anfälliger für Überhitzung, während insbesondere in Richtung des Waldgebietes im Spessart die Hitzebelastung abnimmt.

Wie die Karte in Abbildung 18 zeigt, ist die Region von Lohr a.Main submartim geprägt. Die

Temperatur schwankt demnach zwischen 17 und 18 °C innerhalb eines durchschnittlichen Jahresverlaufs. Das Gebiet des Spessart ist niederschlagsbegünstigt (> 950 mm/Jahr) und weist ein sog. „Gebirgsklima“ auf, bei dem die Julimitteltemperatur nicht über 16 °C liegt.

Im Allgemeinen ist das typisch maritime Klima geprägt durch gemäßigte jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur und eine hohe relative Feuchte. Häufig tritt im Sommer ein Niederschlagsmaximum auf (DWD 2022c). Hinsichtlich des submartimen Klimas gelten diese klimatischen Parameter in abgeschwächter Form.

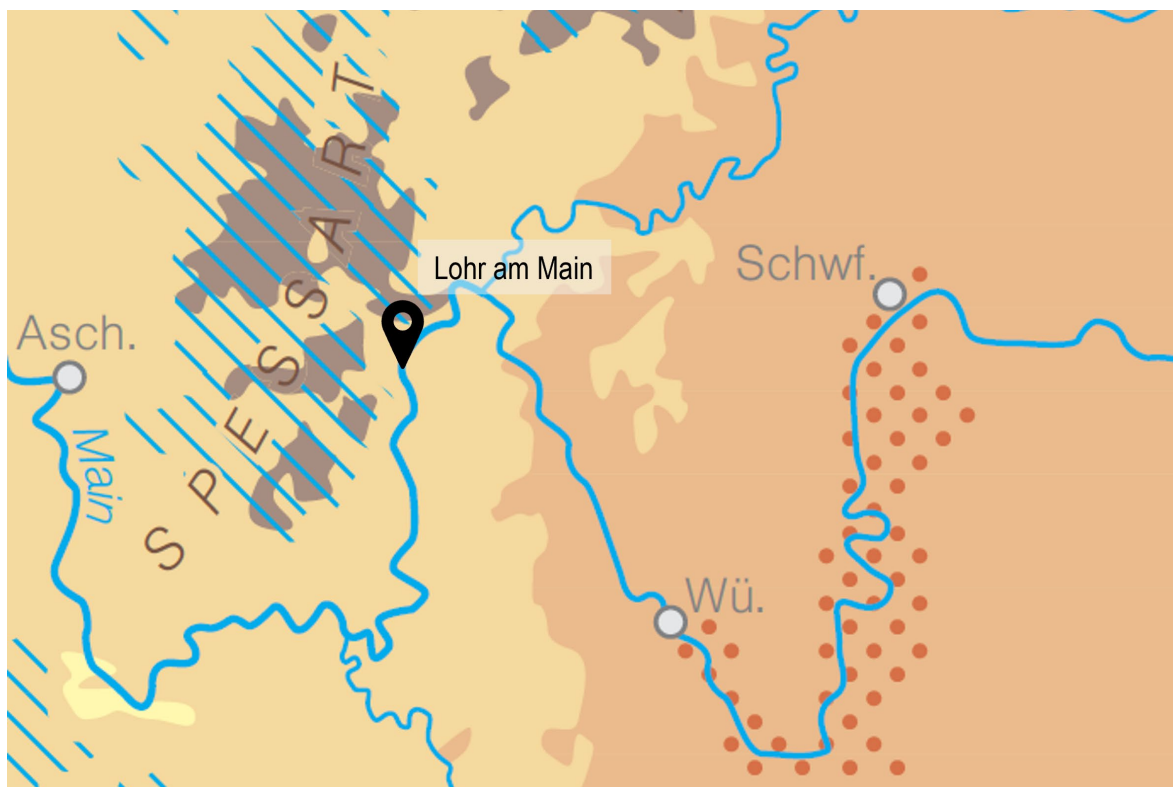


Abbildung 18: Ausschnitt zur Übersichtskarte „klimatischen Gliederung Deutschland“ (Hendl und Endlicher 2003). Die Stadt Lohr am Main liegt in einer Zone des submartimen Klimas und am Rand eines niederschlagsbegünstigten Bereichs (blaue Schraffur, > 950 mm/Jahr)

5.1.1 Temperatur und Niederschlag

Um die regionalen klimatischen Verhältnisse zu verdeutlichen, wurden die offiziellen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die folgenden klimatisch-analytischen Betrachtungen herangezogen und ausgewertet.

Zur Anwendung kamen unterschiedliche Rasterdatensätze sowie ausgewählte Stationsdatensätze.

Stationsauswertungen:

Die Parameter „Lufttemperatur“ und „Niederschlag“ werden mithilfe der drei DWD-Wettermessstationen Lohr/Main-Steinbach (ID: 161), Lohr/Main-Halsbach (ID: 288) und Lohr/Main-Ruppertshütten (ID: 369,5) innerhalb des Untersuchungsgebietes in zwei aufeinanderfolgenden 30-jährige Mittel analysiert.

Aufgrund des besonderen Stadtgebietes mit der Exklave Ruppertshütten und dem starken Geländere relief sind deutliche Unterschiede in den Messwerten zu erkennen. Die Messstationen

Lohr/Main-Steinbach und Lohr/Main-Halsbach liegen derweil nahe des Hauptsiedlungsgebietes von Lohr a.Main. Erstere befindet sich in einem landwirtschaftlich geprägten Kontext in Nähe zum Mainufer. Die zweite Messstation liegt an dem Übergang zwischen bewaldeten und landwirtschaftlichen Nutzflächen (siehe Abbildung 19).

Nachfolgend sind die **Temperaturveränderungen** der 30-jährigen Mittel 1961-1990 und 1991-2020 im Durchschnitt der jeweiligen Monate dargestellt (siehe Tabelle 6). Ein allgemeiner Temperaturanstieg ist in jedem Monat verzeichnet worden, wobei die durchschnittliche jährliche Erwärmung in Lohr a.Main-Steinbach von 8,8 °C auf 9,7 °C und in Lohr a.Main-Halsbach von 8,0 °C auf 9,4 °C angestiegen ist. Die Region von Lohr a.Main ist somit nur leicht wärmer als die bundesweite Durchschnittstemperatur von 9,3 °C. Im Januar ist die klimatische Veränderung besonders ausgeprägt mit einer Differenz von 1,7 °C, respektive 1,4 °C (siehe Diagramm 1).

Tabelle 6: Monatliche Temperaturveränderungen (Durchschnittstemperatur) der DWD-Messstationen Lohr a.Main-Steinbach und Lohr a.Main-Halsbach bis 1 °C (gelb) und über 1°C (rot) für zwei 30-jährige Mittel

Lohr a.Main STEINBACH	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Durchschnitt
1991-2020	1,2°C	1,8°C	5,4°C	9,7°C	13,8°C	17,1°C	18,9°C	18,4°C	14,0°C	9,4°C	4,9°C	2,0°C	9,7°C
1961-1990	-0,2°C	0,8°C	4,2°C	8,3°C	12,8°C	16,3°C	18,0°C	17,2°C	13,5°C	8,9°C	4,1°C	1,2°C	8,8°C
DIFFERENZ	1,4°C	1,0°C	1,2°C	1,4°C	1,0°C	0,8°C	0,9°C	1,2°C	0,5°C	0,5°C	0,8°C	0,8°C	0,9°C
Lohr a.Main HALSBACH	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Durchschnitt
1991-2020	0,8°C	1,5°C	5,0°C	9,3°C	13,3°C	16,8°C	18,5°C	17,9°C	13,7°C	9,2°C	4,7°C	1,7°C	9,4°C
1961-1990	-0,9°C	0,2°C	3,5°C	7,5°C	12,0°C	15,3°C	17,0°C	16,3°C	13,0°C	8,5°C	3,6°C	0,6°C	8,0°C
DIFFERENZ	1,7°C	1,3°C	1,5°C	1,8°C	1,3°C	1,5°C	1,5°C	1,6°C	0,7°C	0,7°C	1,1°C	1,1°C	1,4°C

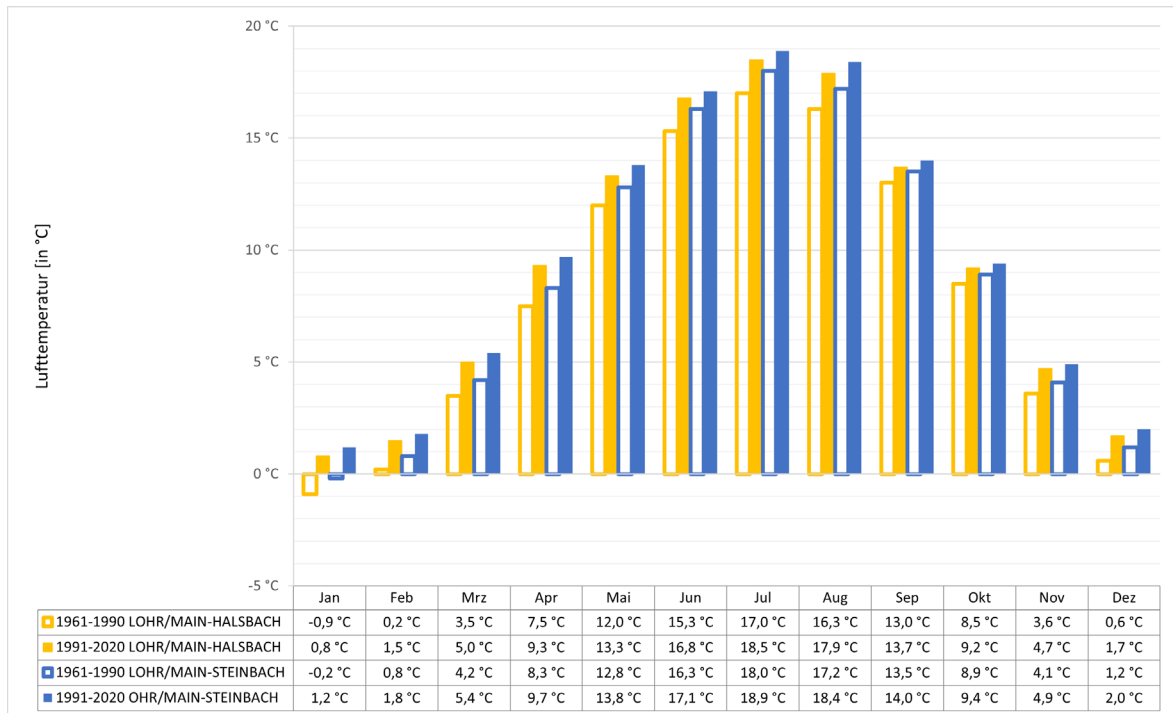


Diagramm 1: Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [°C] in einer Höhe von 2 m über Grund an den zwei DWD-Messtandorten Lohr a.Main – Steinbach (gelb) und Lohr a.Main – Halsbach (blau) für zwei aufeinander folgende 30-jährige Mittel. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.



Abbildung 19: Positionen der DWD-Wetterstationen im Untersuchungsraum - Lohr/Main-Steinbach in der Nähe des Mains, Lohr/Main-Halsbach und Lohr/Main-Ruppertshütten im nordwestlichen Randbereich des UR.

Für den Aspekt der durchschnittlichen monatlichen **Niederschlagssumme** sind die Veränderungen zwischen den 30-jährigen Mitteln heterogener. Trotz der räumlichen Nähe der Messstationen Lohr/ a.Main-Steinbach und Lohr a.Main-Halsbach unterscheidet sich der Niederschlagsrückgang um über 50 mm/m². Insgesamt liegen die Niederschlagsmengen knapp unter dem deutschlandweiten Jahresdurchschnitt von 809 mm/m². Hinzu kommen die Daten der Messstation Lohr a.Main-Ruppertshütten. Diese liegt in einem deutlich anderem räumlichen Kontext im Gebiet des Spessart, der von engeren Tälern

und einer durchgehenden Bewaldung geprägt ist. Zudem gilt die Region als niederschlagsbegünstigt (siehe Diagramm 2). Hier ist der Niederschlagsrückgang am deutlichsten mit rd. 88 mm/m². Die Region des Spessart nähert sich somit dem deutschlandweiten Durchschnittswert, noch werden jedoch 1000 mm/m² erreicht. Hervorzuheben ist, dass bei allen drei Messstationen eine Zunahme des Niederschlags im Januar, Mai und Juli stattgefunden hat, während die Monate März, April, Juni, November und Dezember allesamt einen Rückgang verzeichnen (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Monatliche Niederschlagsveränderungen in mm/m² der DWD-Messstationen Lohr a.Main-Ruppertshütten, Lohr a.Main-Steinbach und Lohr a.Main-Halsbach (Anstieg = grün; Reduktion = rot)

Lohr a.Main STEINBACH	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Durchschnitt
1991-2020	77,2	65,6	60,7	43,5	66,1	58,5	71,1	61,9	57,2	63,2	67,9	89,9	782,5
1961-1990	72,7	64,9	66,8	59,3	63,6	73,9	56,6	60,7	51	57,4	78,5	90,5	795,9
DIFFERENZ	4,5	0,7	-6,1	-15,8	2,5	-15,4	14,5	1,2	6,2	5,8	-10,6	-0,6	-13,4

Lohr a.Main HALSBACH	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Durchschnitt
1991-2020	75	61	58	42	67	58	75	61	58	62	67	86	770
1961-1990	74,7	66	67,8	61,5	65,7	81,6	62,4	66,2	54,8	60,8	81,5	94,6	837,5
DIFFERENZ	0,3	-5	-9,8	-19,5	1,3	-23,6	12,6	-5,2	3,2	1,2	-14,5	-8,6	-67,5

Lohr a.Main RUPPERTS- HÜTTEN	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Durchschnitt
1991-2020	106	81,2	79,3	50,8	78,1	73,9	90,5	72,6	73,9	80,1	90,6	114,5	1.000
1962-1990	103,5	79,2	89,4	81,9	75,7	97,5	81,9	83	77,1	85,3	110,3	122,6	1.087,5
DIFFERENZ	2,5	2	-10,1	-31,1	2,4	-23,6	8,6	-10,4	-3,2	-5,2	-19,7	-8,1	-87,5

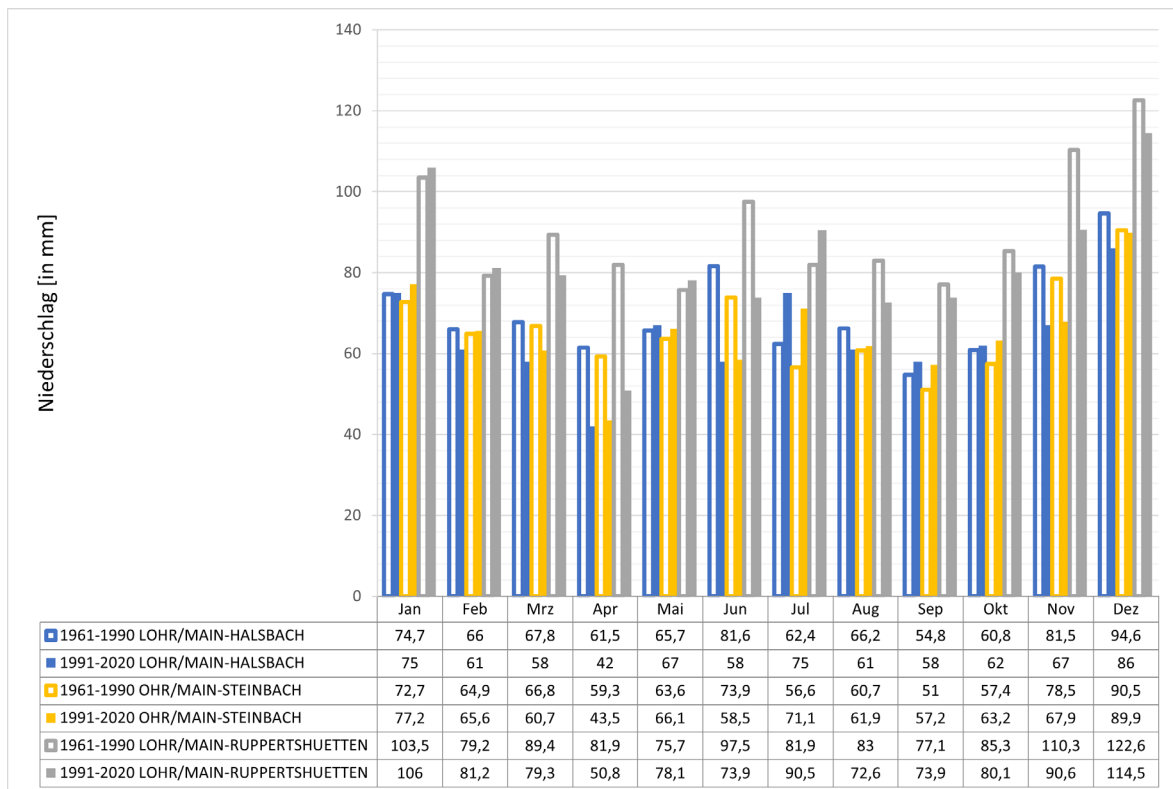


Diagramm 2: Darstellung der monatlichen Durchschnittniederschläge [mm] an den drei DWD-Messtandorten Lohr a.Main – Steinbach (gelb), Lohr a.Main – Halsbach (blau) und Lohr a.Main – Ruppertshütten (grau) für zwei aufeinander folgende 30-jährige Mittel. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

Rasterdatenauswertung:

Die Raster beruhen auf DWD-Stationsdaten (Kaspar et al. 2013) und stehen mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km zur Verfügung. Die nachfolgenden Raster-Diagramme beruhen auf Daten einer zentral ausgewählten Rasterzelle im Stadtgebiet der Stadt Lohr a.Main (Altstadt) für vier aufeinanderfolgende 30-jährige Mittel:

- 1962 – 1991,
- 1972 – 2001,
- 1982 – 2011
- 1992 – 2021.

Bei der Auswertung der Monatsmittelwerte für die **Lufttemperatur** (2 m ü. Grund) wird deutlich, dass für diesen klimatischen Aspekt ein Anstieg der Werte im Bereich von knapp 1 bis ungefähr

1,5, maximal 2 °C seit 1962 für die unterschiedlichen Monate zu verzeichnen ist (siehe Diagramm 3).

Im Vergleich (siehe Tabelle 8) des ältesten (1962 – 1991) und des jüngsten (1992 – 2021) 30-jährigen Mittels fallen vor allem der April mit +2 °C sowie der Februar bzw. Juni mit +1,7 °C und der Januar bzw. August mit +1,6 °C Differenz in Auge. Im Vergleich der beiden letzten 30-jährigen Mittel zeigt sich die stärkste Veränderung im Monatsmittel des Februars bzw. des Junis mit +0,8 °C.

Negative Monatsmittelwerte traten ausschließlich im Januar der ältesten (1962 – 1991) Periode auf.

Tabelle 8: Auswertung der 30-jährigen Mittel der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur 2 m ü. Grund [°C]. Die stärksten Veränderungen zwischen den unterschiedlichen Perioden (1 bis 4) innerhalb desselben Monats wurden dunkelrot hinterlegt, im Verhältnis weniger starke Veränderungen in abgeschwächten Rottönen.

30-jähriges Mittel [°C]	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1962-1991 (1)	-0,2	0,6	4,2	8,1	12,8	16,0	17,9	17,1	13,5	8,9	4,1	1,1
1972-2001 (2)	0,7	1,2	5,1	8,4	13,2	16,1	18,2	17,7	13,7	9,0	4,2	1,7
1982-2011 (3)	0,9	1,4	5,1	9,5	13,9	16,8	18,8	18,2	14,1	9,5	4,7	1,9
1992-2021 (4)	1,4	2,2	5,6	10,1	14,2	17,6	19,3	18,7	14,3	9,6	5,2	2,3

DIFFERENZ [°C]	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
(1) zu (4)	1,6	1,7	1,4	2,0	1,4	1,7	1,4	1,6	0,8	0,8	1,1	1,2
(2) zu (4)	0,8	1,1	0,5	1,8	0,9	1,5	1,1	1,0	0,6	0,6	1,0	0,6
(3) zu (4)	0,5	0,8	0,5	0,7	0,3	0,8	0,5	0,5	0,3	0,2	0,5	0,4

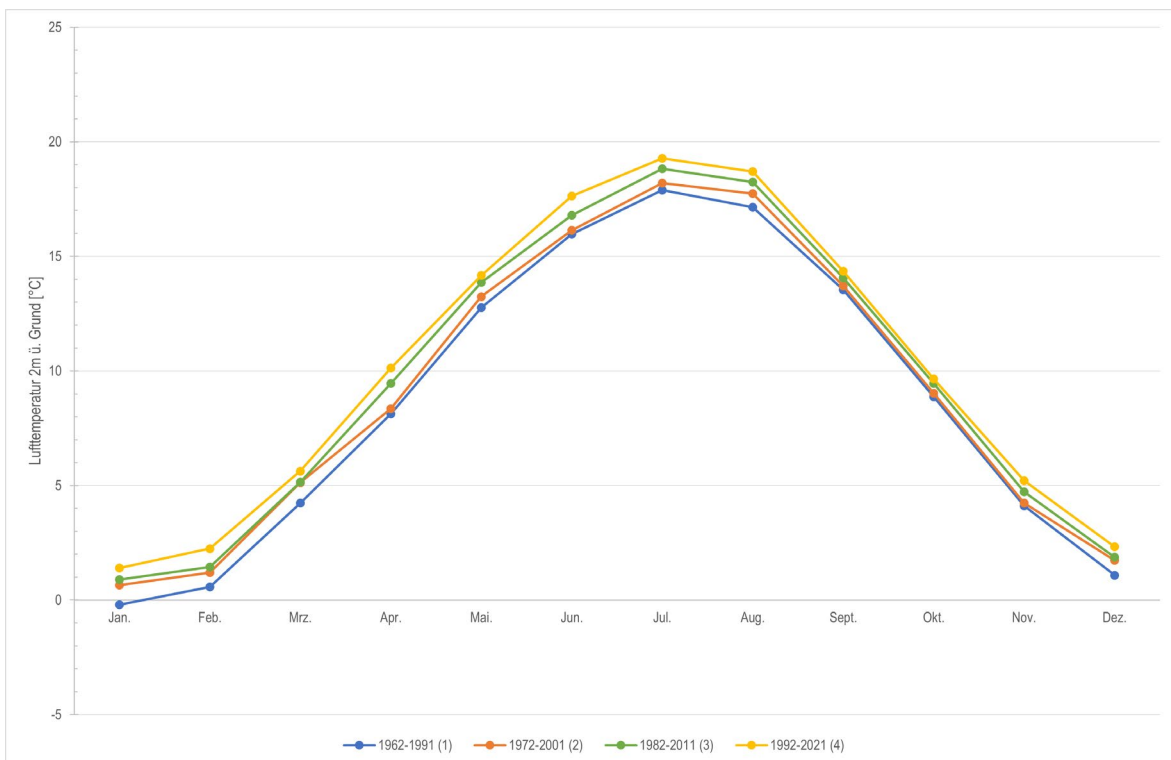


Diagramm 3: Darstellung der 30-jährigen Mittel der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur 2 m ü. Grund [°C]. Die älteste Periode wird blau, die jüngste Periode gelb dargestellt. Deutlich erkennbar ist ein Anstieg der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur seit 1962. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

Bei der Auswertung der Monatssummen zum **Niederschlag** zeigt sich für die Jahressummen dieses klimatischen Aspekts nur eine geringe Veränderung in der Gesamtmenge (siehe Tabelle 9), die jüngste (4) Periode weist jedoch den niedrigsten Jahresniederschlag mit 771,9 mm auf.

Zwar bleiben die Jahresniederschläge ungefähr gleich, so zeigt sich jedoch eine zunehmende Verschiebung der Niederschlagsmengen während des Jahres. Besonders auffällig zeigen sich hier die Monate April und Juni sowie teilweise der November, die im Vergleich des jüngsten 30-jährigen Mittel (4) mit allen anderen 30-jährigen Mitteln kontinuierlich weniger Niederschlag in

der Monatssumme aufweisen (siehe Diagramm 4). Durch dieses voranschreitende Ungleichgewicht bei den Niederschlagsmengen werden Dürreperioden und Probleme in der Landwirtschaft (fehlendes Wasser bei der Ansaat und im Reifeprozess) forciert.

Im Gegensatz zum „Wetter“ beziehen sich Aussagen zum „**Klima**“ immer auf einen längeren Zeitraum. Um möglichst alle wesentlichen Ausprägungen des Klimas mit seiner natürlichen Variabilität zu erfassen, haben sich 30-jährige Perioden für wissenschaftlich belastbare Aussagen als besonders geeignet erwiesen.

Tabelle 9: Auswertung der 30-jährigen Mittel der Monatssummen zum Niederschlag [mm]. Starke negative Veränderungen zwischen den unterschiedlichen Perioden (1 bis 4) innerhalb desselben Monats wurden rot hinterlegt, rechnerisch positive Veränderungen – also mehr Niederschlag – in grün.

30-jähriges Mittel [°C]	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Σ
1962-1991 (1)	72,5	60,1	67,2	57,6	60,3	76,5	57,7	62,3	52,2	57,9	78,2	85,9	788,3
1972-2001 (2)	77,1	58,9	68,2	51,7	57,2	69,1	69,0	55,5	59,7	68,7	73,0	88,5	796,6
1982-2011 (3)	77,9	68,4	69,4	50,3	64,0	65,4	71,0	58,2	62,5	67,4	67,5	86,9	808,9
1992-2021 (4)	75,4	64,3	61,5	42,9	66,7	58,5	73,0	63,1	55,8	63,6	64,3	82,7	771,9

DIFFERENZ [°C]	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Σ
(1) zu (4)	2,8	4,1	-5,6	-14,7	6,4	-17,9	15,3	0,9	3,7	5,7	-13,9	-3,2	-16,4
(2) zu (4)	-1,8	5,4	-6,7	-8,7	9,5	-10,6	4,0	7,7	-3,9	-5,1	-8,7	-5,8	-24,7
(3) zu (4)	-2,6	-4,1	-7,9	-7,3	2,6	-6,8	2,0	4,9	-6,7	-3,8	-3,2	-4,2	-37,0



Diagramm 4: Darstellung der 30-jährigen Mittel der Monatssummen zum Niederschlag [mm]. Die älteste Periode wird blau, die jüngste Periode gelb dargestellt. Die Jahressummen der Niederschläge bleiben ungefähr auf dem gleichen Niveau. Auffällig ist eine zunehmende Abnahme der Niederschläge in den Monaten März, April, Juni und September. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

Messkampagne im Sommer 2021

Für einen Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte September wurden mehrere Datenlogger zur Aufnahme der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Bereich der „Grünzäsur“, zwischen dem Stadtteil „Sackebach“ und „Lohr-Lindig“ sowie der Altstadt von Lohr a.Main als Referenz, ausgebracht (siehe Abbildung 20).

Die Ergebnisse der Messkampagne fließen direkt in die klimatische Bewertung der „Grünzäsur“ (vgl. Kapitel 8.3) mit ein und werden auch in diesem Kontext erläutert.

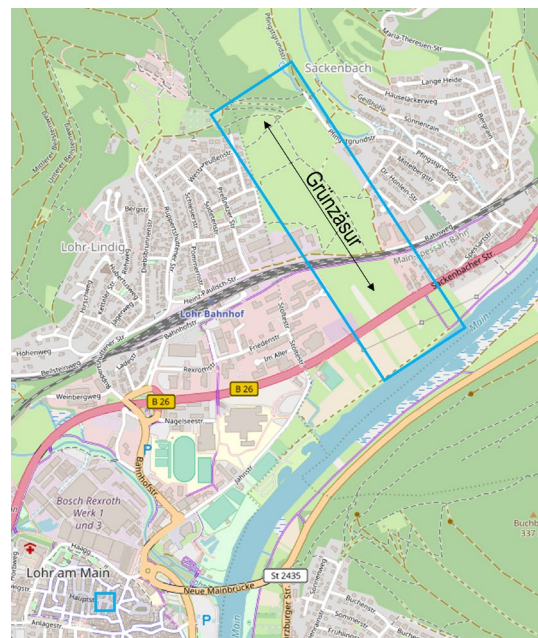


Abbildung 20: Bereiche der Messkampagne (blaue Markierungen) im Sommer 2021 (ODbL 2022)

5.1.2 Ereignistage

Unter dem Begriff der „Ereignistage“ versteht man im klimatologischen Kontext jene Tage, die aufgrund ihrer besonders hohen bzw. niedrigen Temperaturen oder auch aufgrund eines extremen Niederschlags herausstechen. Im langjährigen Verlauf lassen sich so klimatische Entwicklungen beschreiben, auf die in der Klimaanpassung einzugehen ist.

Hinsichtlich der Lufttemperatur werden vier unterschiedliche Ereignistage (siehe Tabelle 10) mit ihren zugehörigen Rahmenparametern beschrieben.

Die Anzahl der jährlichen Sommertage wie auch die der jährlichen Heißen Tage (siehe Diagramm 5) in der Zeit von 1951-2021 in Lohr a.Main hat, trotz der normalen Schwankungen, kontinuierlich zugenommen. Bis ungefähr zum Jahr 1989 pendelt die Anzahl der jährlichen Sommertage zwischen 25 und 50 Tagen. Nach 1989 gibt es so gut wie kein Jahr mehr mit weniger als 40 jährlichen Sommertagen, zudem häufen sich die Jahre mit extrem vielen Sommertage (bspw. 2003 (90 Tage) und 2018 (94 Tage)). Eine ähnlicher Verlauf lässt sich bei der Auswertung der Heißen Tage ablesen. Pendeln bis zum Jahr 1989 die Heißen Tage auf maximal 20 Tage pro Jahr, springen die Zahlen in den Folgejahren immer öfter über die 15 Tage-Grenze und finde ihre Extremausprägung in den Jahren 2003 (32 Tage), 2015 (29 Tage), 2018 (28 Tage) und 2019 (21 Tage).

Eine höhere Anzahl von aufeinanderfolgenden Sommertagen (und Heißen Tagen) kann besonders in einem hochverdichteten Stadtraum den städtischen Wärmeinsel-Effekt (vgl. Kapitel 2.2) fördern bzw. forcieren. Daraus i.d.R. resultierende hohe Nachttemperaturen von bspw. über

20 °C (Tropennacht), die, über einen längeren Zeitraum und zusätzlich zu den hohen Tages-temperaturen, eine zusätzliche Belastung für Menschen, Tiere und Pflanzen, aber auch langfristig für die Stadt und ihre Strukturen darstellen.

Einhergehend zum Anstieg der Sommertage und Heißen Tage ist ein gleichzeitiger Abfall der Frost- und der Eistage (siehe Diagramm 6) zu verzeichnen. Anhand der Anzahl der Frosttage (LT Min. < 0 °C) wird die „Strenge“ des Winters ermittelt. Von 1951 bis 1985 bewegt sich die Anzahl der jährlichen Frosttage im Bereich von 80 bis 110 Tagen. Seit 1985 nimmt die Anzahl der Frosttage in Lohr a.Main kontinuierlich ab und pendelt im Bereich zwischen knapp 60 und 85 Tagen Forst im Jahr.

Zu der Menge der Forsttage gehören auch die Eistage, an denen die maximale Lufttemperatur noch unterhalb der 0 °C-Grenze liegt. Auch für die Zahl der Eistage zeichnet sich für Lohr a.Main ein abnehmender Trend ab. Lagen bis zum Jahr 2087 fast alle Jahre, mit wenigen Ausnahmen, über der Grenze von 15 jährlichen Eistagen, so wird diese Grenze in den letzten 10 Jahren kaum noch erreicht oder überschritten. Eine deutliche Ausnahme stellt hierbei das Jahr 2010 mit 48 Tagen dar.

Das zunehmende Fehlen von Frost- und Eistagen zeigt beispielsweise direkte Auswirkungen oder Störungen im natürlichen Lebensrhythmus von Wildtieren und Pflanzen.

Tabelle 10: Ereignistage zur Lufttemperatur und die dazugehörigen Definitionen

EREIGNISTAG	DEFINITION
Sommertage (DWD-CDC 2022c)	Maximum der Lufttemperatur $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Heiße Tage (DWD-CDC 2022d)	Maximum der Lufttemperatur $\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$
Frosttage (DWD-CDC 2022e)	Minimum der Lufttemperatur $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$
Eistage (DWD-CDC 2022f)	Maximum der Lufttemperatur $< 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Eine **Hitzewelle** ist eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Sie ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann. Neben der Lufttemperatur sind hierbei weitere Parameter, wie die Luftfeuchte, Strahlung und Wind von Bedeutung.

International existiert keine einheitliche Definition des Begriffs Hitzewelle. Definitionen basieren häufig auf einer Kombination von Perzentil basierten Schwellenwerten (z.B. 98. Perzentil der Tagesmaximum-Werte und einer minimalen Andauer z.B. 3 Tage). (DWD 2022a)

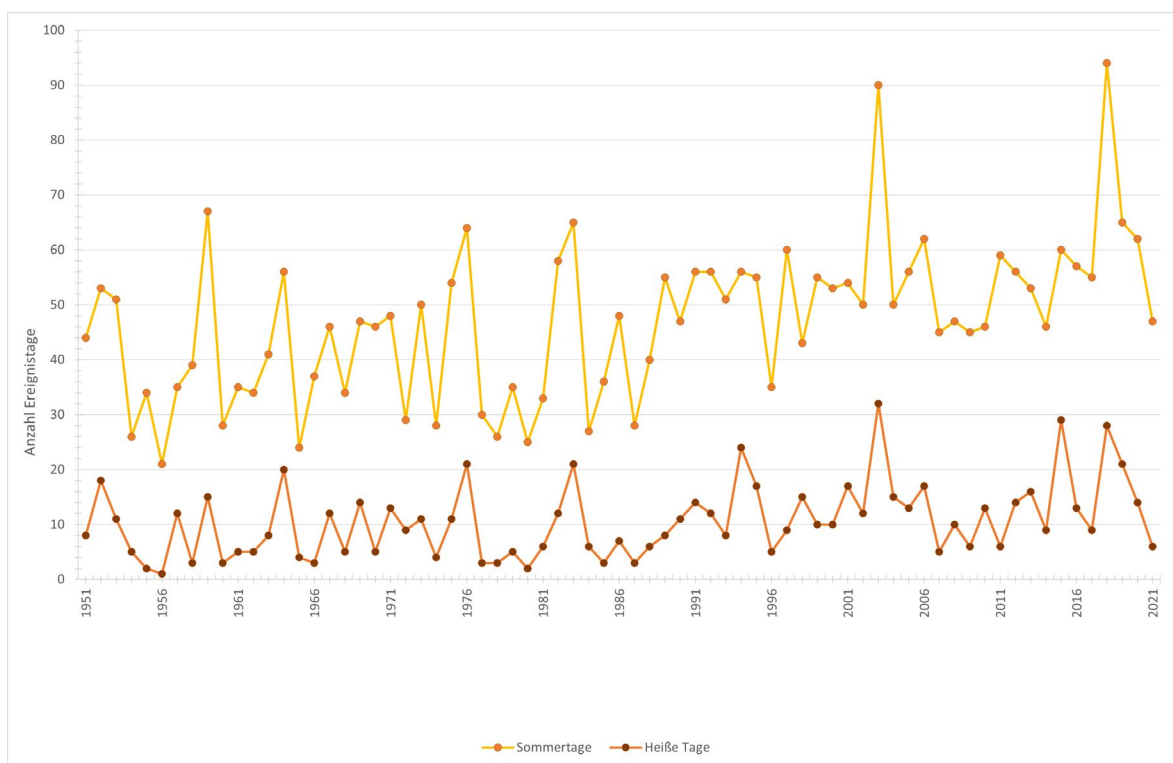


Diagramm 5: Darstellung der jährlichen Anzahl der Sommertage (LT Max. $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$, gelbe Linie) und Heißen Tage (LT Max. $\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$, orange Linie) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

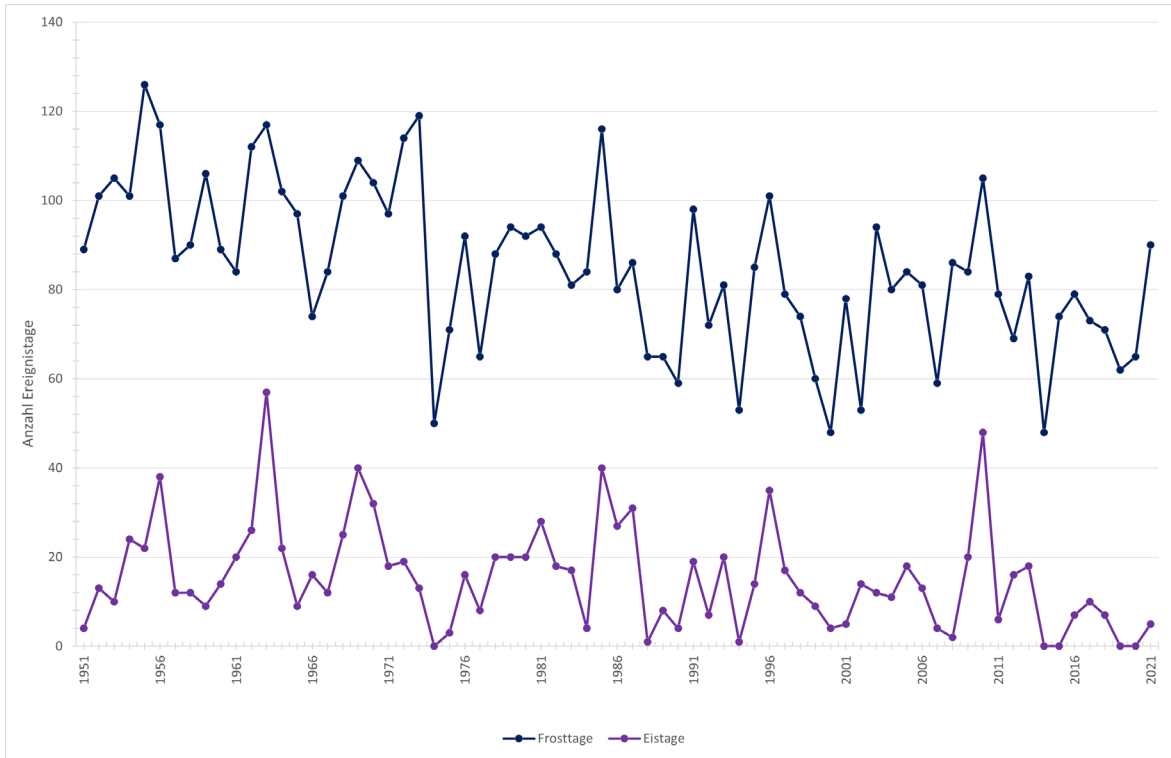


Diagramm 6: Darstellung der jährlichen Anzahl der Frosttage (LT Min. < 0 °C, blaue Linie) und der Eistage (LT Max. < 0 °C, violette Linie) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

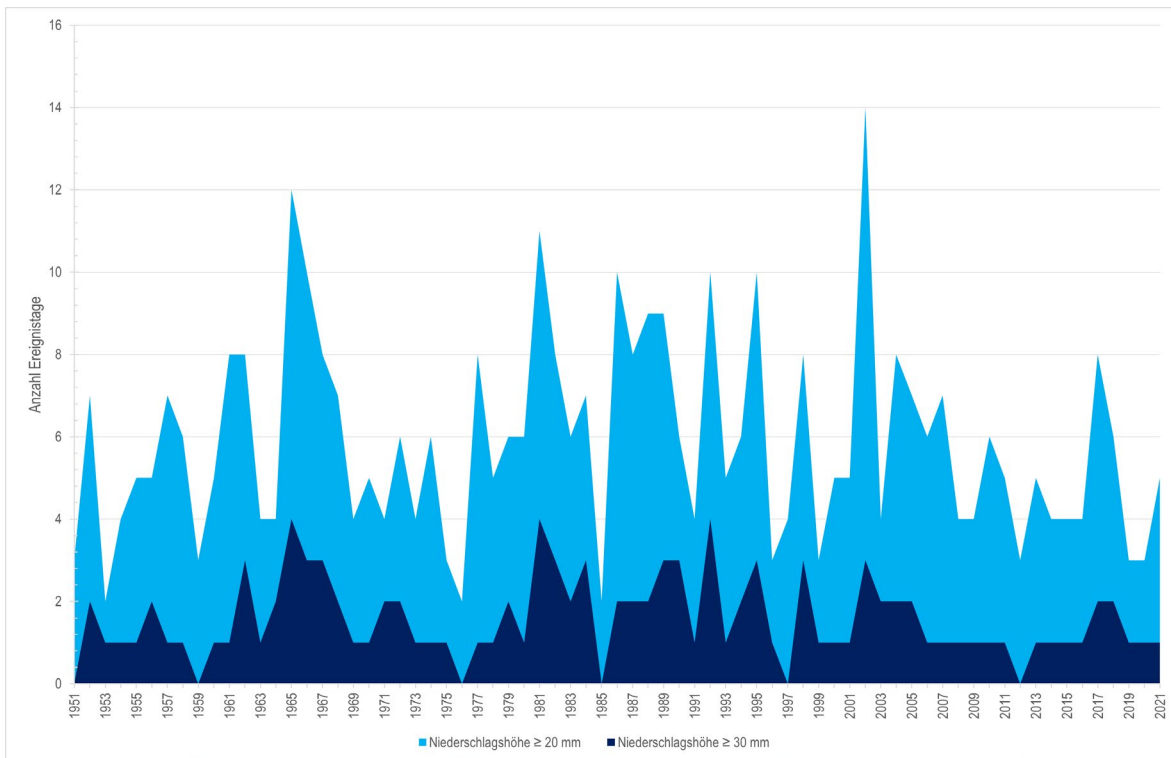


Diagramm 7: Anzahl der jährlichen Tage mit Niederschlagsmengen ≥ 20 mm (hellblau) und ≥ 30 mm (dunkelblau) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

In Ergänzung zu den temperaturbezogenen Ereignistagen wurde außerdem die jährliche Anzahl der Tage mit einer Niederschlagshöhe von ≥ 20 mm (DWD-CDC 2022g) und ≥ 30 mm (DWD-CDC 2022h) ausgewertet (siehe Diagramm 7). Hierbei ist zu beachten, dass es sich um Angaben pro Tag (24Std.) handelt.

Angaben zu Regenmengen, die umgangssprachlich als Starkregen bezeichnet werden, beziehen sich i.d.R. auf 1 Stunde oder 6 Stunden. „Starkregenereignisse“ sind bei der Auswertung also inkludiert, aber nicht jedem im Diagramm aufgeführten Tag lag zwingend ein „Starkregenereignis“ zu Grunde.

Ähnlich wie bei den bereits beschriebenen Auswertungen zeigt sich auch in diesem Fall eine Zweiteilung der Daten, aber weniger bezüglich der Anzahl der jährlichen Tage, sondern vielmehr hinsichtlich der zunehmenden Häufigkeit der aufeinander folgenden Jahre mit diesen Ereignissen. Seit Beginn der 2000er Jahre folgt ein fast kontinuierliches Auftreten von ungefähr 4 Tagen mit mehr als 20 mm Niederschlag, während die Anzahl von Tagen mit 30 mm Niederschlag in diesem Zeitraum eine Stagnation erfährt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich der Klimawandel in der Stadt Lohr a.Main

bzw. der Region in den fast typischen Ausprägungen widerspiegelt.

Ein kontinuierlicher Anstieg der Lufttemperatur, bei einem ungefähr gleichbleibenden Jahresniederschlag, der aber eine andere Verteilung über das Jahr und der Tagesintensität erfährt.

Hinzu kommen steigende Zahlen von Sommertagen und Heißen Tagen, die verkettet zu Hitzeperioden, zusätzliche Herausforderungen an Menschen, Tiere, Pflanzen und die Stadtstruktur stellen.

Der DWD unterteilt **Starkregen** in drei Stufen, mit folgenden Schwellenwerte.

Markante Wetterwarnung:
Regenmengen 15 bis 25 l/m² in 1 Stunde
oder 20 bis 35 l/m² in 6 Stunden

Unwetterwarnung: Regenmengen:
> 25 bis 40 l/m² in 1 Stunde oder > 35 l/m²
bis 60 l/m² in 6 Stunden

Extreme Unwetterwarnung:
Regenmengen > 40 l/m² in 1 Stunde oder
> 60 l/m² in 6 Stunden

(mm Niederschlag entspricht l/m²)
(DWD 2022b)

5.1.3 Windverhältnisse

Zur Erläuterung der Windverhältnisse in Lohr a.Main wurde auf zwei Datenquellen zurückgegriffen. Zum einen auf die Messergebnisse der DWD-Station „Neuhütten/Spessart“ und zum anderen auf aktuelle Daten des Global Wind Atlas (GWA 2022).

Die DWD-Station liegt im Offenland nördlich des Siedlungsbereichs von Neuhütten auf einer Höhe von rd. 345 m ü. NN (siehe Abbildung 20).

Die Windrichtung und Windstärke hängen stark von den topographischen und orographischen Gegebenheiten und der Art der Flächennutzung ab. Entsprechend müssen die stündlich aufgenommenen Daten (auf 10 m Höhe) der Station als allgemeine Richtwerte für die Windverhältnisse der rd. 8 km Luftlinie entfernten Stadt Lohr a.Main verstanden werden.

Auf Grund der vorhandenen Datenlage konnten die Windstärke und Windrichtung für das langjährige Mittel der Jahre 2006 bis 2020 ausgewertet werden. Durch die Betrachtung eines längeren Zeitraums haben temporäre Schwankungen einen weniger starken Einfluss auf die Ergebnisse. Zusätzlich muss im Rahmen der Auswertung der Windverhältnissen auch hinsichtlich der Tages- bzw. Nachtsituation und der Jahreszeiten unterschieden werden. Diese Trennung muss erfolgen, da aufgrund der nachts fehlenden solaren Einstrahlung unterschiedliche klimatische Einflüsse wirken. Die Übergangsbereiche der Dämmerung bzw. des Sonnenaufgangs werden nicht berücksichtigt, um ein eindeutigeres Ergebnis zu erhalten. Die Schwankungen in den Lufttemperaturen im Laufe der Jahreszeiten erfordern des Weiteren die differenzierte Betrachtung gemäß der Jahreszeiten Winter (Dezember, Januar, Februar), Frühling (März, April,

Mai), Sommer (Juni, Juli, August) und Herbst (September, Oktober, November).

Tabelle 11 beinhaltet die zeitlichen und saisonalen Grenzwerte, die im Rahmen der Datenauswertung Anwendung fanden, während Tabelle 12 die Ergebnisse der Windrosen (siehe Diagramm 8 bis Diagramm 15) zusammenfasst.

Die unterschiedlichen Ausprägungen der regionalen Anströmungen haben zur Folge, dass bestimmte Stadtbereiche aufgrund ihrer Stadtmorphologie und abhängig von der Uhrzeit bzw. der Jahreszeit unterschiedlich stark durchlüftet werden. Insbesondere in Monaten mit einer hohen thermischen Belastung ist dies von Relevanz (vgl. Kapitel 2.2 und 2.4).

Während den zunehmend austauschärmeren Sommernächten erfolgt die Durch- bzw. Belüftung der Stadt über das bodennahe Flurwindssystem (vgl. Kapitel 6.4.1) und am Tag (und in Austausch-Nächten) über die ermittelten Hauptanströmungsrichtungen (siehe Tabelle 12), die gleichzeitig die Ausrichtung für wichtige Durchlüftungsachsen ungefähr vorgeben.

Die Windrosen (siehe Diagramm 8 bis Diagramm 15) geben außerdem Aufschluss über die relative Ausprägung von Windgeschwindigkeiten (in %) in Bezug zur Windrichtung. Der geringen Ausprägung bzw. Häufigkeit des Auftretens von Windgeschwindigkeit über 6 m/s entsprechend, wurden diese zur Gruppe „> 6 m/s“ zusammengefasst.



Abbildung 21: Wetterstation Neuhütten/Spessart (ID 07412). Die Windmessungen der Station wurden für die Auswertung des langjährigen Mittels der Windstärke und der Windrichtung in Abhängigkeit der Tages- bzw. Nachtzeit sowie der Jahreszeiten herangezogen.

Tabelle 11: Zeitliche und saisonale Grenzwerte der Datenauswertung der DWD-Station Neuhütten/Spessart

JAHRESZEIT	TAG	NACHT
Winter (DJF)	08:00 – 18:00 Uhr	22:00 – 04:00 Uhr
Frühling (MAM)	08:00 – 18:00 Uhr	22:00 – 04:00 Uhr
Sommer (JJA)	08:00 – 18:00 Uhr	22:00 – 04:00 Uhr
Herbst (SON)	08:00 – 18:00 Uhr	22:00 – 04:00 Uhr

Tabelle 12: Ergebnisübersicht zur Auswertung der zeitlichen und saisonalen Windverhältnisse der Station Neuhütten/Spessart.

	AUSWERTUNGSZEITRAUM	HAUPTANSTRÖMUNG IM LANGJÄHRIGEN MITTEL	ERGÄNZENDE KOMPONENTEN IM LANGJÄHRIGEN MITTEL
Tag	Winter	Süd-West	Ost-Nordost
	Frühling	Süd-West mit West	Ost-Nordost
	Sommer	Süd-West mit West	Ost-Nordost
	Herbst	Süd-West	Ost-Nordost
Nacht	Winter	Süd-West	Ost-Nordost
	Frühling	Süd-West mit West und Süd-Südwest	Ost-Nordost
	Sommer	Süd-Südwest mit Süd-West	Nord-Ost
	Herbst	Süd-West mit Süd-Südwest	Ost-Nordost

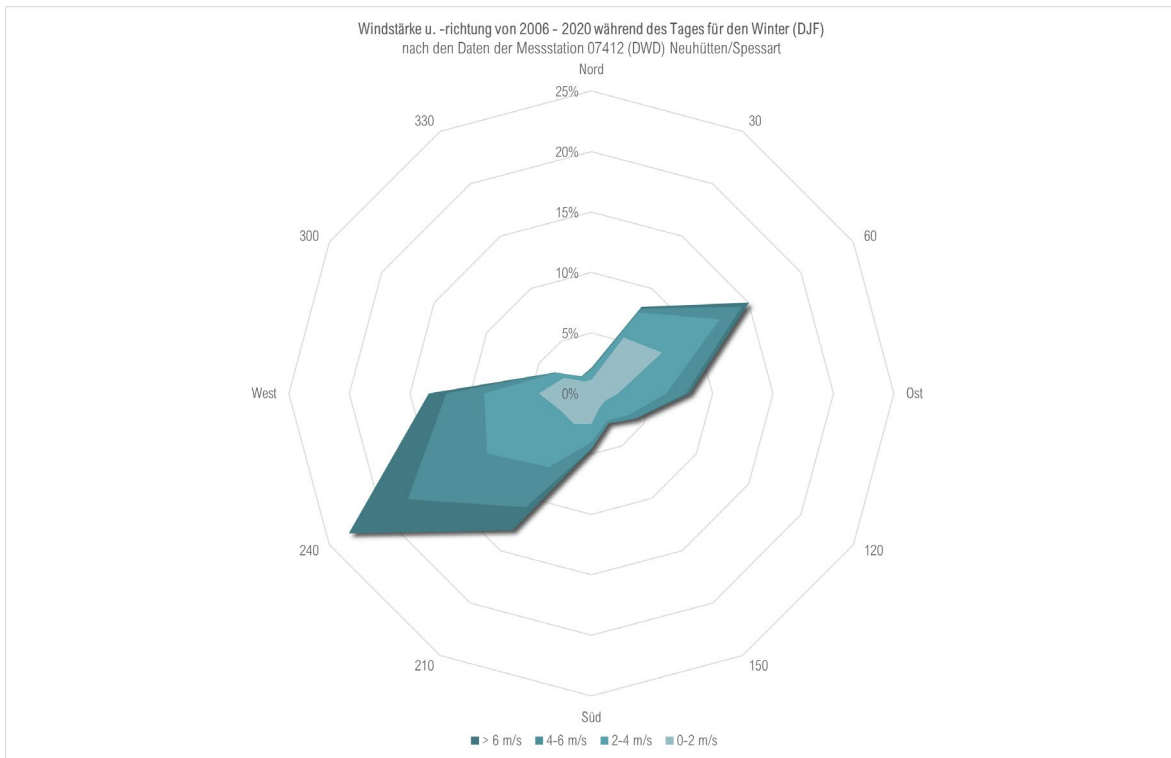


Diagramm 8: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Winter. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten

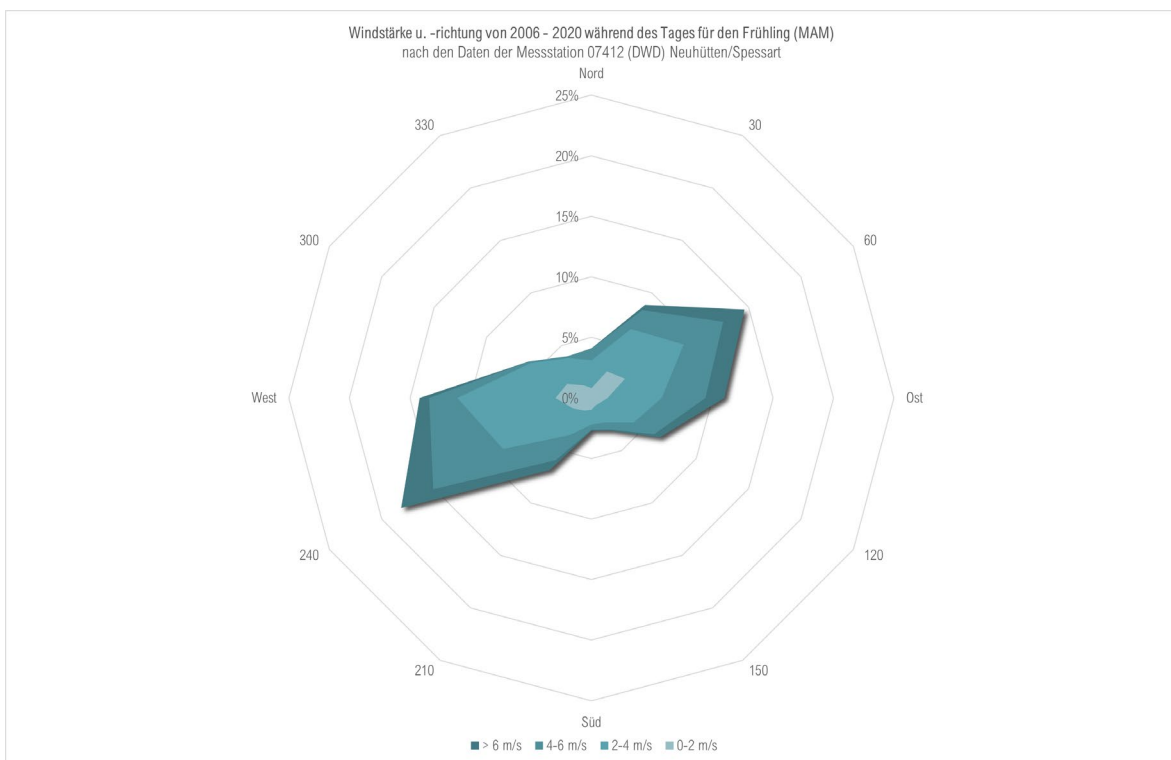


Diagramm 9: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Frühling. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit West und Ost-Nordostkomponenten

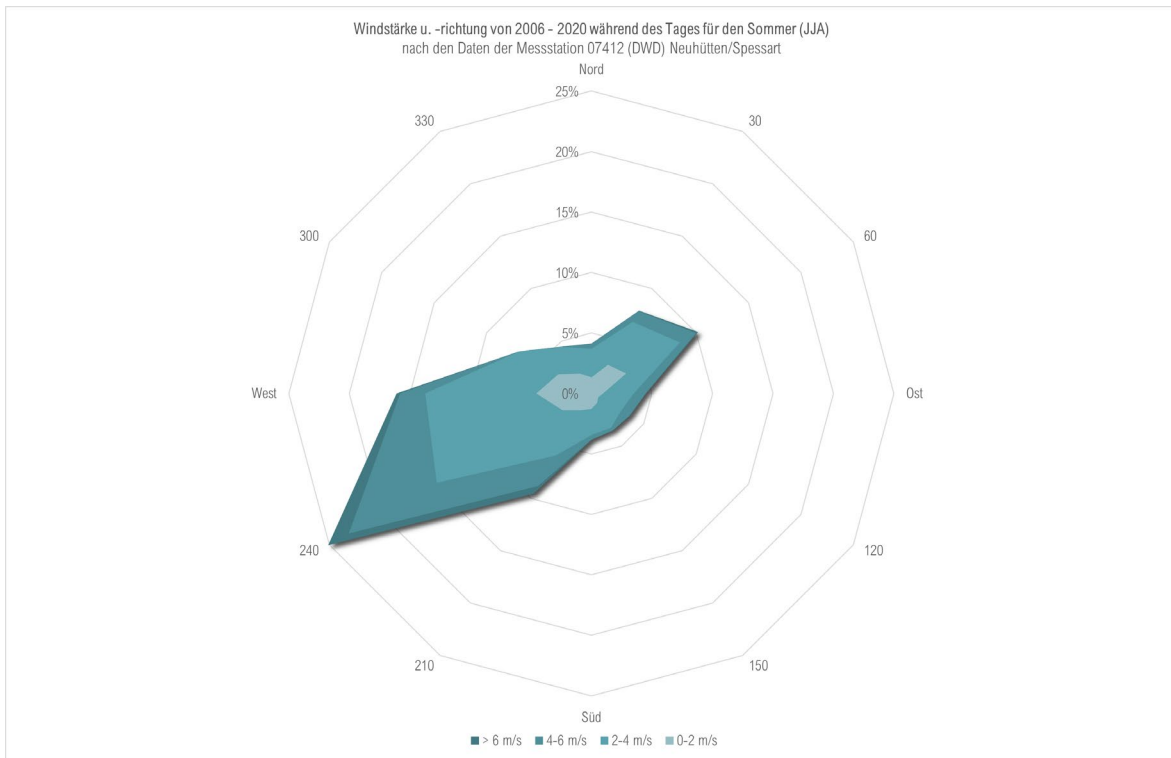


Diagramm 10: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Sommer. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit West und leichten Ost-Nordostkomponenten

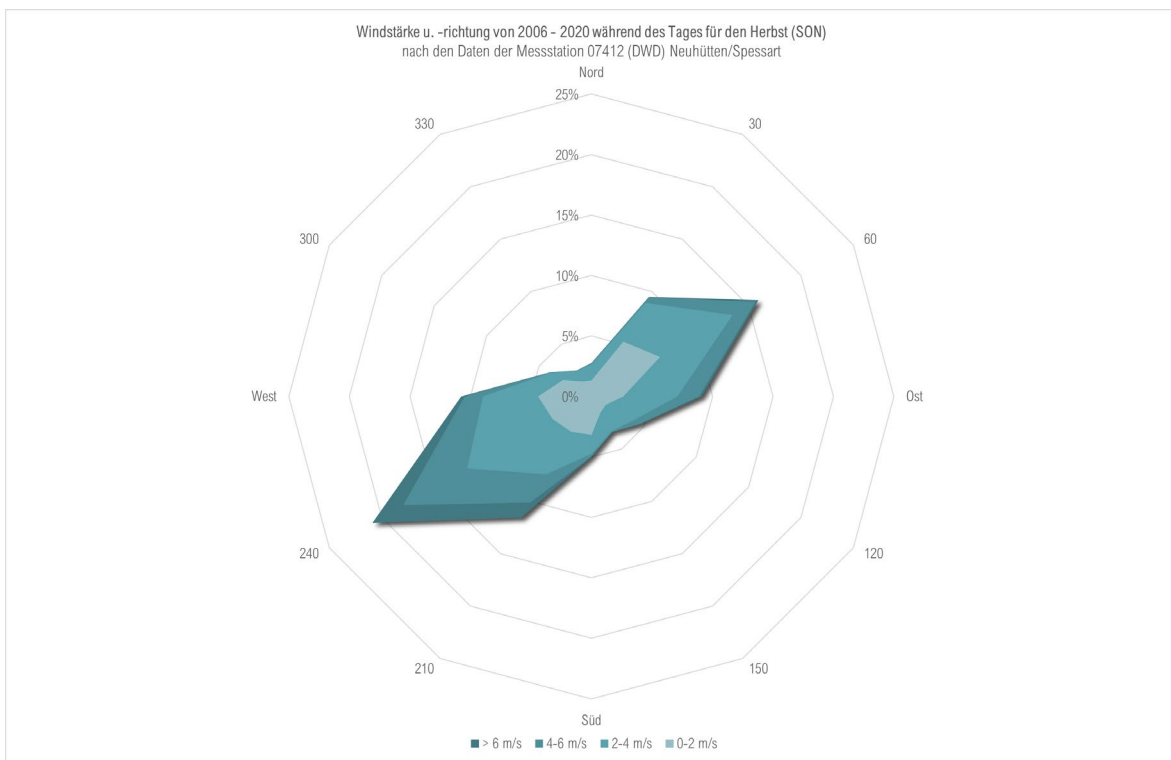


Diagramm 11: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Herbst. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten

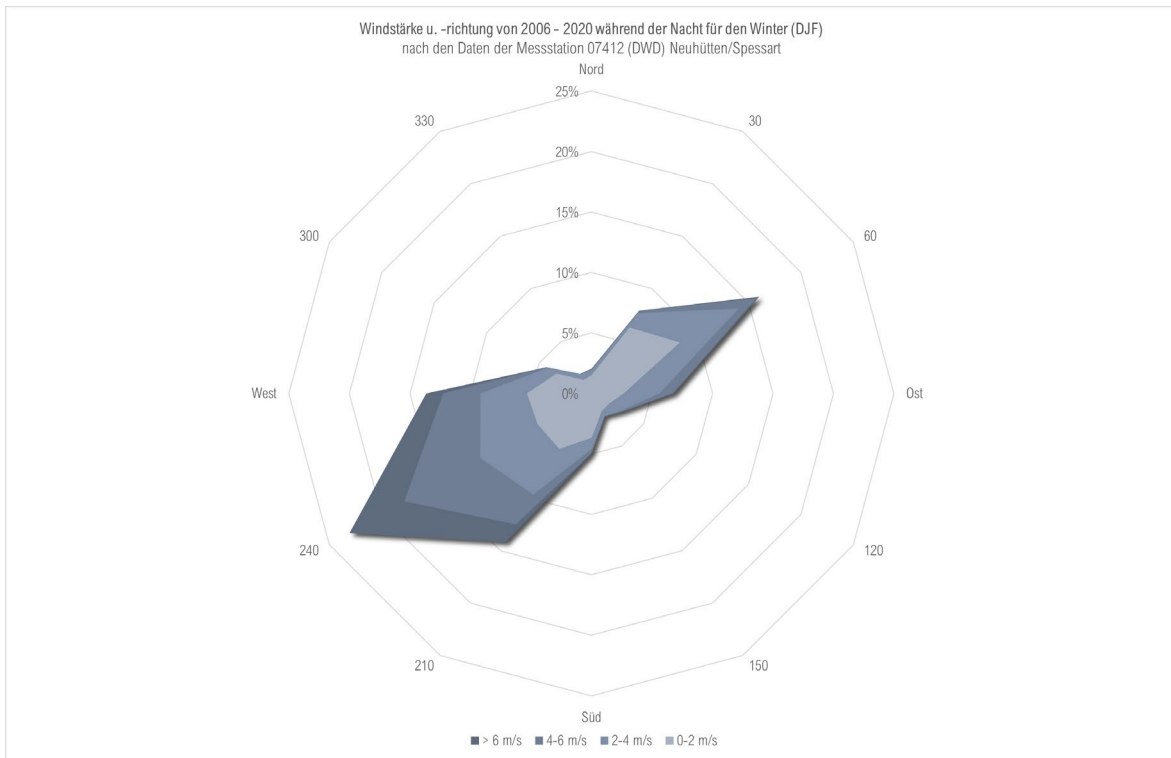


Diagramm 12: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Winter. Die Hauptanströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten

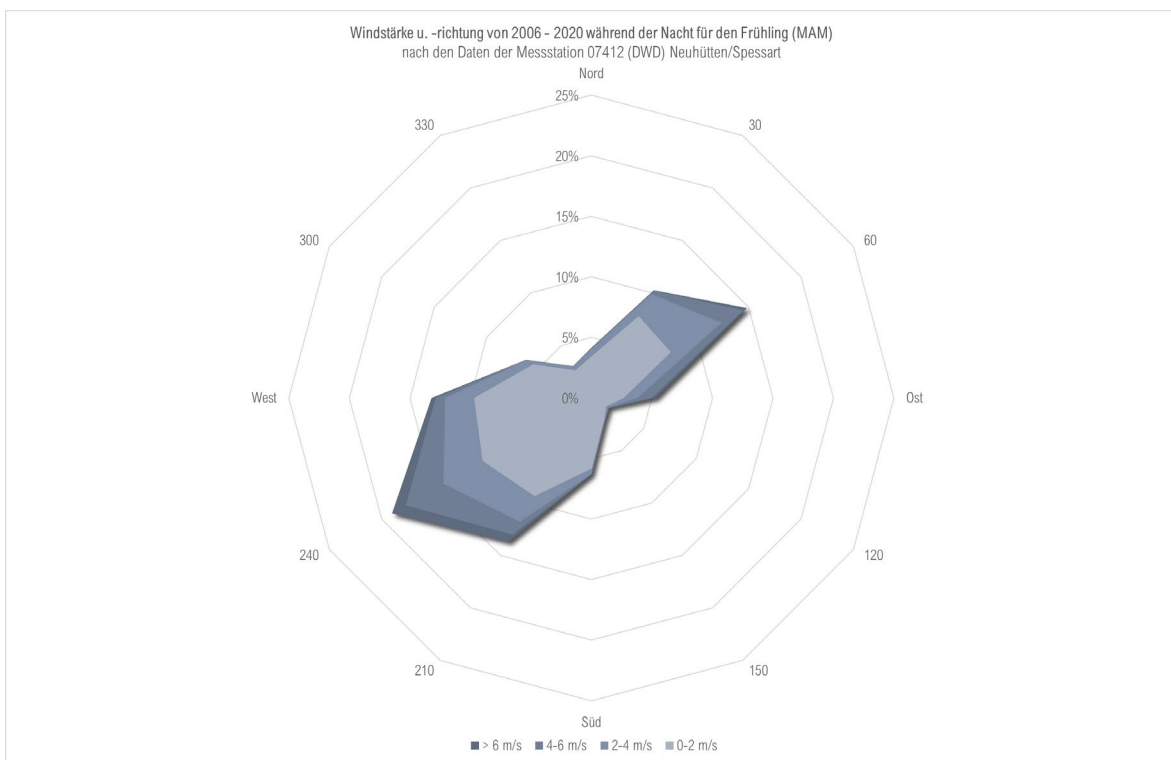


Diagramm 13: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Frühling. Die Hauptanströmungsrichtung ist Süd-West mit West und Süd-Südwest sowie Ost-Nordostkomponenten



Diagramm 14: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Sommer. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-Südwest mit Süd-West und leichten Nord-Ost-komponenten

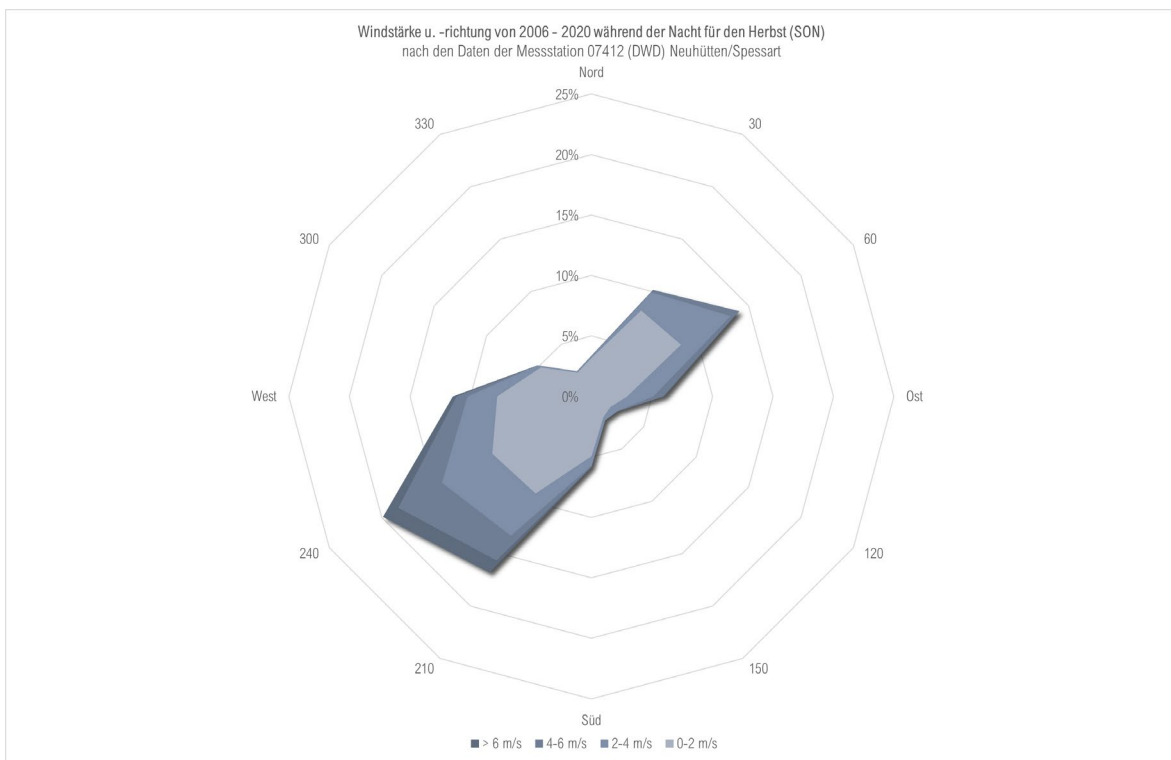


Diagramm 15: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Herbst. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit Süd-Südwest und leichten Ost-Nordost-komponenten

Jahresaktuelle Daten zur Anströmung und Windgeschwindigkeit direkt für Lohr a.Main können dem Global Wind Atlas entnommen werden. Für eine Zelle von 9km² um den Stadtkern von Lohr werden diese Informationen auch für unterschiedlichen Höhen abgerufen werden. Die ganzjährige Durchschnittsgeschwindigkeit für Lohr a.Main auf 10 m (1,84 m/s) und auf 50 m (3,57 m/s) Höhe wird in Abbildung 21 und die

ganzjährige Anströmung (bezogen auf die Windrichtung) in Abbildung 22 dargestellt. Süd-West mit West (partiell Süd-Südwest) als Hauptanströmung mit einer zusätzlichen Anströmung aus Osten und Ost-Nordost werden als akkumulierte Anströmungsrichtungen im Jahresgang ausgegeben. Diese Ergebnisse bestätigen bzw. stützen die detaillierteren Auswertungen der DWD-Station Neuhütten/Spessart.

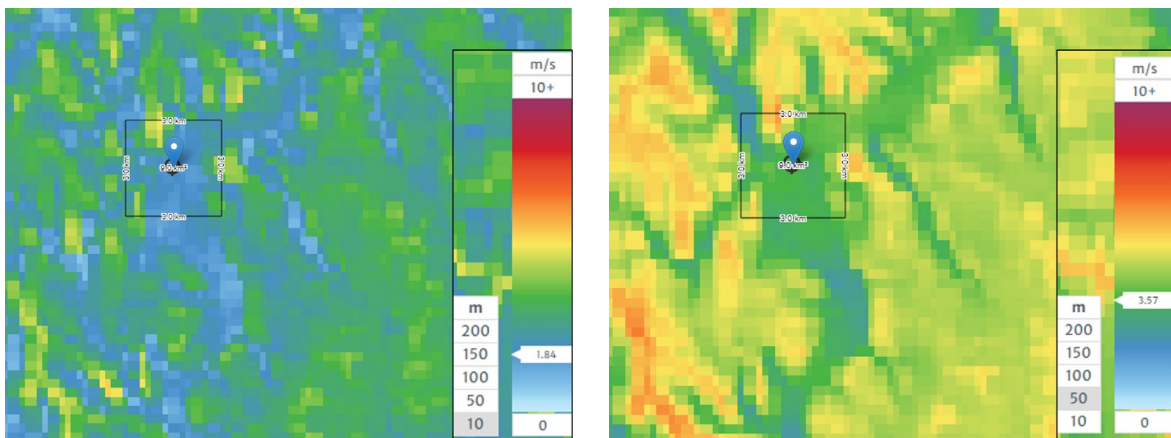


Abbildung 22: Übersicht zur ganzjährigen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 1,84 m/s bzw. 3,57 m/s in der Region Lohr a.Main (3 km x 3 km) auf einer Höhe von 10 m (links) bzw. 50 m (rechts) ü. Grund (GWA 2022). Deutlich ist der Verlauf des Main-Tals und der Zuflüsse zu erkennen. Diese Bereiche werden durch niedrigere Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet.

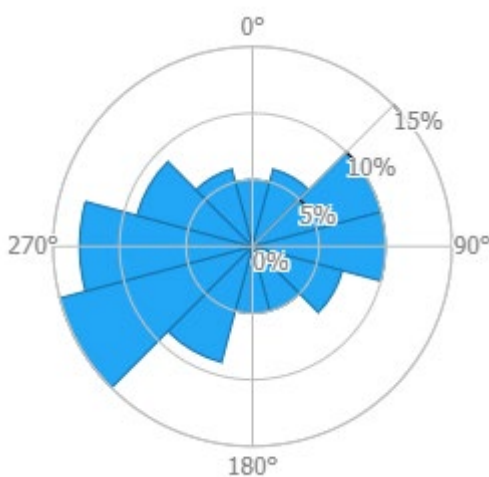


Abbildung 23: Darstellung der ganzjährigen Anströmung (nicht die Windstärke) auf einer Höhe von 10 m ü. Grund für Lohr a.Main (GWA 2022).

6 Bestand Lohr a.Main

Das nachfolgende Kapitel umfasst die Bestandsaufnahme zu unterschiedlichen Aspekten des Untersuchungsraums, die unmittelbar oder mittelbar einen Einfluss auf die klimatische IST-Situation der Stadt Lohr a.Main haben. Die unterschiedlichen Themenkarten (siehe Tabelle 13) bilden, neben bspw. den historischen Klimaanalysen, eine Grundlage für die Erstellung der Klimafunktionskarte (KFK). Zusätzlich ist aber auch eine individuelle Betrachtung bzw. Verwendung jeder Themenkarte möglich, da bezogen auf das Thema der Karte, fachliche Mehrwerte und Synergien generiert werden, die auch bei nicht-klimatischen Fragestellungen von ggf. nicht direkt involvierten Verwaltungsbereichen hilfreich bzw. aufklärend sein können.

Bezugnehmend auf den dargestellten Aspekt werden die Themenkarten in folgende vier Kategorien unterteilt

- Topographische Analysen,
- Bebauungs-Analysen,
- Vegetations-Analysen und
- Klimatische Analysen.

Jede Themenkarte verfügt über eine Kurzbeschreibung der Thematik, so dass sie auch ohne den Berichtsteil des Klimaanpassungskonzepts verständlich ist. Eine Vertiefung dieser Kurzbeschreibungen, erfolgt bei Bedarf in den einzelnen Unterkapiteln, zusammen mit einer beschreibenden Analyse des städtischen Gesamttraums sowie des Detailraums „Altstadt“.

Alle Karten inkl. Legende und Kurzerläuterung liegen zusätzlich in einem größeren A3-Format im zweiten Teil des Berichts „Karten- und Planwerke“ vor.

Tabelle 13: Übersicht zu den einzelnen Themenkarten in den entsprechenden Kategorien

KATEGORIE	THEMENKARTE
1 Topographische Analysen	Landnutzung Hangneigung und Hangrichtung Oberflächeneinzugsgebiete BlueSpots – Erfassung BlueSpots – Überschwemmungsrisiko nach Niederschlag BlueSpots – Tiefendarstellung
2 Bebauungs-Analysen	Bauliche und Räumliche Offenheit Bauvolumendichte Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte
3 Vegetations-Analysen	Vegetationserfassung Städtische Durchgrünung
4 Klimatische Analysen	Nächtliche Kaltluftschichtdicke und bodennahes Windfeld Bodennahe nächtliche Lufttemperatur

6.1 Topographische Analysen

6.1.1 Landnutzung

Die Themenkarte Landnutzung (siehe Abbildung 23) unterscheidet den Siedlungs- und Freiraum farbig-flächig hinsichtlich seiner Flächennutzung. Aus dieser Darstellung können sowohl Rückschlüsse auf die den Landnutzungsarten zugehörigen Bebauungsarten als auch auf deren räumliche Anordnung im Siedlungskontext abgeleitet werden. Gleichzeitig können unterschiedlichen Flächennutzungen verschiedene klimatische Aspekte bzw. Problematiken zugeordnet werden.

Das Basis-DLM beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat. Sein Informationsumfang orientiert sich am Inhalt der topographischen Karte 1:25 000. Grundlage ist hierbei ein bundesweit einheitliches Regelwerk. Die Landnutzungsklassifizierung basiert auf den aktuell vorliegenden Daten (Stand 2022) des Atkis Basis DLM.

Basierend auf der Landnutzungsklassifizierung können mit zusätzlichen Daten und Informationen weitere Analysen z.B. zum Durchgrünungsgrad einzelner Landnutzungsclassen (vgl. Kapitel 6.3.2) durchgeführt werden. Gleichzeitig dienen die Daten als Grundlage für die Simulation der nächtlichen Kaltluftproduktion und des -transportes (vgl. Kapitel 6.4.1).

Der Freiraum abseits der Siedlungsflächen besteht überwiegend aus Wald- und Gehölzflächen, während die Freiflächen in unmittelbarer Siedlungsnähe mitunter landwirtschaftlich genutzt und als solche der Kategorie „Offenland“ zugeordnet werden. Als größtes Fließgewässer des Untersuchungsraums durchzieht der in Richtung Nord-Süd verlaufende Main das Stadtgebiet, während schmalere Seitenarme des

Mains weitere Teile des Siedlungsraums durchqueren. Die Grünflächen der Stadt werden den Landnutzungstypen „Friedhof“ und „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“ zugeteilt. Der größte Friedhof („Hauptfriedhof Lohr am Main“) liegt südlich des Stadtzentrums zwischen Main und „Westtangente“; an die Gemeindeteile „Sendelbach“ und „Sackenbach“ gliedern sich wesentlich kleinere Friedhofsflächen an. Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen sind in groß- und kleinflächiger Ausprägung über das gesamte Gemeindegebiet verteilt, wobei sie sich insbesondere in nächster Umgebung des Mainufers ballen und dort mitunter zu größeren zusammenhängenden Grünflächen zusammenschließen.

Die Landnutzungstypen des bebauten Raums sind in insgesamt vier Kategorien ausdifferenziert: „Wohnbauflächen“, „Flächen gemischter Nutzung“, „Industrie- und Gewerbeflächen“ sowie „Flächen besonderer funktionaler Prägung“. Gemischt genutzte Flächen sind in Lohr a.Main nur in geringerem Umfang vertreten. Sie ballen sich insbesondere in der Altstadt und verteilen sich sonst auf kleinen Flächen punktuell über den Siedlungsraum. Ein Großteil des bebauten Raums wird hingegen durch Wohnbauflächen in Anspruch genommen. Gerade die umliegenden Gemeindeteile werden durch eine überwiegend lockere Wohnbebauung gekennzeichnet, welche punktuell durch andere Nutzungstypen durchsetzt werden. Ebenfalls große Teile des Siedlungsraums werden gewerblich- und industriell genutzt; hierzu zählt z.B. das „Industrie- und Gewerbegebiet Lohr Süd“ zwischen „Wombach“ und Main, das „Gewerbegebiet Nagelsee Nord“ nahe des Bahnhofs sowie das „Bosch Rexroth Werk 1“ im Norden der Innenstadt. Weitere Gewerbe- und Industrieflächen sind regulär direkt

an zentrale Verkehrsachsen wie die „Bundesstraße 26“ oder die „Bundesstraße 276“ angebunden. Einige Stadträume werden zudem dem Landnutzungstyp „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ zugeordnet; das Psychatriegelände an der „Westtangente“ sowie das Schulgelände an der „Jahnstraße“ sind großflächige Beispiele dieses Nutzungstyps, während auch kleinteiligere Stadträume im Gemeindegebiet durch ähnliche besondere funktionale Prägungen in Anspruch genommen werden.

Der Detailraum (siehe Abbildung 24) zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung; der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zur „Osttangente“, im Süden bis zum Gelände der Caritas und im Westen hin zur „Grafen-von-Rieneck-Straße“. Hinsichtlich der Landnutzung gestaltet sich der Stadtkern äußerst heterogen. Ein Großteil der Flächen innerhalb der Altstadt zählen zu den „Flächen gemischter Nutzung“; diese befinden sich hauptsächlich in direkter Nähe zur „Hauptstraße“ und der „Turm-“ bzw. „Lohrortstraße“, die den Stadtkern durchqueren. Wohnbauflächen befinden sich in zweiter Reihe hinter den Mischflächen, während sowohl Industrie- und Gewerbeflächen als auch Flächen besonderer funktionaler Prägung mit Ausnahme vereinzelter Einrichtungen eher am Rand des Stadtkerns gelegen sind. Der öffentliche Raum der Altstadt ist nahezu vollständig versiegelt, wobei der westliche Teil des Stadtkerns von Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen umschlossen wird.

Südlich der Altstadt nehmen die Wohnbauflächen gegenüber den anderen Landnutzungstypen zu. Entlang der „Vorstadtstraße“ im Süden und der „Ludwigstraße“ im Westen dominieren

dementgegen die Flächen gemischter Nutzung, während der nördliche Teil des Detailraums von den Industrie- und Gewerbeflächen „Bosch Rexroth Werk 1“ und den Sonderflächen des „Klinikums Main-Spessart Lohr“ umschlossen wird.



Abbildung 24: Landnutzung klassifiziert nach Atkis BasisDLM

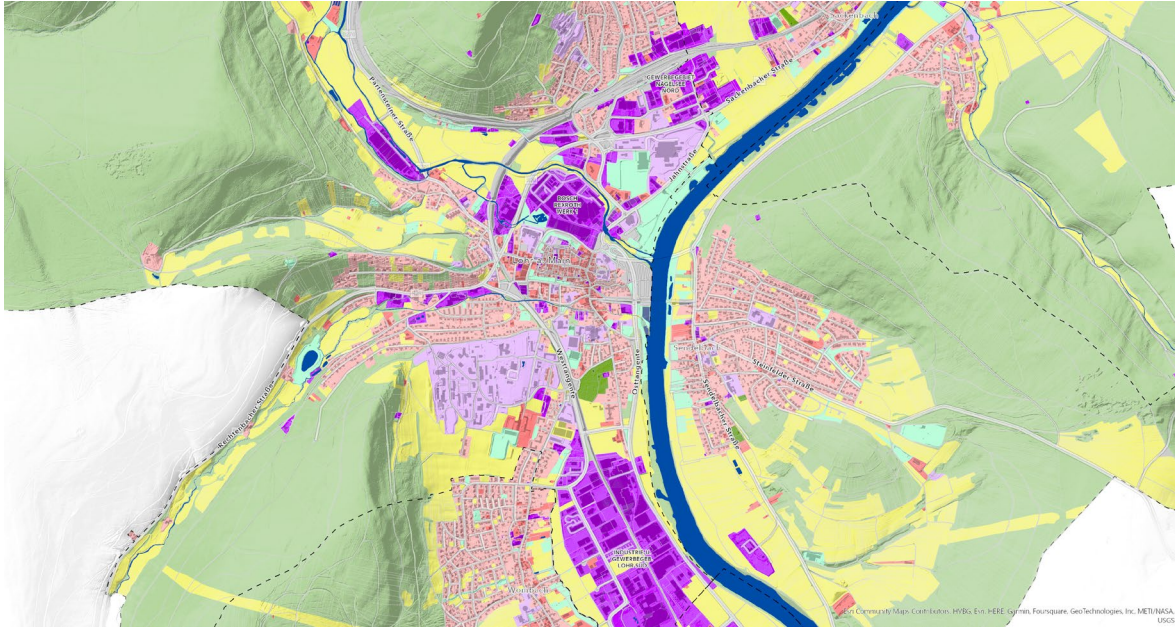


Abbildung 25: Auszug aus der Themenkarte "Landnutzung". „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ werden rosa- bzw. lachsfarben dargestellt, „Industrie- und Gewerbeflächen“ in dunklen violett. Mit hoher Vegetation bestandene Bereiche werden in unterschiedlichen Grüntönen und Offenlandbereiche gelblich wiedergegeben.

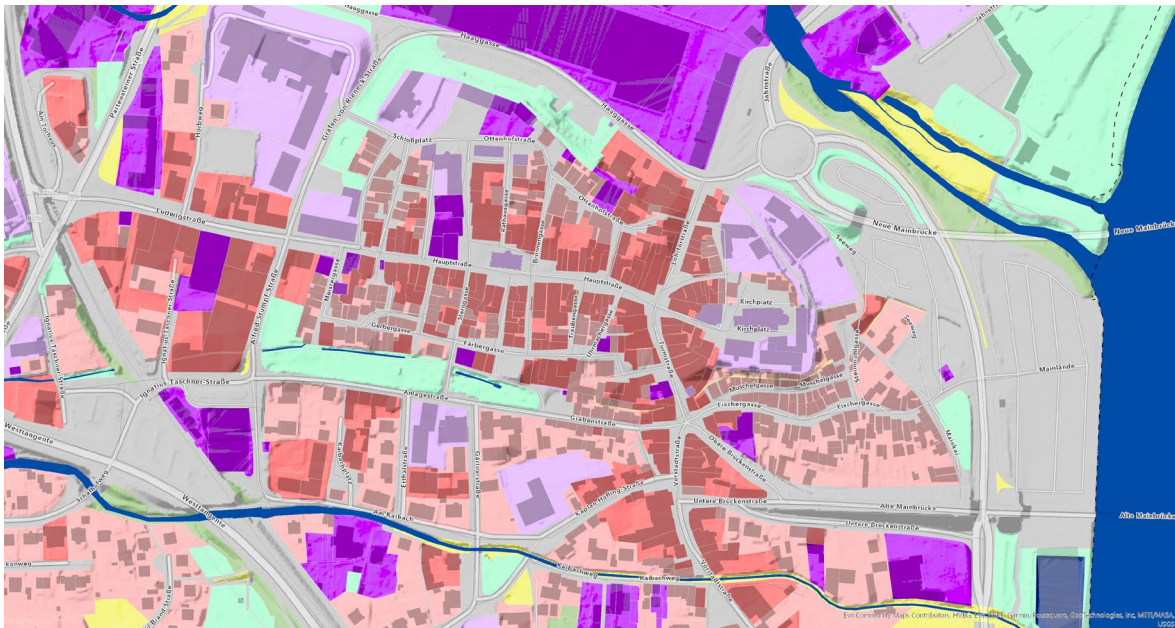


Abbildung 26: Detailansicht Themenkarte "Landnutzung" - Bereich "Altstadt". Zentral von West nach Ost verläuft die Ludwigstraße bzw. Hauptstraße durch „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“. Flächen „besonderer funktionaler Prägung“ (blass violett) repräsentieren i.d.R. kommunale Einrichtungen wie bspw. das Klinikum „Mai-Spessart Lohr“, der städtische Kindergarten oder die Grundschule. Vegetationsbezogene Flächen (Grüntöne) sind spärlich im Zentrum vorhanden, ein Streifen zieht sich entlang der „Anlagestraße“ / „Grabenstraße“, ein anderer südlich der „Haaggasse“ – gegenüber vom „Industrie- und Gewerbegebiet Bosch Rexroth“.

6.1.2 Hangneigung und Hangrichtung

Bei dieser Themenkarte (siehe Abbildung 25) werden die Aspekte Hangneigung und Hangausrichtung des gesamten Untersuchungsraums durch eine Kombination aus Farben und Farbinintensität dargestellt. Die unterschiedlichen Farben geben die Himmelsrichtung der Hangausrichtung an, während der prozentuale Neigungsgrad durch die zu- bzw. abnehmende Intensität der Farben gekennzeichnet wird. Relativ ebene Flächen, welche einer geringeren Hangneigung als 5 % aufweisen, werden neutral (grau) dargestellt. Als Datengrundlage dienen das DGM1 (Digitales Geländemodell 1 Meter Auflösung) sowie 3D-Laserscandaten des Untersuchungsraums.

Die Fließgewässer „Main“, „Rechtenbach“ und „Lohr“ durchschneiden die Ostausläufer des Mittelgebirges „Spessart“, wodurch das Gelände abseits der Bach- und Flussauen i.d.R. durch hohe Hangneigungen (>40 %) mit dem Gewässerlauf zugewandten Hangrichtungen geprägt ist.

Entlang dieser erweiterten fließgewässerbegleitenden Bereiche ist das Gelände durch ein flaches Relief geprägt. Diese Gebiete nehmen bspw. die Bundesstraßen 276 und 26, die je in nördlicher und westlicher Richtung von Lohr abgehen, auf, sowie große Teile des Siedlungskörpers.

Der Großteil der am Main gelegenen Siedlungsstrukturen befinden sich also auf als „relativ eben“ charakterisiertem Boden, d.h. die Hangneigung beträgt hier lediglich bis zu 5 %. In diesem Raum befindet sich u.a. die Stadtteile „Innenstadt/Altstadt“, „Steinbach“, der westliche Teil „Sendelbachs“ sowie die westlich des Main gelegenen Industrie- und Gewerbegebiete. Die Wohngebiete nordwestlich abseits des Mains

(z.B. „Lindig“, „Sackenbach“, westliche Teile Lohrs („Altstadt“)) sind mitunter durch starke Hangneigungen von >40 % geprägt. Der Stadtteil „Wombach“ charakterisiert sich durch einen milderen Geländeanstieg von 5 – 20 % in Richtung Westen; das Gelände fällt in diesem Sinne in Richtung des östlich gelegenen Mains ab. Das am östlichen Ufer des Mains gelegene Siedlungsgebiet „Sendelbach“ wird ebenfalls durch eine milde bis stark ausgeprägte Hangsituation geprägt.

Der Detailraum (siehe Abbildung 26) zeigt die „Altstadt“ und ihre unmittelbare Umgebung. Der Ausschnitt erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zur „Osttangente“, im Süden bis zum Gelände der „Caritas“ und im Westen hin zur „Grafen-von-Rieneck-Straße“. Der Innenstadtraum wird hinsichtlich des Geländeanstiegs überwiegend als „relativ eben“ (<5 %) charakterisiert. Die Altstadt selbst ist etwas höher gelegen als ihre unmittelbare Umgebung. Südlich der „Haaggasse“ steigt das Gelände zur Kernstadt hin stärker und nördlich der „Anlagestraße“ sowie östlich des „Kirchplatzes“ etwas milder an. In Richtung Main wird ein starker Hanganstieg zu beiden Seiten der „Ob. Brückenstraße“ verzeichnet, um das abfallende Gelände zum Flusslauf zu kompensieren. Im südlichen Teil des Fokusraums (südlich des „Kaibachs“) gestaltet sich das Relief generell etwas unebener als im nördlichen Teil. Das Gelände steigt hier überwiegend in Richtung Süden an. Vereinzelt Baukörper wie z.B. das „Caritas Seniorenzentrum St. Martin“ sowie die davon westlich gelegenen Schulkomplexe und das Gleisbett wurden vertieft angelegt und sind von entsprechenden kleinräumigen Geländeanstiegen gekennzeichnet.

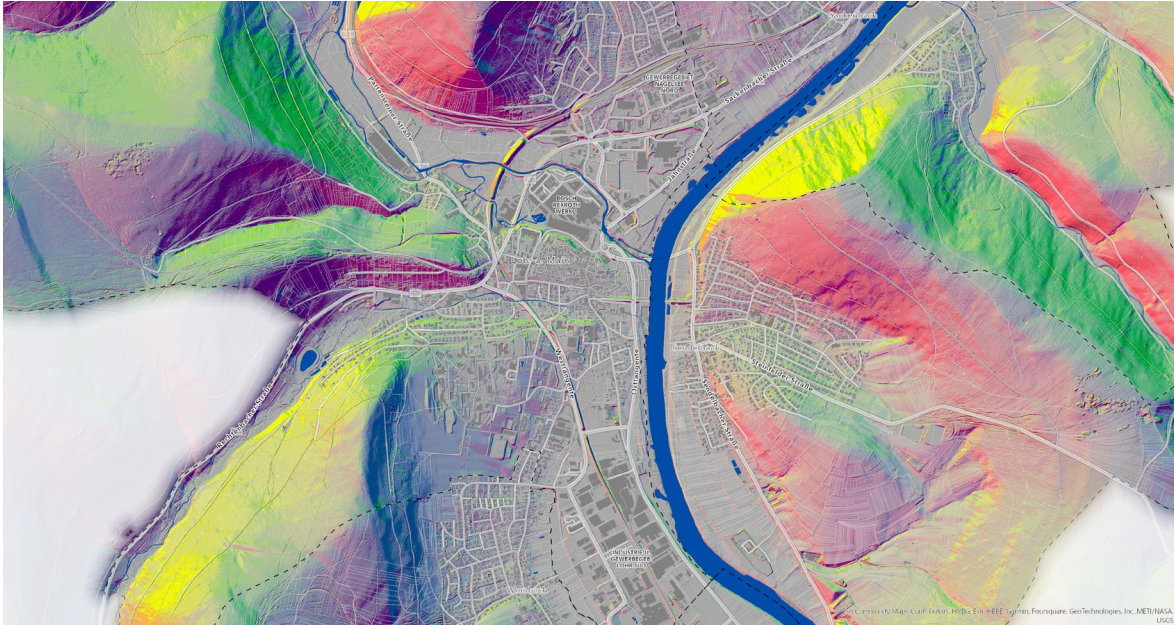


Abbildung 27: Auszug aus der Themenkarte "Hangneigung und Hangrichtung". Bei der kombinierten Darstellung werden über unterschiedliche Farben die Hangaussrichtungen (z.B. Norden = Grün oder Osten = Blau) und durch die Intensität der Farbe die Hangneigung in Prozent (5-20%, 20-40% und >40%) wiedergegeben.



Abbildung 28: Detailansicht Themenkarte "Hangneigung und Hangrichtung" - Bereich "Altstadt". Der Innenstadtraum zeigt sich relativ flach mit Hangneigungen < 5%. Steilere, aber kleinflächigere Geländebereiche finden sich in und um die vegetationsbestandenen Bereiche südlich der „Haaggasse“ sowie nördlich der „Anlagestraße“ und entlang des Bahndamms sowie der Fließgewässer.

6.1.3 Oberflächeneinzugsgebiete und Starkregen Gefahrenkarte (BlueSpot Analyse)

Oberflächeneinzugsgebiete (siehe Abbildung 27) stellen Räume dar, bei denen der Oberflächenabfluss den gleichen übergeordneten Abfluss besitzt. Zusätzlich kann ein Einzugsgebiet in mehrere Untergebiete unterteilt werden, die unterschiedliche direkte Abflusspfade besitzen, sich aber wieder in den übergeordneten Hauptabfluss vereinen. Für die vorliegende Übersichtskarte wurden nur Oberflächeneinzugsgebiete von einer Fläche von > 50ha verwendet. Zwei solche Einzugsgebiete teilen beispielsweise den Innenstadtraum von West nach Ost (siehe Abbildung 28).

Die BlueSpot-Analyse greift die Daten der berechneten Oberflächeneinzugsgebiete inklusive der Hauptabflüsse auf, wird in einer viel höheren Auflösung bzw. Kleinräumigkeit durchgeführt.

Als „BlueSpots“ (siehe Abbildung 27) werden große und kleine Mulden oder Senken im Gelände bezeichnet, die sich bei starken Regenfällen mit Niederschlagswasser füllen.

Die Analyse zur Identifikation der BlueSpots im Untersuchungsgebiet ist ein topologie- und hierarchiebasierter Berechnungsalgorithmus. Dabei werden auf Grundlage eines hochaufgelösten Geländemodells (Auflösung 1 m) die natürlichen Oberflächeneinzugsgebiete, Senken und Abflussregime identifiziert. Die Methode berücksichtigt nicht die ggf. vorhandenen Infiltrationsraten auf Vegetationsflächen oder Kanalabflüsse. Entsprechend stellt das Ergebnis eine „Worst-Case“-Situation vor dem Hintergrund eines maximalen Niederschlags bis 100 mm pro m² dar. Je nach Niederschlagsmenge entstehen im Modell „Spillover-Effekte“ die ein „Überlaufen“ des jeweiligen BlueSpots (der Geländesenke)

beschreiben. Geschieht dies, werden die Wassermengen des „Spillover“ entsprechend der Abflussachsen an den nachfolgenden BlueSpot weitergegeben. Hierbei handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess, wodurch ein „Überlaufen“ eines BlueSpots immer abhängig von seiner Aufnahmekapazität, der aktuellen Regenmenge und dem „Spillover“-Input aus anderen BlueSpots bestimmt wird.

In der ersten Analysekarte (siehe Abbildung 29) werden zunächst die BlueSpots und Oberflächeneinzugsgebiete in Kombination mit der topographischen Ausprägung des Geländes und der damit verbundenen Abflussrichtung des Wassers dargestellt.

Das Relief des Untersuchungsgebiets gestaltet sich sehr heterogen: Der am Main gelegene Siedlungsbereich ist allseitig von Hängen umgeben, die insbesondere westlich des Mains stark ansteigen. Senken, in denen BlueSpots entstehen, befinden sich demnach vornehmlich im Talgebiet des Mains und somit im Siedlungsgebiet der Stadt Lohr a.Main verteilt. Das aus den Oberflächeneinzugsgebieten der Hänge stammende Wasser fließt mitunter in die innerhalb des mainnahen Stadtgebiets gelegenen BlueSpots ab. Während sich kleinflächige BlueSpots punktuell über das gesamte Siedlungsgebiet verteilen, entstehen die größeren BlueSpots insbesondere im und um das Industrie- und Gewerbegebiet „Lohr-Süd“, zu beiden Seiten des Mainufers und in den nördlich und südlich der „Lohr“ gelegenen Freiräumen und den daran angrenzenden Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“.

Jeder BlueSpot kann als eine Senke innerhalb eines Oberflächeneinzugsgebiets beschrieben werden, die in ihrer maximalen vertikalen Ausdehnung durch die Höhe des Überlaufpunktes

beschrieben wird. Dabei stellt der Überlaufpunkt die Höhe und den Ort dar, an dem ein BlueSpot „überläuft“ und so keine weiteres Wasservolumen in den BlueSpot aufgenommen werden kann, sondern über diesen Punkt entlang des topographischen Gefälles in den nächst niedrigeren BlueSpot abfließt.

Die zweite Analysekarte (siehe Abbildung 31) zeigt durch die farbliche Unterteilung der BlueSpots an, ab welcher Niederschlagsmenge der „Spillover-Effekt“ eintritt und mit entsprechenden Überschwemmungen zu rechnen ist. Diese Darstellung wird durch die dritte Analysekarte (siehe Abbildung 33) ergänzt, welche die BlueSpots hinsichtlich ihrer „Tiefe“ farblich voneinander abgrenzt. Die größeren BlueSpots um das Industrie- und Gewerbegebiet „Lohr-Süd“ herum sind relativ flach ausgeprägt ($< 0,5$ m), weshalb der „Spillover-Effekt“ bereits ab einer entsprechend geringen Niederschlagsmenge (20 – 30 mm) eintritt.

Innerhalb des Industrie- und Gewerbegebiets „Lohr-Süd“ variieren die BlueSpots in ihrer Fläche und Tiefe. Im südlichen Teil des Gebiets tritt bis zu Mengen von 100 mm Niederschlag pro m^2 kein „Spillover-Effekt“ ein; die Tiefe beträgt an dieser Stelle $< 0,5$ bis 2 – 3 m. Im mittleren Teil des Gewerbegebiets tritt der „Spillover-Effekt“ bereits ab 40 – 50 mm und im nördlichen Teil ab 70 mm Niederschlag ein. Das überlaufene Wasser sammelt sich primär im „Sandgraben“, der zwischen „Lohr-Süd“ und dem Stadtteil „Wombach“ entlangfließt. Entlang des Mains fließen die BlueSpots ab Niederschlagsmengen über (20 – 30 mm) entlang des entsprechenden Abflussregimes ab. Der westlich an die „Osttangente“ anliegende BlueSpot, der stellenweise bis an die nahegelegenen Wohngebiete vorstößt, wird ähnlich des im südlichen

Gewerbegebiet gelegenen BlueSpots der Kategorie „kein Spillover“ zugeordnet – hier wird mitunter eine Senkentiefe von bis zu 1,25 m erreicht. In dem Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“ nördlich der Kernstadt betragen die BlueSpot Tiefen überwiegend $< 0,5 - 0,75$ m. Hier tritt der „Spillover-Effekt“ ebenfalls zu unterschiedlichen Zeitpunkten bzw. Niederschlagsmengen ein. Während die BlueSpots nördlich der in den Main einmündenden „Lohr“ größtenteils ab 20 mm Niederschlag überlaufen und nur stellenweise als „kein Spillover“ kategorisiert werden, tritt letzteres sowie ein einsetzender Spillover-Effekt ab 80 – 90 mm bei den BlueSpots südlich der „Lohr“ häufiger auf.

Der Detailraum (siehe Abbildung 30, Abbildung 32 und Abbildung 34) zeigt die „Altstadt“ und ihre unmittelbare Umgebung. Der Bereich erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. In der Altstadt gibt es nur eine geringe Anzahl kleinerer BlueSpots, z.B. am „Kirchplatz“ und nahe der „Rathausgasse“. Hierbei handelt es sich um flache Senken ($< 0,5$ m), die ab einer Niederschlagsmenge von ca. 20 – 30 mm ihren Überlaufpunkt erreichen. Das überlaufene Wasser fließt nach Eintreten des „Spillover-Effekts“ je nach räumlicher und topographischer Lage in den „Kaibach“ oder die am nächsten gelegenen größeren BlueSpots ab. Um die Kernstadt herum, beispielsweise zwischen der „Haaggasse“ und dem nördlich gelegenen Gewerbegebiet und zwischen „Turmstraße“ und „Osttangente“, bilden sich dementsprechend vereinzelte klein- und mittelgroße BlueSpots, die mitunter aus dem

überschüssigen Wasser der in der Altstadt gelegenen Senken gespeist werden.

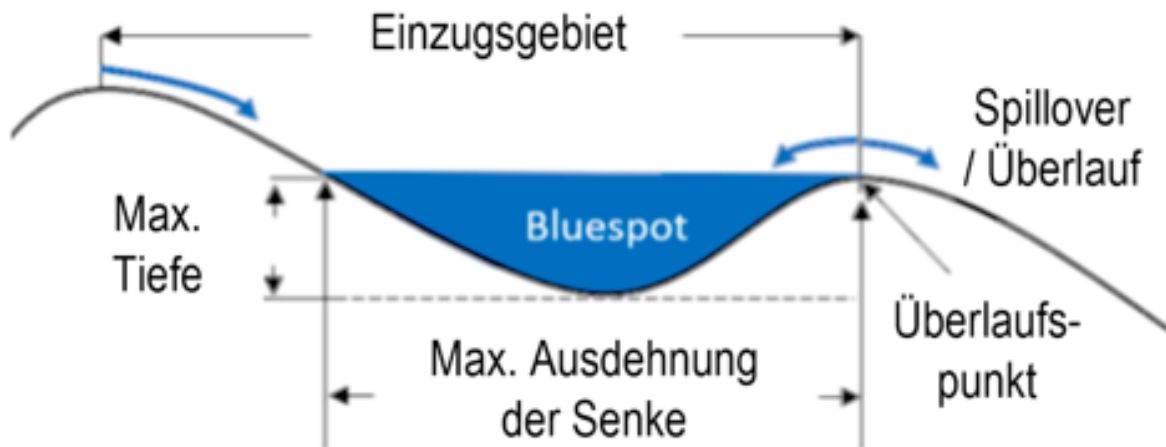


Abbildung 29: Schematische Darstellung eines BlueSpots

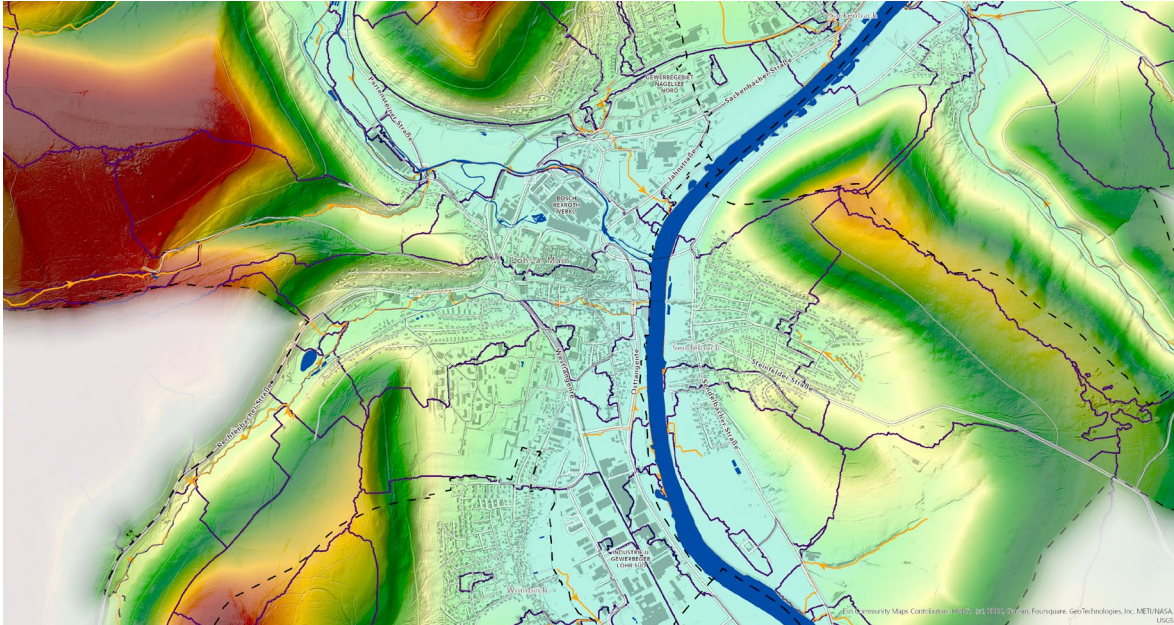


Abbildung 30: Auszug aus der Themenkarte "Oberflächeneinzugsgebiete". Die Grenzen der Oberflächeneinzugsgebiete mit einer Ausdehnung von > 50ha werden in violett dargestellt. Die „Hauptabflüsse“ aus den Einzugsgebieten über orange Linien, deren Fließrichtung über Pfeile angezeigt wird. Im Hintergrund werden zusätzlich die Geländehöhen unterschiedlich farblich abgesetzt. Es wurden nur „Einzugsgebiete“ und „Abflussregime“ für Ausdehnungen > 50ha dargestellt.

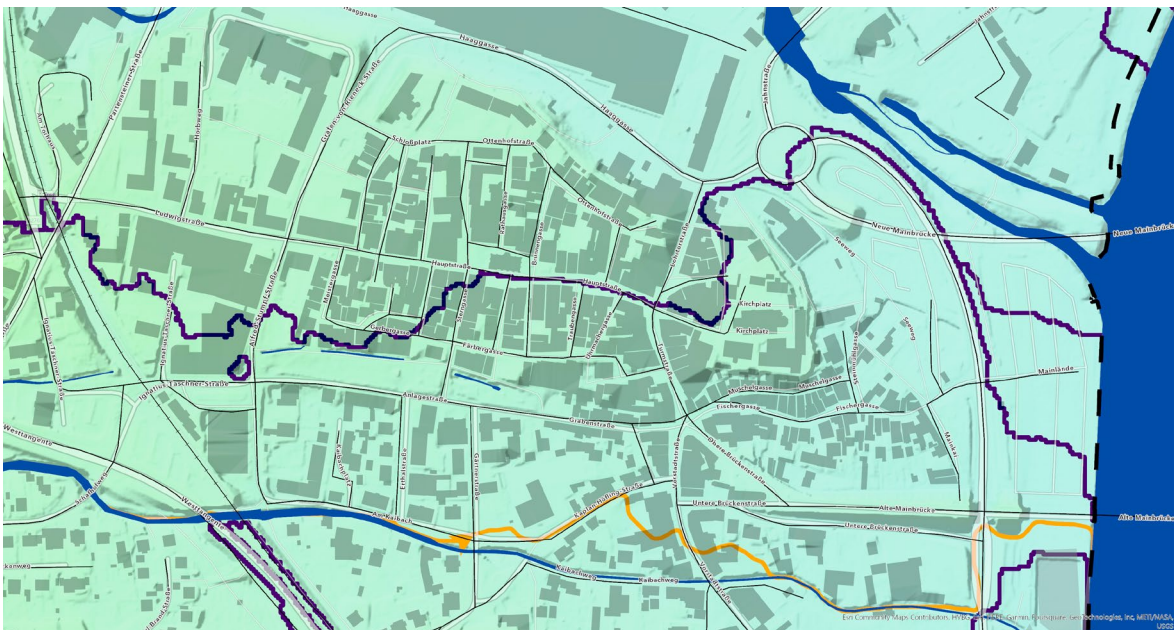


Abbildung 31: Detailansicht Themenkarte "Oberflächeneinzugsgebiete" - Bereich "Altstadt". Der Innenstadtbereich teilt sich in zwei große „Oberflächeneinzugsgebiete“, deren Grenze von West nach Ost leicht nördlich der „Anlagestraße“ verläuft und im Bereich der „Sternstraße“ weiter nach Norden auf die „Hauptstraße“ springt. Dieser folgt die Grenze nach Osten, um vor dem Kirchplatz rechtwinklig nach Norden abzuknicken. Der einzige in diesem Bereich vorhandene „Hauptabfluss“ folgt dem „Kaibach“, mit Ausnahme im Bereich der „Kaplan-Höfling-Straße“, Richtung Main.

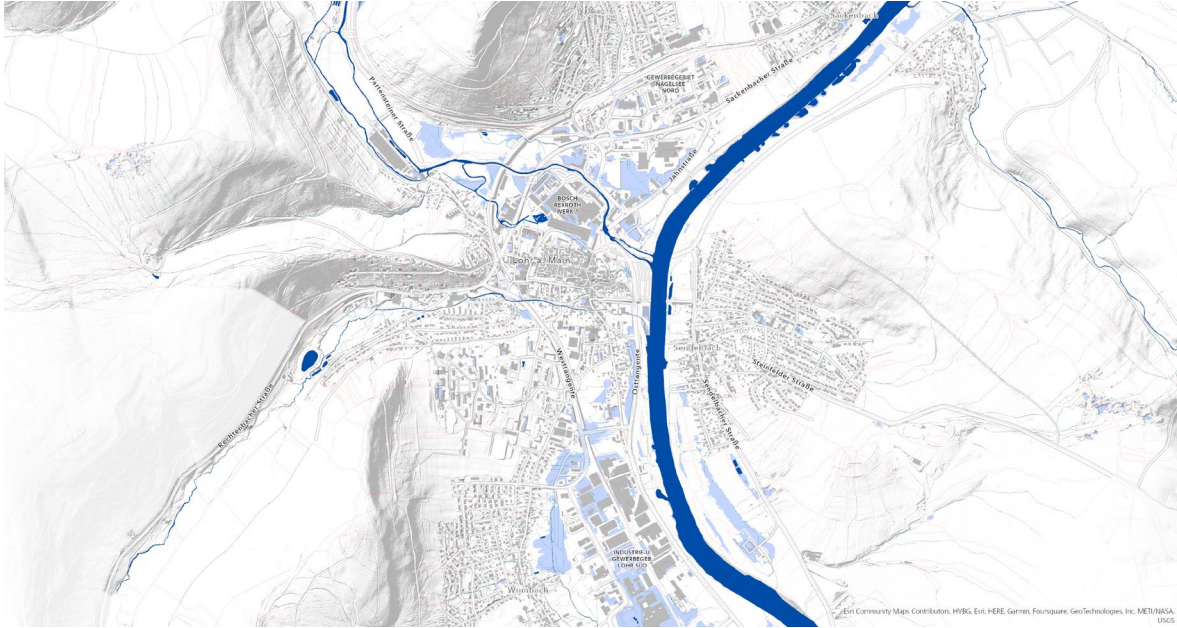


Abbildung 32: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | BlueSpot - Erfassung". Identifizierte BlueSpots (Niederschlag bis 100mm innerhalb 24Std.) werden in hellblau dargestellt.



Abbildung 33: Detailansicht Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | BlueSpot - Erfassung" - Bereich "Altstadt". Identifizierte BlueSpots werden in hellblau dargestellt, Oberflächeneinzugsgebiete mit hellroten Grenzen und die zugehörigen Abflüsse mit Richtungsangabe mit grünen Linien. Ein größerer BlueSpot im Innenstadtbereich bildet sich im östlichen Teil der „Haaggasse“, der Richtung Norden entwässert sowie im Bereich des Parkplatzes „Seeweg“, dessen Entwässerung der Osttangente folgt.

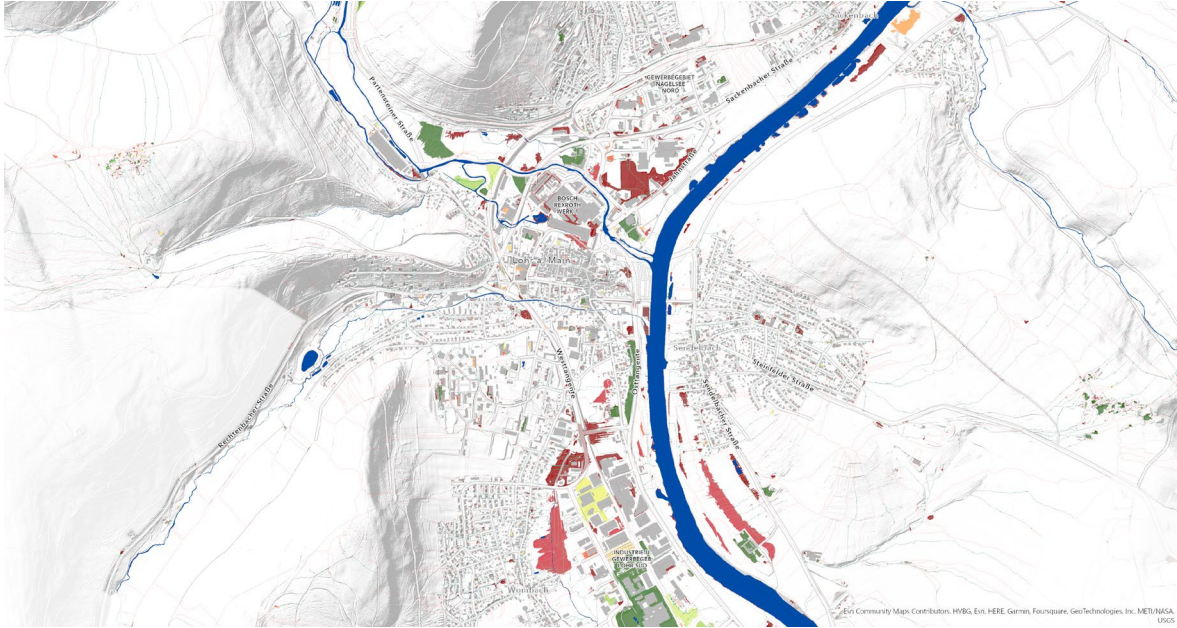


Abbildung 34: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Überschwemmungsrisiko nach Niederschlagsmengen". Farbliche Darstellung der Niederschlagsmengen, ab wann ein Überlaufen des BlueSpots stattfindet. Dunkelrote Flächen laufen bereits nach einem Eintrag von > 20mm Niederschlag über, während bei dunkelgrüne Flächen kein „Spillover“ stattfindet.

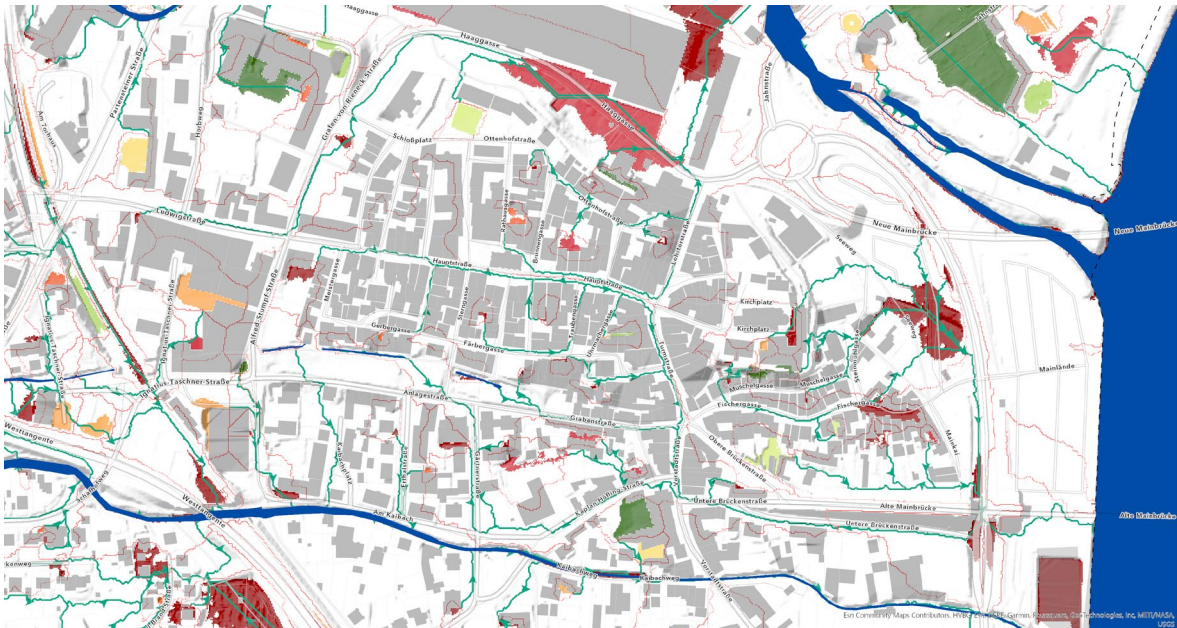


Abbildung 35: Detailansicht Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Überschwemmungsrisiko nach Niederschlagsmengen" - Bereich "Altstadt". Die beiden größeren BlueSpots – östliche „Haaggasse“ und Parkplatz „Seeweg“ – laufen bereits ab 30mm bzw. 20mm Eintrag über und entwässern entsprechend ihrem Abfluss.

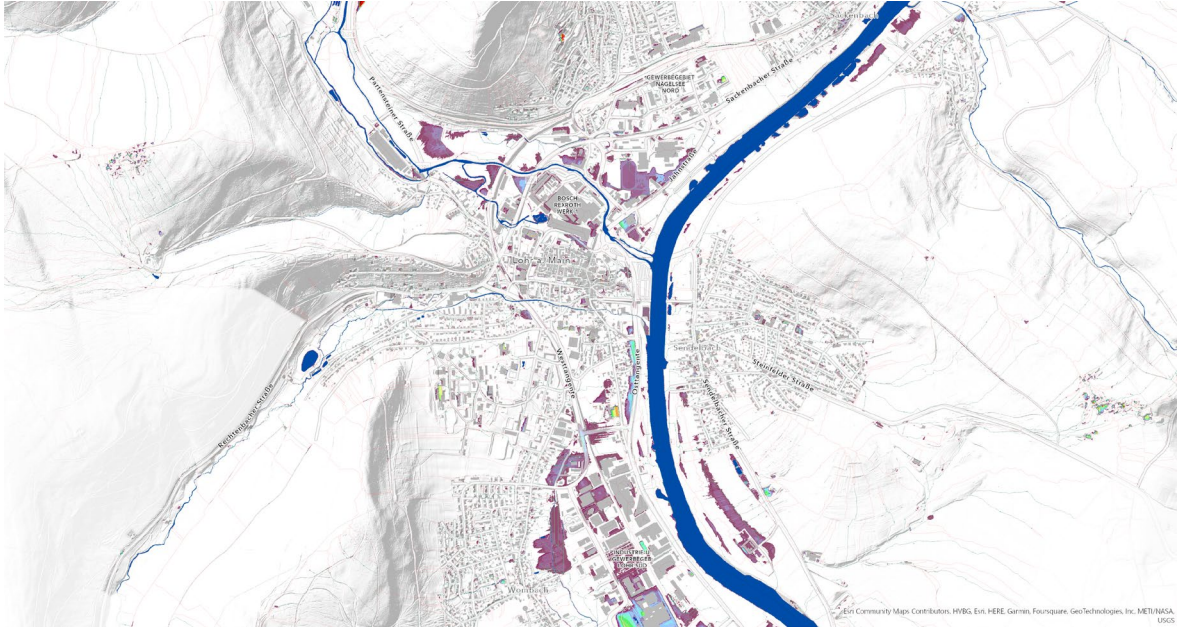


Abbildung 36: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Tiefendarstellung". Farbliche Darstellung der identifizierten BlueSpots hinsichtlich ihrer Tiefe. Violette BlueSpots sind eher flacher ($< 0,25\text{m}$) während rote BlueSpots Tiefen bis 12m erreichen (i.d.R. Steinbrüche o.ä.).



Abbildung 37: Detailansicht Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Tiefendarstellung" - Bereich "Altstadt". Die meisten im Innenstadtbereich identifizierten BlueSpots weisen geringe Tiefen von bis maximal $0,75\text{m}$ auf. Größere Tiefen stellen sich punktuell im Zusammenhang mit der vorliegenden Bebauung ein, bspw. im Eingangsbereich des „Klinikums“, nördlich der „Muschelgasse“ oder östlich der „Uhrmachergasse“ ein.

6.2 Bebauungs-Analysen

6.2.1 Bauliche und räumliche Offenheit (SkyView Factor)

Die bauliche und räumliche Offenheit kann mit Hilfe des SkyView Factors (SVF – siehe Abbildung 37) beschrieben werden. Der SVF misst den Grad der Offenheit gegenüber dem Himmel. Es ist ein dimensionsloser Wert, der zwischen Null (vollständige Geschlossenheit) und Eins (völlige Offenheit des Himmels) liegt. Der SVF ist ein Maß, das zum besseren Verständnis der Beziehung zwischen den Parametern wie der Hitzinsel, Luftverschmutzung, Wärme und Energieaustausch in städtischen Umgebungen beiträgt.

Die Offenheit des Freilands um Lohr a.Main herum wird stellenweise durch die topographische Situation des Geländes beeinträchtigt. Da dieses insbesondere durch die Hänge zu beiden Seiten des Mains und der anderen Fließgewässer gekennzeichnet ist, ergeben sich auch abseits aller Siedlungsstrukturen SVF-Werte, die entsprechend der Ausrichtung der Hänge und Täler vom Wert 1 (völlige Offenheit des Himmels) abweichen. In der Nähe des Siedlungsraums zählen neben dem Relief auch bauliche Strukturen zu den Faktoren, die den SVF-beeinflussenden. Die Bebauungsdichte hängt vor diesem Hintergrund direkt mit der baulichen und räumlichen Offenheit zusammen. Im Gegensatz zur „Altstadt“ ist die Bauweise des restlichen Stadtgebiets recht aufgelockert.

Der SVF wird in den Wohn- und Mischgebieten daher sowohl in direkter Nähe zu einzelnen Gebäuden als auch dort beeinträchtigt, wo sich mehrere Gebäude auf engem Raum ballen. Dies ist u.a. in „Sendelbach“ entlang der „Sendelbacher Straße“, in „Wombach“ entlang der „Wombacher Straße“ und in „Sackenbach“ entlang der

„Pfingstgrundstraße“ der Fall. Der SVF erreicht hier Werte von bis zu ca. 0,1, was einer 10-prozentigen Offenheit des Himmels gegenüber dem Freiland entspricht. Auch zwischen den eng aneinander stehenden, mitunter hohen Gebäuden in den Gewerbe- und Industriegebieten (südlich der Altstadt, zwischen Main und Wombach) ist der SVF reduziert (siehe Abbildung 38).

Der Detailraum (siehe Abbildung 39) zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zur „Osttangente“, im Süden bis zum Gelände der Caritas und im Westen hin zur „Grafen-von-Rieneck-Straße“. Die „Altstadt“ sticht im gesamtstädtischen Kontext negativ hervor, da der SVF hier weitflächig sehr stark eingeschränkt wird. Dies ist auf die hohe Bebauungsdichte in Zusammenhang mit der oft geringen Weg- und Straßenbreite zurückzuführen. In der Altstadt wird die bauliche und räumliche Offenheit punktuell weniger stark beeinträchtigt als im restlichen Altstadtbereich, am „Schlossplatz“ nördlich des Rathauses, dem „Kirchplatz“ an der „St. Michael“ sowie an einzelnen Kreuzungen von Seitenstraßen mit der „Hauptstraße“ und der „Oberen Brückenstraße“ nahe dem „Bayerturm“. Der südliche Bereich des Detailraums - unterhalb der „Anlage-“ und „Grabenstraße“ - ist von einer lockeren Bauweise geprägt, weshalb der SVF hier nicht so weitflächig eingeschränkt wird.



Abbildung 38: Prinzip des SkyView Factors

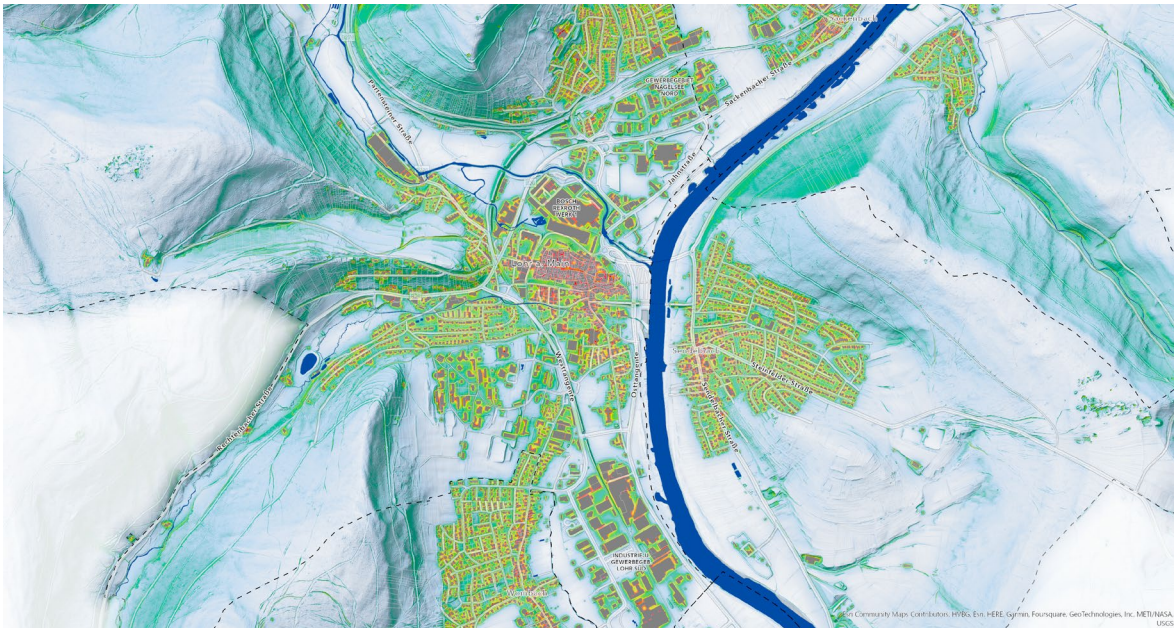


Abbildung 39: Auszug aus der Themenkarte "Bauliche und räumliche Offenheit". Der SkyView-Factor ist eine dimensionslose Größe und wird in Werten zwischen 0 und 1 wiedergegeben. Werte um den Bereich 1 (hellblau bis weiß) stellen eine baulich und räumliche Offenheit von fast 100% dar. Pink bis rot dargestellt Bereiche haben eine sehr niedrige baulich und räumliche Offenheit.



Abbildung 40: Detailansicht Themenkarte "Bauliche und räumliche Offenheit" - Bereich "Altstadt". Dieser Innenstadtbereich ist auf Grund seiner dichten Bebauung und schmalen Straßen bzw. Gassen von einem sehr niedrigen SVF (pink und rot) geprägt.

6.2.2 Bauvolumendichte

Über die Bauvolumendichte (siehe Abbildung 40) lassen sich Rückschlüsse auf die Baumassen und die bauliche Dichte der Gebäude innerhalb des Siedlungsraums zueinander ziehen. Die Analyse erfolgt auf Grundlage eines Rasters mit 1 m Auflösung. Entsprechend der Auflösung werden alle Gebäude in ein regelmäßiges Punktraster konvertiert. Bei der durchgeführten Berechnung der Punktdichte werden bei allen Punkten die Informationen der jeweiligen Gebäudehöhen sowie die Nachbarschaft in einem Umkreis von 50 m (um jede Rasterzelle) berücksichtigt. Die Bauvolumendichte ermöglicht somit die Interpretation des 3-dimensionalen bebauten Raums im Kontext der Nachbarschaft von Gebäuden, ihrer Volumina sowie des Freiraums der nicht überbauten Flächen.

In großen Teilen des Untersuchungsraums überwiegt eine geringe Bauvolumendichte, was insbesondere in den verschiedenen Stadtteilen Lohrs auf eine überwiegend lockere Bauweise zurückzuführen ist. Hier wird nur punktuell und zumeist in den Kernbereichen der Stadtteile eine mittlere bis hohe Bauvolumendichte verzeichnet, wie z.B. in „Sendelbach“ an der Kreuzung der „Sendelbacher-“ und „Steinfelder Straße“, in Wombach entlang der „Wombacher Straße“, in „Steinbach“ im Bereich der „Steinbacher Straße“ und in „Sackenbach“ südöstlich der Bahngleise. Gebäudekomplexe wie das „Krankenhaus für Psychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatische Medizin“ westlich der „Westtangente“ sowie großflächige Gebäudetypen, die etwa in Industrie- und Gewerbegebieten dominant sind, weisen ebenfalls mittlere bis (sehr) hohe Bauvolumendichten auf (z.B. das Industrie- und Gewerbegebiet „Lohr-Süd“, Gewerbegebiet „Nagelsee Nord“ und „Bosch Rexroth“).

Der Detailraum (siehe Abbildung 41) zeigt die Innenstadt und ihre unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. Die Altstadt wird primär von einer mittleren Bauvolumendichte geprägt, welche sich in den Bereichen der entlang der „Hauptstraße“ gelegenen Blockbebauung weiter zu einer hohen Bauvolumendichte verdichtet. Entlang der „Anlagestraße“ und unterhalb des „Kaibachs“ wird der Raum von einer lockeren Bauweise und einer entsprechend geringen Bauvolumendichte geprägt, welche nur punktuell von höheren Werten durchzogen wird. Insbesondere die primär gewerblich genutzten Gebiete westlich der „Haaggasse“ sowie das im Norden an die Altstadt grenzende Gewerbegebiet weisen eine hohe Bauvolumendichte auf, was an deren eng beieinanderliegenden und großflächigen Gebäudekörper gekoppelt ist.

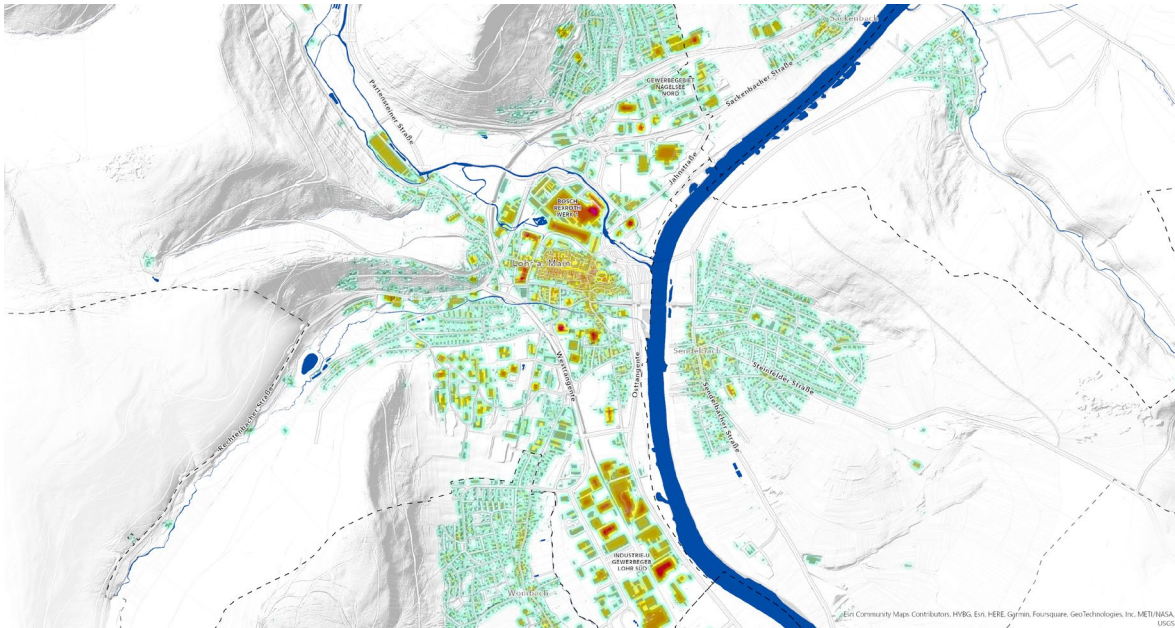


Abbildung 41: Auszug aus der Themenkarte "Bauvolumendichte". Die Bauvolumendichte beschreibt die Dichte der Bebauung im dreidimensionalen Raum. Eine hohe Bauvolumendichte wird in Pink- und Rot-Tönen dargestellt, während eine geringe Bauvolumendichte in Türkis-Tönen erscheint.

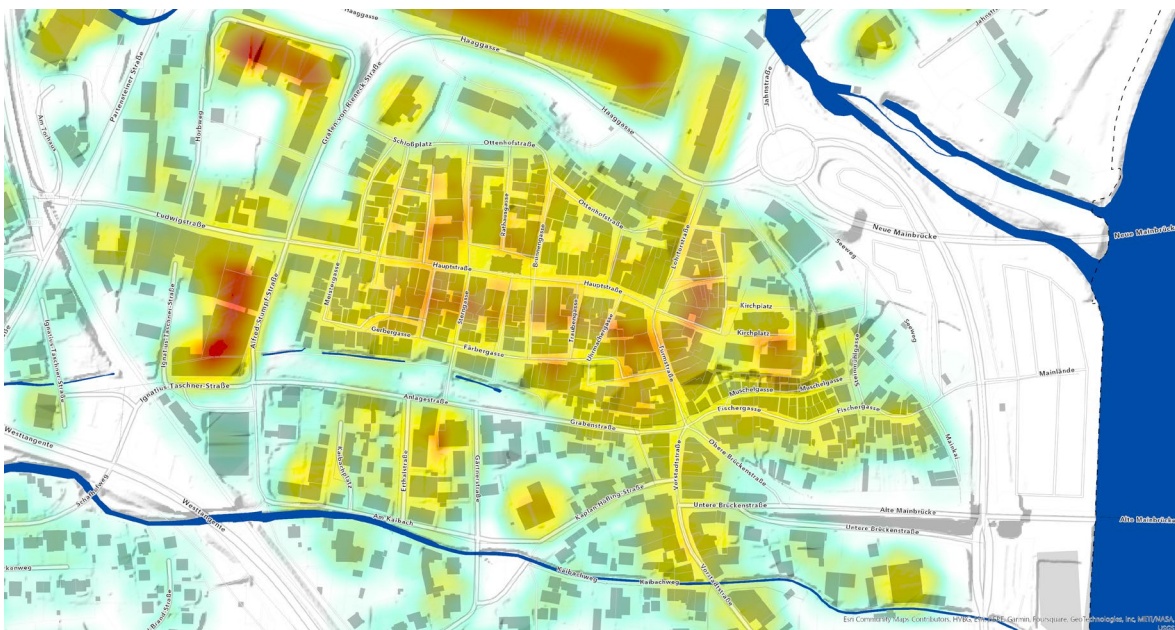


Abbildung 42: Detailansicht Themenkarte "Bauvolumendichte" - Bereich "Altstadt". Generell herrscht im bebauten Innenstadtbereich eine mittlere Bauvolumendichte (Gelb-Töne), die beispielsweise im Bereich der „Alfred-Stumpf-Straße“, des „Klinikums“ und den Hallen des Gewerbegebiets „Bosh Rexroth“ in eine hohe Bauvolumendichte umschlägt.

6.2.3 Grundflächenzahl zu Gebäudevolumendichte

Die kombinierte Ansicht zwischen den auf Grundlage des aktuellen (2022) Gebäudebestandes berechneten Größen der Grundflächenzahl (GRZ) und der Gebäudevolumendichte (GVD) ermöglicht die Interpretation des 3-dimensionalen bebauten Raums im Kontext der Nachbarschaft von Gebäuden, ihrer Volumina sowie der überbauten Fläche der Flurstücksebene (siehe Abbildung 43). Anhand der Grundflächenzahl (GRZ) wird festgelegt, wie viel Grundstücksfläche insgesamt überbaut werden darf: Je höher die GRZ, desto intensiver fällt die Blaufärbung aus. Die Gebäudevolumendichte (GVD), hier im orange-abgestuften Farbschema dargestellt, gibt dagegen Auskunft über den Grad der baulichen Dichte innerhalb des Untersuchungsgebiets. In der Ansicht werden diese beiden Maße miteinander kombiniert, weshalb auch die Farbabstufungen miteinander verschnitten werden: Die hellste Flächenfärbung weist auf eine geringe bauliche Dichte im Verbund mit einer nur in geringem Maße überbauten Fläche hin; dunkel werden dagegen Flächen mit einer hohen baulichen Dichte und einem hohen Überbauungsgrad eingefärbt. Die nach diesem Schema gemischten und abgestuften Farben (z.B. Hellblau, Dunkelorange) stehen für weitere Variationen des Verhältnisses von GRZ und GVD.

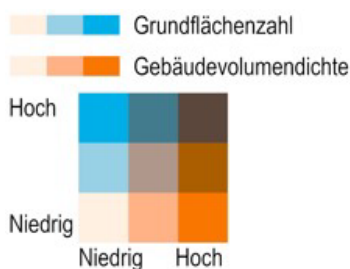


Abbildung 43: Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte

Insbesondere die „Altstadt“, das Bahnhofsgelände sowie Teile des nördlich daran angrenzenden Gewerbegebiets „Bosch Rexroth“ und des zwischen Main und „Wombach“ gelegenen Industrie- und Gewerbegebiets „Lohr Süd“ werden durch eine hohe GRZ und GVD gekennzeichnet. Die „Altstadt“ charakterisiert sich hierbei durch eng beieinanderliegende Grundstücksflächen von geringem Ausmaß, während die Flächen und Gebäudekomplexe der Industrie- und Gewerbegebiete deutlich größer sind. Abgesehen von diesen Gebieten zeichnet sich Lohr a.Main überwiegend durch geringe GRZ-Werte und variierende GVD-Werte aus. Die Grün- und Freiflächen zwischen den Stadtteilen und um diese herum sind dementsprechend hell eingefärbt; abseits der „Altstadt“ und der Gewerbegebiete, d.h. insbesondere in den Wohngebieten (z.B. in „Lindig“, „Wombach“, „Sackenbach“, „Steinbach“), ist die Gebäudevolumendichte regulär als „niedrig“ (weiß-orange) bis hin zu „mittel“ (hellorange) einzustufen. An vereinzelten Stellen nimmt die GFZ auch in den Wohngebieten zu. In „Sendelbach“ z.B. ist dies entlang der „Sendelbacher Straße“, in „Wombach“ entlang der „Wombacher Straße“ und in „Sackenbach“ entlang der „Pfungstgrundstraße“ der Fall.

Auf den Altstadtbereich (siehe Abbildung 44) wird im Folgenden näher eingegangen. Der Detailraum zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kai bach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. Die kleinteiligen Parzellen der Altstadt variieren primär zwischen hohen (Dunkelbraun) und einseitig mittleren GRZ- und GVD-Werten (Dunkelorange, Dunkelblau). Die öffentlichen

Flächen wie Straßenräume und Plätze charakterisieren sich in der Kernstadt auf Basis ihres Versiegelungsgrades durch eine mittlere bis hohe GRZ. Entlang der „Hauptstraße“ und der „Oberen Brückenstraße“ befinden sich ausschließlich Grundstücksflächen mit einer hohen GRZ und GVD sowie öffentliche Flächen mit einer hohen GRZ. Die äußeren Flächen der Kernstadt, welche nahe der „Haaggasse“ im Westen und der „Osttangente“ im Osten gelegen sind, haben

regulär eine mittlere bis geringe Gebäudevolumendichte. Südlich des „Kaibachs“ gestaltet sich die Verteilung der GRZ und GVD heterogener; hier befinden sich vermehrt vereinzelte und nahe beieinanderliegende Parzellen mit einer niedrigen GRZ und GVD, die im nördlichen Altstadtbereich eher auf die unbebauten Flächen nahe des Kreisels und der „Osttangente“ beschränkt sind.

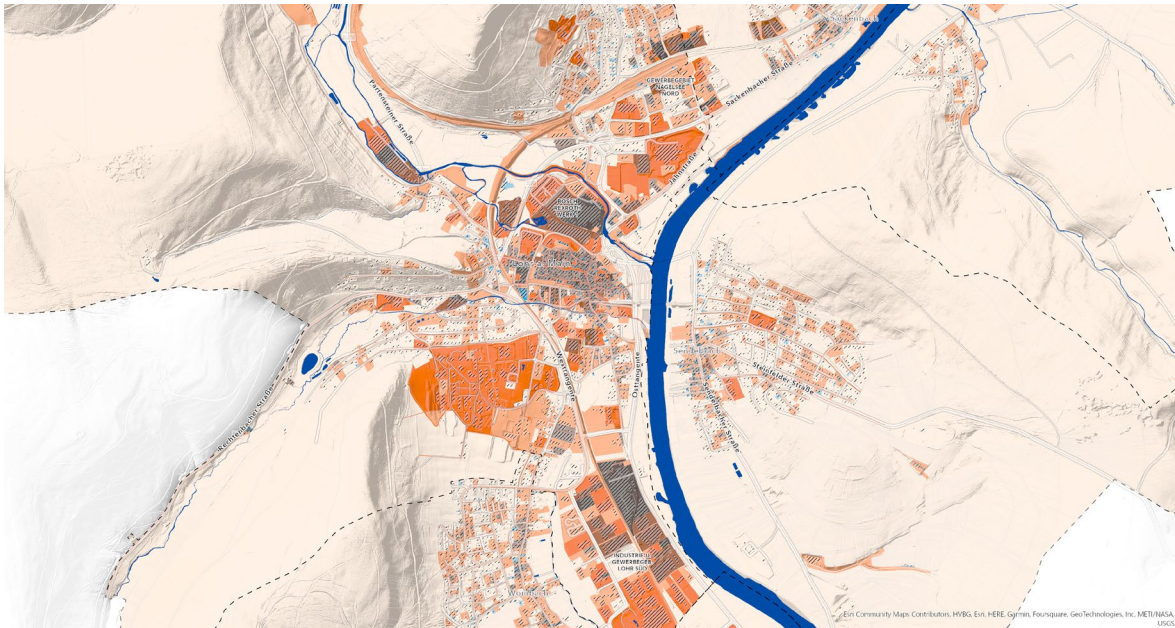


Abbildung 44: Auszug aus der Themenkarte "Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte". Die Grundflächenzahl (Blautöne) steht im Verhältnis zur Gebäudevolumendichte (Orangetöne).

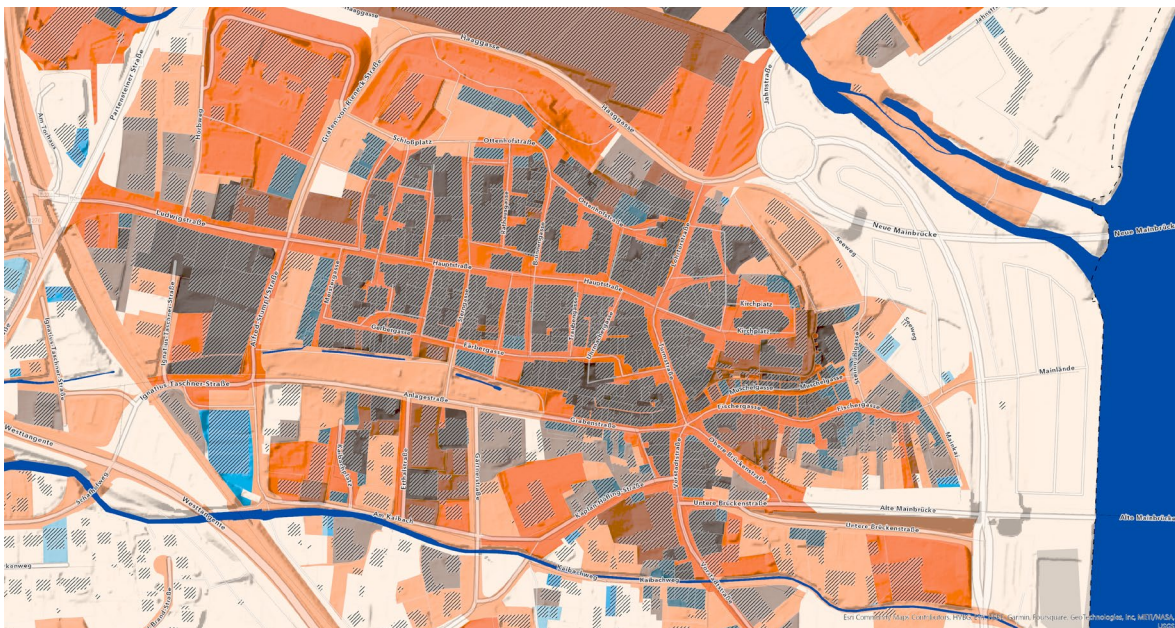


Abbildung 45: Detailansicht Themenkarte "Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte" – Bereich „Altstadt“. Die kleinteiligen Parzellen der Altstadt variieren primär zwischen hohen (Dunkelbraun) und einseitig mittleren GRZ- und GVD-Werten (Dunkelorange, Dunkelblau)

6.3 Vegetations-Analysen

6.3.1 Vegetationserfassung

Die Vegetationsstrukturen werden auf Grundlage aktueller (Stand: 2020) digitaler Luftbilddaufnahmen (Orthophotos) mit integriertem Nahinfrarotkanal bei einer räumlichen Auflösung von 20 cm dargestellt (siehe Abbildung 45). Dabei reflektieren „vitale“ Grünstrukturen im Nahinfrarotbereich stark, wodurch eine dezidierte Erfassung der Vegetation ermöglicht wird. Ergänzende Flächennutzungen, die nativ vegetationsdominiert sind (z.B. Offenlandstrukturen oder Parks) werden auf Grundlage der Atkis BasisDLM Flächennutzung dargestellt.

Der Außenraum der Stadt Lohr a.Main ist primär von Offenland geprägt. Über das Offenland hinaus wird der verbleibende Untersuchungsraum von Wald- & Gehölzflächen dominiert, welche mitunter direkt bis an den Siedlungsrandbereich der Stadt vorstoßen. Abhängig vom Versiegelungs- und Bebauungsgrad des städtischen Raums sind die Vegetationsstrukturen in der Stadt unterschiedlich stark ausgeprägt: Sowohl die zwischen der Bundesstraße 26 und dem Main gelegene „Altstadt“ als auch die Industrie- und Gewerbeflächen am westlichen Mainufer sind von einer hohen baulichen Dichte, einem hohen Anteil an versiegelten Flächen und einem dadurch bedingten Vegetationsdefizit geprägt.

Im südlichen Teil des Industrie- und Gewerbegebiets „Lohr-Süd“ und dem Gewerbe- und Industriegebiet nördlich der vom Main abzweigenden „Lohr“ werden einige der weiträumig versiegelten Flächen von zusammenhängenden Vegetationsbeständen und -flächen durchzogen. Die Wohn- und Mischgebiete des weiteren Siedlungsraums sind durch geringere Versiegelungsgrade und eine überwiegend lockere Bauweise

gekennzeichnet; bei den hier aufgenommenen Vegetationsbeständen handelt es sich primär um die kleinteiligen Grünflächen privater Grundstücke (z.B. in „Sendelbach“, „Wombach“, „Lindig“, „Sackenbach“). Insbesondere der Raum rund um das „Krankenhaus für Psychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatische Medizin“ (nördlich der Stadtteilgrenze „Wombachs“, im Westen der „Westtangente“) charakterisiert sich durch großflächige und zusammenhängende Vegetationsstrukturen, die nur geringfügig durch versiegelte Flächen durchzogen werden.

Der Detailraum (siehe Abbildung 46) zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. Die Vegetationsbestände dieses Bereichs können in dieser Ansicht detaillierter betrachtet werden. Das Gewerbegebiet im Norden zeichnet sich durch ein deutliches Vegetationsdefizit aus, was insbesondere auf die großflächige Flächenversiegelung zurückzuführen ist. Der kleinparzellige Kern- und Altstadtbereich ist insbesondere entlang der „Hauptstraße“ und der „Ob. Brückenstraße“ sowie um das Straßenkreuz nahe des „Bayerturns“ herum ebenfalls schwach durchgrünt. Im westlichen Altstadtbereich (nahe dem Rathaus) zieht sich eine Art grüner Gürtel zwischen der Innenstadt und der umliegenden Straße entlang. Der östliche Kernstadtbereich (östlich der „Ob. Brückenstraße“) sowie die Gebiete südlich der „Anlagestraße“ sind regulär von einer lockeren Bauweise geprägt und dementsprechend stärker durchgrünt als die Altstadt.



Abbildung 46: Auszug aus der Themenkarte "Vegetationserfassung". Zusätzlich zu den offiziellen vegetations-behafteten Nutzungsklassen des Atkis BasisDLM wurden vitale Vegetationsstrukturen über die Analyse von Nah-Infrarotluftbilder identifiziert, um das gesamte Grünvolumen des Untersuchungsraums zu erfassen.

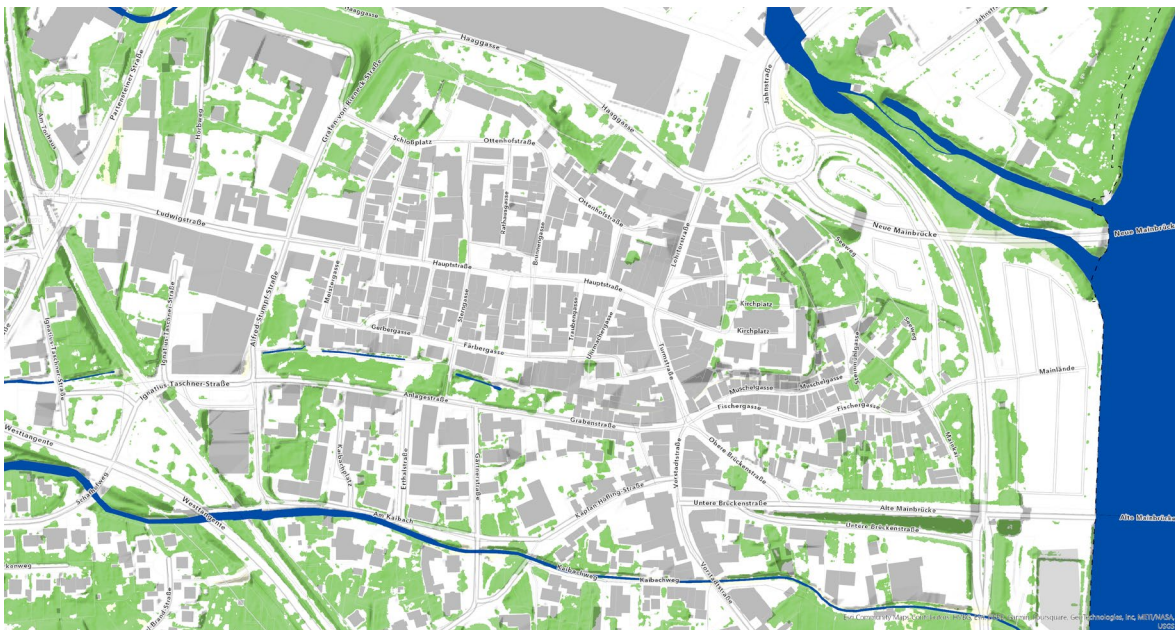


Abbildung 47: Detailansicht Themenkarte "Vegetationserfassung" - Bereich "Altstadt". Der kleinparzellige Kern- und Altstadtbereich ist insbesondere beidseits der „Hauptstraße“ sehr schwach durchgrünt. Das betrifft öffentliches Grün, wie auch das private Grün.

6.3.2 Städtische Durchgrünung

Die Themenkarte Durchgrünung (siehe Abbildung 48) zeigt parzellengenau den prozentualen Anteil des Vegetationsvorkommens in Relation zum Versiegelungsgrad der Fläche (siehe Abbildung 47).

Die Darstellung der Flächendurchgrünung basiert auf der räumlichen Verschneidung der Flurstücksdaten mit den erfassten Vegetationsstrukturen auf Grundlage der Luftbildauswertung. Dabei wird der prozentuale Anteil der Flächendurchgrünung ausschließlich für Flächen im Siedlungsraum dargestellt. Vegetationsdominierte Flächen im Außenbereich werden im Kontext der prozentualen Durchgrünung nicht aufgeschlüsselt. Die flächenhafte bzw. auf die Fläche projizierte Darstellung des Grads der Durchgrünung ermöglicht eine visuelle wie auch inhaltlich differenzierte Betrachtung des gesamten bebauten Raums.

Mit Ausnahme eines nur geringen Flurstückanteils wird der Außenraum des Untersuchungsgebiets mit 91 % - 100 % nahezu vollständig durchgrünt. Innerhalb des bebauten Raums nimmt der prozentuale Vegetationsanteil parallel zum Anstieg des Versiegelungsgrades ab. Entsprechend der Landnutzungstypologie wird aus der Darstellung des Durchgrünungsgrades ersichtlich, dass der prozentuale Vegetationsanteil in „Gewerbe- und Industriegebieten“ besonders schwach und auf „Wohnbau- sowie Sonderflächen“ generell mittelmäßig ausgeprägt ist. Hierbei ist zu beachten, dass sich der Durchgrünungsgrad innerhalb der Wohngebiete sehr unterschiedlich gestaltet: In „Sendelbach“, „Wombach“ und „Sackenbach“ liegen beispielsweise vereinzelte bebaute Parzellen mit einem hohen Vegetationsanteil von > 80% in direkter Nähe zu Parzellen mit einem ausgeprägten

Vegetationsdefizit (0% – 10%). Bei einem Großteil der Wohngebiete schwankt der Vegetationsanteil auf Flurstücksebene allerdings zwischen 21% - 70%, was unter anderem durch die geringe Grundstücksgröße bedingten hohen Anzahl an Flurstücken geschuldet ist.

Mit der Vegetationsverteilung innerhalb der „Industrie- und Gewerbegebiete“ verhält es sich im Kontrast zu den Wohngebieten deutlich homogener: Der Flächenversiegelungsgrad fällt auf den großflächigen Parzellen generell sehr hoch aus, wodurch weite Räume innerhalb des Stadtgebiets in nur sehr geringem Maße durchgrünt sind (0% - 20%).

Der Detailraum (siehe Abbildung 49) zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung; der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet, im Osten bis zur „Osttangente“, im Süden bis zum Gelände der Caritas und im Westen hin zur „Grafen-von-Rieneck-Straße“. Der Stadtkern ist hinsichtlich der prozentualen Flächendurchgrünung weiträumig defizitär aufgestellt; der Großteil der bebauten Flurstücke weist hohe Versiegelungsraten bei einem geringen Vegetationsanteil von 0% - 20% auf. Ausnahmen stellen das Schlossgelände im Nordosten sowie der „Städtische Kindergarten“ nahe des Kreisverkehrs im Nordosten dar (41% - 60%).

Für die in der Landnutzung als „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“ ausgewiesenen Flurstücke um den westlichen Teil des Stadtkerns herum wird aufgrund ihrer moderaten Flächenversiegelung ein Durchgrünungsanteil von 51% - 80% ermittelt. Somit grenzen sie den Stadtkern von den ähnlich stark versiegelten Flächen des umliegenden Stadtgebiets ab. Im Norden grenzt das Industrie- und Gewerbegebiet „Bosch Rexroth Werk 1“ an den Detailraum an, welches

sich ebenfalls durch einen geringen Durchgrünungsanteil kennzeichnet (0% - 20%). Auch die an den Straßenzügen der „Ludwigstraße“, „Anlagestraße“ und „Vorstadtstraße“ gelegenen Flurstücke gestalten sich hinsichtlich ihres Vegetationsanteils defizitär, während die südlichen Flächen des Detailausschnitts dementsgegen zunehmend heterogenere Durchgrünungswerte aufweisen.

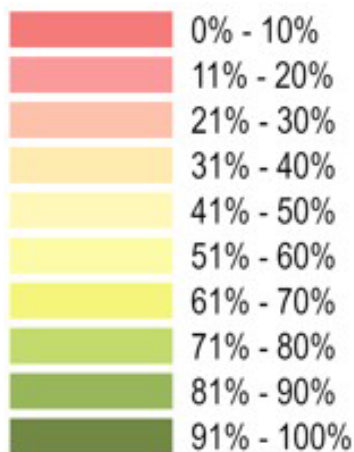


Abbildung 48: Legende zur städtischen Durchgrünung auf Flurstücksebene



Abbildung 49: Auszug aus der Themenkarte "Städtische Durchgrünung auf Flurstücksebene". Entsprechend dem analysierten Durchgrünungsgrad werden die Flurstücke in unterschiedlichen Farben dargestellt. Dunkelrot steht für eine Durchgrünung von weniger als 10%.

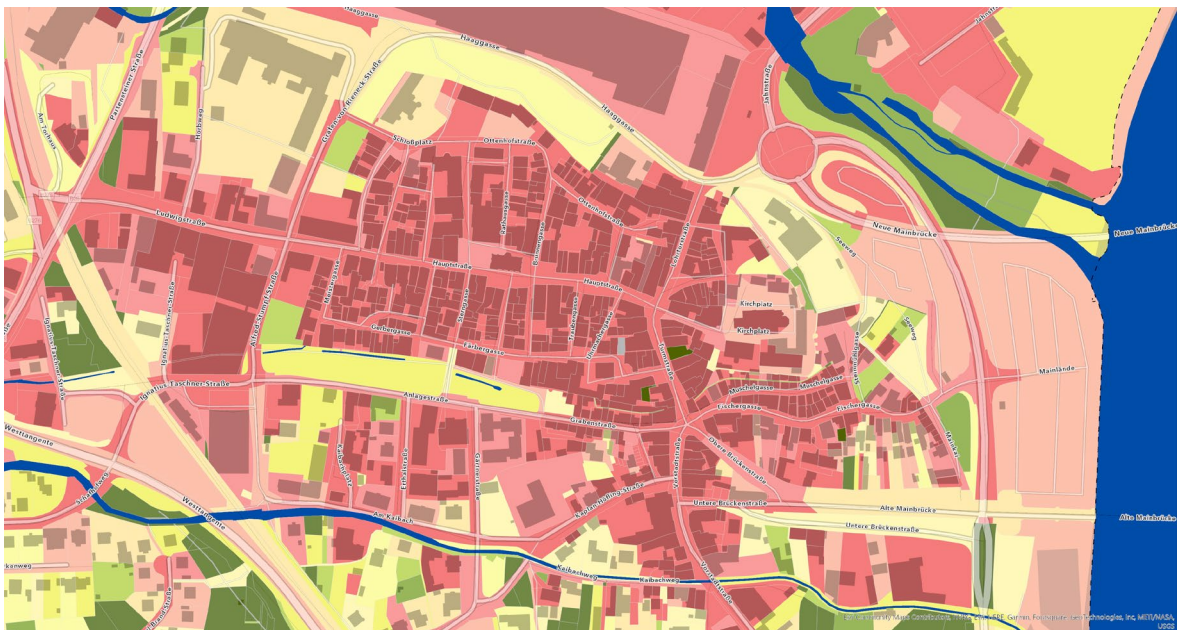


Abbildung 50: Detailansicht Themenkarte "Städtische Durchgrünung auf Flurstücksebene" - Bereich "Altstadt". Die Flurstücke im kleinparzelligen Kern- und Altstadtbereich ist insbesondere beidseits der „Hauptstraße“ defizitär hinsichtlich der Durchgrünung mit i.d.R. < als 10% Grünanteil pro Flurstück.

6.4 Klimatische Analysen

6.4.1 Nächtliche Kaltluftschichtdicke und bodennahes Windfeld

Die Berechnung der nächtlichen Kaltluftproduktion und des -transports basiert auf der Landnutzung, der Bebauungsstruktur und der Topographie. Ausgegangen wird hier von einer austauscharmen Strahlungsnacht in den Sommermonaten.

Wenig vegetationsbesetzte Offenlandflächen stellen die primären Kaltluftentstehungsgebiete dar, da hier eine sehr schnelle Auskühlung der bodennahen Luftschichten stattfindet. Zusätzlich fördern innerstädtische Frei- und Grünflächen die lokale Kaltluftproduktion und können, je nach Lage und Ausrichtung, das Eindringen des Kaltluftabflusses in den Siedlungsraum unterstützen. Kaltluft bildet sich in den Nachtstunden, vorzugsweise während Strahlungsnächten (wolkenlos). Der klimatisch wirksame Kaltluftabfluss / -transport ist zudem abhängig von einer autochthonen Wetterlage, ohne überlagernde regionale Anströmungen. Die Kaltluflhöhen und das bodennahe Strömungsfeld wurde für eine Referenzzeitspanne von 8 Stunden nach Sonnenuntergang berechnet. Dabei wurden für unterschiedliche Zeiten während der Simulationsnacht Schnitte erzeugt.

Die Kaltluftschichtdicke wird farblich abgestuft dargestellt und durch die Pfeildarstellung des bodennahen nächtlichen Strömungsfeldes ergänzt (siehe Abbildung 50). Dabei handelt es sich um ein orographie- und druckinduziertes Strömungsfeld auf einer Höhe von 2 m ü. Grund, welches maßgeblich für den Transport nächtlicher Kaltluftströme verantwortlich ist. Die Intensität dieser bodennahen Strömungsschicht liegt

zwischen 0,0 m/s und 4,7 m/s und wird ebenfalls farblich ausdifferenziert.

In den ersten 15 Minuten (siehe Abbildung 51) nach Ausbleiben der solaren Einstrahlung wird im Außenraum des Siedlungsgebiets Kaltluft gebildet. Kaltluft, die auf den Hängen um den Stadtraum herum entsteht, fließt den topographischen Gegebenheiten und dem danach ausgerichteten bodennahen Strömungsfeld folgend in tiefergelegene Räume ab. Die Kaltluft sammelt sich demnach schon früh in den Talregionen des Untersuchungsraums an, dringt aber erst im Laufe der Zeit in den Siedlungsraum ein. Nach 30 Minuten nimmt die Schichtdicke der angesammelten Kaltluft zu. In den Randbereichen des Siedlungsraums ist sie zu diesem Zeitpunkt nur schwach ausgeprägt (ca. 0 – 16 m); im Außenraum staut sie sich in den korridorartigen Vertiefungen zwischen den Hängen auf < 48 m. Insbesondere entlang der südwestlichen Grenze des Untersuchungsgebiets („Rechtenbacher Straße“) sammelt sich Kaltluft an, von wo aus sie dem bodennahen Strömungsfeld nach in Richtung der Stadt weitergeleitet wird. Nach einer Stunde nimmt die Kaltluftschichtdicke auch innerhalb des Siedlungsraums weiter zu; aus südlicher Richtung überströmt die Kaltluft „Wombach“ und Teile des Industrie- und Gewerbegebiets „Lohr-Süd“, in Teilen „Sendelbachs“ und „Sackenbachs“ sammelt sich die Kaltluft an und „Steinbach“ und „Ruppertshütten“ sind vollständig überströmt (< 63 m). Während die Kaltluft die Kernstadt Lohrs zu diesem Zeitpunkt zwar erreicht aber noch nicht durchdrungen hat, ist der gesamte Stadtraum nach 2 Stunden (siehe Abbildung 53) vollständig bedeckt. Die Kaltluftschichtdicke variiert hier in ihrer Ausprägung. Insbesondere in hangnahen Siedlungsbereichen nimmt die Kaltluftschichtdicke parallel zum

Geländeabstieg ab, während sie in großen Teilen des nahe des Main gelegenen Stadtraums zu diesem Zeitpunkt bei ca. < 70 m liegt. Auch die Ausrichtung des druckinduzierten Strömungsfelds verändert sich im Verlauf der Nacht. Entlang des Mains verläuft es bei einer überwiegend geringen Intensität ($0,01$ m/s – $0,5$ m/s) nun in südlicher Richtung, anstatt wie zuvor auf Höhe der Kernstadt aus Norden und Süden zusammenzutreffen. In den Stunden 3 und 4 nimmt die Kaltluftschichtdicke weiterhin zu und sammelt sich auch in den weiter abseits des Main gelegenen Siedlungsräumen zunehmend an. Nach Stunde 4 beträgt die Kaltluftschichtdicke im urbanen Talbereich großflächig ca. < 95 m; nach Stunde 5 (siehe Abbildung 55) insbesondere entlang der durch das Siedlungsgebiet verlaufenden Flüsse (Main, Lohr, Kaibach) ca. < 111 m. Zu diesem Zeitpunkt wird das bodennahe Strömungsfeld im südlichen Teil Lohrs („Wombach“, „Lohr Süd“), auf der östlichen Seite des Mains und in „Sackenbach“ in den Siedlungsbereichen schwächer. In den folgenden Stunden verschwindet es kontinuierlich im weiteren Talbereich des Mains, während die Kaltluftschichtdicke stetig zunimmt. Nach 8 Stunden (siehe Abbildung 57) liegt sie zwischen 0 m (auf den Hängen) und 144 m (im Tal) im Untersuchungsraum. Zu diesem Zeitpunkt ist die Kaltluft

nahezu vollständig in das Tal abgeflossen und verteilt sich dort entsprechend des Geländeanstiegs.

Der Detailraum (siehe Abbildung 52) zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. Die zeitlich gestaffelte Darstellung der nächtlichen Kaltluftproduktion zeigt bis zur ersten Stunde des Betrachtungszeitraums nur minimale Veränderungen in der Kaltluftschichtdicke des Altstadtbereichs. Dieser ist etwas höher gelegen als sein unmittelbares Umfeld und daher stets von einer geringeren Kaltluftschichtdicke geprägt als seine Umgebung. Nach Stunde 2 (siehe Abbildung 54) wird er schließlich von der aus südlicher und östlicher Richtung anströmenden Kaltluft bedeckt, deren Schichtdicke mit fortschreitender Betrachtungszeit weiter zunimmt. Nach Stunde 8 (siehe Abbildung 58) ist insbesondere der östliche mainnahe Bereich von einer hohen Kaltluftschichtdicke (ca. 144 m) geprägt, während der Altstadt- und westlich im Detailraum gelegene Siedlungsbereich mit ca. < 130 m eine etwas geringere Kaltluftschichtdicke aufweist.

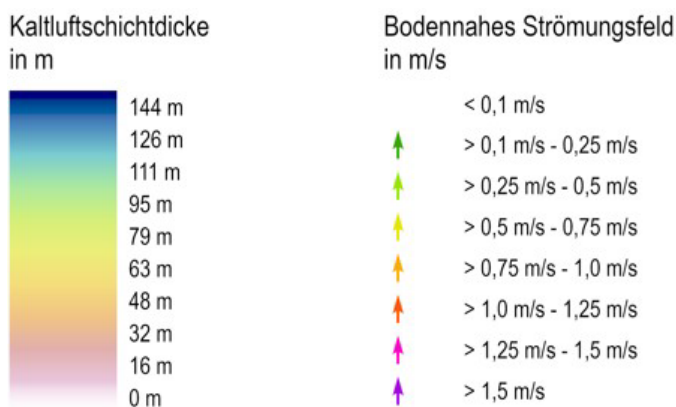


Abbildung 51: Legende zur Kaltluftanalyse

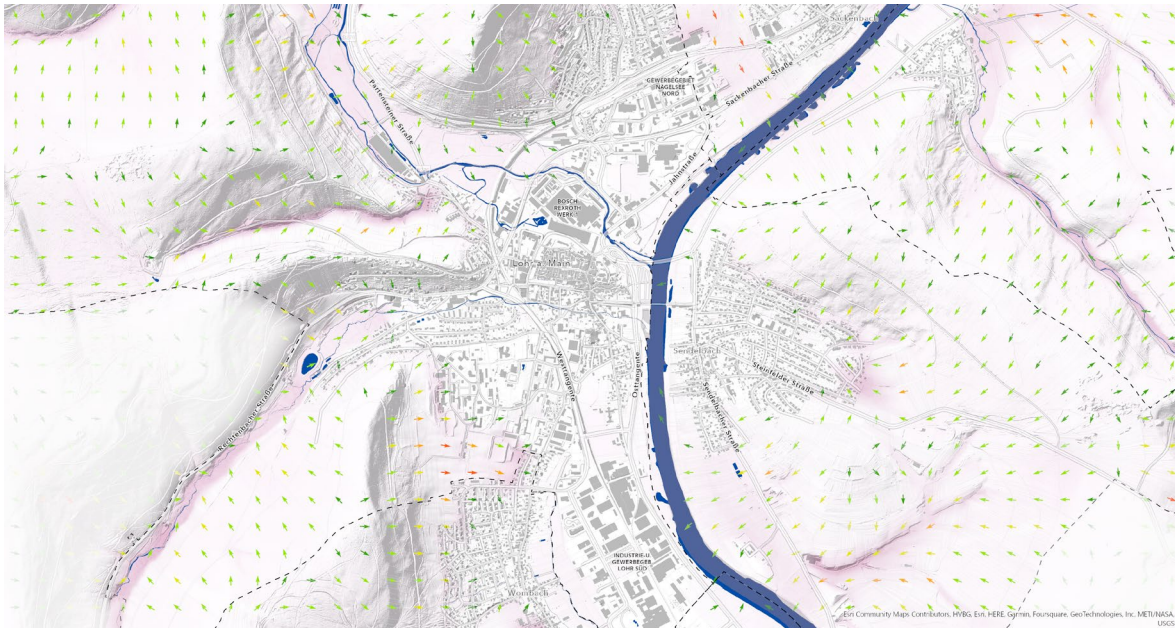


Abbildung 52: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 15min. Simulationszeit". Das bodennahe nächtliche Windfeld ist zu Beginn der Nacht im Außenbereich noch sehr heterogen ausgeprägt und weist auch durchgängig Windgeschwindigkeiten $> 0,1\text{ m/s}$ auf. Eine deutliche Kaltluftschicht ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden.

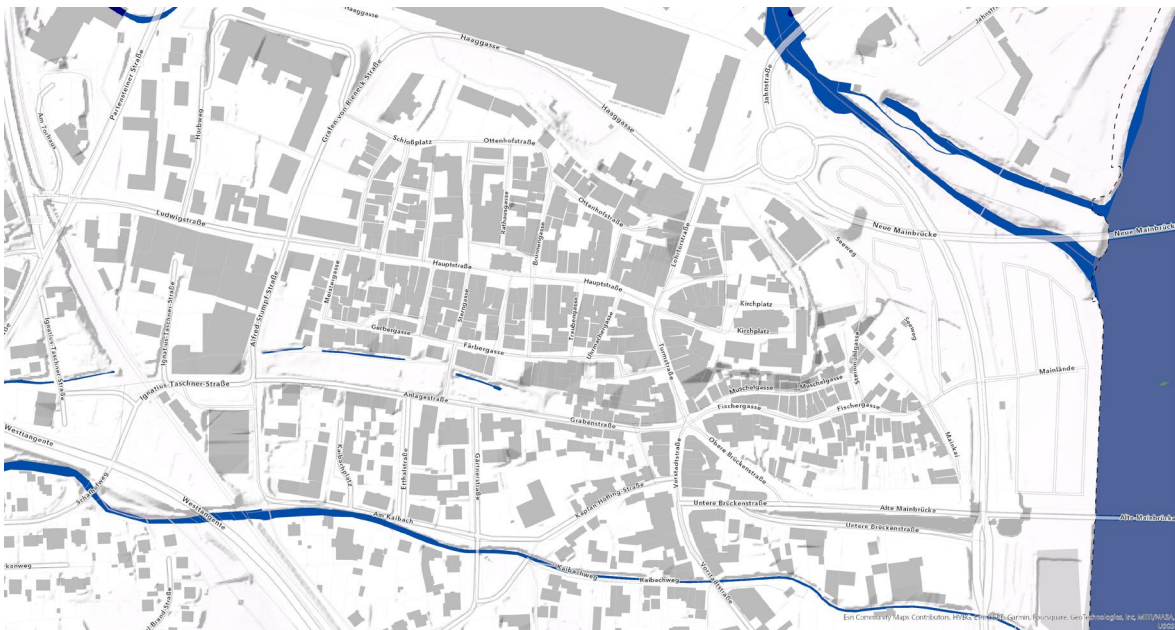


Abbildung 53: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 15min. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Zu diesem Zeitpunkt existieren noch keine Kaltluftschichten im Innenstadtbereich.

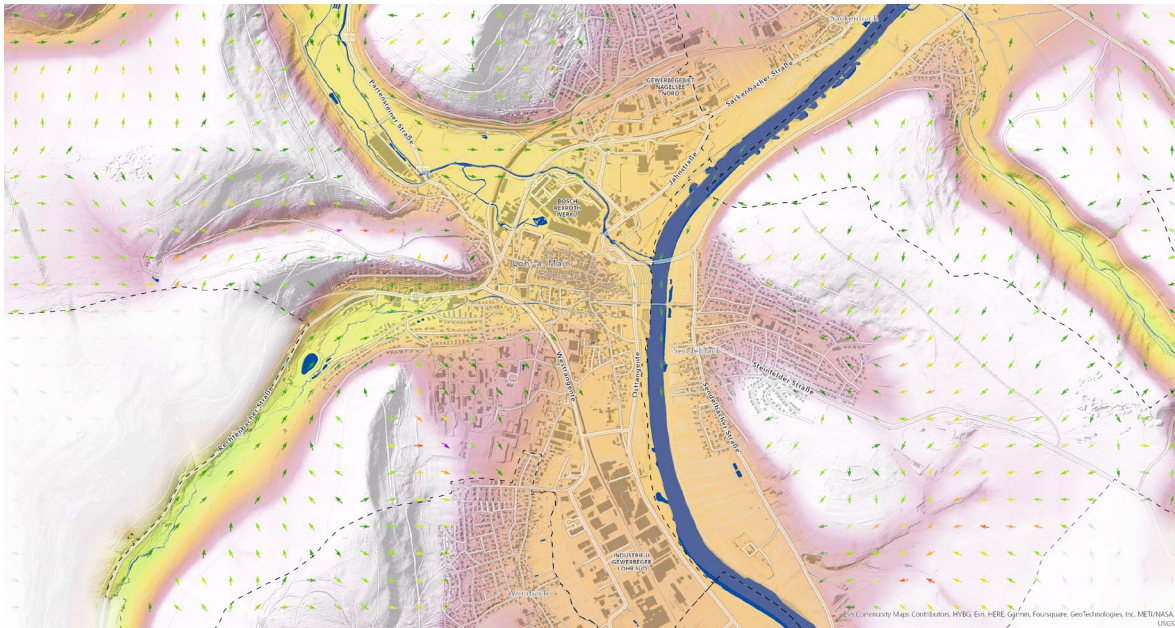


Abbildung 54: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 2Std. Simulationszeit". Das bodennahe nächtliche Windfeld wird zunehmend homogener, während eines gleichzeitigen Rückgang der Windgeschwindigkeiten. Die Tal- und Senkenbereiche füllen sich zunehmend mit im Offenland entstehender Kaltluft.

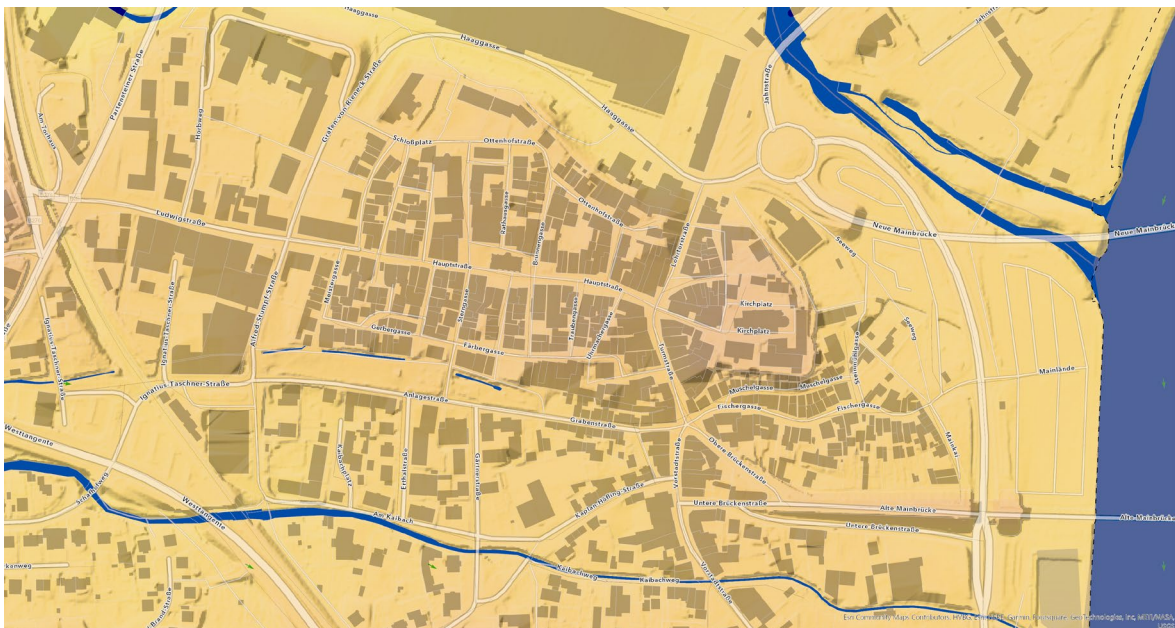


Abbildung 55: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 2Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Der komplette Bereich der Innenstadt wurde von der einströmenden Kaltluft überspült.

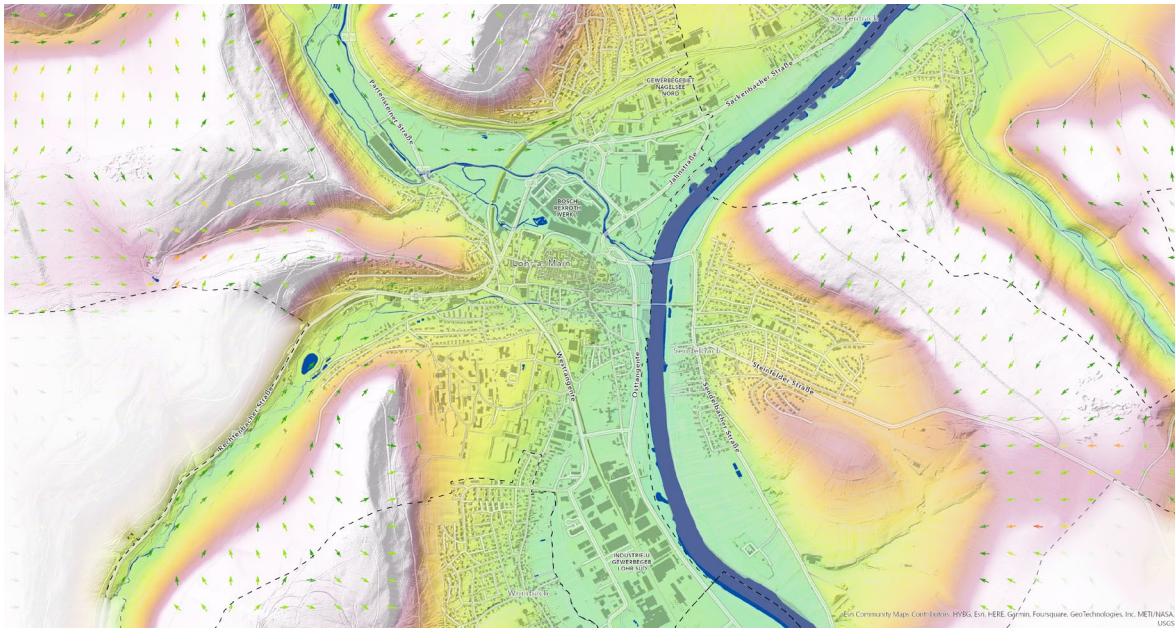


Abbildung 56: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 5Std. Simulationszeit". Die mainnahen Siedlungsräume verfügen mittlerweile eine Kaltluftschichtdicke von rd. 50m. Das Windfeld beruhigt sich zunehmend.

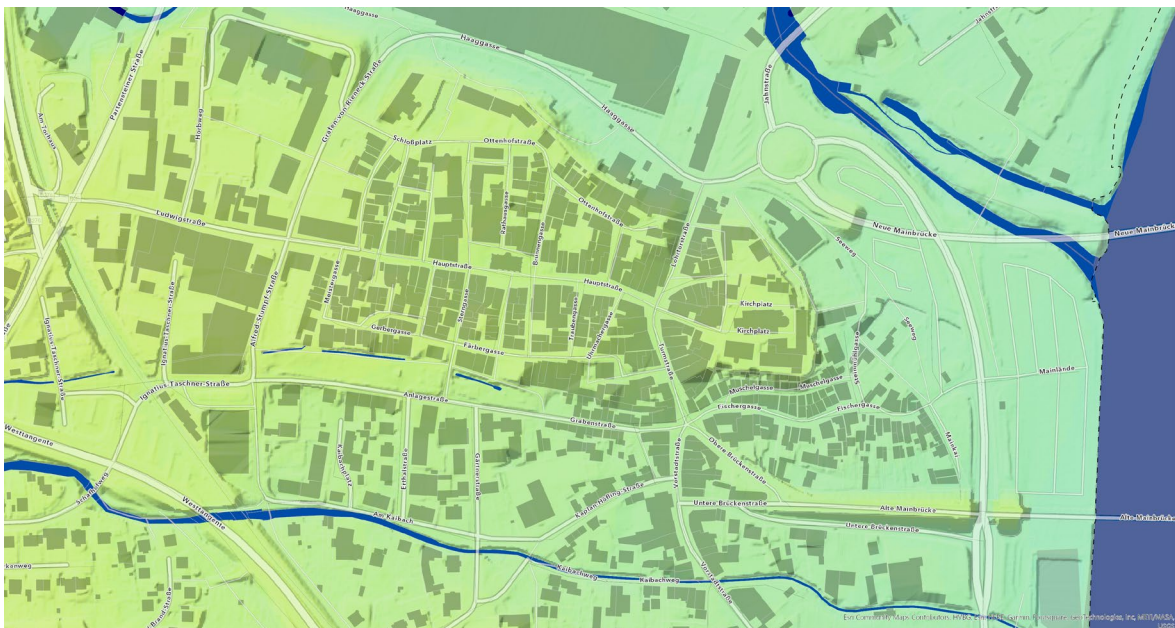


Abbildung 57: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 5Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Die Kaltluftschichtdicke steigt im Innenstadtbereich weiter an.

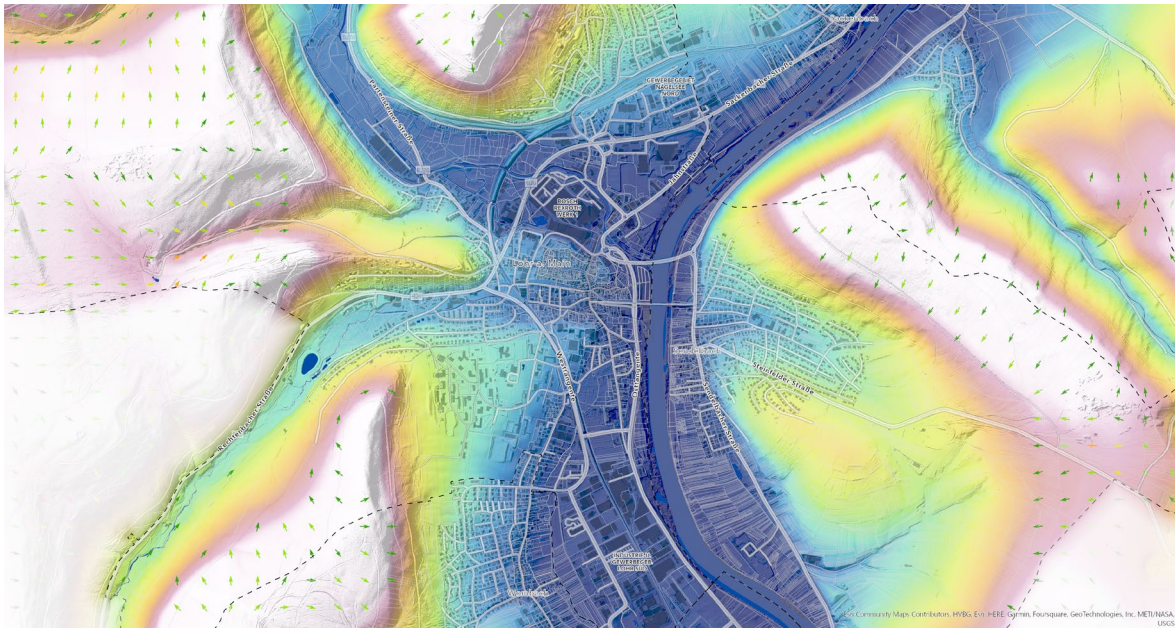


Abbildung 58: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 8Std. Simulationszeit". Am Ende der Simulationsnacht liegt die Kaltluftschichtdicke in den mainnahen Bereichen bei rd. 140m.



Abbildung 59: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 8Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Am Ende der Simulationsnacht liegt die Kaltluftschichtdicke im Innenstadtbereich bei rd. 120 – 130m.

6.4.2 Bodennahe nächtliche Lufttemperatur

Die Darstellung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur eignet sich zur Abbildung des städtischen Wärmeinseleffektes. Im Kontext der unterschiedlich starken Abkühlung von Oberflächen und Räumen wird eine austauscharme Nachtsituation angenommen, da hier die maximal zu erwartenden Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland auftreten. Als Ausgangssituation wird eine austauscharme Wetterlage mit einem Temperaturmaximum von 25 °C (am Tag) und einem Temperaturminimum von 12 °C (in der Nacht) angenommen.

Vor dem Hintergrund der Ausgangssituation beträgt die bodennahe Lufttemperatur im Freiland abseits des Siedlungsraums ca. 12 °C, da dieses nach Ausbleiben der solaren Strahlung in der Nacht nahezu vollständig auskühlen kann. Entlang des tiefer gelegenen Mains und in den Randbereichen der nahgelegenen Siedlungsgebiete sind die Temperaturen gegenüber dem Umland erhöht (ca. 16 – 18 °C); dies ist mitunter dem Zusammenspiel des veränderten Wärme- und Strahlungshaushalts des urbanen Raums, dessen topographischer Situation (Tallage) und dem Szenario der austauscharmen Wetterlage geschuldet. Die Überwärmung des urbanen Raums muss differenziert betrachtet werden: Mit zunehmender Bebauungsdichte nimmt das Abkühlungspotential des urbanen Raums ab; dementsprechend sind die bebauten Randbereiche des Siedlungsraums weniger stark überwärmt (ca. 15 – 16,5 °C) als die Kernbereiche der einzelnen Stadtteile (> 19,5 °C). Insbesondere die Altstadt sowie die Industrie- und Gewerbegebiete der Stadt stehen in diesem Rahmen negativ hervor, da sie gegenüber ihrem Umfeld großflächig stark überwärmt sind.

Der Detailraum zeigt den Stadtkern und seine unmittelbare Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahn- gleise hinaus. In der „Altstadt“ ist die Wärmebelastung mitunter am stärksten ausgeprägt; insbesondere zwischen dem an der „Hauptstraße“ gelegenen Wochenmarktplatz neben der Stadtbibliothek und der „unteren Schlossgasse“ gipfeln die nächtlichen bodennahen Temperaturen an die 21,8 °C. Im restlichen Altstadtbereich liegen die Temperaturen über > 20 °C; mit abnehmender Bebauungsdichte kühlt die Lufttemperatur in Richtung Süden und Westen moderat und in Richtung des Mains deutlich ab.

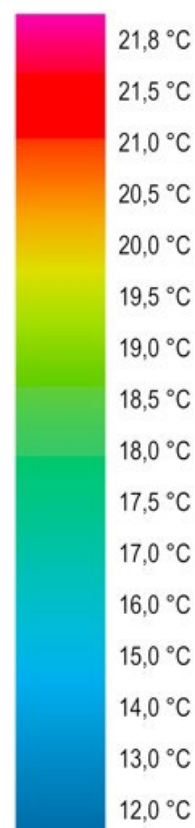


Abbildung 60: Legende der bodennahen Lufttemperatur in °C (2m ü. Grund um 04:00h)



Abbildung 61: Auszug aus der Themenkarte "Bodennahe Lufttemperatur in °C (nachts)". Der Detailraum sowie die beiden „Gewerbe- und Industriegebiete“ stellen die großflächigsten Areale mit den höchsten Lufttemperaturen von $> 21^{\circ}\text{C}$ im städtischen Raum dar.

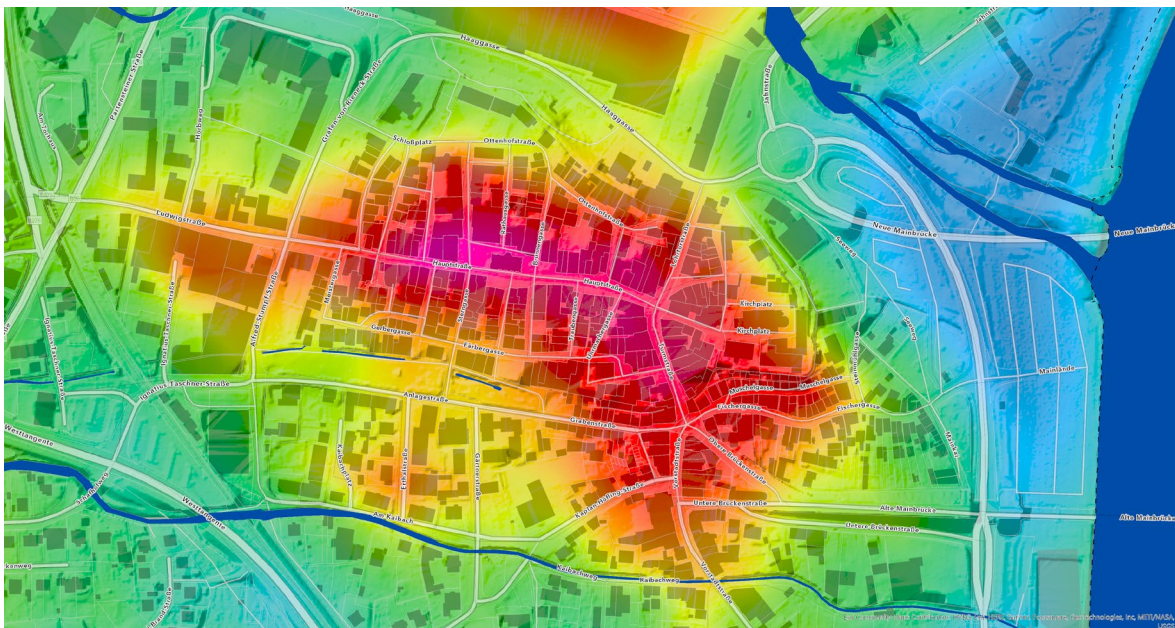


Abbildung 62: Detailansicht Themenkarte "Bodennahe Lufttemperatur in °C (nachts)" - Bereich "Altstadt". Der kleinparzellige Kern- und Altstadtbereich, insbesondere beidseits der „Hauptstraße“, weist mit $21,8^{\circ}\text{C}$ die höchsten Temperaturen im städtischen Raum auf.

7 Klimatischer Bestand und Szenarien

7.1 Klimafunktionskarte (KFK)

Die Klimafunktionskarte (siehe Abbildung 62 und Abbildung 63) stellt eine in Klimatope (Fläche mit einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaften) unterteilte Ansicht des Untersuchungs- und Stadtraums von Lohr a.Main dar. Dem unbebauten Außenraum sind primär zwei Klimatope zuzuordnen, die „Primäre Kaltluftentstehung“ und die „Primäre Frischluftentstehung“.

Bei Flächen der „Primären Kaltluftentstehung“, handelt es sich i.d.R. um niedrig bewachsene Flächen wie z.B. Grünland, Brachen und landwirtschaftliche Flächen. Im Untersuchungsgebiet erstrecken sich diese Bereiche insbesondere entlang der topographischen Korridore, meist fließgewässerbegleitend, die sich aus Richtung Nordwest und Südwest durch die Spessarthänge ziehen und auf den Main und somit auf die Stadt zulaufen. Auch auf den Freiflächen (z.B. die Grünzäsur, vgl. Kapitel 8.3) zwischen den Stadtteilen „Lindig“ und „Sackebach“ Richtung Main sowie südlich von „Wombach“ und auf der östlichen Seite des Mains wird ebenfalls primär Kaltluft produziert. Zwischen diesen Flächen wird auf den überwiegend bewaldeten Hügeln primär Frischluft produziert. Das Klimatop „Primäre Frischluftentstehung“ kennzeichnet sich durch einen dichten Baum- oder Vegetationsbestand und die Abwesenheit von Emissionsquellen. Über das bodennahe nächtliche Strömungsfeld (vgl. Kapitel 3.4.2) werden am Tag gebildete Frischluftbestände sowie während der Nacht entstehende Kaltluft in den Siedlungsraum transportiert.

Die Siedlungsrandbereiche fungieren als klimatische Übergangszonen und charakterisieren sich im Untersuchungsfall überwiegend durch das Klimatop „Misch- und Übergangsklimate“. Dieses ergibt sich auf Grund der ausreichenden Belüftung aus dem Umland und der Evapotranspirationsrate (Gesamtverdunstung von einer natürlich bewachsenen Bodenoberfläche), die durch ausreichende Vegetationsstrukturen gewährleistet wird.

Diesem, sowie dem durch seine geringe Überwärmung gekennzeichneten zweiten „städtischen“ Klimatop „Vorstadtklima“ ist ein Großteil des urbanen Raums der Stadt zuzuordnen, da insbesondere die Wohn- und Mischgebiete der verschiedenen Stadtteile durch eine überwiegend lockere Bauweise geprägt sind.

Bei diesem Klimatop handelt es sich um baulich geprägte Gebiete mit versiegelten Flächen, die dennoch durch ihren Vegetationsbestand ein moderates nächtliches Abkühlungspotenzial besitzen.

Mitunter kann hier jedoch die Belüftung durch die Bebauung eingeschränkt sein; in verstärkter Form führt dieser Umstand zur Ausprägung eines weiteren Klimatops, dem „Stadtklima“. Dieses charakterisiert sich durch verdichtete Gebiete mit großen Baumassen, welche in Kombination mit einem Vegetationsdefizit und stark versiegelten Flächen zu einem erhöhten Überwärmungsrisiko führen. Beispiele hierfür sind u.a. Bereiche der „Sendelbacher Straße“, südlich der Abzweigung „Steinfelder Straße“ im Stadtteil „Sendelbach“, entlang der „Wombacher Straße“ im Stadtteil „Wombach“ oder im südlichen Bereich der „Pfungstgrundstraße“ im Stadtteil „Sackebach“.

Das letzte „städtische“ Klimatop ist das „Innenstadtklima“. Diese Bereiche werden durch eine starke bauliche Verdichtung in Kombination mit fehlender Vegetation und geringer Retention charakterisiert. Teilweise eingeschränkte Belüftung zusammen mit großen Baumassen fördern ein hohes Überwärmungsrisiko. Abgesehen von einzelnen punktuellen Ausprägungen findet sich dieses Klimatop in drei Bereichen in Lohr a.Main. Erstens das Industriegebiets „Lohr Süd“, auf dessen stark versiegeltem Gebiet große Baukörper nahe aneinander stehen. Zweitens das Gewerbe- und Industriegebiet „Bosch Rexroth“, welches an den nördlichen Teil der Altstadt angrenzt; auch hier führt die Stellung und Nähe der großen Baukörper zusammen mit dem hohen Flächenversiegelungsgrad zu einem erhöhten Überwärmungsrisiko. Als dritter Stadtraum ist die „Altstadt“ Lohrs von diesem Risiko betroffen.

Die Innenstadt charakterisiert sich durch eine hohe Bebauungsdichte, wenig Vegetation und einen hohen Anteil versiegelter Flächen sowie schmale Wege und Straßen, welche ggf. nur eingeschränkt der Durchlüftung dienen könnten. Darüber hinaus wird die „Altstadt“ von weiteren Siedlungsräumen umschlossen, die an sich zwar nur gering überwärmt sind oder Übergangszonen zwischen Stadt und Umland darstellen; im Kombination mit den dominanten Charakteristika der „Altstadt“ allerdings führen diese Bedingungen zum Risiko einer moderaten Überwärmung.

Die KFK liegt in einem größeren A3-Format im zweiten Teil des Berichts „Karten- und Planwerke“ vor.

Tabelle 14: Übersicht zu den unterschiedlichen Klimatopen mit ihren grundsätzlichen Charakteristika

KLIMATOP OHNE BEBAUUNG	KLIMATOPE MIT BEBAUUNG
Primäre Kaltluftentstehungsgebiete Freilandklima <ul style="list-style-type: none"> • Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich • Größtenteils mit geringer Rauigkeit und entsprechender Hangneigung 	Überwärmungspotential Vorstadtklima <ul style="list-style-type: none"> • Baulich geprägt mit Versiegelung • Viel Vegetation in den Freiräumen • Ausreichende Belüftung
Primäre Frischluftentstehungsgebiete Waldklima <ul style="list-style-type: none"> • Ohne Emissionsquellen • Dichter Baumbestand und hohe Filterwirkung 	Moderate Überwärmung Stadtklima <ul style="list-style-type: none"> • Dichte Bebauung mit hoher Versiegelung • Wenig Vegetation in den Freiräumen • Belüftungsdefizite
Misch- und Übergangsklimate Klima innerstädtischer Grünflächen <ul style="list-style-type: none"> • Hoher Vegetationsanteil • Geringe diskontinuierliche Emissionen • Pufferbereiche zwischen Klimatopen 	Starke Überwärmung Innenstadtklima <ul style="list-style-type: none"> • Stark verdichtete Innenstadtbereiche • Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetation • Fehlende Belüftung

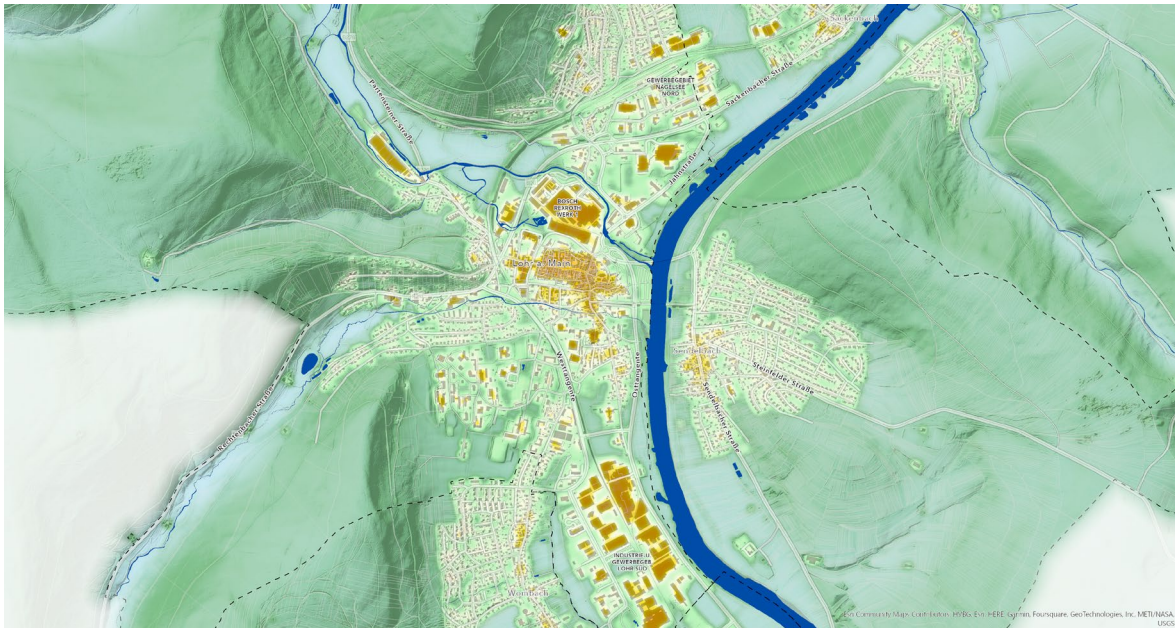


Abbildung 63: Auszug aus der Klimafunktionskarte (KFK). Deutlich erkennbar die drei flächigeren Ausprägungen des „Stadtklimas“ (hellorange) und des „Innenstadtklimas“ (dunkelorange)

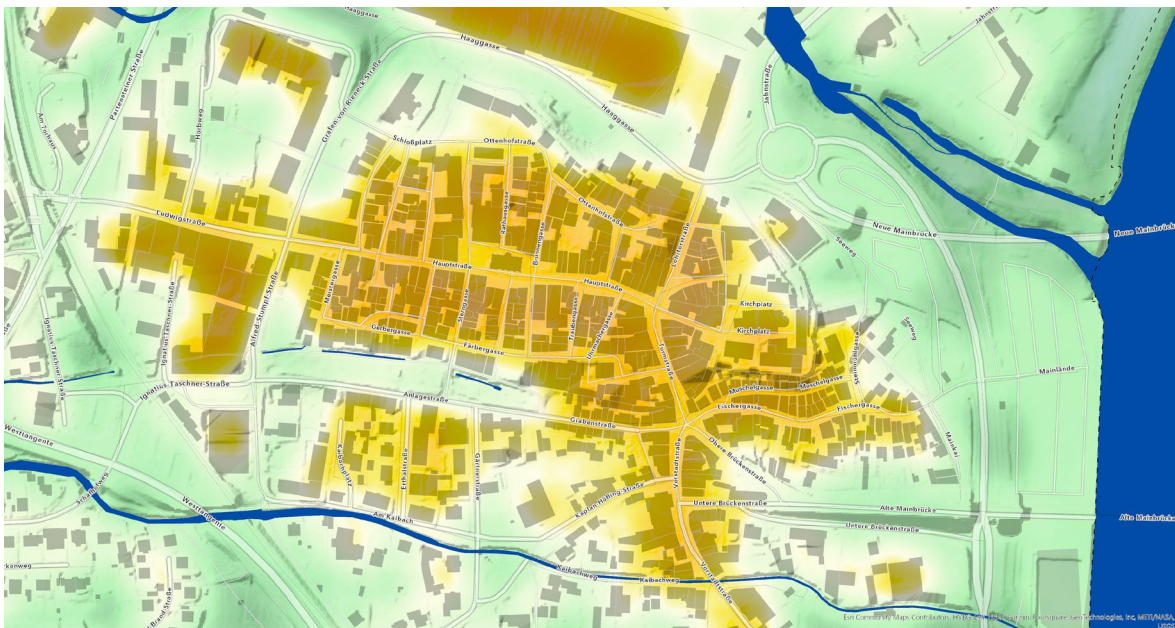


Abbildung 64: Detailansicht der Klimafunktionskarte - Bereich "Altstadt". Weite Teile des kleinparzelligen Kern- und Altstadtbereichs können dem „Stadtklima“ mit Tendenz zum „Innenstadtklima“ zugeordnet werden.

7.2 Klimaprojektionen

7.2.1 Szenarien und Klimamodelle

Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der Erde für die nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In der Wissenschaft wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die den Einfluss der Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsberichtes des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurden vier "repräsentative" Szenarien (Repräsentative Konzentrationspfade – engl. Representative Concentration Pathways – RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosolen (kleine Partikel in der Atmosphäre wie z.B. Rußflocken) gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als "zusätzliche/erhöhte" Energiezufuhr für die Erde zu erklären.

Jedes Szenarium beschreibt eine mögliche Zukunft der globalen Wirtschaft und die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen. Diese Parameter und Prozesse der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre werden dann in hochkomplexen Rechenmodellen nachgebildet, um möglichst realistische Simulationen des Klimas durchführen zu können. Die Teilsysteme des Klimasystems werden häufig in eigenen Rechenmodellen abgebildet und simuliert, beispielsweise in Modellen der Atmosphäre, der Ozeane, der Kryosphäre (Eis- und Schneemodellen), der Vegetation, usw. Diese Teilsystem-

Modelle sind miteinander vernetzt und bilden so das Gesamtmodell des Klimas.

Jedes Klimamodell besteht aus einem 3-dimensionalen Gitter, das jeweils den gesamten Globus umspannt. Für die zahlreichen Gitterpunkte muss jeweils eine Vielzahl von Parametern berechnet werden. Klimamodelle sind die komplexesten und rechenaufwändigsten Modelle, die es heute gibt. Der Rechenaufwand dafür ist so groß, dass die Rechenleistung der größten Computer die Anzahl und damit den Abstand der Gitterpunkte der einzelnen Klimamodelle bestimmt.

Klimamodelle sind in der Lage, das Klima der Zukunft mit Hilfe von Szenarien zu berechnen. Man spricht dann von einer Klimaprojektion, da hier Auswirkungen verschiedener Konzentrationen von Treibhausgasen auf das Klima untersucht werden. Die Ergebnisse sind daher keine Prognosen (DWD 2021).

Die Auflösung globaler Klimamodelle ist aufgrund von limitierten Computerressourcen sehr grob. Sie reicht nicht aus, um die Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer Region der Erde (z.B. Deutschland) detailliert zu beschreiben. Hierfür werden regionale Klimamodelle eingesetzt, deren Gitterpunkte ein erheblich engmaschigeres Netz bilden als diejenigen der globalen Klimamodelle.

Ebenso wie im globalen Maßstab gibt es auch für die regionale Skala eine Reihe von Klimamodellen. Sie gehen alle von den Ergebnissen der globalen Klimamodelle aus.

7.2.2 Auswertung der Klimaprojektionen für Lohr a.Main

Für Lohr a.Main ist es möglich mithilfe von Klimaprojektionen des Copernicus Climate Change Service (CCCS) der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) die projizierten Klimaveränderungen zu beschreiben. Die Werte werden in einem $0,11^\circ \times 0,11^\circ$ Raster für Deutschland dargestellt und fußen auf dem regionalen Klimamodell MPI-M-MPI-ESM-LR, das für Deutschland entwickelt wurde.

Abbildung 64 stellt die verfügbaren Klimaprojektionen-Rasterpunkte im Umkreis von Lohr a.Main dar. Aufgrund des stark ausgeprägten Reliefs und der starken Bewaldung ist eine relative Abweichung der Datenpunkte im Vergleich zum verdichteten Stadtgebiet von Lohr nicht zu vermeiden. Der südöstlich von Lohr gelegene Datenpunkt ist demnach den Bedingungen in der Stadt am ähnlichsten, da er für die Maintal-lage berechnet wurde und in unmittelbarer Nähe des Mains liegt. Deshalb basiert die folgende Auswertung der Daten auf die Berechnungen des Punktes ($9,6138945^\circ$ West; $49,9497147^\circ$ Nord).

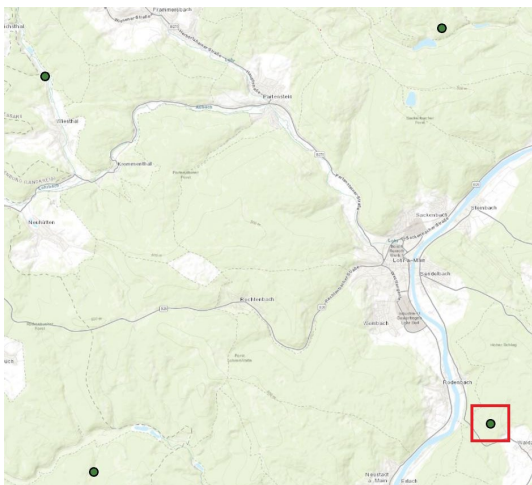


Abbildung 65: Ausschnitt aus dem für Deutschland verfügbaren Raster der Klimaprojektionen. Verwendung fanden die Daten des markierten Rasterpunkts.

Der CCCS stellt umfassende Werte zu den verschiedenen Wetter- und Klimaeinflüssen zur Verfügung. Im Interesse der Analyse für Lohr a.Main stehen insbesondere die Temperaturdaten. Durch die tägliche Beschreibung der Temperaturveränderungen bis zum Jahr 2100 können die Werte sehr präzise analysiert werden und geben Aufschluss über detaillierte Ereignisse wie Tropennächten (LT Min. $\geq 20^\circ\text{C}$) oder Hitzetagen (LT Max. $\geq 30^\circ\text{C}$).

Darüber hinaus liegen die Berechnungen gemäß den verschiedenen RCP-Klimaszenarien des 5. IPCC-Sachstandsbericht 2013/2014 vor (IPCC 2014). Für diesen Bericht wurden die Klimaszenarien RCP 4.5 und 8.5 ausgewertet, um Ableitungen für die erwartbaren, kleinräumigen, klimatischen Belastungen treffen zu können.

Durchschnittliche Jahresmitteltemperaturen

Welche Auswirkungen der Klimawandel auf die Region von Lohr a.Main hat, ist gut an den Veränderungen der durchschnittlichen Jahrestemperatur zu erkennen (siehe Diagramm 16). In diesem Fall wurden die historischen Messdaten der DWD-Wetterstation im Stadtbereich von Lohr a.Main mit den RCP-Klimaszenarien für die bereits genannte Position südöstlich des Stadtgebietes in einen Graphen fusioniert. Die Entwicklung bis 2050 weist geringe Differenzen zwischen den zwei Klimaszenarien (RCP 4.5 und RCP 8.5) auf. Die Betrachtung des 30-jährigen Mittels 2071 bis 2100 verdeutlicht jedoch, das Auseinanderdriften beider Szenarien ab der Mitte des Jahrhunderts und das bis 2100, je nach Szenario, mit unterschiedlich starke klimatischen Veränderungen gerechnet werden muss.

Diesen Eindruck verstärkt auch der Blick auf die monatlichen Durchschnittstemperaturen. Die dahingehenden Auswertungen (siehe Diagramm 17) weisen auf eine deutliche Erwärmung der bodennahen Luftschichten hin. Zwischen den gemessenen Werten des DWD aus dem Zeitraum von 2005 bis 2021 und den prognostizierten Werten 2021 bis 2050 wird ein Anstieg der Temperaturen um 0,2 °C (im RCP 4.5) bzw. 0,4 °C (im RCP 8.5) vorausgesagt. Die weitere Entwicklung bis 2100 beschreibt eine durchschnittliche Erwärmung von bis zu 1 °C (im RCP 4.5) bzw. 2,4 °C (RCP 8.5), was eine merkbar stärkere thermische Belastung mit sich

bringt, die zum heutigen Stand mit den Temperaturverhältnissen von Paris vergleichbar wäre.

Insbesondere die zweite Jahreshälfte ab Juli verzeichnet eine sichtbare Erwärmung der monatlichen Durchschnittstemperaturen im 30-jährigen Mittel 2071-2100. Die Winterkälte würde später einsetzen und milder ausfallen als es heute der Fall ist. Zu Frostsituationen würde es kaum noch kommen. Die Sommerwärmelastungen würden v.a. in den Monaten Juli und August intensiver werden und sich länger halten.

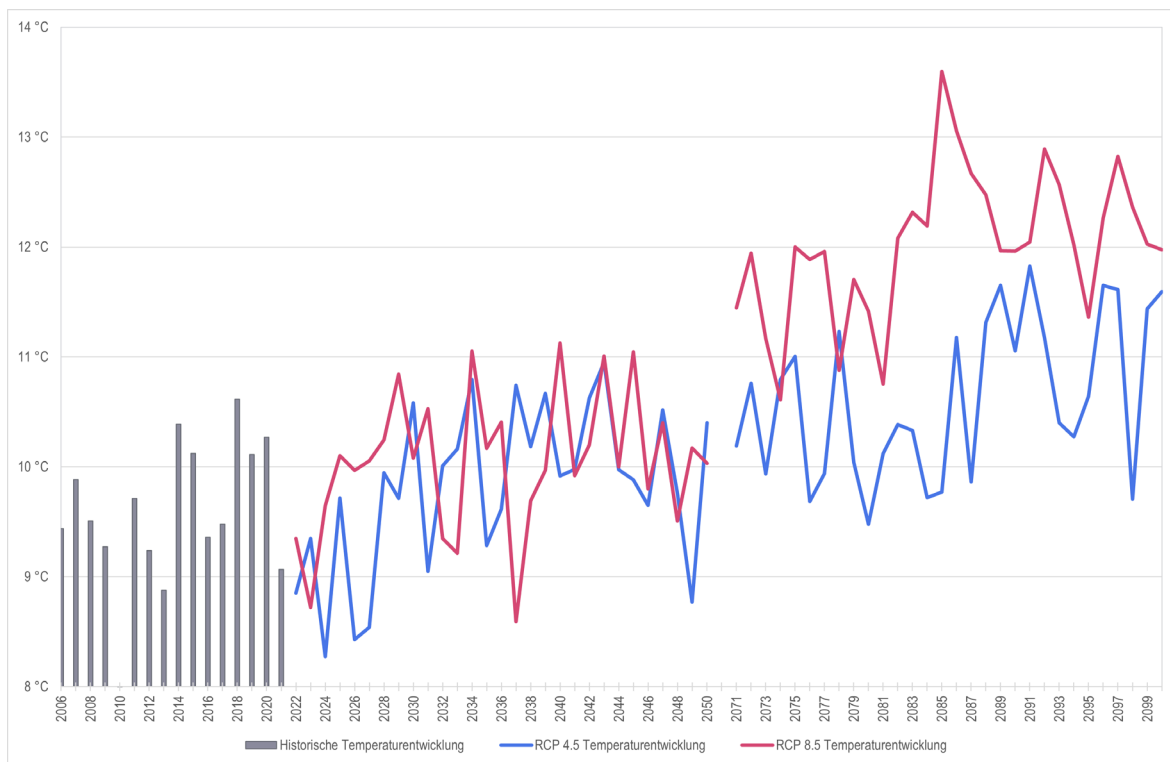


Diagramm 16: Entwicklung und Projektion der durchschnittlichen Jahrestemperaturen für Lohr a.Main. Die historischen Daten der DWD-Wetterstation werden mit den grauen Säulen dargestellt, die Projektionen des RCP 4.5 in Blau und des RCP 8.5 in Rot. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

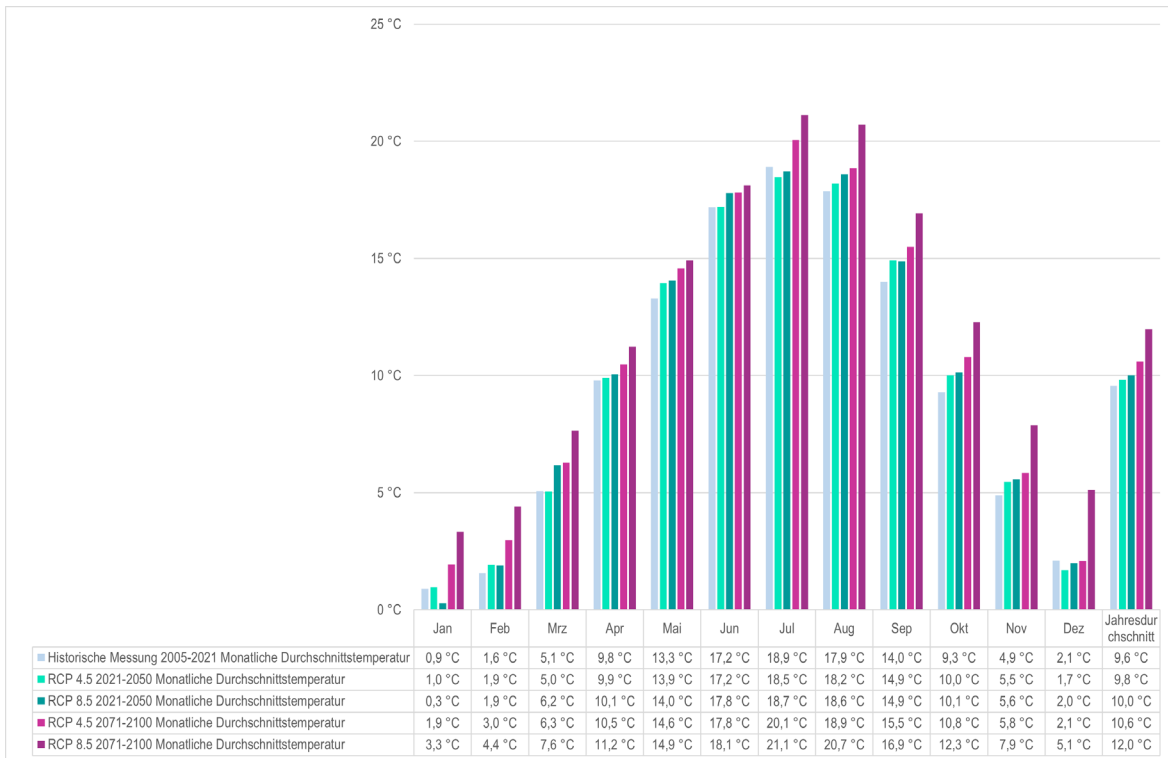


Diagramm 17: Entwicklung und Projektion der durchschnittlichen Monatstemperaturen für Lohr a. Main. Die historischen Daten der DWD-Wetterstation werden in blassblau dargestellt. Die 30-jährigen Mittel 2021-2050 in Türkistönen und 2071-2100 in Violetttöne für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

Ereignistage

Angelehnt an die Auswertung der historischen Ereignistage in Kapitel 5.1.2, werden auch die zukünftigen Ereignistage identifiziert, in dem die Daten auf Temperaturschwellenwerte untersucht werden. Die Einteilung in „Sommertage“, „Heiße Tage“ und „Tropennächte“ zeigt ein kongruentes Bild in Bezug auf die zunehmende Häufigkeit, insbesondere in den Sommermonaten Juni bis September.

Das vermehrte Auftreten von Sommertagen (LT Max. $\geq 25,0$ °C) wird in beiden Klimaszenarien wahrscheinlicher. Erneut ist die Tendenz bis 2050 nur leicht steigend, während bis 2100 die Zunahme auch im Alltag zu spüren sein wird. Am stärksten Betroffen sind die Sommermonate Juli und August, die ohnehin schon die meiste Zahl

an Sommertagen verzeichnen. Neben heißeren Sommern werden diese auch länger. Im aktuell ungünstigsten Szenario RCP 8.5 (2071-2100), werden statistisch sogar Sommertage für Lohr a. Main in den Monaten März und Oktober ausgewiesen (siehe Diagramm 17).

Aufgrund der unterschiedlichen Verortung von RCP-Rasterpunkt und DWD-Wetterstation, sind die Werte für die Klimaprognose nur bedingt mit den Messungen des DWD vergleichbar. Die durchschnittliche Jahressumme an Sommertagen von 2005-2021 (Messtation) liegt bereits bei 44 Tagen/Jahr. Somit ähneln die Messungen den Werten, die für das 30-jährige Mittel 2021-2050 prognostiziert werden. Bis Ende des Jahrhunderts ist mit einer Zunahme um knapp ein Drittel zu rechnen. Für das verdichtete

städtische Gebiet kann von noch höher liegenden Werten ausgegangen werden.

Parallel zu den Sommertagen verhält sich die Dynamik der sog. „Heißen Tage“ (LT Max. ≥ 30 °C). Auch hier werden die Sommermonate heißer und hohe Temperaturen über 30 °C treten früher und später im Jahr auf (siehe Diagramm 18). Der Anstieg ist jedoch noch gravierender als bei den Sommertagen. In Lohr a.Main treten aktuell um die 10 Heiße Tage/Jahr auf. Bis 2100 (RCP 8.5) verdoppelt sich diese Zahl nahezu, wenn die globale Erderwärmung in einem ähnlichen Tempo voranschreitet.

Tropennächte treten insbesondere dann auf, wenn mehrtägige Hitzeperioden vorliegen und die nächtliche Ventilation die städtischen Wärmeinseln nicht durch kältere Luftschichten kompensieren kann. Aktuell spielen die Tropennächte noch keine Rolle in Lohr a.Main mit statistischen 0,13 Nächten/Jahr. Zukünftig werden Tropennächte, auf die Monate Juni, Juli, August und September verteilt, signifikant zunehmen. Bis 2050 ist mit bis zu einer Tropennacht pro Jahr zu rechnen, bis 2100 mit 2,6 bis 6,8 Nächten (siehe Diagramm 19).

Fazit zu der Auswertung der Temperaturdaten und der Ereignistage

Die kontinuierliche Zunahme der Hitzebelastung sowie das für Lohr a.Main bisher untypische Auftreten von Tropennächten zeigt die Bedeutung von städtebaulich angepassten Konzepten zur Förderung der nächtlichen Ventilation. Sog. austauscharme Wetterlagen werden voraussichtlich zunehmen und über mehrere Tage anhalten, was mit einer hohen Hitzebelastung einhergeht, die in den strahlungsfreien Stunden während der Nacht nur begrenzt nachlässt. Herrscht eine austauscharmen Wettersituation existiert keine regionale Anströmung, so dass diese nicht zur Kühlung der Stadt beitragen kann. Kaltluftabflüsse hingegen können helfen, die besonders von Hitzeakkumulation betroffenen städtischen Wärmeinseln abzuschwächen. Vor allem auf unversiegelten Freiflächen, wie Wiesen, im geringeren Ausmaß aber auch auf bewaldeten Flächen (mit einer Hangneigung von $> 2^\circ$) bildet sich eine kalte Luftschicht, die talwärts abfließt und sich dort ausbreitet. Durch die besonders überwärmten Luftschichten in Stadtgebieten entsteht zudem ein bodennaher Unterdruck, der umliegende Luftschichten in die Stadt zieht. Weil der bodennahe Kaltluftabfluss jedoch schon durch geringe äußere Einflüsse behindert wird, ist es wichtig, vegetationsbestimmte Korridore in die Stadt freizuhalten.

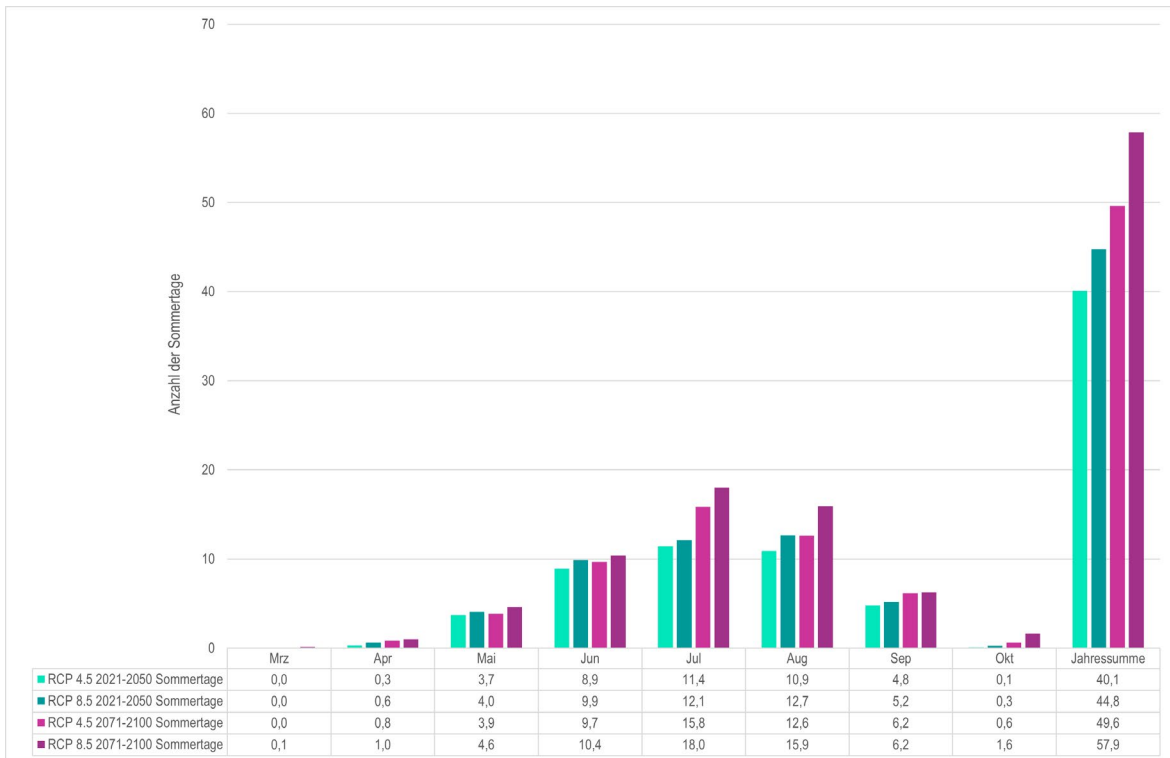


Diagramm 18: Auswertung der Anzahl der Sommertage (LT Max. $\geq 25\text{ °C}$) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violettöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

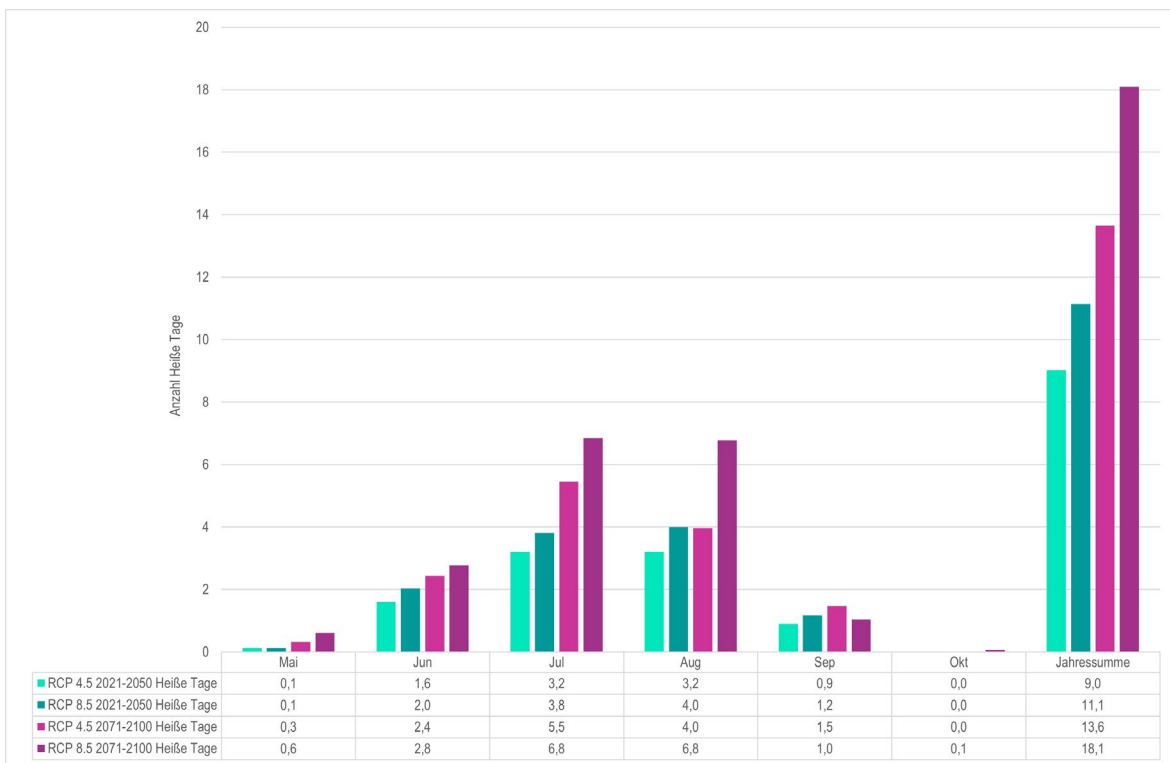


Diagramm 19: Auswertung der Anzahl der Heißen Tage (LT Max. $\geq 30\text{ °C}$) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violettöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

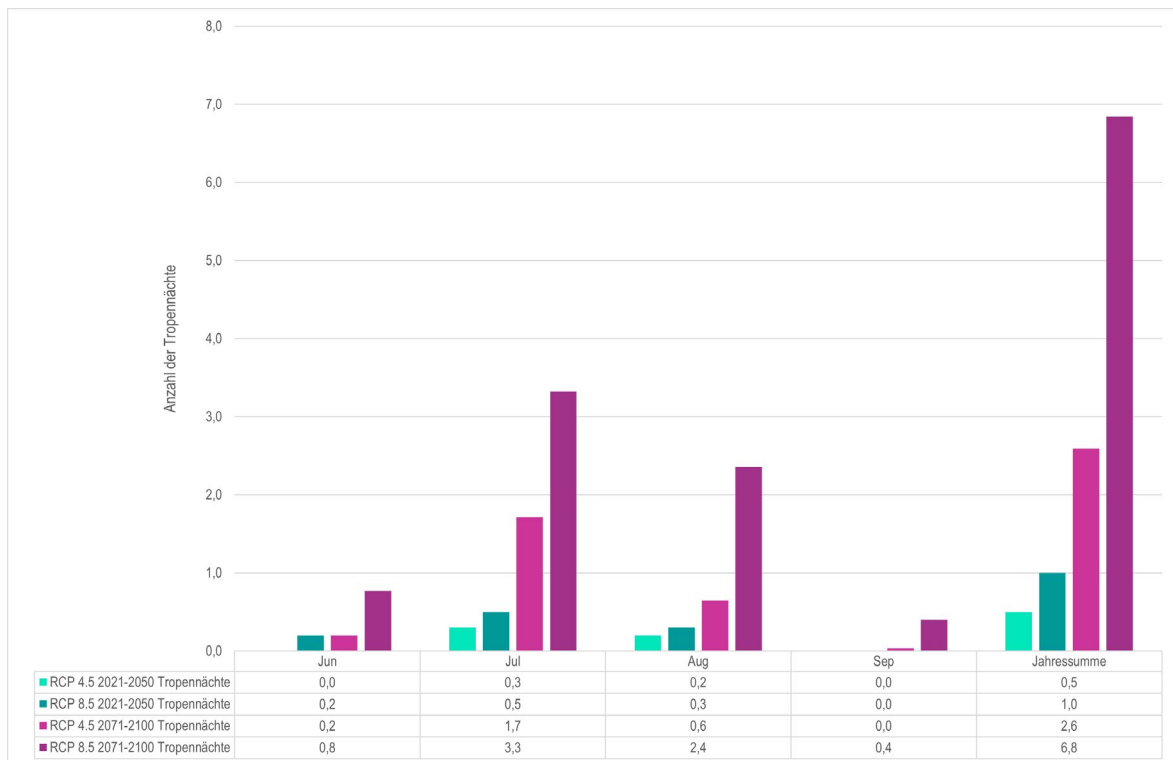


Diagramm 20: Auswertung der Anzahl der Tropennächte (LT Min. ≥ 20 °C) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violettöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

8 Planung

8.1 Planungshinweiskarte (PHK)

Die Planhinweiskarte (PHK) (siehe Abbildung 66) transformiert die wissenschaftlichen Erkenntnisse der KFK sowie weiterer Analysen, Szenarien und Studien in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Stadtentwicklung. Durch die integrierte Berücksichtigung vieler unterschiedlicher Thematiken können so synergetische, aber auch konkurrierende Effekte - und die damit verbundenen Maßnahmenempfehlungen - in Bezug auf die kommunale Planung herausgearbeitet werden.

Die Planungshinweise werden in der Karte flächig oder mit Symbolen dargestellt, da sie i.d.R. größere Bereiche überspannen. Auch die Symbole beschreiben nicht nur einen einzelnen Punkt, sondern stehen für einen Bereich bzw. ein Gebiet. Dabei kann der Bezugsraum der Planungshinweise variieren. Für eine dezidierte Abgrenzung einzelner Planungshinweise dienen die unterschiedlichen Themenkarten (vgl. Kapitel 6) sowie die Klimafunktionskarte (vgl. Kapitel 7.1) oder die z.T. die Stadtteilsteckbriefe (vgl. Teil 3 des Berichts). Im Rahmen der Stadtklimaanalyse Lohr a.Main stellen die Planungshinweise eine wichtige Grundlage für ein gesamtstädtisches Klimaanpassungskonzept dar. Die aufgeführten Planungshinweise greifen unterschiedliche klimatische Themenkomplexe / Problematiken auf und schlagen Handlungsempfehlungen. Die Räume mit Planungshinweisen sollten im Kontext der städtebaulichen Entwicklung generell als klimatisch „sehr sensibel“ und „sensibel“ eingestuft werden. Entsprechend der vorliegenden Planungshinweise sollte

geprüft werden, inwieweit die Entwicklung eines Raums den Planungshinweisen entgegensteht.

Planungshinweise mit „sehr hoher“ klimatischer Bedeutung: Diese Räume besitzen ein wichtiges klimatisches Charakteristikum und haben eine besondere Bedeutung für die eigentliche Fläche und für den umliegenden Raum, oder aber auch den weiteren Siedlungsraum.

Planungshinweise „hoher“ klimatischer Bedeutung: Diese Räume besitzen ein ebenfalls wichtiges klimatisches Charakteristikum, sind jedoch in ihrer Umgebungswirkung bzw. in ihrer positiven (oder negativen) Wirkung auf die Umgebung geringer einzustufen als Planungshinweise „sehr hoher“ klimatischer Bedeutung.

Die Durchlüftungssicherung des Siedlungsraums zählt zu den wesentlichen Leitlinien einer klimatisch nachhaltigen Stadtentwicklung. In diesem Sinne macht die Planungshinweiskarte ersichtlich, wo sich zentrale Durchlüftungsachsen befinden, wo für den Siedlungskontext bedeutsame Kaltluftentstehungsgebiete und bebauungsfreie Räume liegen und aus welcher Richtung die Kaltluftversorgung erfolgt. Der Großteil entsprechender Kaltluftentstehungsgebiete liegt auf der westlichen Seite des Mains. Ein großflächiges Offenlandgebiet auf der östlichen Mainseite befindet sich am südöstlichen Rand des Untersuchungsgebiets, von wo aus die Kaltluftversorgung (hoher klimatischer Bedeutung) für das nahegelegene „Sendelbach“ erfolgt. In dessen direktem räumlichen Kontext nimmt der Main die Funktion einer sehr klimatisch bedeutsamen Durchlüftungsachse ein, da sich auch das nächtliche bodennahe Strömungsfeld, welches für den Transport der Luftmassen maßgeblich ist, an dessen Verlauf orientiert. Die weiteren Kaltluftentstehungsgebiete auf der westlichen Seite des Mains grenzen unmittelbar an den

Stadtraum an bzw. ziehen sich stellenweise durch diesen hindurch. Eine sehr hohe klimatische Bedeutung hinsichtlich der Kaltluftentstehung und -versorgung wird vieren dieser Gebiete zugeordnet: Der Grünzäsur mit den „Sackenbacher Wiesen“ westlich von „Sackenbach“, der Offenfläche westlich des Gewerbegebiets „Bosch Rexroth“, dem Landschaftsschutzgebiet „Klapper“ und den Freiflächen am „Rechtebach“. Bei Letzteren handelt es sich darüber hinaus um sehr wichtige Durchlüftungssachsen, die hinsichtlich zukünftiger Stadtentwicklungsvorhaben möglichst von Bebauung freizuhalten sind. Auch die Kaltluftentstehungsgebiete von hoher klimatischer Bedeutung (zwischen der Bundesstraße 276 und Lohr; nördlich an „Wombach“ angrenzend und zwischen „Wombach“ und dem Gewerbe- und Industriegebiet „Lohr Süd“) sind als Durchlüftungssachsen für die Kaltluftversorgung des Siedlungsraums bedeutsam und sollten als solche nicht weiter bebaut werden.

Im innerstädtischen Bereich besitzen Vegetationsbestände eine fernwirkende klimatische Ausgleichsfunktion. Bestehende Vegetationsstrukturen sind daher insbesondere – aber nicht ausschließlich - nahe klimatisch belasteter Stadträume mit einer erhöhten baulichen Dichte wie z.B. der Kernstadt und den Zentren „Sackenbachs“ und „Sendelbachs“ zu erhalten und zu entwickeln. Auch der Verzicht auf die weitere bauliche Verdichtung ist z.B. die Sportplatzflächen westlich des „TSV 1846 Lohr am Main“ sowie auf den südlich des städtischen Friedhofs gelegenen Freiflächen aus klimatischer Sicht sinnvoll.

Neben der Durchlüftungsaspekte werden in der Planungshinweiskarte auch potentielle Retentionsräume und Überschwemmungsbereiche

identifiziert. Einige der Kaltluftentstehungsgebiete nahe potentieller Überschwemmungsbereiche bieten sich durch ihre Senksituation sowie ihre räumliche Nähe zu Wasserflächen bzw. Flüssen und Bächen als natürliche Retentionsräume an (z.B. zwischen „Wombach“ und dem Gewerbe- und Industriegebiet „Lohr Süd“, westlich des Gewerbegebiets „Bosch Rexroth“). Auch die an der „Bahnhofstraße“ gelegenen Sportflächen wären dazu in der Lage, die Wasserlast lokal zu vermindern. Bei einigen der potentiellen Überschwemmungsbereiche hoher Bedeutung handelt es sich ebenfalls um Siedlungsräume mit starker klimatischer Belastung. Hierzu zählen beispielsweise das Gewerbe- und Industriegebiet „Lohr Süd“ und die nördlich daran angrenzenden Gewerbeflächen, das Zentrum „Sackenbachs“ an der „Pfungstgrundstraße“ und Teile des Altstadtbereichs von Lohr sowie der Bereich des davon nördlich gelegenen Gewerbegebiete. Beim Zentrum „Sendelbachs“ (an der „Sendelbacher Straße“) handelt es sich nicht um einen potentiellen Überschwemmungsbereich, sondern um einen Siedlungsraum mit starker klimatischer Belastung, deren Milderung bspw. durch die Entwicklung des Straßenbegleitgrüns erfolgen kann.

Der Detailraum (siehe Abbildung 67) zeigt eine vergrößerte Darstellung des Stadtkerns und seiner unmittelbaren Umgebung. Der Fokusraum erstreckt sich im Norden bis an das nördlich der „Haaggasse“ gelegene Gewerbegebiet „Bosch Rexroth“, im Osten bis zum Main, im Süden bis zum „Kaibach“ und im Westen über die Bahngleise hinaus. Der Altstadtbereich ist neben einer erhöhten baulichen Dichte durch eine mitunter sehr starke klimatische Belastung gekennzeichnet; einige Räume stellen darüber hinaus potentielle Überschwemmungsbereiche dar.

Diese entsprechenden Räume mit hoher Bedeutung befinden sich einerseits nördlich der Kernstadt an der „Haaggasse“ und andererseits auf der Parkplatzfläche an der „Kaplan-Höfling-Straße“ sowie nördlich und südlich der „Ludwigstraße“. Die klimatisch belasteten Räume innerhalb der Altstadt liegen beiderseits entlang der „Hauptstraße“ und der „Turmstraße“ - hier wie auch in den restlichen belasteten Stadträumen sollten Maßnahmen zur klimatischen Aufwertung bzw. Entlastung (z.B. mit temporären

Verschattungsmaßnahmen im Sommer) des Gebiets ergriffen werden. Generell stellt der Altstadtbereich sowie die westlich angrenzenden Gebiete beidseits der Bahnstrecke sensible Räume dar, die aus klimatischer Sicht nur eingeschränkt und umsichtig entwickelt werden müssen. Der Erhalt der Vegetationsbestände im Südwesten und Norden der Altstadt sind in dieser Hinsicht ebenfalls sinnvoll und die Entwicklung von Straßenbegleitgrün wünschenswert.

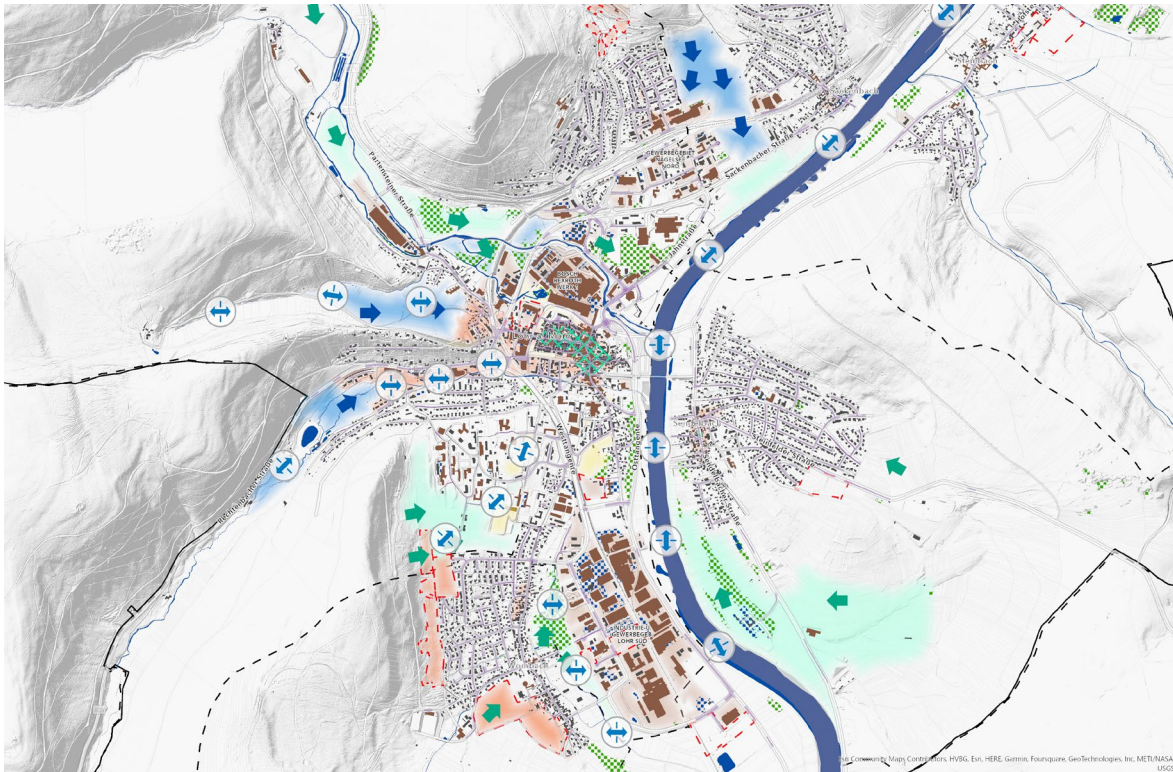


Abbildung 66: Auszug aus der Planungshinweiskarte (PHK). Wichtige Durchlüftungachsen werden mit Punktsymbolen gekennzeichnet, der Kaltlufttransport aus ihren jeweiligen Entstehungsgebieten mit blauen (sehr hohe Bedeutung) und grünen (hohe Bedeutung) Pfeilen. Sensible Räume, die ggf. eingeschränkt entwickelt werden sollten sind lachsfarben eingefärbt, z.T. betreffen sie auch die Baulandreserven (rote gestrichelte Linie) der Stadt. Räume mit Überschwemmungsrisiko (blau kariert) und Bereiche zur Retentionsraum-Sicherung bzw. Schaffung (grün kariert) ergänzen die klimatischen Planungshinweise.

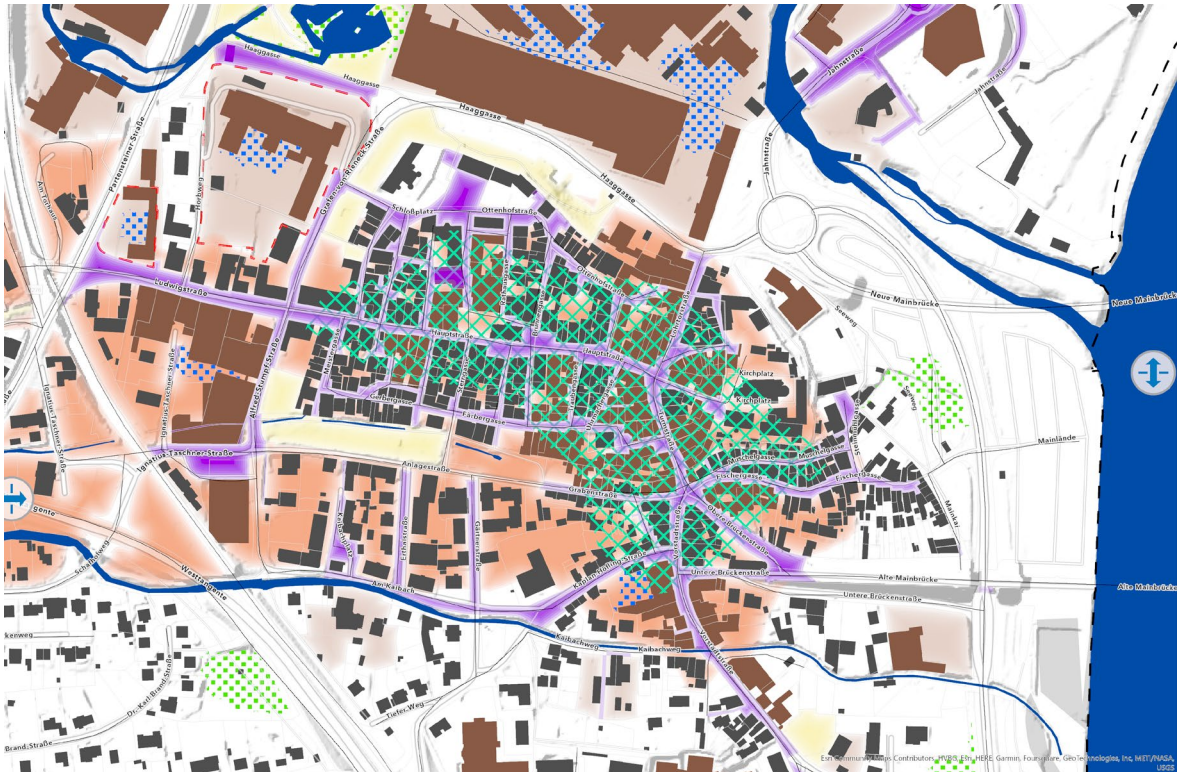


Abbildung 67: Detailansicht der Planungshinweiskarte - Bereich "Altstadt". Die sensiblen Räume (lachsfarben) erstrecken sich fast über den gesamten Innenstadtbereich. Zur Milderung der klimatischen Belastung des Siedlungsraums empfehlen sich unterschiedliche Maßnahmen, wie z.B. die Entwicklung von Stadtbäumen und Straßenbegleitgrün (violette Bereiche), temporäre Verschattungsmaßnahmen (grünes Gitter), der Einsatz von Materialvorgaben, Fassadenbegrünung & Dachbegrünung (braune Bereiche) oder die Reduktion von Versiegelung (blau kariert).

8.2 Stadtteilsteckbriefe

8.2.1 Klimatische Charakterisierung und Verortung der Maßnahmen zur Klimaanpassung

In Absprache mit der Stadt Lohr a.Main wurden für folgende Stadtteile / Ortsteile individuelle Steckbriefe erstellt, die zum einen eine detailliertere Beschreibung des Stadtteils und zum anderen Vorschläge für Klimaanpassungsmaßnahmen enthalten.

- Halsbach
- Lohr (Kernstadt / „Altstadt“)
- Lindig
- Pflochsbach
- Rodenbach
- Ruppertshütten
- Sackenbach
- Sendelbach
- Steinbach
- Wombach

Der erste Teil des Steckbriefs enthält statistische Daten und Auswertungen für das Stadtteilgebiet, wie z.B. Flächengrößen, Flächennutzungen, Einwohnerzahlen oder Vegetationsanteil.

Der zweite Abschnitt beschreibt die stadtklimatische Bedeutung des Stadtteils und auch seine Bedeutung in Bezug auf die Gesamtstadt. Hierauf aufbauend werden die stadtklimatischen Entwicklungspotentiale und Handlungsbedarfe beschrieben und dargestellt.

Der dritte Teil stellt die aus klimatischer Sicht empfohlene Maßnahmenplanung und Maßnahmenverortung kartographisch dar. Zusätzliche Maßnahmensteckbriefe am Ende des Stadtteilsteckbriefs sollen als Informations- und Unterstützungsmaterial für einzelne Maßnahmenempfehlungen dienen. Inhaltlich umgreifen sie entweder die gute Fachliche Praxis oder

beinhalten konkrete Richtlinien- bzw. Fachempfehlungen (z.B. FLL-Dachbegrünungsrichtlinie). Generell sollen die Maßnahmensteckbriefe als Hilfsmittel für die Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen verstanden werden.

8.2.2 Städtische Baulandreserven

Seitens der Stadt Lohr a.Main wurden insgesamt 19 Flächen als städtische Baulandreserven definiert. Entsprechend ihrer Lokalisation in den unterschiedlichen Stadtteilen wurden alle Flächen im klimatischen Kontext bewertet und diese Bewertung als vierter Teil in den Stadtteilsteckbrief integriert.

Alle Stadtteilsteckbriefe inklusiv der klimatischen Bewertung der Baulandreserven liegen gesammelt im dritten Teil des Berichts „Stadtteilsteckbriefe und Maßnahmen“ vor.

8.3 Klimatische Bewertung der Grünzäsur mit den „Sackenbacher Wiesen“

Bei der Grünzäsur handelt es sich um ein am Hang gelegene ca. 250-300 m breite, und knapp 1.000 m langes Offenlandgebiet im südwestlichen Bereich des Stadtteils „Sackenbach“, östlich angrenzend an den Stadtteil „Lohr-Lindig“. Das Gebiet ist durch Wiesenflächen geprägt die teils mit aufgelockerten Hecken- und Gehölzstrukturen, sowie mit Streuobstbeständen durchsetzt sind (siehe Abbildung 66). Insgesamt erstreckt sich die Offenlandfläche vom Main im Süden als breites Band bis in die Höhenlagen von ca. 230 m, wo es an die ersten Waldstrukturen der östlichen Spessartausläufer angrenzt. Die Fläche wird dabei von der Bundesstraße 26 sowie der etwas weiter nördlich gelegene Bahnstrecke durchschnitten. Dabei liegen Bundesstraße und Bahnstrecke auf gleichem Höhenniveau wie die umgebenden Flächen. Eine Wall- oder Grabensituation liegt entsprechend nicht vor.

Ein großer Teil der mittleren Wiesenfläche zwischen den beiden Siedlungsgebieten ist als geschützter Landschaftsbestandteil nach § 29 BNatSchG ausgewiesen. Der geschützte Landschaftsbestandteil „Sackenbacher Wiese“ umfasst eine Fläche von 8,99 ha in der Gemarkung „Sackenbach“, Stadt Lohr. Zweck der Festsetzung ist der Schutz und die Entwicklung der vorkommenden Pflanzen- und Tierarten sowie den Lebensraum der sandigen Magerwiesen am Standort zu erhalten. Ebenso dient der Schutz der Bewahrung des Erholungswertes des Gebietes.

Im Rahmen des vorliegenden Klimaanpassungskonzeptes und der integrierten Stadtklimaanalyse für die Stadt Lohr a.Main, wurden neben den hochaufgelösten Untersuchungen auch eine

Messkampagne (vgl. Kapitel 5.1.1) im Sommer 2021 zum Thema bodennahe Lufttemperatur (Messsensoren ganztägig verschattet) durchgeführt. Dabei wurden auf den hier beschriebenen Offenlandbereichen von Juni bis September drei Sensoren ausgebracht, von denen ein Sensor (im Übergang der Wiesenflächen in den Wald) ausgefallen ist. Mit Hilfe eines weiteren Sensors in der Altstadt sowie einem direkt am Mainufer, ist es möglich die verbleibenden zwei Sensoren auf dem Grünland in den direkten Vergleich zwischen dem hier unverbauten Offenland und Flächen mit Siedlungsbebauung und Gewässernähe herzustellen.

Die Ergebnisse der Messkampagne verdeutlichen eindrucksvoll wie stark sich lokalklimatische Gegebenheiten voneinander unterscheiden können. Obwohl eine generalisierte Betrachtung zu vermeiden ist, zeigt das Diagramm 21 den direkten Vergleich der Messwerte der unterschiedlichen Messstandorte. Dabei ist wichtig, festzuhalten, dass es sich um eine Auswertung über den gesamten Messzeitraum handelt, was bedeutet, dass die erreichten Temperaturwerte nicht zwangsläufig an denselben Tagen erreicht wurden. Entsprechend ist eine pauschalisierte Aussage zu vermeiden. Vielmehr müssen die Werte vor dem Hintergrund der zeitlichen Dimensionierung betrachtet und als Momentaufnahme in den Sommermonaten verstanden werden. Erwartungsgemäß weist die „Altstadt“ als stark versiegelter und bebauter Raum die höchsten Temperaturwerte im Maximum, im Mittel wie auch im Minimum auf. Bei der differenzierten Betrachtung der vegetationsdominierten Räume zeigt sich jedoch ein heterogenes Verteilungsbild, über welches sich die lokalklimatischen Besonderheiten interpretieren lassen. Der Messstandort auf der Grünzäsur, der am weitesten

vom Mainufer entfernt liegt (nord) erfährt mit einem Temperaturminimum von 5,0 °C die stärkste nächtliche Abkühlung. Je weiter der Messstandort Richtung Main wandert, desto weiter steigt (wenn auch im geringen Maße) die Minimaltemperatur an. Der Grund hierfür ist, dass der Gewässerkörper des Mains am Tag mehr Energie aufnimmt und speichert als die Offenlandfläche. Entsprechend kann dies auch Auswirkungen auf die direkte Umgebung haben. Im Mittel zeigt sich jedoch, dass das Mainufer die geringste Durchschnittstemperatur aufweist, was wiederum auf die verringerte thermische Belastung am Tag zurückzuführen ist. Durch die Kombination des hohen Vegetationsanteils mit dem Gewässer und der geringen Oberflächenrauigkeit entstehen am Tag geringere Lufttemperaturmaxima als in der Altstadt oder auf den Offenlandbereichen.

Neben der Messkampagne zeigen auch die Berechnungen zur nächtlichen Kaltluftentstehung und des Kaltluftabflusses (vgl. Kapitel 6.4.1) auf der Fläche eine besondere aktive Bedeutung. In den frühen Nachstunden kann auf Grund der Unverbautheit, und der offengehaltenen

Vegetationsstrukturen ein intensives bodennahes Windfeld entstehen, welches die entstehende nächtliche Kaltluft nach Süden und nach Südwesten entlang des Mains aber auch bereits in den südwestlich angrenzenden Siedlungsraum im Bereich des Gewerbegebietes „Nägelsee Nord“ transportiert. Durch den hohen Kaltluftvolumenstrom (m^3/s) auf den Flächen besitzen die Grünzäsur, als primäres Kaltluftentstehungsgebiet, im Kontext der gesamtstädtischen Kaltluftversorgung des Maintals einen hohen klimatisch-planerischen Stellenwert.

Aufgrund der bestehenden klimatischen Charakteristik als lokaler Ausgleichsraum, aber auch als Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiet mit für das Stadtgebiet von Lohr a.Main relevante Bedeutung sollte aus stadtklimatischer Perspektive von einer weiteren Bebauung / Arrondierung der Fläche abgesehen werden.

Vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels dient dies mitunter zur Sicherstellung des Luftaustausches (Belüftung) sowie der nächtlichen Abkühlung (entgegenwirken des städtischen Wärmeinseleffekts) der talgelegenen Siedlungsräume der Stadt Lohr a.Main.



Abbildung 68: "Sackenbacher Wiesen" mit Blickrichtung Norden auf die Ausläufer des Spessarts

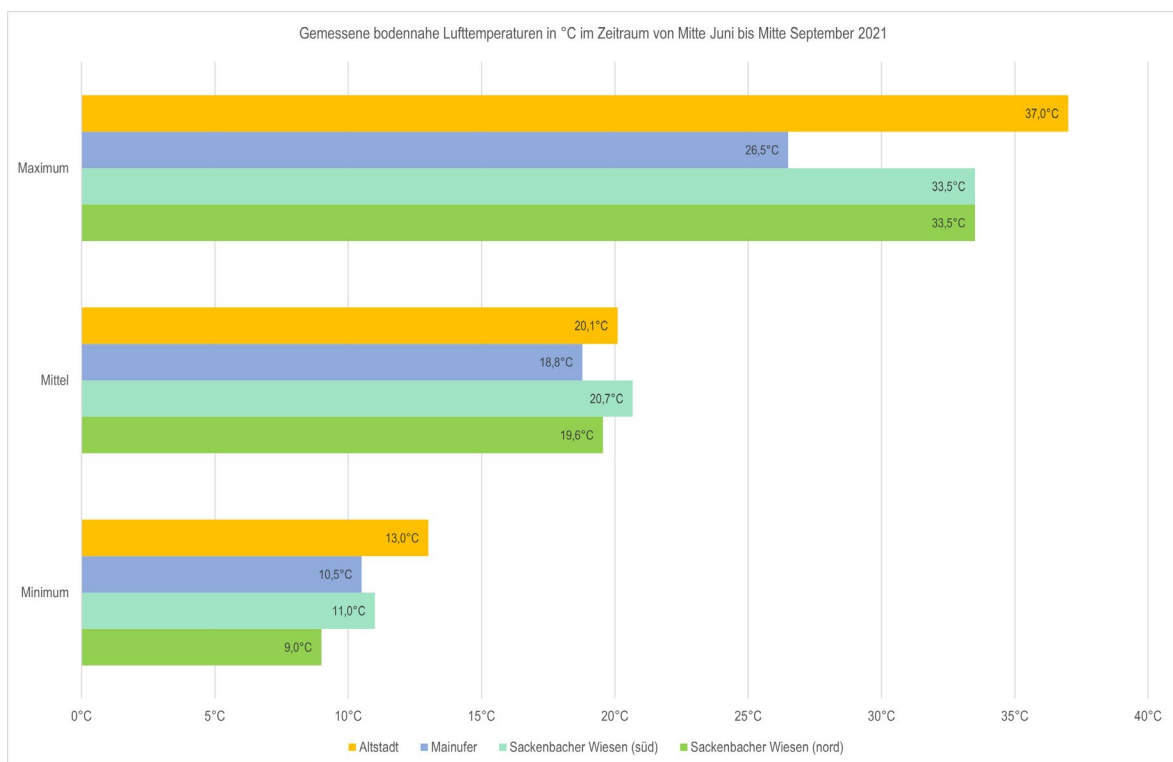


Diagramm 21: Auswertung der Messkampagne 2021 im Bereich des Grünzugs „Sackenbacher Wiesen“ sowie der „Altstadt“ von Lohr a.Main. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.

9 Zusammenfassung

Von Mitte 2021 bis Anfang 2023 wurde für und mit der Stadt Lohr a.Main ein Klimafolgenanpassungskonzept entwickelt, welches teilweise oder in Gänze im Laufe des Jahres 2023 vom Stadtrat beschlossen werden soll. Lohr a.Main war eine von acht geförderten Kommunen im Rahmen des Modellvorhabens „Klimagerechter Städtebau“, welche seitens des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr gefördert und begleitet wurden.

Seitens der Stadt Lohr a.Main wurde das Vorhaben von der Umweltstelle – Abteilung Stadtentwicklung, Bauen + Umwelt (Herr Wirth und Frau Müller) geführt, während die fachliche Expertise und die Erarbeitung des Klimafolgenanpassungskonzepts durch das Planungsbüro Burghardt und Partner, Ingenieure aus Kassel erfolgte.

Der erste Schritt zur Konzepterarbeitung stellte die Aufnahme und Analyse der klimatischen Bestandssituation der Stadt Lohr a.Main dar. Hierzu wurden langjährige Klimareihen und aktuelle Wetterdaten für die Stadt und die Region ausgewertet. Zusätzlich fand im Sommer 2021 eine lokale Messkampagne mit einer mehrmonatigen Laufzeit statt. Sachdaten und Geodaten für den Untersuchungsraum wurden akquiriert, aufgearbeitet und fachlich analysiert. Erste Produkte aus diesen Analysen stellen die sogenannten Themenkarten dar, die teilweise direkt klimatische Aspekte, wie z.B. die Kaltluftentstehung und den Kaltlufttransport für die Stadt Lohr a.Main darstellen oder aber einfach lokale Gegebenheiten oder typische Ausprägungsmerkmale des Untersuchungsraums wiedergeben. Alle Karten wurden flächendeckend für den gesamten Untersuchungsraum erstellt und stehen

als Mehrwert der städtischen Verwaltung zukünftig auch für beispielsweise nicht klimatische Fragestellungen zur Verfügung. Bezüglich des Untersuchungsraums ist anzumerken, dass sich dieser über die administrative Grenze der Lohr a.Main hinauserstreckt, so dass Einflussnahmen oder Effekte auf den Planungsraum, das administrative Stadtgebiet, bzw. dessen Klima beachtet wurden.

Auf Grundlage der unterschiedlichen Wetter- und Klimaauswertungen sowie der vorliegenden Themenkarten wurde Anfang 2022 die Klimafunktionskarte für die Stadt Lohr a.Main fertiggestellt, welche die klimatische Bestandssituation der Stadt beschreibt. Auf Grund seiner klimatischen Charakteristika wird der städtische Raum unterschiedlichen Klimatopen zugeordnet. Die sechs Klimatop-Kategorien orientieren sich an der entsprechenden Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure e.V. (VDI).

Mit der Erstellung der Klimafunktionskarte wurde der erste Teil des Vorhabens, die Bestandsaufnahme und Analyse, abgeschlossen. Die Zwischenergebnisse wurde Anfang 2022 im Stadtrat vorgestellt.

Der zweite Teil des Klimafolgenanpassungskonzepts umfasste die Maßnahmenentwicklung für die Stadt Lohr a.Main. In enger Absprache mit der Stadt wurde für den Untersuchungsraum eine flächendeckende Planungshinweiskarte, angelehnt an die VDI-Richtlinie 3787, entwickelt.

Von der Ebene der Planungshinweiskarte wurde zusätzlich auf die Ebene der Stadtteile gewechselt und für jeden Stadtteil ein individueller klimatischer Stadtteilsteckbrief entwickelt. Neben allgemeine Daten und statischen Auswertungen, bezogen auf die Fläche des jeweiligen Stadtteils, enthalten die Steckbriefe außerdem

Maßnahmenempfehlungen aus klimatischer Sicht. Als Informations- und Unterstützungsmaterial für einzelne Maßnahmenempfehlungen dienen ergänzende Maßnahmensteckbriefe. Inhaltlich umgreifen diese entweder die gute Fachliche Praxis oder beinhalten konkrete Richtlinien- bzw. Fachempfehlungen. Generell sollen die Maßnahmensteckbriefe als Hilfsmittel für die Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen verstanden werden. Abschließend wurden seitens der Stadt Lohr a.Main definierten Baulandreserven im Rahmen der Stadtteilsteckbriefe klimatisch charakterisiert sowie hinsichtlich ihres Potentials im Kontext der städtebaulichen Entwicklung bewertet.

Die Planungshinweiskarte und die Stadtteilsteckbriefe transformieren die klimatische Bestandsaufnahme und Analysen in einen planungsbezogenen Kontext und stehen zukünftig den unterschiedlichen Ämtern der Stadt zur Verfügung.

Neben der klimatischen Bewertung der Baulandreserven, war ein weiterer wichtiger Punkt die genauere Analyse und Beurteilung der Grünzäsur zwischen den Stadtteilen „Sackenbach“ und „Lohr-Lindig“, die in einem eigenständigen Kapitel bearbeitet wurde. Die im Sommer 2021 durchgeführte Messkampagne wurde entsprechend für den Bereich des Grünzugs angelegt.

Die schriftliche Niederlegung des Klimafolgenanpassungskonzepts erfolgte in insgesamt drei Teilen

- Teil 1 – Klimaanalyse und Planung,
- Teil 2 – Karten- und Planwerke und
- Teil 3 – Stadtteilsteckbriefe und Maßnahmen.

Neben den genannten Akquisen, Analysen, Bewertungen, Instrumenten und Aktivitäten enthält

der Bericht ebenfalls Informationen zu fachlichen Grundlagen und einen Glossar zu typischen Fachbegriffen, so dass ein möglichst guter Informationstransfer möglich ist.

10 Anhang

10.1 Glossar

BEGRIFF	BEDEUTUNG
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 ≥ 30 °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.
Klimatop	Fläche mit einheitlichen geländeklimatischen Eigenschaften
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 Maßstabbereich. 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.
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 längerer 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	Atmosphärenschicht 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.
Wind Chill-Effekt	Durch eine erhöhte Windgeschwindigkeit tritt in den Fällen eine Abkühlung im Hautbereich auf, in denen die Hauttemperatur über der Lufttemperatur liegt, der sogenannte Wind Chill-Effekt. Dieser Abkühlungseffekt verstärkt sich mit zunehmender Windgeschwindigkeit.
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.

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

10.2 Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2022a): Landschaften in Deutschland, <https://geodienste.bfn.de/landschaften?lang=de> (Abruf 10/2022)
- 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“
- 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
- Copernicus Climate Change Service (2019): CORDEX regional climate model data on single levels. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on 13.10.2022), DOI: 10.24381/cds.bc91edc3.
- Deutsche Meteorologische Gesellschaft e.V., Online-Quelle URL: www.dmg-ev.de/publikationen/stellungnahmen (Abruf: 10/2018)
- Deutscher Wetterdienst (DWD): Informationsblatt: Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21, - Stand 03/2016
- Deutscher Wetterdienst (DWD), Online-Quelle URL: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html (Abruf: 05/2022)
- Deutscher Wetterdienst (DWD 2022c): Wetterlexikon „Kontinentalklima“ <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101486> (Abruf: 08/2022)
- Dimoudi A. und Nikolopoulou M. (2003): Vegetation in the urban environment: Microclimatic Analysis and Benefits. Energy and Buildings, 35(1), 69-76
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2008): Urban Heat Island Basics, in Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies
- Frank W. (1975): Raumklima und thermische Behaglichkeit: Literaturlauswertung, In: Berichte aus der Bauforschung, Bd. 104, Berlin
- 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
- Global Wind Atlas Online-Quelle URL: <https://globalwindatlas.info/> (Abruf: 04/2022)

- 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 und 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
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Katzschner L. und Thorsson S. (2009): *Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design*, The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan
- King E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten; *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 130; 17
- Kuttler W. (2011): *Climate change in urban areas – part 1*, *Effects Environmental Sciences Europe* 23
- LANUV (2018): *Fachbericht 86 – Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen*, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- Liljequist G.H. und Cihak K. (1979): *Allgemeine Meteorologie*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig
- Lohmeyer, A. (2008): *Klimafunktions- und Klimaplanungskarten*, In: *Lohmeyer Aktuell*, Bd. 20, Karlsruhe
- Lohr am Main (2014): *Umweltbericht*, Online-Quelle URL: https://www.lohr.de/fileadmin/user_upload/Bauamt/1001905_Umweltbericht_2014_150dpi_k-1.pdf
- 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
- Meynen E. und Schmithüsen J. (Hrsg.) (1962): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands / unter Mitwirkung des Zentrallausschusses für Deutsche Landeskunde*
- 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*, *Theoretical and Applied Climatology* volume 84, pages 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

Statistik Bayern (2021): Stadt Lohr am Main – eine Auswahl wichtiger statistischer Daten, Online-Quelle
URL: https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/statistik_kommunal/2021/09677155.pdf

Topographic Map: Deutschland, <https://de-de.topographic-map.com/maps/649q/Deutschland/> (Abruf: 08/2022)

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

University of Reading (2022): Show Your Stripes – Warming Stripes Bayern 1881 bis 2021, Online-Quelle
URL: <https://showyourstripes.info/s/europe/germany/bayern>

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2003): Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2015): Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1

VM BW (Hrsg.) (2012): Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg

Weather Base (o.J.): Paris, France. Online verfügbar unter: <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=94170&cityname=Paris-Ile-de-France-France> (Abruf 10/2022)

10.3 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Übersicht der Klimaebenen im typischen Planungskontext. Je nach klimatischer Ebene unterscheiden sich Einflussgrößen, Fragestellungen, Bezugsraum und Anwendungsmöglichkeiten. 9
- Abbildung 2: Darstellung der typischen Temperaturentwicklungen (nicht während einer Hitzewelle) am Tag und in der Nacht in Abhängigkeit von der Umgebung. Die orangen Graphen stellen die Oberflächen- (durchgehend) und Lufttemperaturen (gestrichelt) am Tag dar, die blauen Graphen beide Temperaturen bei Nacht. Hierbei zeigt sich deutlich die unterschiedliche Wärmespeicherkapazität verschiedener Materialien oder Objekte. Am Tag steigt die Temperatur des Teichwassers (Pond) kaum bzw. nur sehr langsam an, auf Grund der guten Wärmespeicherkapazität des Wasserkörpers fällt sie in der Nacht, ohne Strahlungseintrag, aber auch nicht bzw. nur kaum ab. Ein gegensätzliches Beispiel stellen Industrieanlagen oder -hallen (Warehouse or Industrial) dar. I.d.R. bestehen die Dächer dieser Bauten aus Metall und erhitzen sich am Tag, bei Strahlungseintrag, sehr stark. Nachts kühlen sie sich dagegen recht schnell ab, u.a. auch weil die Gebäude keine Massivbauten sind und keine große Masse besitzen (EPA 2008). 11
- Abbildung 3: Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017). 11
- Abbildung 4: Darstellung der Zirkulation von Hang- (helle Pfeile) sowie Berg- und Talwinden (dunkle Pfeile) in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cehak 1979). 13
- Abbildung 5: Schematische Darstellung der Windprofile über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978). 14
- Abbildung 6: 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 (blauer Pfeil mit gleicher Geschwindigkeit, aber auf unterschiedlicher Höhe = vertikale Streckung des Profils) und den Raum unterhalb der mittleren Gebäude-höhe (UC). 16
- Abbildung 7: Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980). 18
- Abbildung 8: Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Während einer strahlungsarmen Nacht steigen die wärmeren "Stadtluft"-Massen auf (geringere Dichte) um nach Abkühlung (höhere Dichte) wieder abzusinken. Zusammen mit den nach Sonnenuntergang entstehenden Kaltluftmassen des ruderalen Raums etabliert sich so ein sensibles Flurwindsystem (Sogwirkung durch den Luftdruckgegensatz). 21
- Abbildung 9: 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 bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012). 21
- Abbildung 10: Die unterschiedlichen Planungsebenen mit ihrem administrativen Bezug sowie den korrespondierenden klimatischen Fragestellungen und den möglichen Auflösungen. 23

- Abbildung 11: Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK. Die Eingangsdaten bilden diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen ab, die Themenkarten repräsentieren (klimarelevante) räumliche Ableitungen. 27
- Abbildung 12: Vier Themenkartengruppen (links) mit deren Hilfe unterschiedlichste klimatische Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können. 27
- Abbildung 13: Schematische Darstellung der Funktionsweise eines GIS. Unterschiedlichste Eingangsdaten (Raster- oder Vektordaten) können miteinander verschnitten und analysiert werden, um ein möglichst genaues digitales Abbild der Realität zu schaffen. 28
- Abbildung 14: Ortsteile von Lohr a.Main – Ruppertshütten (nördl.) und Halsbach (östl.) sind nicht eingezeichnet. 30
- Abbildung 15: Topographisches Profil der Stadt Lohr a.Main. Die weiß-roten Bereiche stellen die Höhenzüge („Sohlhöhe“ 536 m ü. NHN, nördlich und „Steckenlaubshöhe“ 542 m ü. NHN, westlich) und die violett-blauen Bereiche die Niederungen des Mains (rd. 150 m ü. NHN) dar. 31
- Abbildung 16: Lage der Stadt Lohr a.Main (roter Marker) im Kontext der naturräumlichen Großregionen Deutschlands nach Meynen und Schmithüsen (2012). 33
- Abbildung 17: Schutzgebiete im Bereich Lohr a.Main. (Rot eingefärbt = NSG; Grün punktiert = LSG; Rot straffiert = FFH-Gebiet; Blau straffiert = Vogelschutzgebiet) (BfN 2022). 33
- Abbildung 18: Ausschnitt zur Übersichtskarte „klimatischen Gliederung Deutschland“ (Hendl und Endlicher 2003). Die Stadt Lohr am Main liegt in einer Zone des submartimen Klimas und am Rand eines niederschlagsbegünstigten Bereichs (blaue Schraffur, > 950 mm/Jahr) 34
- Abbildung 19: Positionen der DWD-Wetterstationen im Untersuchungsraum - Lohr/Main-Steinbach in der Nähe des Mains, Lohr/Main-Halsbach und Lohr/Main-Ruppertshütten im nordwestlichen Randbereich des UR. 36
- Abbildung 20: Bereiche der Messkampagne (blaue Markierungen) im Sommer 2021 (ODbL 2022) 41
- Abbildung 21: Wetterstation Neuhütten/Spessart (ID 07412). Die Windmessungen der Station wurden für die Auswertung des langjährigen Mittels der Windstärke und der Windrichtung in Abhängigkeit der Tages- bzw. Nachtzeit sowie der Jahreszeiten herangezogen. 47
- Abbildung 22: Übersicht zur ganzjährigen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 1,84 m/s bzw. 3,57 m/s in der Region Lohr a.Main (3 km x 3 km) auf einer Höhe von 10 m (links) bzw. 50 m (rechts) ü. Grund (GWA 2022). Deutlich ist der Verlauf des Main-Tals und der Zuflüsse zu erkennen. Diese Bereiche werden durch niedrigere Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet. ... 52
- Abbildung 23: Darstellung der ganzjährigen Anströmung (nicht die Windstärke) auf einer Höhe von 10 m ü. Grund für Lohr a.Main (GWA 2022). 52
- Abbildung 24: Landnutzung klassifiziert nach Atkis BasisDLM 55
- Abbildung 25: Auszug aus der Themenkarte "Landnutzung". „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ werden rosa- bzw. lachsfarben dargestellt, „Industrie- und Gewerbeflächen“ in dunklen violett. Mit hoher Vegetation bestandene Bereiche werden in unterschiedlichen Grüntönen und Offenlandbereiche gelblich wiedergegeben. 56

- Abbildung 26: Detailansicht Themenkarte "Landnutzung" - Bereich "Altstadt". Zentral von West nach Ost verläuft die Ludwigstraße bzw. Hauptstraße durch „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“. Flächen „besonderer funktionaler Prägung“ (blass violett) repräsentieren i.d.R. kommunale Einrichtungen wie bspw. das Klinikum „Mai-Spessart Lohr“, der städtische Kindergarten oder die Grundschule. Vegetationsbezogene Flächen (Grüntöne) sind spärlich im Zentrum vorhanden, ein Streifen zieht sich entlang der „Anlagestraße“ / „Grabenstraße“, ein anderer südlich der „Haaggasse“ – gegenüber vom „Industrie- und Gewerbegebiet Bosch Rexroth“.
..... 56
- Abbildung 27: Auszug aus der Themenkarte "Hangneigung und Hangrichtung". Bei der kombinierten Darstellung werden über unterschiedliche Farben die Hangausrichtungen (z.B. Norden = Grün oder Osten = Blau) und durch die Intensität der Farbe die Hangneigung in Prozent (5-20%, 20-40% und >40%) wiedergegeben..... 58
- Abbildung 28: Detailansicht Themenkarte "Hangneigung und Hangrichtung" - Bereich "Altstadt". Der Innstadtraum zeigt sich relativ flach mit Hangneigungen < 5%. Steilere, aber kleinflächigere Geländebereiche finden sich in und um die vegetationsbestandenen Bereiche südlich der „Haaggasse“ sowie nördlich der „Anlagestraße und entlang des Bahndamms sowie der Fließgewässer. 58
- Abbildung 29: Schematische Darstellung eines BlueSpots 61
- Abbildung 30: Auszug aus der Themenkarte "Oberflächeneinzugsgebiete". Die Grenzen der Oberflächeneinzugsgebiete mit einer Ausdehnung von > 50ha werden in violett dargestellt. Die „Hauptabflüsse“ aus den Einzugsgebieten über orange Linien, deren Fließrichtung über Pfeile angezeigt wird. Im Hintergrund werden zusätzlich die Geländehöhen unterschiedlich farblich abgesetzt. Es wurden nur „Einzugsgebiete“ und „Abflussregime“ für Ausdehnungen > 50ha dargestellt. 62
- Abbildung 31: Detailansicht Themenkarte "Oberflächeneinzugsgebiete" - Bereich "Altstadt". Der Innenstadtbereich teilt sich in zwei große „Oberflächeneinzugsgebiete“, deren Grenze von West nach Ost leicht nördlich der „Anlagestraße“ verläuft und im Bereich der „Sterngasse“ weiter nach Norden auf die „Hauptstraße“ springt. Dieser folgt die Grenze nach Osten, um vor dem Kirchplatz rechtwinklig nach Norden abzuknicken. Der einzige in diesem Bereich vorhandene „Hauptabfluss“ folgt dem „Kaibach“, mit Ausnahme im Bereich der „Kaplan-Höfling-Straße“, Richtung Main..... 62
- Abbildung 32: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | BlueSpot - Erfassung". Identifizierte BlueSpots (Niederschlag bis 100mm innerhalb 24Std.) werden in hellblau dargestellt. 63
- Abbildung 33: Detailansicht Themenkarte " Starkregengefahrenkarte | BlueSpot - Erfassung" - Bereich "Altstadt". Identifizierte BlueSpots werden in hellblau dargestellt, Oberflächeneinzugsgebiete mit hellroten Grenzen und die zugehörigen Abflüsse mit Richtungsangabe mit grünen Linien. Ein größerer BlueSpot im Innenstadtbereich bildet sich im östlichen Teil der „Haaggasse“, der Richtung Norden entwässert sowie im Bereich des Parkplatzes „Seeweg“, dessen Entwässerung der Osttangente folgt. 63
- Abbildung 34: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Überschwemmungsrisiko nach Niederschlagsmengen". Farbliche Darstellung der Niederschlagsmengen, ab wann ein Überlaufen

- des BlueSpots stattfindet. Dunkelrote Flächen laufen bereits nach einem Eintrag von > 20mm Niederschlag über, während bei dunkelgrüne Flächen kein „Spillover“ stattfindet. 64
- Abbildung 35: Detailansicht Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Überschwemmungsrisiko nach Niederschlagsmengen" - Bereich "Altstadt. Die beiden größeren BlueSpots – östliche „Haaggasse“ und Parkplatz „Seeweg“ – laufen bereits ab 30mm bzw. 20mm Eintrag über und entwässern entsprechend ihrem Abfluss. 64
- Abbildung 36: Auszug aus der Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Tiefendarstellung". Farbliche Darstellung der identifizierten BlueSpots hinsichtlich ihrer Tiefe. Violette BlueSpots sind eher flacher (< 0,25m) während rote BlueSpots Tiefen bis 12m erreichen (i.d.R. Steinbrüche o.ä.). 65
- Abbildung 37: Detailansicht Themenkarte "Starkregengefahrenkarte | Tiefendarstellung" - Bereich "Altstadt. Die meisten im Innenstadtbereich identifizierten BlueSpots weisen geringe Tiefen von bis maximal 0,75m auf. Größere Tiefen stellen sich punktuell im Zusammenhang mit der vorliegenden Bebauung ein, bspw. im Eingangsbereich des „Klinikums“, nördlich der „Muschelgasse“ oder östlich der „Uhrmachergasse“ ein. 65
- Abbildung 38: Prinzip des SkyView Factors..... 66
- Abbildung 39: Auszug aus der Themenkarte "Bauliche und räumliche Offenheit“. Der SkyView-Factor ist eine dimensionslose Größe und wird in Werten zwischen 0 und 1 wiedergegeben. Werte um den Bereich 1 (hellblau bis weiß) stellen eine baulich und räumliche Offenheit von fast 100% dar. Pink bis rot dargestellt Bereiche haben eine sehr niedrige baulich und räumliche Offenheit. 67
- Abbildung 40: Detailansicht Themenkarte "Bauliche und räumliche Offenheit" - Bereich "Altstadt. Dieser Innenstadtbereich ist auf Grund seiner dichten Bebauung und schmalen Straßen bzw. Gassen von einem sehr niedrigen SVF (pink und rot) geprägt. 67
- Abbildung 41: Auszug aus der Themenkarte "Bauvolumendichte“. Die Bauvolumendichte beschreibt die Dichte der Bebauung im dreidimensionalen Raum. Eine hohe Bauvolumendichte wird in Pink- und Rot-Tönen dargestellt, während eine geringe Bauvolumendichte in Türkis-Tönen erscheint. 69
- Abbildung 42: Detailansicht Themenkarte "Bauvolumendichte" - Bereich "Altstadt“. Generell herrscht im bebauten Innenstadtbereich eine mittlere Bauvolumendichte (Gelb-Töne), die beispielsweise im Bereich der „Alfred-Stumpf-Straße“, des „Klinikums“ und den Hallen des Gewerbegebiets „Bosch Rexroth“ in eine hohe Bauvolumendichte umschlägt. 69
- Abbildung 43: Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte 70
- Abbildung 44: Auszug aus der Themenkarte "Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte“. Die Grundflächenzahl (Blautöne) steht im Verhältnis zur Gebäudevolumendichte (Orangetöne). 72
- Abbildung 45: Detailansicht Themenkarte "Grundflächenzahl im Verhältnis zur Bauvolumendichte" – Bereich „Altstadt“. Die kleinteiligen Parzellen der Altstadt variieren primär zwischen hohen (Dunkelbraun) und einseitig mittleren GRZ- und GVD-Werten (Dunkelorange, Dunkelblau)..... 72
- Abbildung 46: Auszug aus der Themenkarte "Vegetationserfassung“. Zusätzlich zu den offiziellen vegetationsbehafteten Nutzungsklassen des Atkis BasisDLM wurden vitale Vegetationsstrukturen über die Analyse von Nah-Infrarotluftbilder identifiziert, um das gesamte Grünvolumen des Untersuchungsraums zu erfassen. 74

Abbildung 47: Detailansicht Themenkarte "Vegetationserfassung" - Bereich "Altstadt". Der kleinparzellige Kern- und Altstadtbereich ist insbesondere beidseits der „Hauptstraße“ sehr schwach durchgrünt. Das betrifft öffentliches Grün, wie auch das private Grün.....	74
Abbildung 48: Legende zur städtischen Durchgrünung auf Flurstücksebene.....	76
Abbildung 49: Auszug aus der Themenkarte "Städtische Durchgrünung auf Flurstücksebene". Entsprechend dem analysierten Durchgrünungsgrad werden die Flurstücke in unterschiedlichen Farben dargestellt. Dunkelrot steht für eine Durchgrünung von weniger als 10%.....	77
Abbildung 50: Detailansicht Themenkarte "Städtische Durchgrünung auf Flurstücksebene" - Bereich "Altstadt". Die Flurstücke im kleinparzelligen Kern- und Altstadtbereich ist insbesondere beidseits der „Hauptstraße“ defizitär hinsichtlich der Durchgrünung mit i.d.R. < als 10% Grünanteil pro Flurstück.	77
Abbildung 51: Legende zur Kaltluftanalyse	79
Abbildung 52: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 15min. Simulationszeit". Das bodennahe nächtliche Windfeld ist zu Beginn der Nacht im Außenbereich noch sehr heterogen ausgeprägt und weist auch durchgängig Windgeschwindigkeiten > 0,1m/s auf. Eine deutliche Kaltluftschicht ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden.	80
Abbildung 53: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 15min. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Zu diesem Zeitpunkt existieren noch keine Kaltluftschichten im Innenstadtbereich.....	80
Abbildung 54: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 2Std. Simulationszeit". Das bodennahe nächtliche Windfeld wird zunehmend homogener, während eines gleichzeitigen Rückgang der Windgeschwindigkeiten. Die Tal- und Senkenbereiche füllen sich zunehmend mit im Offenland entstehender Kaltluft.	81
Abbildung 55: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 2Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Der komplette Bereich der Innenstadt wurde von der einströmenden Kaltluft überspült.	81
Abbildung 56: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 5Std. Simulationszeit". Die mainnahen Siedlungsräume verfügen mittlerweile eine Kaltluftschichtdicke von rd. 50m. Das Windfeld beruhigt sich zunehmend.	82
Abbildung 57: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 5Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Die Kaltluftschichtdicke steigt im Innenstadtbereich weiter an.	82
Abbildung 58: Auszug aus der Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 8Std. Simulationszeit". Am Ende der Simulationsnacht liegt die Kaltluftschichtdicke in den mainnahen Bereichen bei rd. 140m.	83
Abbildung 59: Detailansicht Themenkarte "Nächtliche Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport nach 8Std. Simulationszeit" - Bereich "Altstadt". Am Ende der Simulationsnacht liegt die Kaltluftschichtdicke im Innenstadtbereich bei rd. 120 – 130m.....	83

- Abbildung 60: Legende der bodennahen Lufttemperatur in °C (2m ü. Grund um 04:00h)..... 84
- Abbildung 61: Auszug aus der Themenkarte "Bodennahe Lufttemperatur in °C (nachts)". Der Detailraum sowie die beiden „Gewerbe- und Industriegebiete“ stellen die großflächigsten Areale mit den höchsten Lufttemperaturen von > 21°C im städtischen Raum dar. 85
- Abbildung 62: Detailansicht Themenkarte " Bodennahe Lufttemperatur in °C (nachts)" - Bereich "Altstadt". Der kleinparzellige Kern- und Altstadtbereich, insbesondere beidseits der „Hauptstraße“, weist mit 21,8°C die höchste Temperaturen im städtischen Raum auf..... 85
- Abbildung 63: Auszug aus der Klimafunktionskarte (KFK). Deutlich erkennbar die drei flächigeren Ausprägungen des „Stadtklimas“ (hellorange) und des „Innenstadtklimas“ (dunkelorange) 88
- Abbildung 64: Detailansicht der Klimafunktionskarte - Bereich "Altstadt". Weite Teile des kleinparzelligen Kern- und Altstadtbereichs können dem „Stadtklima“ mit Tendenz zum „Innenstadtklima“ zugeordnet werden. 88
- Abbildung 65: Ausschnitt aus dem für Deutschland verfügbaren Raster der Klimaprojektionen. Verwendung fanden die Daten des markierten Rasterpunkts..... 90
- Abbildung 66: Auszug aus der Planungshinweiskarte (PHK). Wichtige Durchlüftungssachsen werden mit Punktsymbolen gekennzeichnet, der Kaltlufttransport aus ihren jeweiligen Entstehungsgebieten mit blauen (sehr hohe Bedeutung) und grünen (hohe Bedeutung) Pfeilen. Sensible Räume, die ggf. eingeschränkt entwickelt werden sollten sind lachsfarben eingefärbt, z.T. betreffen sie auch die Baulandreserven (rote gestrichelte Linie) der Stadt. Räume mit Überschwemmungsrisiko (blau kariert) und Bereiche zur Retentionsraum Sicherung bzw. Schaffung (grün kariert) ergänzen die klimatischen Planungshinweise. 98
- Abbildung 67: Detailansicht der Planungshinweiskarte - Bereich "Altstadt". Die sensiblen Räume (lachsfarben) erstrecken sich fast über den gesamten Innenstadtbereich. Zur Milderung der klimatischen Belastung des Siedlungsraums empfehlen sich unterschiedliche Maßnahmen, wie z.B. die Entwicklung von Stadtbäumen und Straßenbegleitgrün (violette Bereiche), temporäre Verschattungsmaßnahmen (grünes Gitter), der Einsatz von Materialvorgaben, Fassadenbegrünung & Dachbegrünung (braune Bereiche) oder die Reduktion von Versiegelung (blau kariert)..... 99
- Abbildung 68: "Sackenbacher Wiesen" mit Blickrichtung Norden auf die Ausläufer des Spessarts..... 103

10.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkungen (rechte Spalte) im städtischen Raum	8
Tabelle 2: Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017).....	16
Tabelle 3: Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entspr. Strömungsregimen	18
Tabelle 4: Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k. A. = keine Angaben).....	20
Tabelle 5: Vier grundlegende Aspekte und deren Ursprung bzw. ihren Abhängigkeiten, die zur Bewertung der Klima-funktionen herangezogen werden.	24
Tabelle 6: Monatliche Temperaturveränderungen (Durchschnittstemperatur) der DWD-Messstationen Lohr a.Main-Steinbach und Lohr a.Main-Halsbach bis 1 °C (gelb) und über 1°C (rot) für zwei 30-jährige Mittel	35
Tabelle 7: Monatliche Niederschlagsveränderungen in mm/m ² der DWD-Messstationen Lohr a.Main-Ruppertshütten, Lohr a.Main-Steinbach und Lohr a.Main-Halsbach (Anstieg = grün; Reduktion = rot)	37
Tabelle 8: Auswertung der 30-jährigen Mittel der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur 2 m ü. Grund [°C]. Die stärksten Veränderungen zwischen den unterschiedlichen Perioden (1 bis 4) innerhalb desselben Monats wurden dunkelrot hinterlegt, im Verhältnis weniger starke Veränderungen in abgeschwächten Rottönen.	39
Tabelle 9: Auswertung der 30-jährigen Mittel der Monatssummen zum Niederschlag [mm]. Starke negative Veränderungen zwischen den unterschiedlichen Perioden (1 bis 4) innerhalb desselben Monats wurden rot hinterlegt, rechnerisch positive Veränderungen – also mehr Niederschlag – in grün.	40
Tabelle 10: Ereignistage zur Lufttemperatur und die dazugehörigen Definitionen	43
Tabelle 11: Zeitliche und saisonale Grenzwerte der Datenauswertung der DWD-Station Neuhütten/Spessart.....	47
Tabelle 12: Ergebnisübersicht zur Auswertung der zeitlichen und saisonalen Windverhältnisse der Station Neuhütten/Spessart.	47
Tabelle 13: Übersicht zu den einzelnen Themenkarten in den entsprechenden Kategorien.....	53
Tabelle 14: Übersicht zu den unterschiedlichen Klimatopen mit ihren grundsätzlichen Charakteristika.	87

10.5 Diagrammverzeichnis

- Diagramm 1: Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [°C] in einer Höhe von 2 m über Grund an den zwei DWD-Messstandorten Lohr a.Main – Steinbach (gelb) und Lohr a.Main – Halsbach (blau) für zwei aufeinander folgende 30-jährige Mittel. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden. 36
- Diagramm 2: Darstellung der monatlichen Durchschnittniederschläge [mm] an den drei DWD-Messstandorten Lohr a.Main – Steinbach (gelb), Lohr a.Main – Halsbach (blau) und Lohr a.Main – Ruppertshütten (grau) für zwei aufeinander folgende 30-jährige Mittel. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden..... 38
- Diagramm 3: Darstellung der 30-jährigen Mittel der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur 2 m ü. Grund [°C]. Die älteste Periode wird blau, die jüngste Periode gelb dargestellt. Deutlich erkennbar ist ein Anstieg der Monatsmittelwerte zur Lufttemperatur seit 1962. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden. 39
- Diagramm 4: Darstellung der 30-jährigen Mittel der Monatssummen zum Niederschlag [mm]. Die älteste Periode wird blau, die jüngste Periode gelb dargestellt. Die Jahressummen der Niederschläge bleiben ungefähr auf dem gleichen Niveau. Auffällig ist eine zunehmende Abnahme der Niederschläge in den Monaten März, April, Juni und September. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden. 41
- Diagramm 5: Darstellung der jährlichen Anzahl der Sommertage (LT Max. ≥ 25 °C, gelbe Linie) und Heißen Tage (LT Max. ≥ 30 °C, orange Linie) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden. 43
- Diagramm 6: Darstellung der jährlichen Anzahl der Frosttage (LT Min. < 0 °C, blaue Linie) und der Eistage (LT Max. < 0 °C, violette Linie) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden..... 44
- Diagramm 7: Anzahl der jährlichen Tage mit Niederschlagsmengen ≥ 20 mm (hellblau) und ≥ 30 mm (dunkelblau) seit 1951 bis 2021. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden. 44
- Diagramm 8: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Winter. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten..... 48
- Diagramm 9: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Frühling. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit West und Ost-Nordostkomponenten..... 48
- Diagramm 10: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Sommer. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit West und leichten Ost-Nordostkomponenten..... 49
- Diagramm 11: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während des Tages im Herbst. Die Hauptströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten..... 49

Diagramm 12: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Winter. Die Haupanströmungsrichtung ist Süd-West mit Ost-Nordostkomponenten.....	50
Diagramm 13: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Frühling. Die Haupanströmungsrichtung ist Süd-West mit West und Süd-Südwest sowie Ost-Nordostkomponenten	50
Diagramm 14: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Sommer. Die Haupanströmungsrichtung ist Süd-Südwest mit Süd-West und leichten Nord-Ostkomponenten	51
Diagramm 15: Windstärke und Windrichtung der Station Neuhütten/Spessart im Mittel (2006-2020) während der Nacht im Herbst. Die Haupanströmungsrichtung ist Süd-West mit Süd-Südwest und leichten Ost-Nordostkomponenten	51
Diagramm 16: Entwicklung und Projektion der durchschnittlichen Jahrestemperaturen für Lohr a.Main. Die historischen Daten der DWD-Wetterstation werden mit den grauen Säulen dargestellt, die Projektionen des RCP 4.5 in Blau und des RCP 8.5 in Rot. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	91
Diagramm 17: Entwicklung und Projektion der durchschnittlichen Monatstemperaturen für Lohr a.Main. Die historischen Daten der DWD-Wetterstation werden in blassblau dargestellt. Die 30-jährigen Mittel 2021-2050 in Türkistönen und 2071-2100 in Violetttöne für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	92
Diagramm 18: Auswertung der Anzahl der Sommertage (LT Max. ≥ 25 °C) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violetttöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	94
Diagramm 19: Auswertung der Anzahl der Heißen Tage (LT Max. ≥ 30 °C) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violetttöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	94
Diagramm 20: Auswertung der Anzahl der Tropennächte (LT Min. ≥ 20 °C) der 30-jährigen Mittel 2021-2050 (Türkistöne) und 2071-2100 (Violetttöne) für die RCP-Szenarien 4.5 (hell) und 8.5 (dunkel). Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	95
Diagramm 21: Auswertung der Messkampagne 2021 im Bereich des Grünzugs „Sackenbacher Wiesen“ sowie der „Altstadt“ von Lohr a.Main. Eine größere Darstellung des Diagramms ist im Anhang zu finden.	103

10.6 Diagramme

Diagramm 1 – monatliche Durchschnittstemperatur

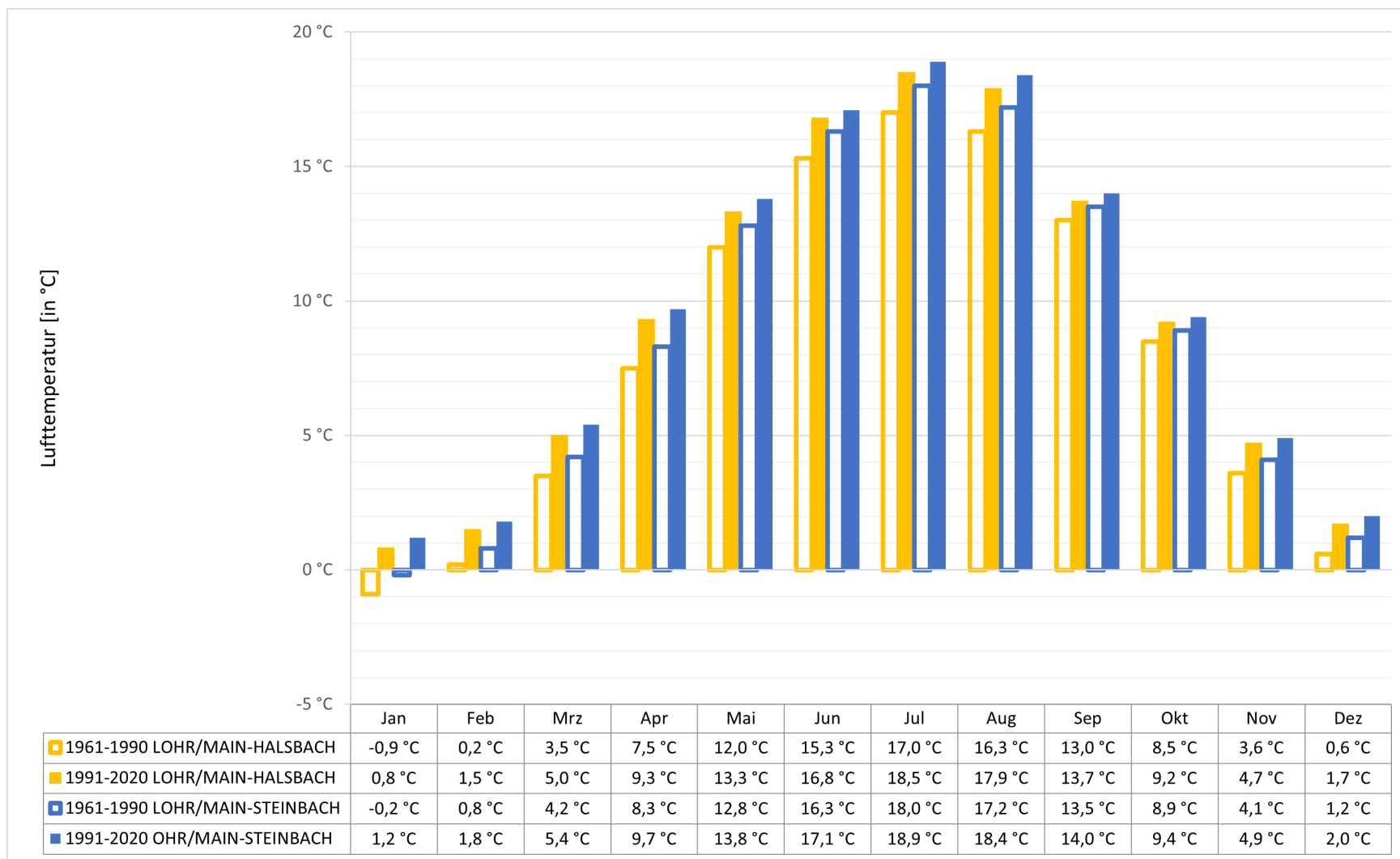


Diagramm 2 – monatliche Niederschlagssummen

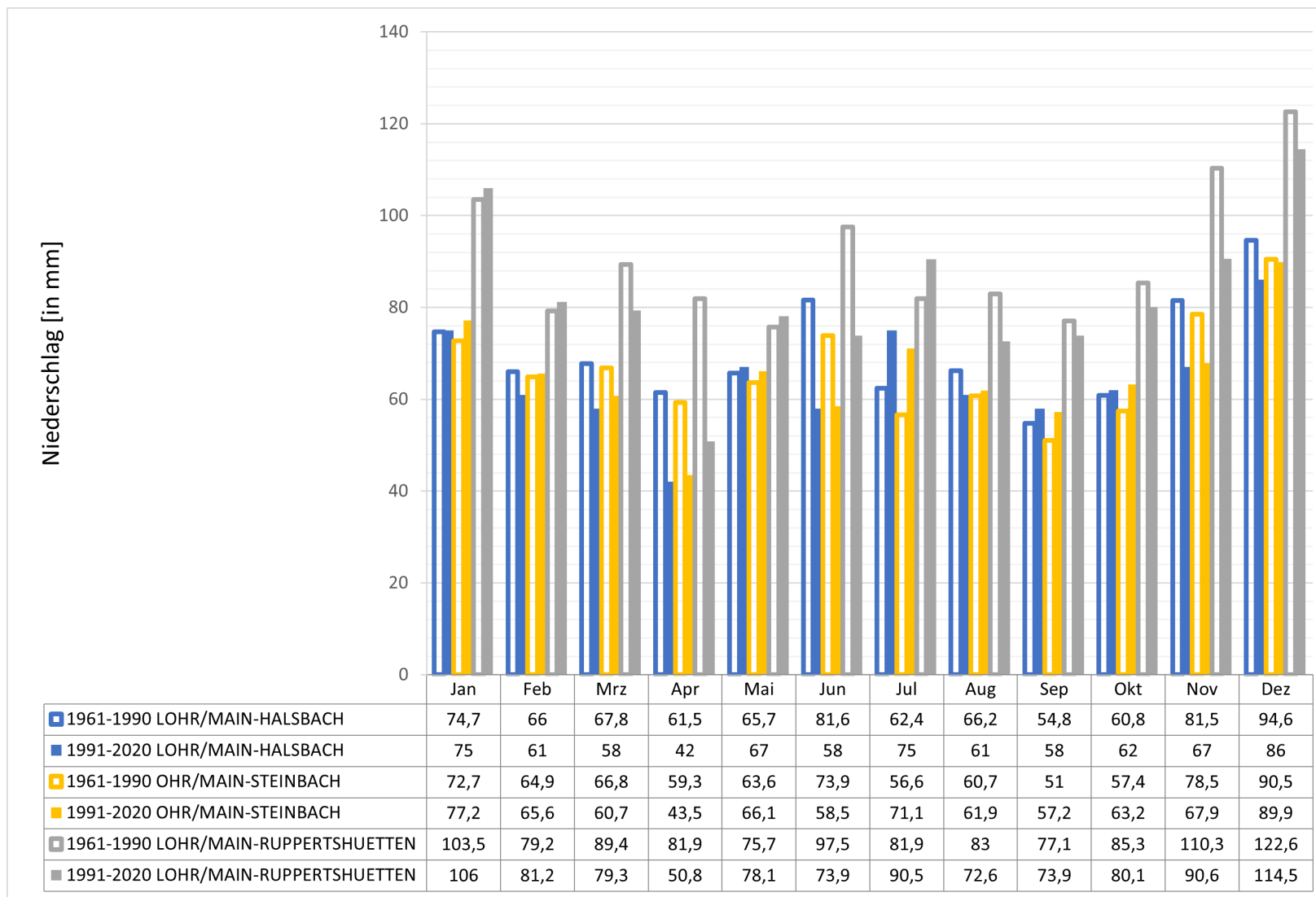


Diagramm 3 – Monatsmittelwerte Lufttemperatur 30-jährige Mittel

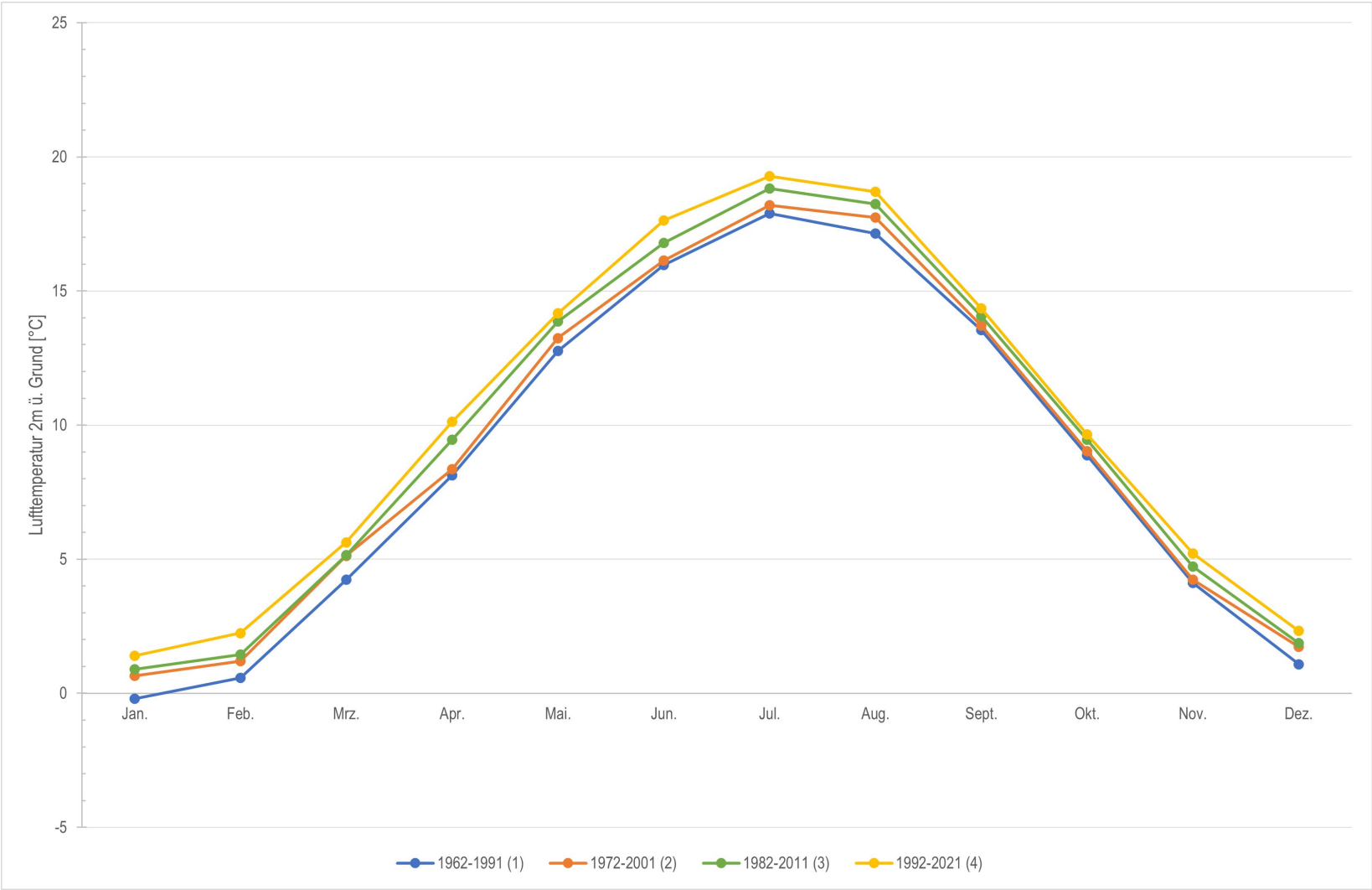


Diagramm 4 – Monatssummen Niederschlag 30-jährige Mittel

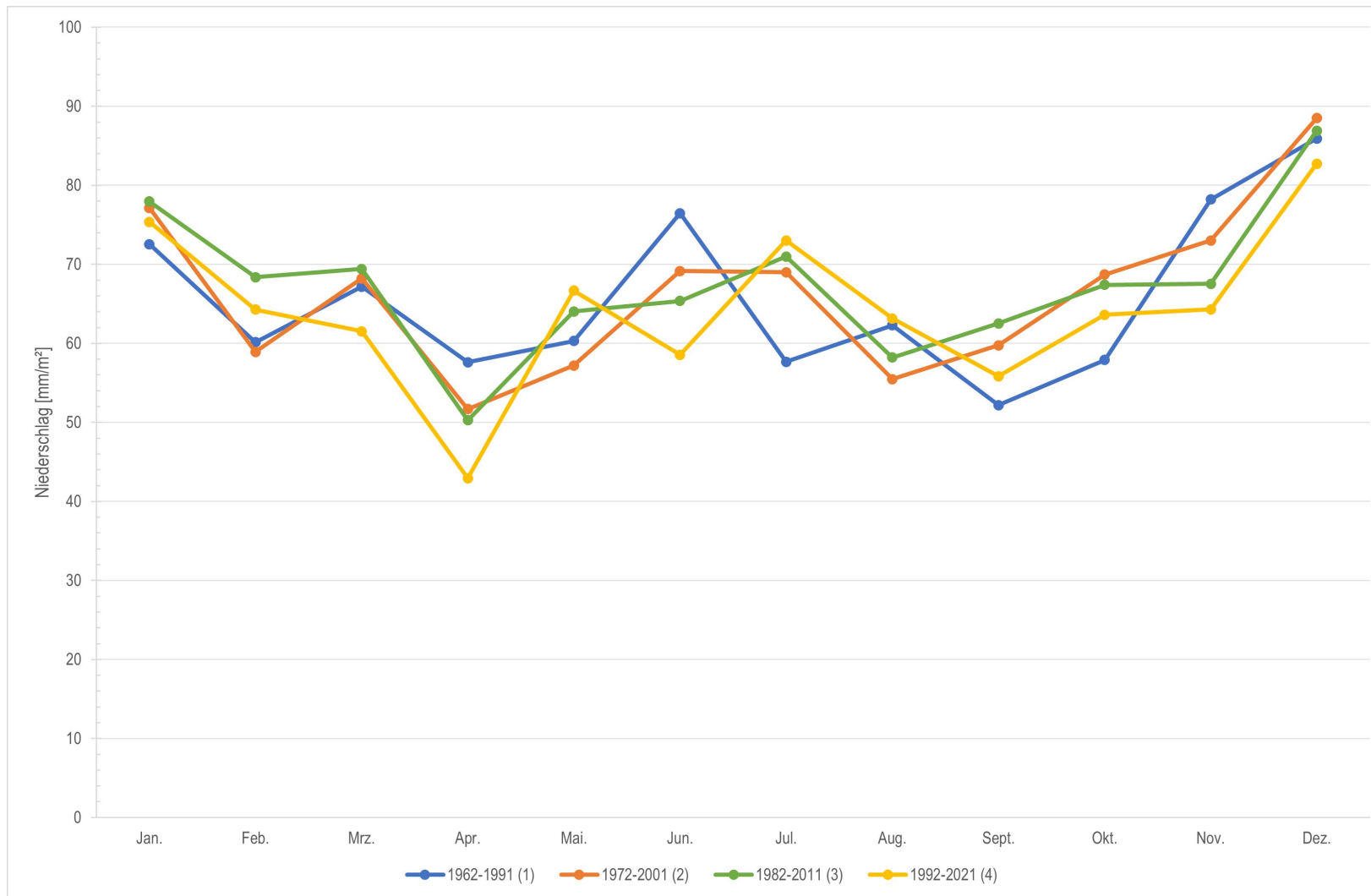


Diagramm 5 – Anzahl Sommertage und Heiße Tage

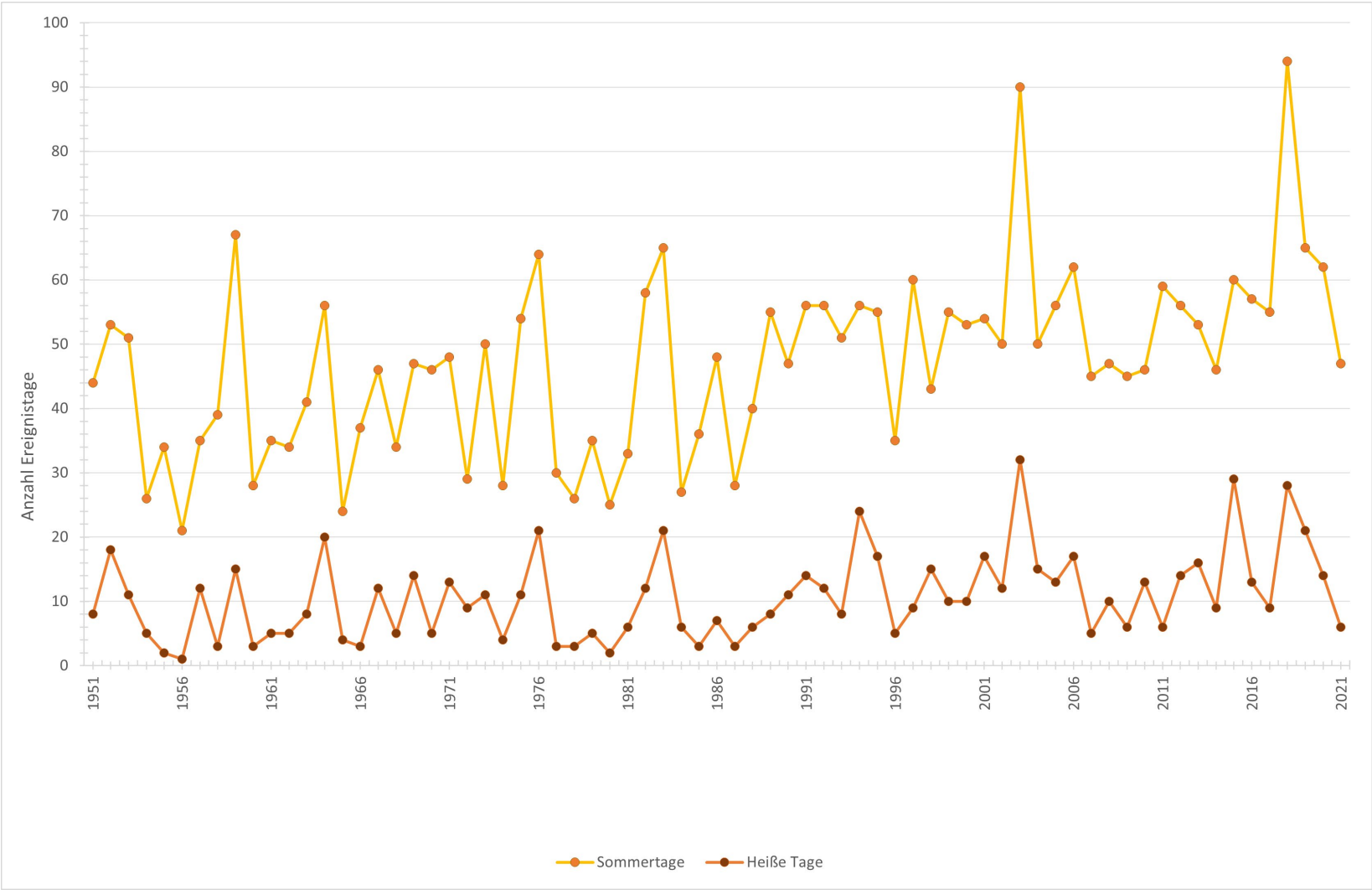


Diagramm 6 – Anzahl Frosttage und Eistage

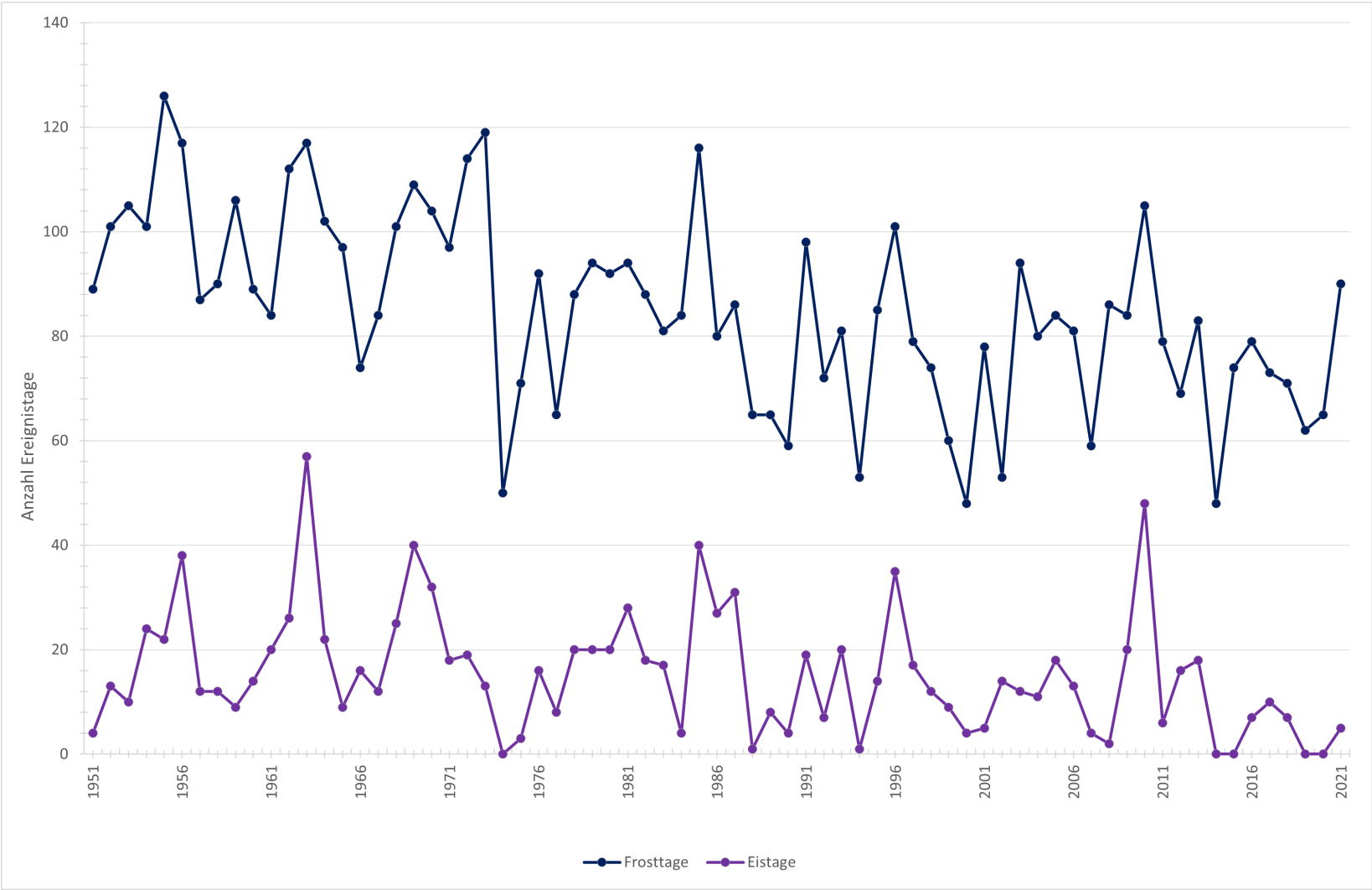


Diagramm 7 – Anzahl Tage Niederschlagsmengen >20mm und >30mm

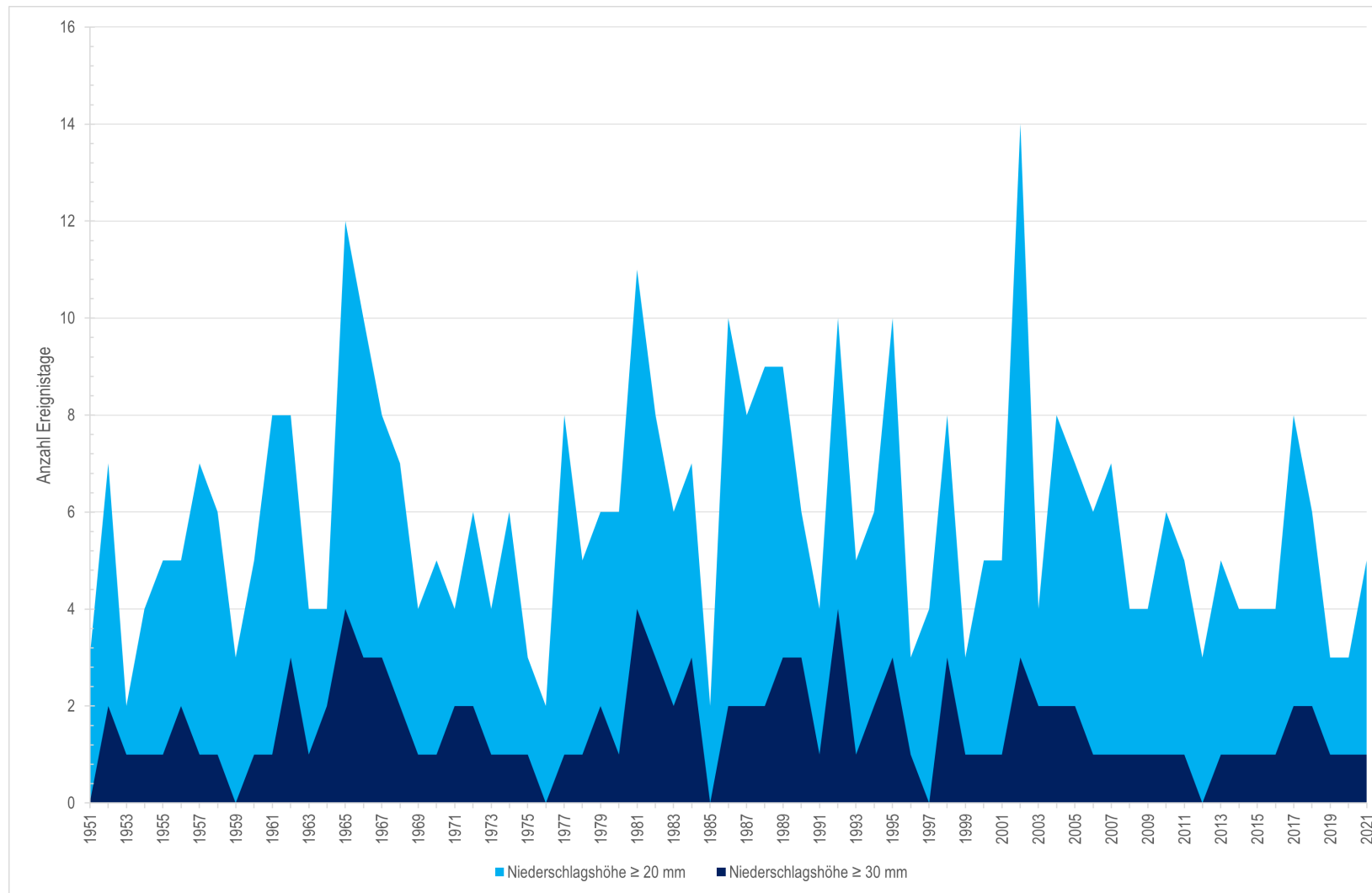


Diagramm 8 – Windstärke und Windrichtung (Tag | Winter)

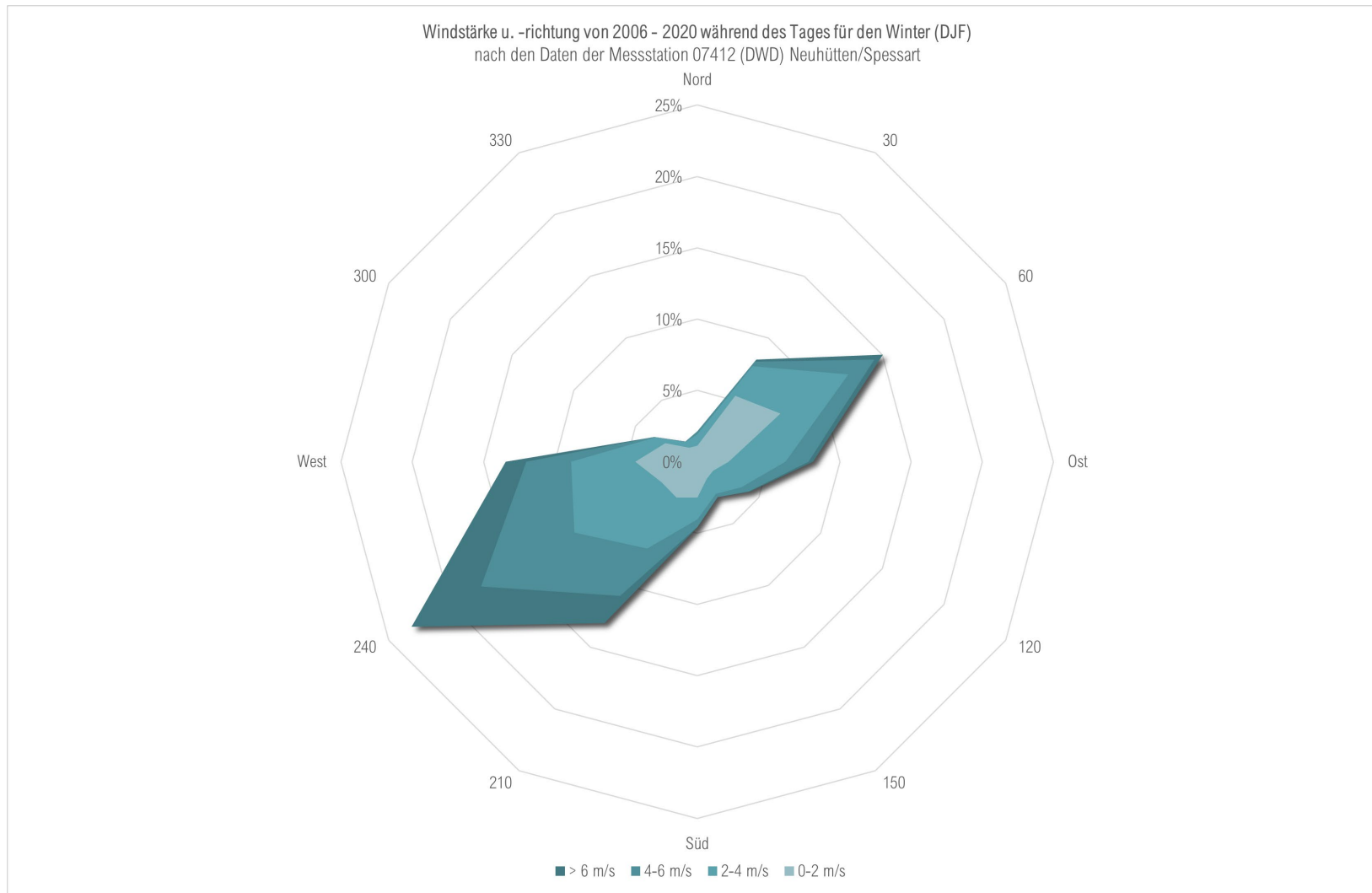


Diagramm 9 – Windstärke und Windrichtung (Tag | Frühling)

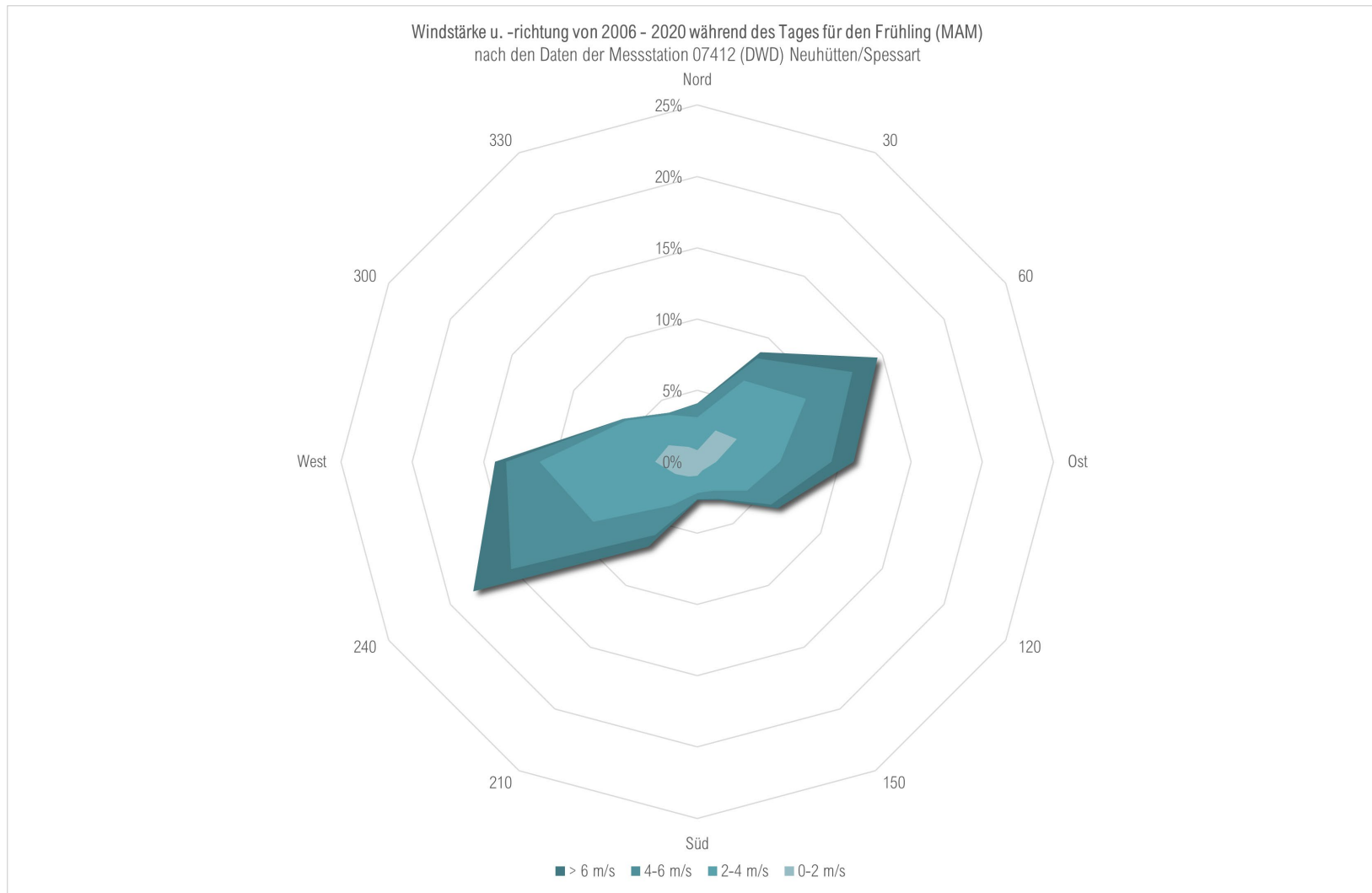


Diagramm 10 – Windstärke und Windrichtung (Tag | Sommer)

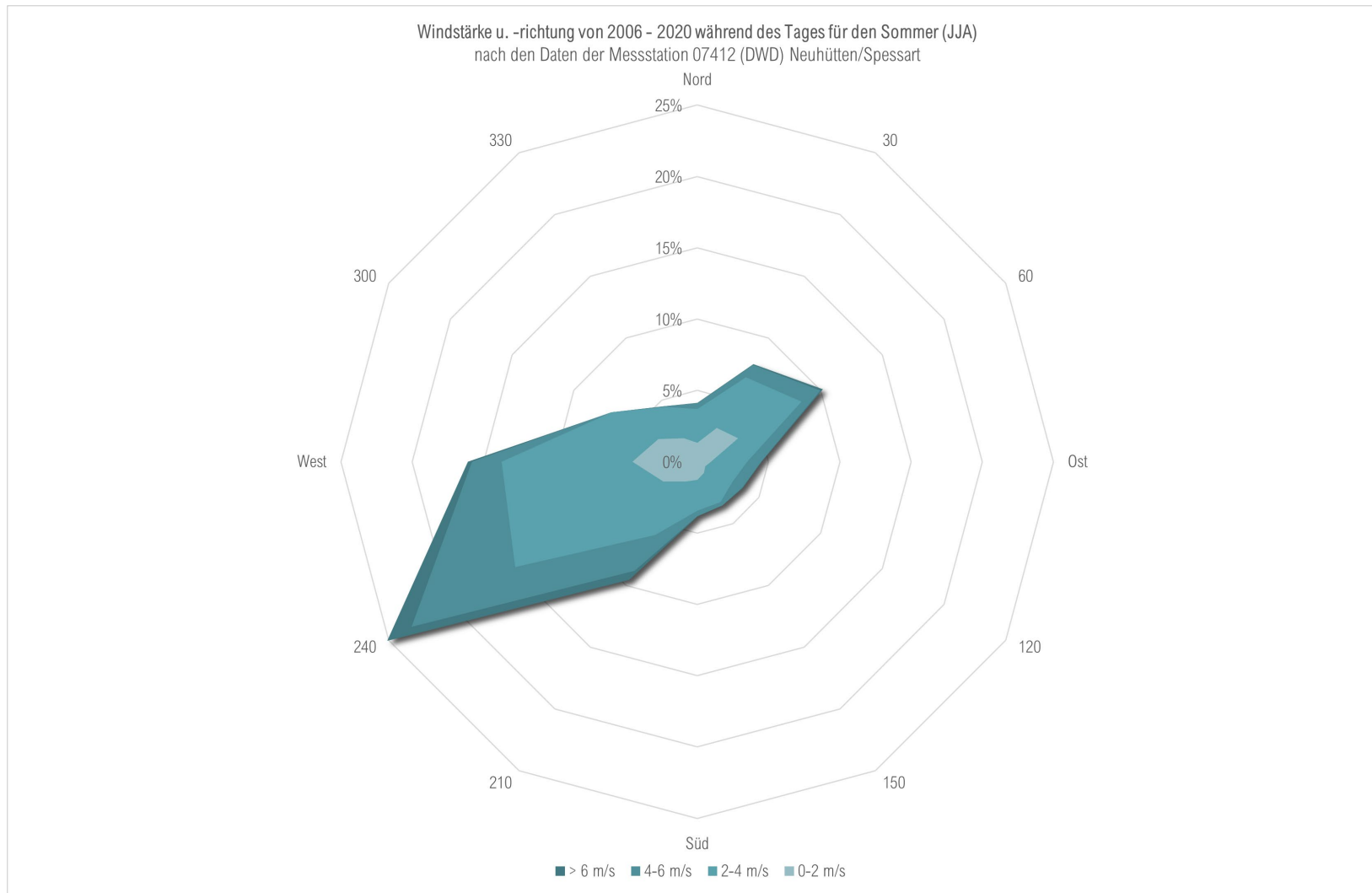


Diagramm 11 – Windstärke und Windrichtung (Tag | Herbst)

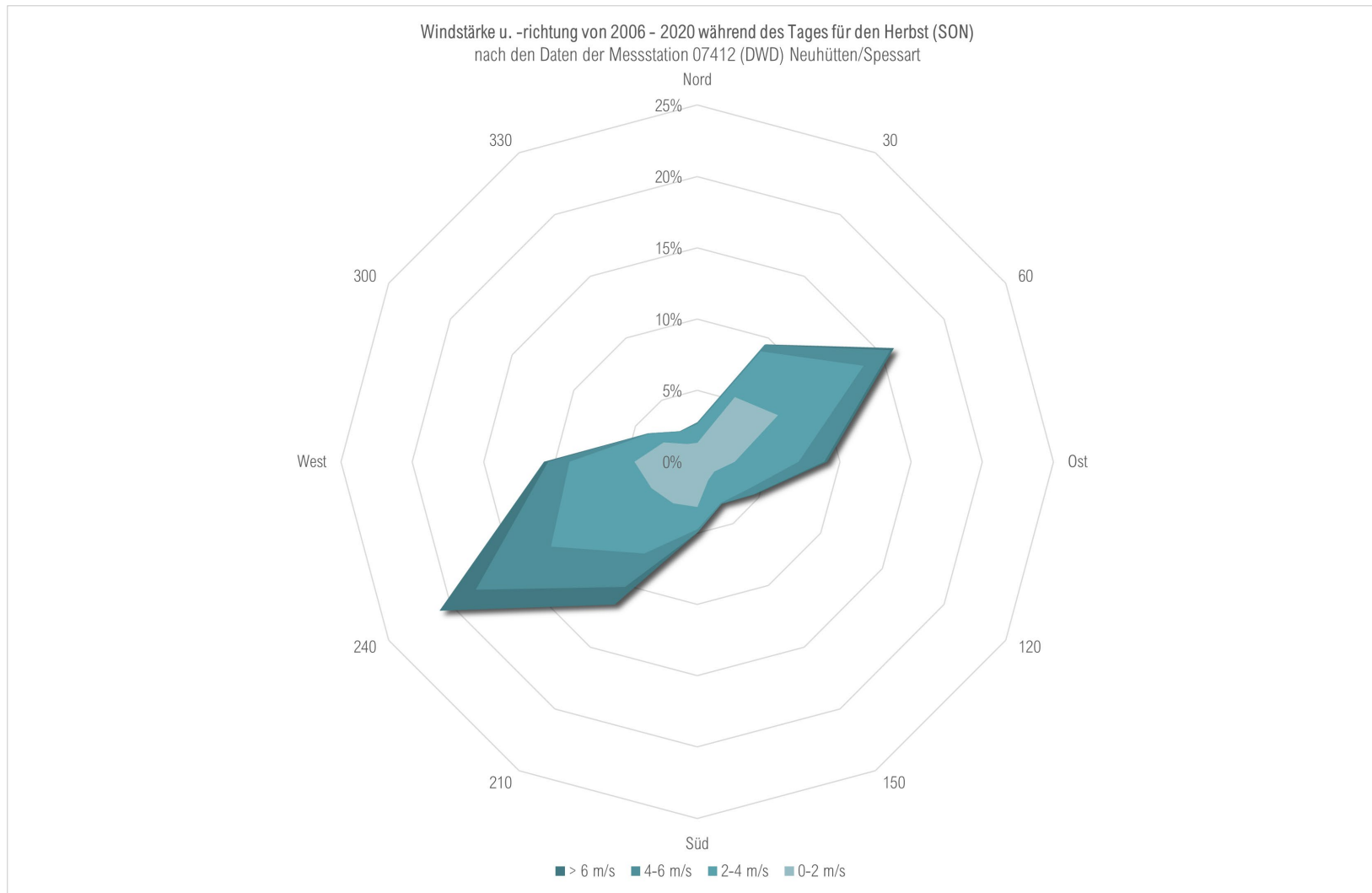


Diagramm 12 – Windstärke und Windrichtung (Nacht | Winter)

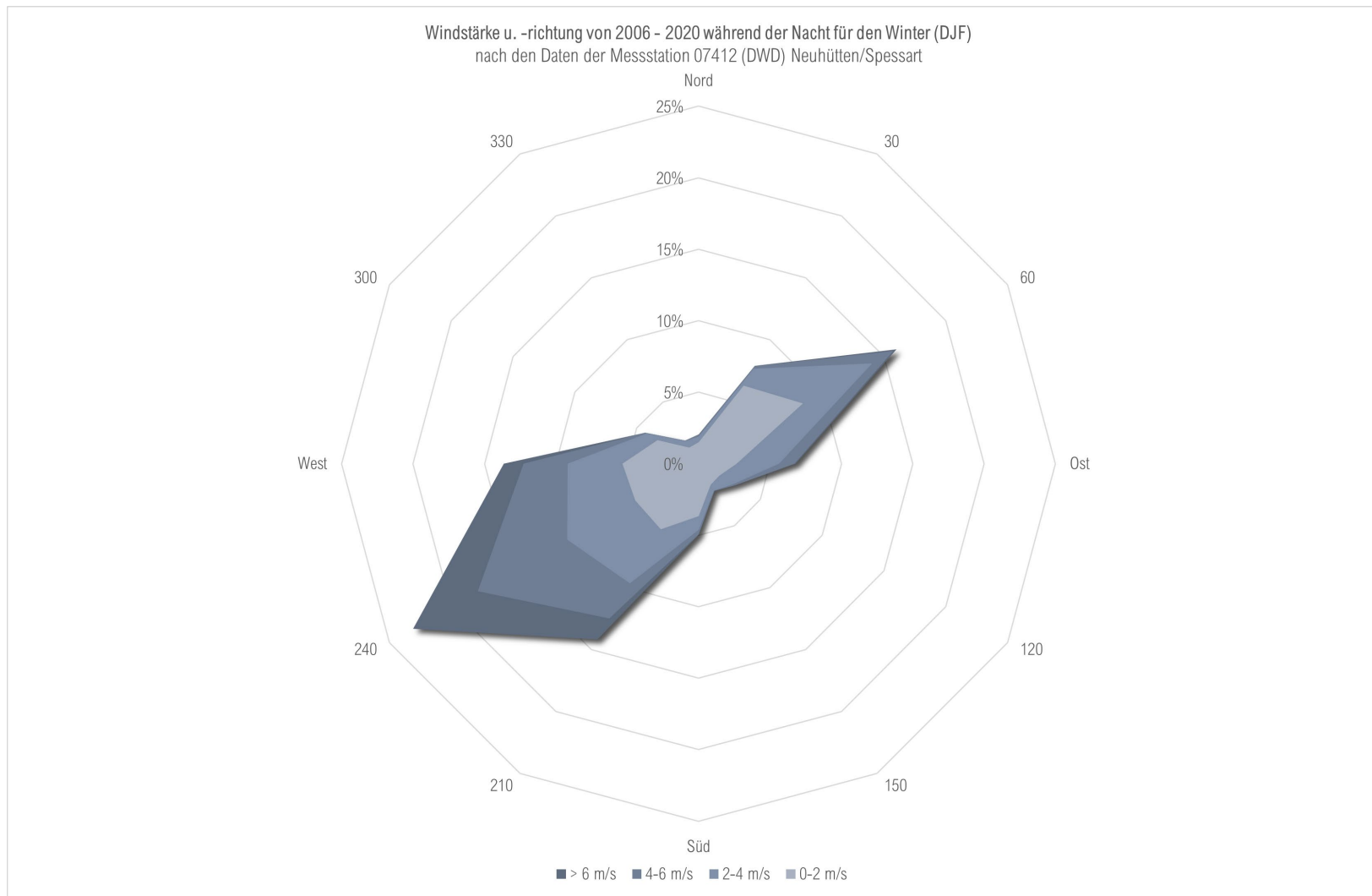


Diagramm 13 – Windstärke und Windrichtung (Nacht | Frühling)

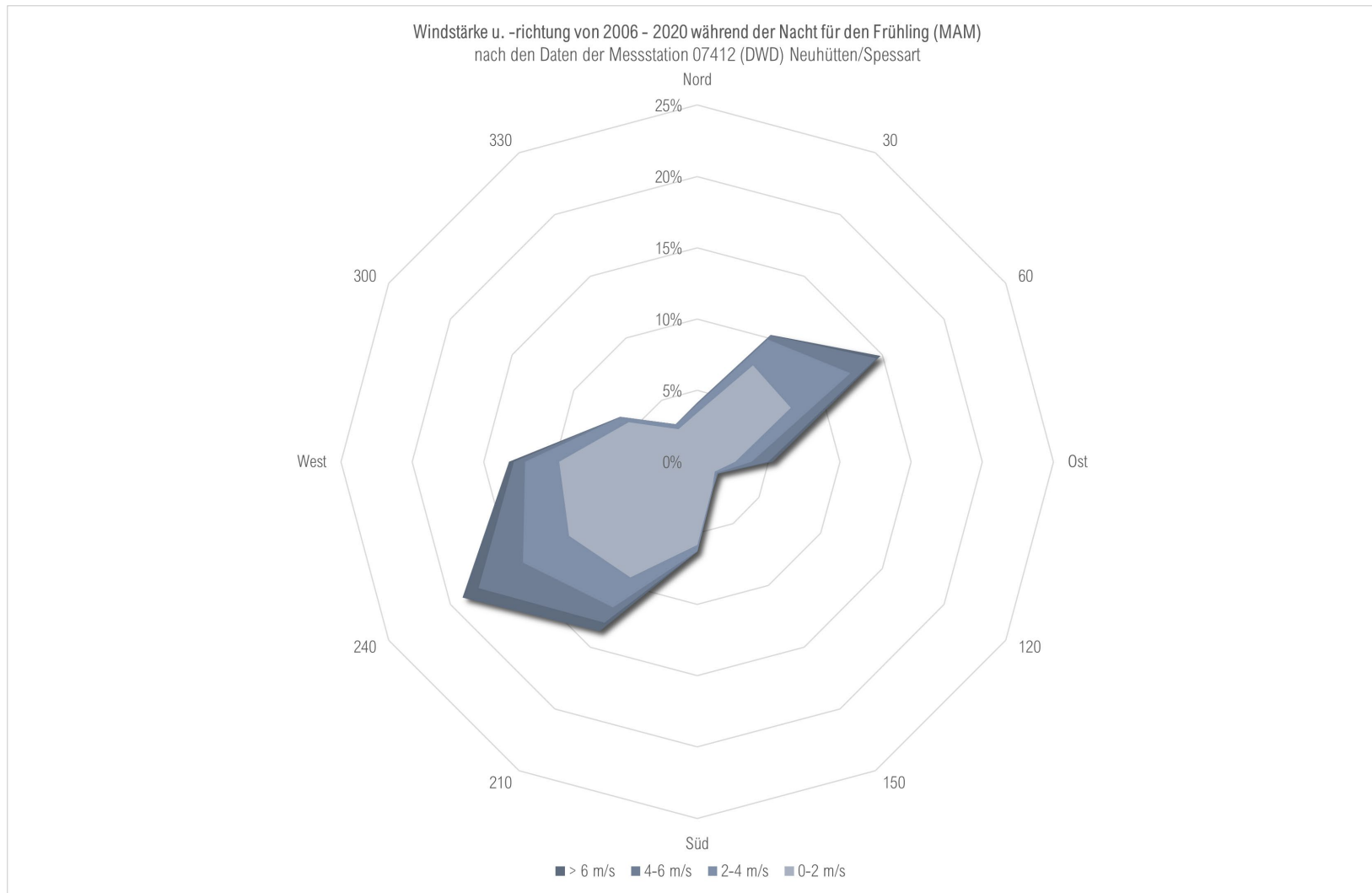


Diagramm 14 – Windstärke und Windrichtung (Nacht | Sommer)

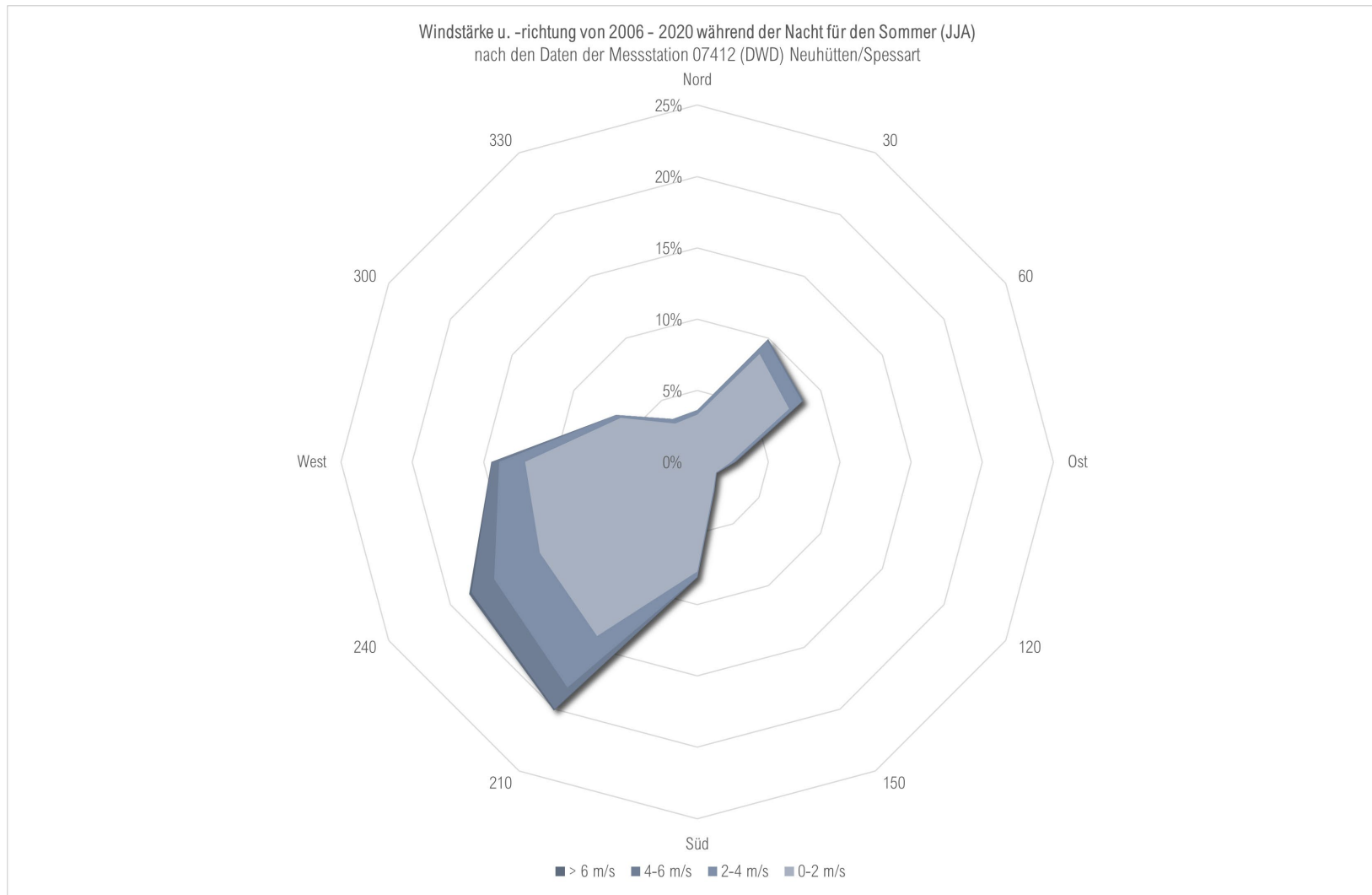


Diagramm 15 – Windstärke und Windrichtung (Nacht | Herbst)

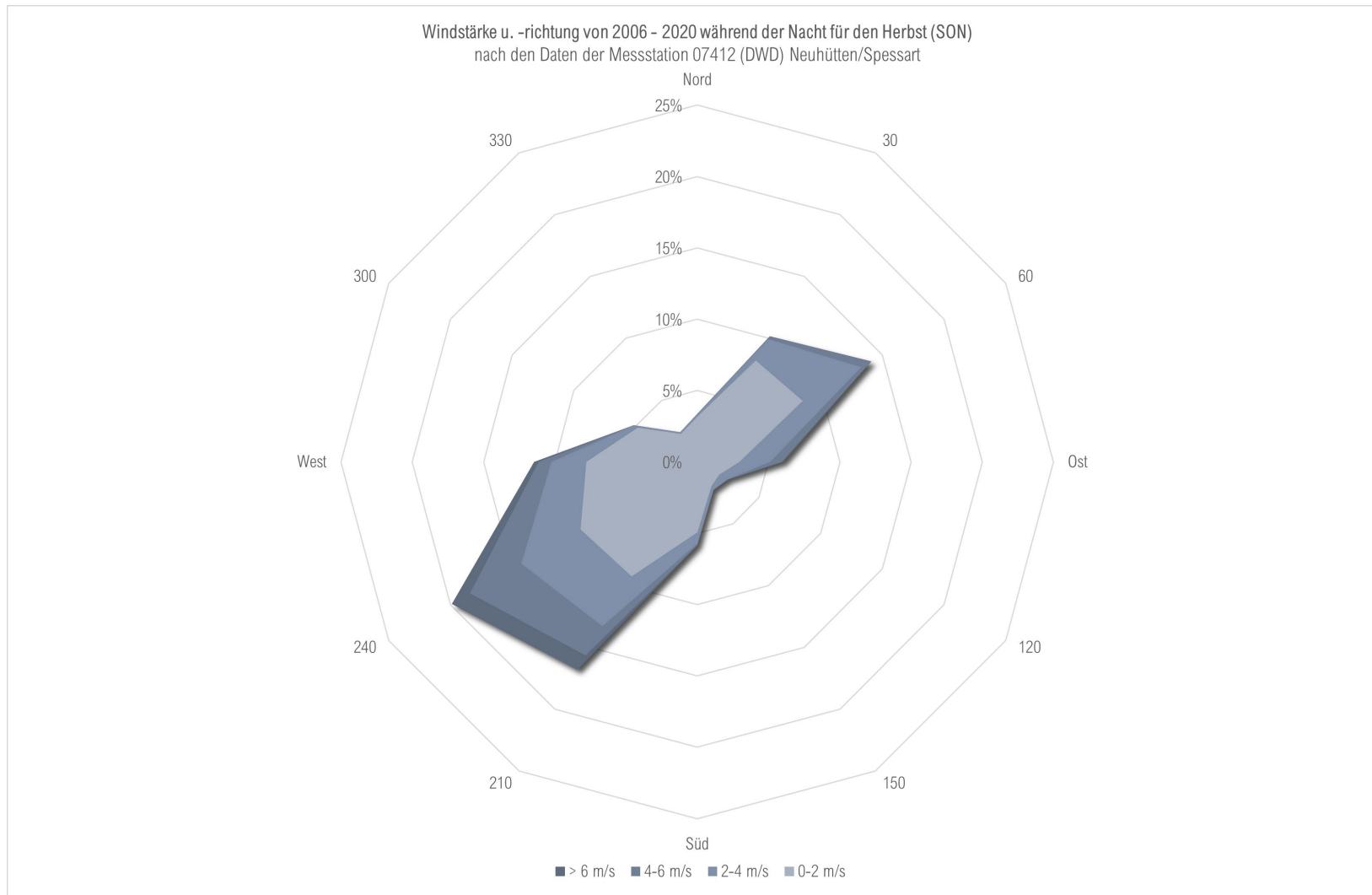


Diagramm 16 – Entwicklung der Projektion der durchschnittlichen Jahrestemperatur

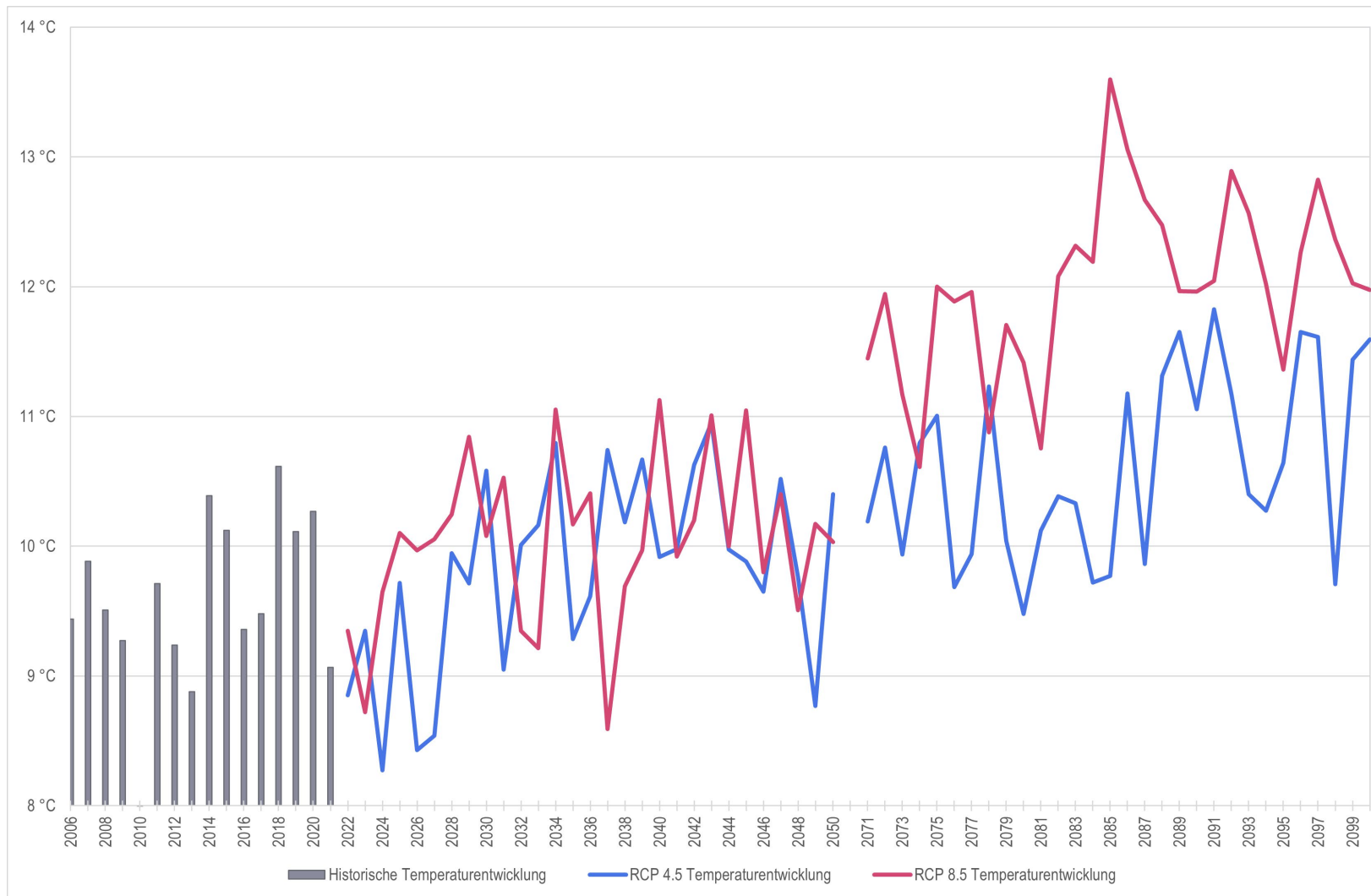


Diagramm 17 – Entwicklung der Projektion der durchschnittlichen Monatstemperatur

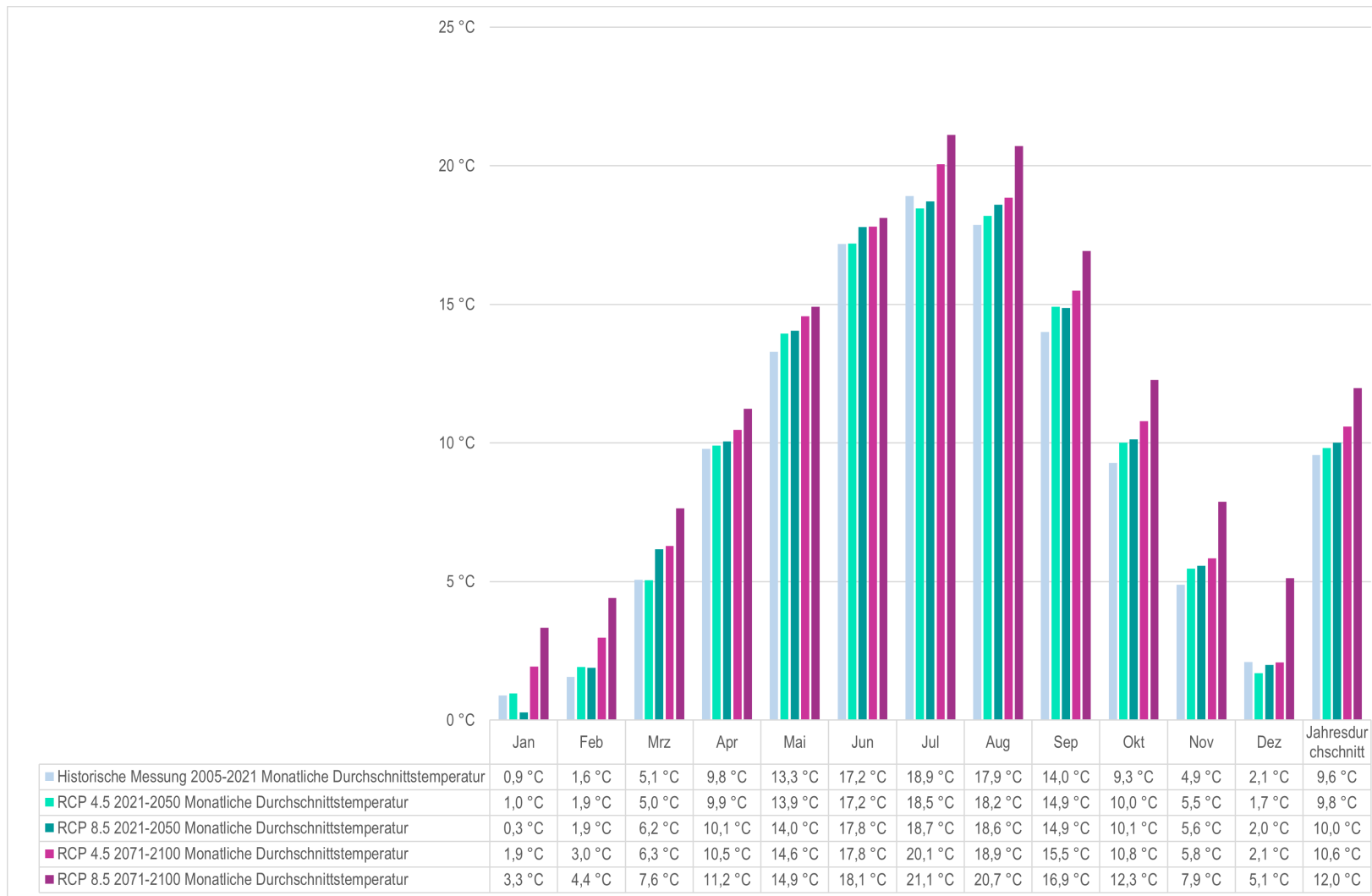


Diagramm 18 – Entwicklung der Projektion Anzahl Sommertage

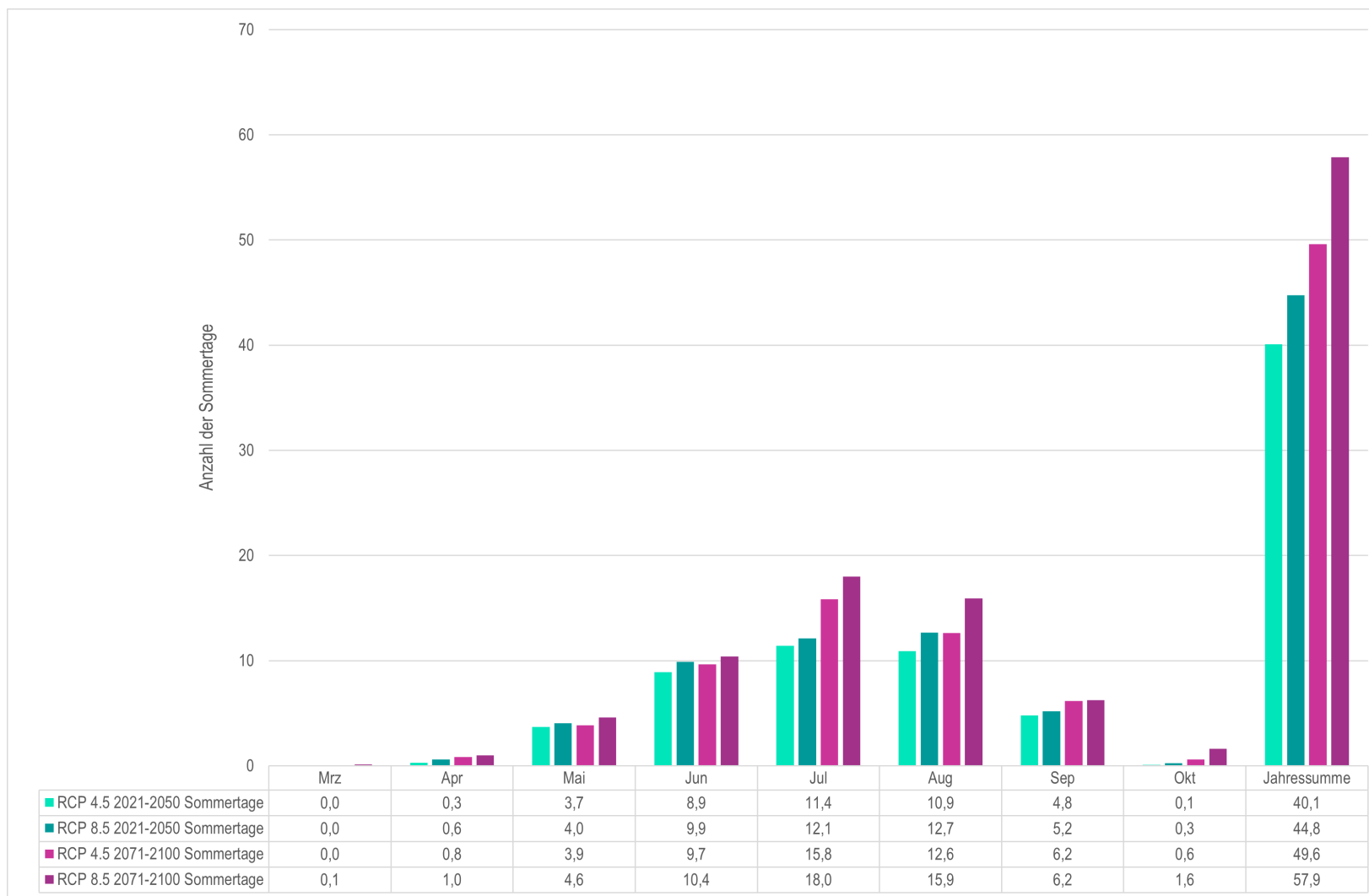


Diagramm 19 – Entwicklung der Projektion Anzahl Heiße Tage

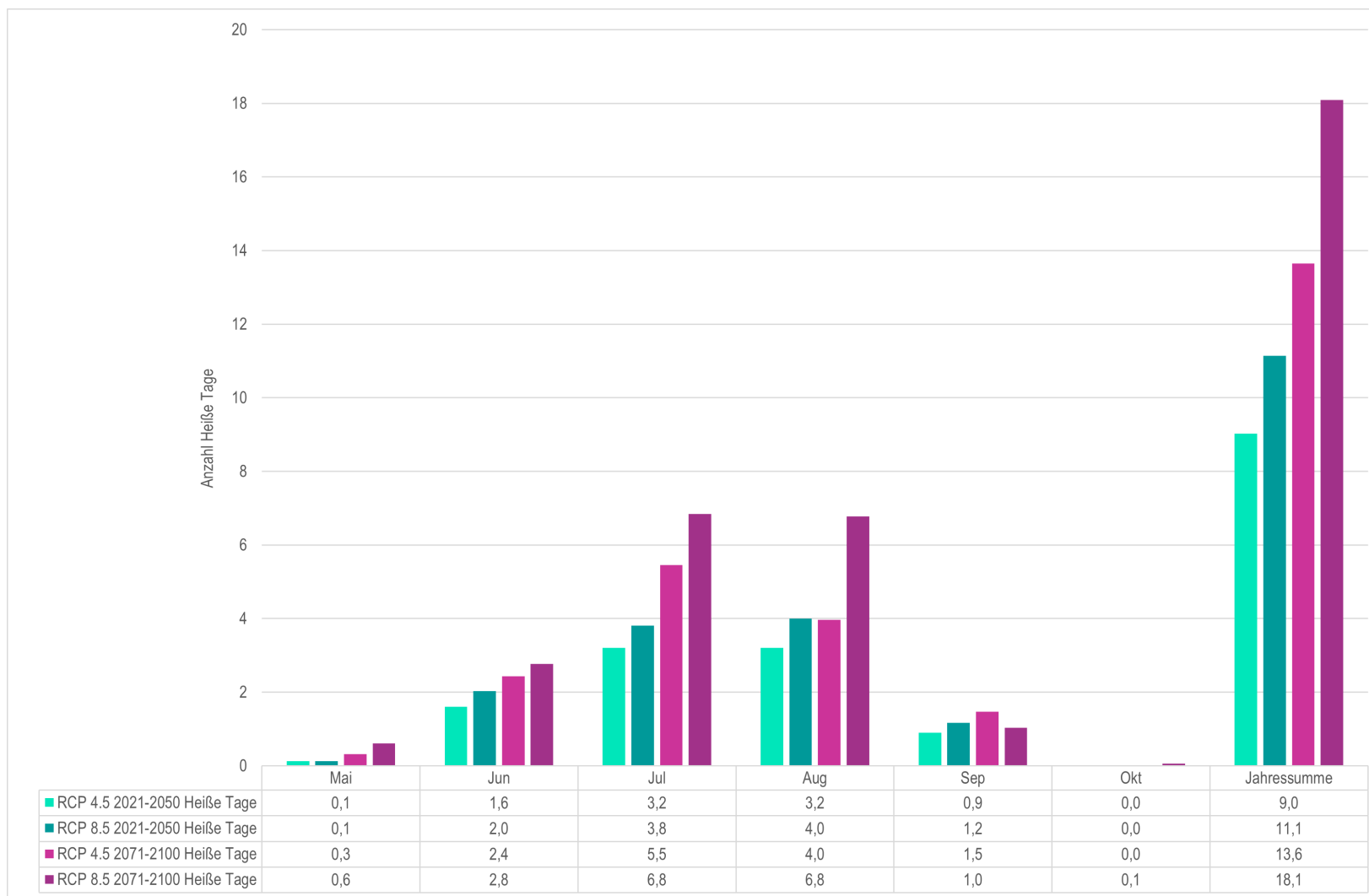


Diagramm 20 – Entwicklung der Projektion Anzahl Tropennächte

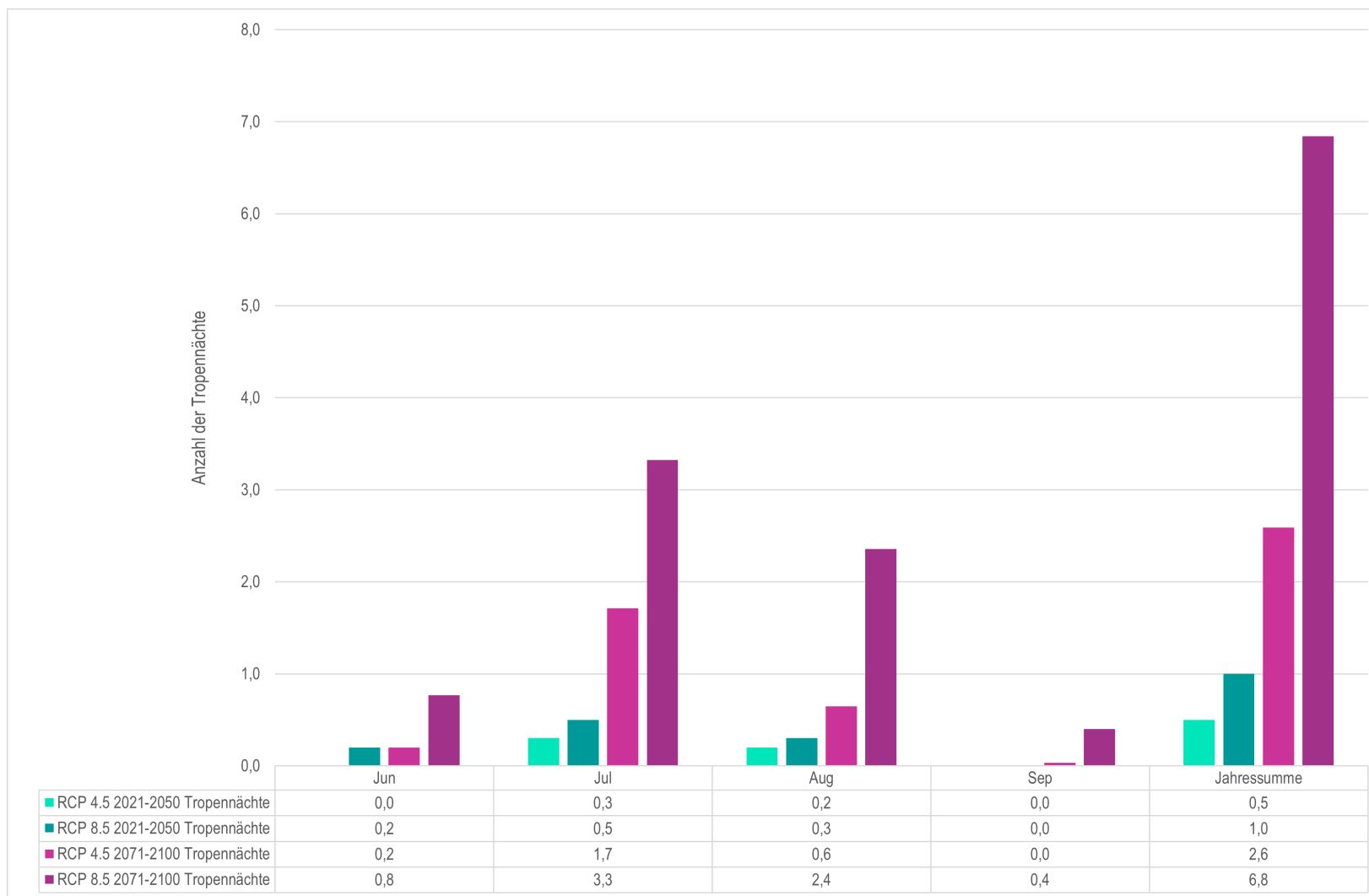


Diagramm 21 – Auswertung Messkampagne Grünzäsur

