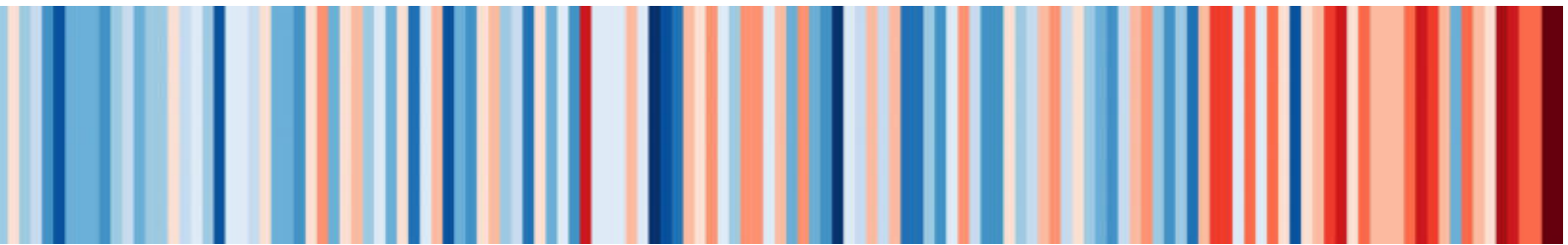


Stadtklimaanalyse für die Stadt Eberswalde

September 2022



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

Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:

Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI) - 2022

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

Auftraggeber (AG)

Stadt Eberswalde - Baudezernat
Stadtentwicklungsamt
Breite Straße 39
16225 Eberswalde

**Ansprechpartnerin**

Frau Petra Fritze
Tel.: +49 3334 64616
E-Mail: p.fritze@eberswalde.de

Auftragnehmer (AN)

Burghardt und Partner, Ingenieure
Am Sonnenhang 4
34128 Kassel



BPI
Burghardt und Partner, Ingenieure

Ansprechpartner

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

Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:

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

STADTKLIMAANALYSE DER STADT EBERSWALDE

Unterschrift

Dr. René Burghardt

Stempel

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

Kassel, den 15.10.2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1.	Auftragsgegenstand	3
2.	Fachlicher Hintergrund	4
2.1.	Stadtklima	4
2.2.	Temperatur und städtische Wärmeinsel.....	5
2.3.	Vegetation und städtisches Grün	6
2.4.	Regionaler Wind und städtische Durchlüftung	8
2.4.1	Rauigkeit und Porosität.....	8
2.4.2	Luftleitbahnen	11
2.4.3	Strömungsregime.....	11
2.5.	Flurwind und Kaltluft.....	12
3.	Methodisches Vorgehen und verwendete Software	15
3.1.	Ableitung der Klimafunktionskarte.....	17
3.2.	Ableitung der Planungshinweiskarte	17
3.3.	Technische Umsetzung.....	18
3.4.	Verwendete Software.....	20
3.4.1	Geoinformationssystem	20
3.4.2	Kaltluftproduktion und -abfluss.....	20
3.4.3	Windfeldsimulation.....	21
4.	Charakterisierung des Untersuchungsraums	22
4.1.	Räumliche Charakterisierung der Region	22
4.2.	Topographie	22
4.3.	Naturräumliche Einordnung	23
5.	Klimatisch-planerische Analysen.....	24
5.1.	Klimatische Charakteristik der Region	24
5.1.1	Temperatur und Niederschlag.....	25
5.1.2	Ereignistage	27
5.1.3	Windverhältnisse.....	29
5.2.	Topographische Analysen.....	33
5.2.1	Hangneigung und Hangrichtung	33
5.2.2	Landnutzung & Flächendurchgrünung	34
5.2.3	BlueSpots (Starkregen).....	36

5.3.	Bebauungs-Analysen	40
5.3.1	Räumlich-bauliche Offenheit (SkyView).....	40
5.3.2	Gebäudevolumendichte	41
5.3.3	Grundflächenzahl und Geschossflächenzahl.....	43
5.4.	Vegetations-Analysen	44
5.4.1	Vegetationserfassung	44
5.4.2	Durchgrünung (bebauter) Flächen im Siedlungsraum	45
5.5.	Klimatische Analysen	46
5.5.1	Nächtliche Kaltluftschichtdicke und bodennahes Strömungsfeld	46
5.5.2	Bodennahe nächtliche Lufttemperatur	49
5.5.3	Vulnerabilität	51
6.	Klimatischer Bestand und Szenarien.....	53
6.1.	Klimafunktionskarte.....	53
6.2.	Klimaprojektionen.....	55
6.2.1	Allgemein	55
6.2.2	Szenarien.....	55
6.2.3	Globale und regionale Klimamodelle	55
6.2.4	Auswertung der Klimawandelszenarien RCP4.5 & RCP8.5 mit unterschiedlichen Klimaparametern..	57
7.	Zukünftige Planungen	60
7.1.	Planungshinweiskarte	60
7.2.	Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen	61
8.	Zusammenfassung.....	62
9.	Anhang.....	63
9.1.	Glossar.....	63
9.2.	Quellenverzeichnisse	67
9.2.1	Literaturverzeichnis.....	67
9.2.2	Abbildungsverzeichnis	70
9.2.3	Tabellenverzeichnis	74
9.2.4	Datenverzeichnis	74
9.3.	Diagramme, Karten und Planwerke	75

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 Ge- odesy	SON	September, Oktober, November
ESD	Empirisch-Statistischen Downscaling Methoden	spez.	speziell
etc.	et cetera	Std.	Stunden
FFL	Forschungsgesellschaft Landschaftsent- wicklung 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

Es zählt zu den Aufgaben aller Städte, Gemeinden und Kommunen, sich auf die unausweichlichen Folgen des stetig voranschreitenden Klimawandels einzustellen. Auch die Stadt Eberswalde räumt daher dem Klimaschutz und der Klimaanpassung einen besonderen Stellenwert in ihrer strategischen Entwicklungsplanung ein, um negative klimatische Einflüsse zu reduzieren. Vor dem Hintergrund des 2013 beschlossenen Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzepts arbeitet die Stadt an der Umsetzung verschiedener Maßnahmen und Projekte (Stadt Begrünung, klimaangepasste Stadtentwicklung etc.), um einen kommunalen Beitrag zu diesen klimatischen Themenkomplexen zu leisten. Um klimatische Belange auch vor dem Hintergrund des sukzessiven Stadtwachstums und der klimaverträglichen Nachverdichtung weiterhin effektiv bei der Stadtentwicklung berücksichtigen zu können, soll das Klimaschutzkonzept des Jahres 2013 nach aktuellen Wissens- und Technikstand fortgeschrieben werden. Die vorliegende Stadtklimaanalyse aktualisiert die mittlerweile veralteten Grundlagendaten und dient nicht nur der fachlichen Vorbereitung des kommunalen Klimaschutzkonzepts sondern auch als Instrument zur Umsetzung des 2019 durch die Stadtordnetenversammlung beschlossenen „Klimapakets“.

1.1. Auftragsgegenstand

Mit der Stadtklimaanalyse sollen eine Bestandsaufnahme der klimatischen Situation (IST-Situation) der Stadt planerisch aufbereitet werden, zukünftige klimatische Entwicklungen prognostiziert und Planungshinweise bzw. Maßnahmenempfehlungen formuliert werden, um negative klimatische Einflüsse im Stadtgebiet auf strategische Wege zu reduzieren.

Die Erarbeitung der Stadtklimaanalyse und ihrer Bestandteile erfolgt digital auf Basis eines Geoinformationssystems (GIS), durch welches eine Vielzahl an datenbasierten Informationen miteinander verknüpft und verschnitten werden können. Die Analyse der IST-Situation erfordert die Bestandsaufnahme lokalklimatischer Gegebenheiten durch Daten zur Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Windrichtung und -geschwindigkeit, Niederschlagsmenge und -häufigkeit.

Auf Grundlage diverser Eingangsdaten, wie Topographie, Landnutzung, Gebäudedaten etc., können die Themenkarten digital erarbeitet werden. Diese Karten treffen Aussagen zu Gebäudevolumendichte, SkyViewFaktor, Kaltluftpotentialen etc., also zu der klimarelevanten räumlichen Dimension. Daraus lässt sich eine Klimafunktionskarte (KFK) ableiten und schließlich ergibt sich, unter Einbezug aller vorherigen Daten und Karten, die Planungshinweiskarte (PHK).

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Stadt Eberswalde in der IST-Situation zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation zur Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen etc. zu erhalten und daraus flächenbezogene Aussagen zu ermöglichen. Zudem sollen Aussagen zur Klimaanpassung (Meso- und Mikroklima) in die Betrachtung integriert und Planungsempfehlungen daraus abgeleitet werden. Dies soll eine aktualisierte Abwägungsgrundlage für die bauliche Entwicklung und die Weiterentwicklung klimawirksamer Freiflächen und Siedlungsstrukturen bieten.

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 (vgl. 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.

Auf der mikroklimatischen Ebene machen sich diese im Bereich von Gebäuden, Straßenzügen und Grünanlagen unmittelbar für Menschen, Tiere und Pflanzen bemerkbar.

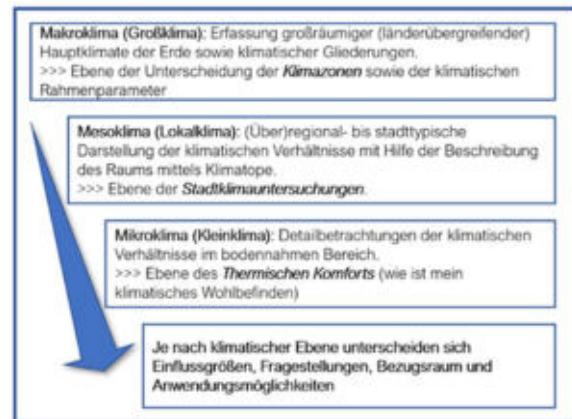


Abbildung 1 Übersicht der Klimaebenen im typischen Planungskontext

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

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 und Pflanzen. 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.

Aus diesem Zusammenspiel urbaner Eigenschaften und klimatischer Effekte entsteht die ballungsraumtypische Wärmeinsel (siehe Abbildung 2). 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 und Pflanzen dar und zählt somit zu den negativen Effekten des Stadtklimas.

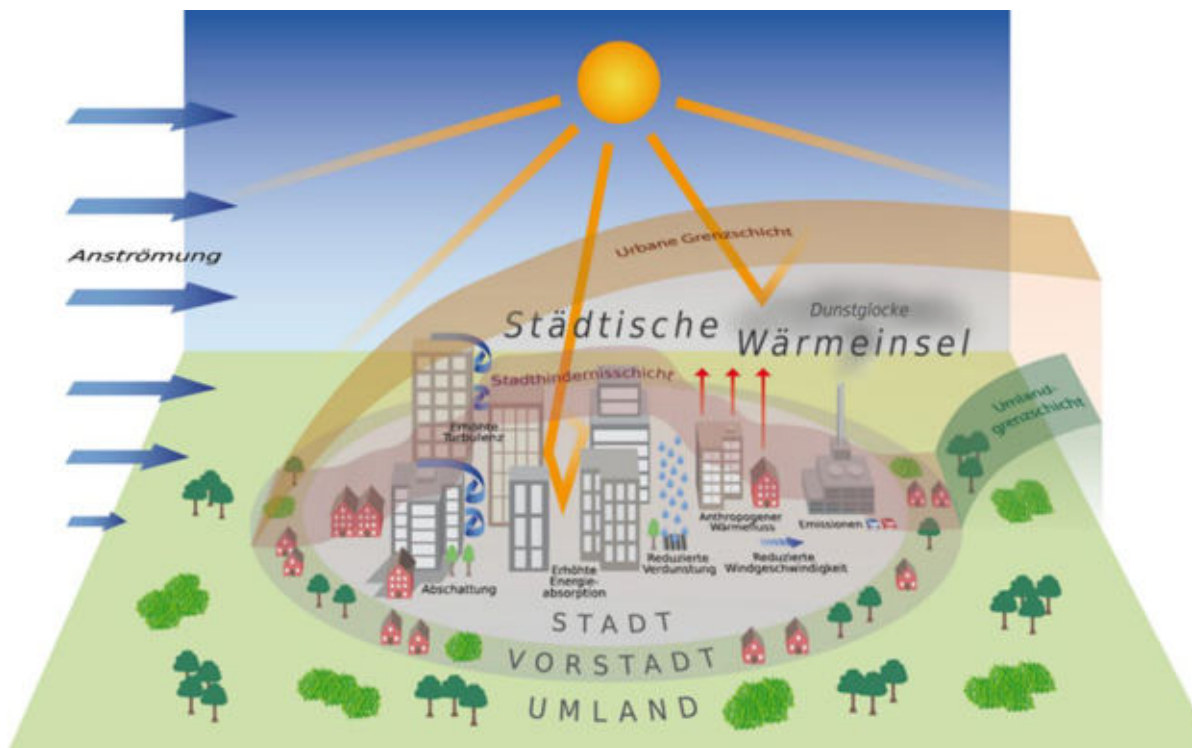


Abbildung 2 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017)

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 Bodenwärmestrom gering und die Ausstrahlung hoch ist. Diese Rasenareale kühlen dann sehr stark ab und heben sich als innerstädtische Kaltluftflächen (vgl. 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 Bodenerwärmung und Speicherung zur Verfügung als bei Rasenflächen, Wiesen oder gar unbeschatteten



punktueller oder flächiger Grünstrukturen

- Parks, Sportplätze, Friedhöfe etc.



lineare Grünstrukturen

- Straßenzüge, Flussläufe etc.



Fassadenbegrünung

- bodengebunden, fassadengebunden



Dachbegrünung

- extensiv, intensiv

Abbildung 3 Übersicht zu unterschiedlichen Beispielen urbaner Vegetations- und Grünstrukturen

versiegelte Oberflächen. Ferner bewirken Baumbestände eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit (vgl. 2.4.3), 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 4) 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 des Stadtraums 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.

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.

2.4.1 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 5). 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 (siehe Abbildung 5) wird als Näherung zur Beschreibung von Geschwindigkeitsprofilen

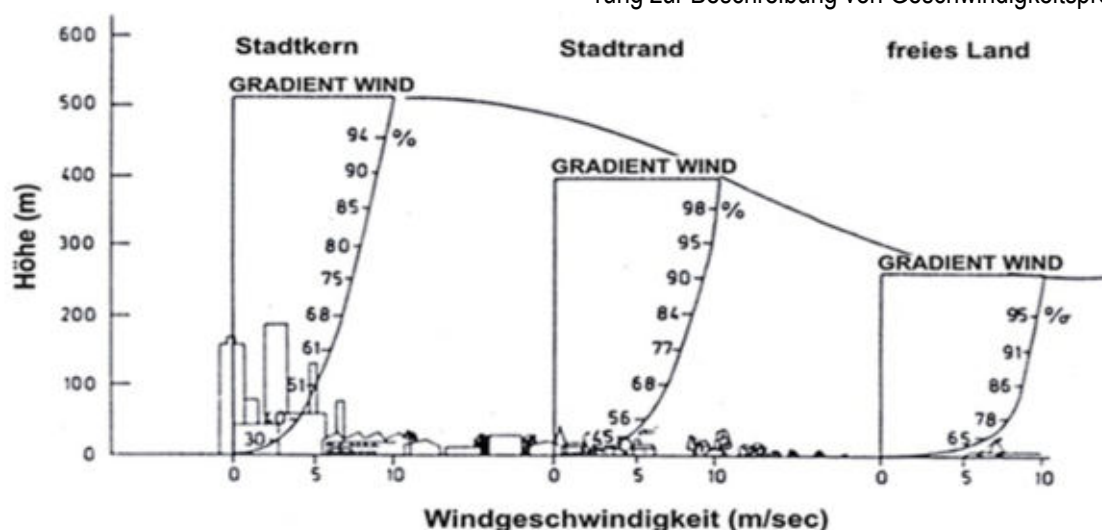


Abbildung 4 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)

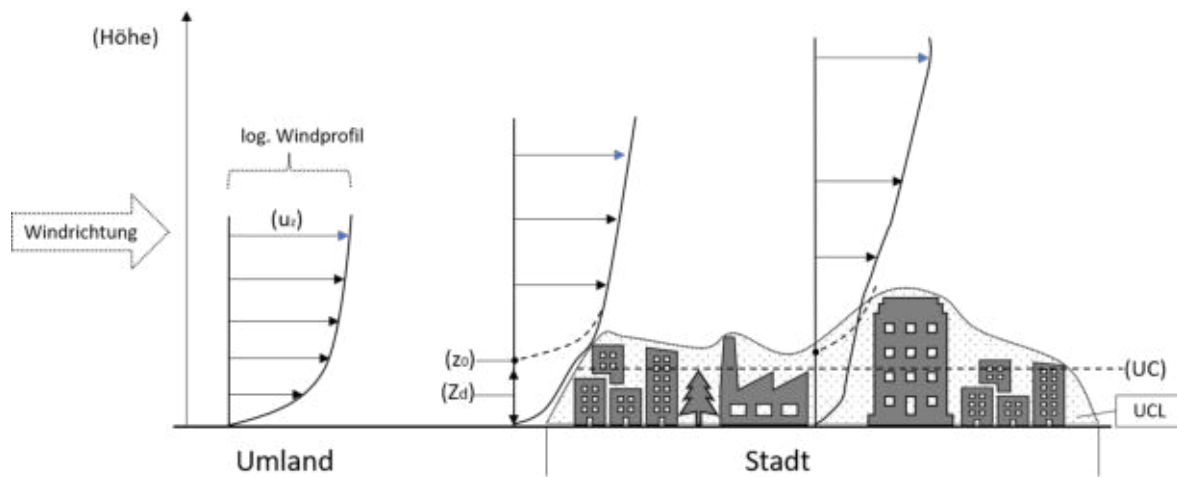


Abbildung 5 Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit (blauer Pfeil mit gleicher Geschwindigkeit, aber auf unterschiedlicher Höhe = vertikale Streckung des Profils) und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC).

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 (vgl. 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

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

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

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 städtische 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.

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).

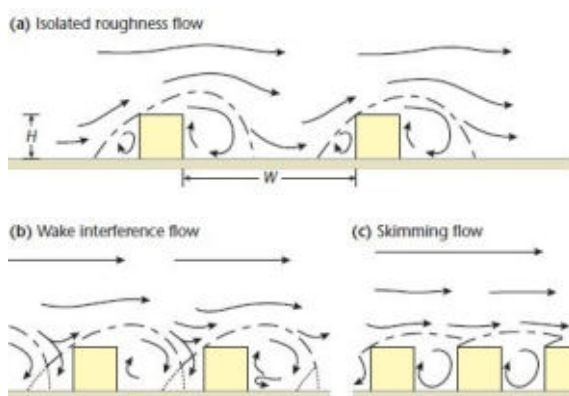


Abbildung 6 Schematische Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).

2.4.3 Strömungsregime

In Abhängigkeit von der Stadtmorphologie können sich unterschiedliche lokale Strömungsregime im innerstädtischen Raum ausbilden (siehe Abbildung 6). 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).

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

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

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.

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 7) 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. Kapitel 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 8).

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 (vgl. oben) den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark



Abbildung 7 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in der Stadt.

genneigten 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 dargestellt. 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 „Frischluft“ 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 (O_2) 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.

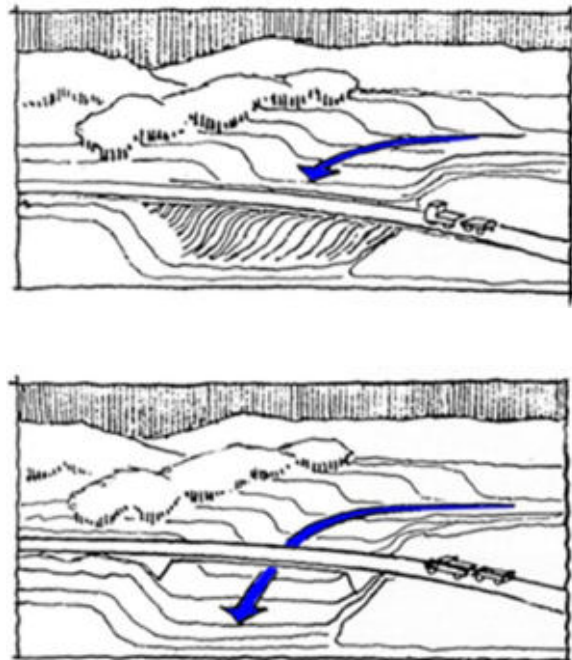


Abbildung 8 Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (oben) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (unten) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).

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

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

administrativer Bezug	Planungsebene	klimatische Fragestellung	Auflösung (Rastergröße)	klimatische Einordnung
Region 	Regionplan > M 1: 100.000	regionale Luftaustauschprozesse und Klimafunktionen	100m	Mesoklima ↓
Stadt 	Flächennutzungsplan > M 1: 10.000	Wärmeinseleffekt, Belüftungsstrukturen (Rauhigkeiten)	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	Mikroklima ↓
Gebäude 	Bauplan/Objekt M 1:200	Strahlungs- und Gebäudeströmungen	>0 - 2m	

Abbildung 9 Übersicht zu unterschiedlichen Planungsebenen sowie den korrespondierenden klimatischen Fragestellungen und Auflösungen.

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 9), 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 Flächenumfang, 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 (vgl. Abbildung 9). 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 „Hot-spots“ 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 Mikroklimat ($< 1:1000$) 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.

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.

3.2. Ableitung der Planungshinweiskarte

Die Planhinweiskarte (PHK) transformiert die wissenschaftlichen Erkenntnisse der KFK sowie weiterer Analysen, Szenarien und Studien in planungsange-

passte 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 Erläuterungs-

Tabelle 5 Übersicht über die vier grundlegenden Aspekte und deren Ursprung bzw. ihren Abhängigkeiten, die zur Bewertung der Klimafunktionen herangezogen werden.

KLIMATISCHER ASPEKT	URSPRUNG UND ABHÄNGIGKEIT
Wärmebelastung	– solare Einstrahlung – umgebendes Gebäudevolumen – vorhandene Vegetation
Übergeordnetes Strömungsfeld (Luftleitbahnen)	Für die Durchlüftung der Stadt sorgen häufig großräumige (synoptische) Winde. Die Winde in der Stadt hängen dabei von – der Anströmrichtung, – der baulichen und – der topographischen Struktur der Stadt ab. Für die Durchlüftung der Stadt sind daher Luftleitbahnen (zusammenhängende, windoffene Flächen mit geringer Oberflächenrauigkeit) von entscheidender Bedeutung.
Autochthones Windfeld (Flurwind)	Als Ergänzung zu den großräumigen Winden bilden sich, vornehmlich während austauscharmer Wetterlagen, auch lokale (autochthone, also eigenbürtige) Strömungen aus. 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.
Nächtliche Kaltluftproduktion	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.

bericht 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

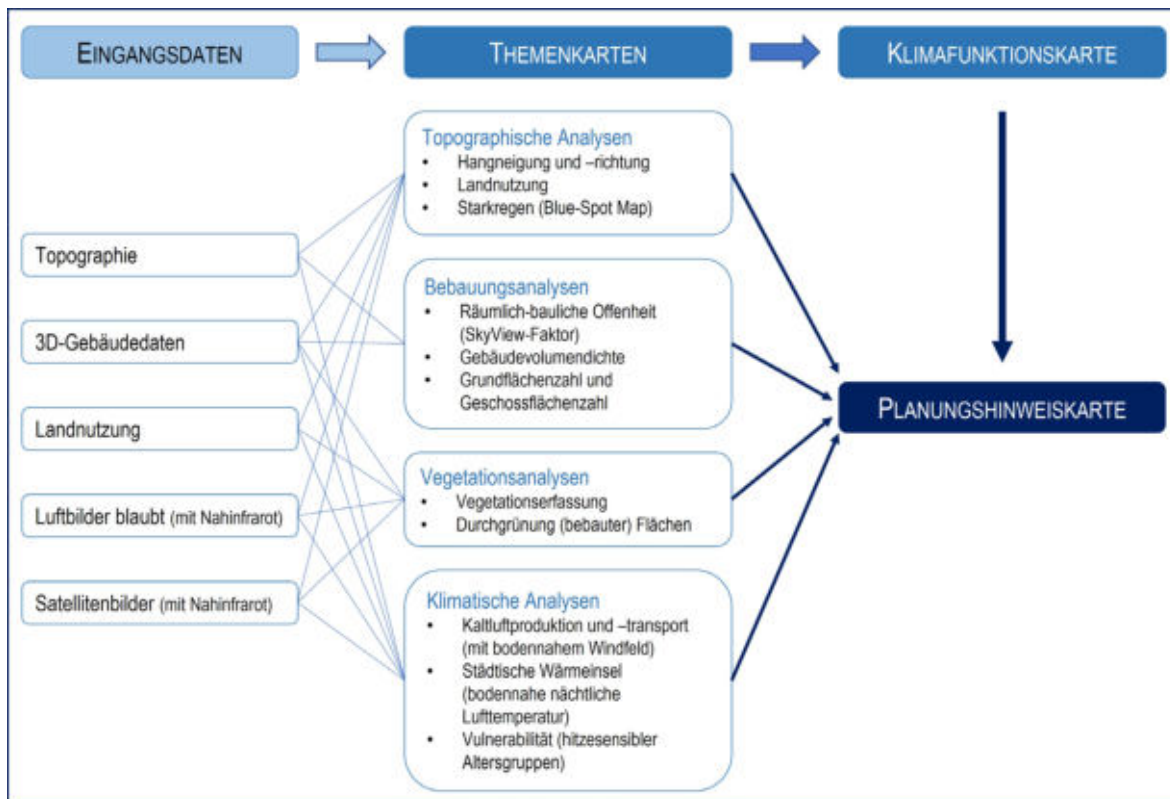


Abbildung 10 Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK. Die Eingangsdaten bilden diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen ab, die Themenkarten repräsentieren (klimarelevante) räumliche Ableitungen.

Planungshinweiskarte innerhalb eines Geoinformationssystems (hier ArcGISPro der Firma Esri).

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, werden die einzelnen Themenkarten (siehe Abbildung 11) mit Hilfe mehrerer und unterschiedlicher Eingangsdatensätze 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 (siehe Abbildung 12).

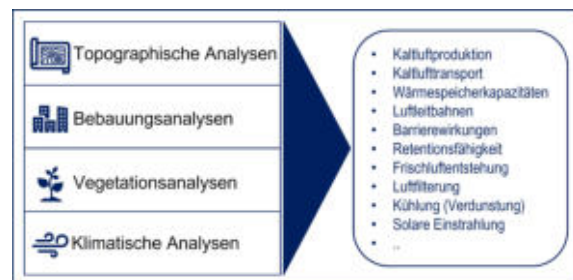


Abbildung 11 Vier Themenkartengruppen (links) mit deren Hilfe unterschiedlichste klimatische Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können.

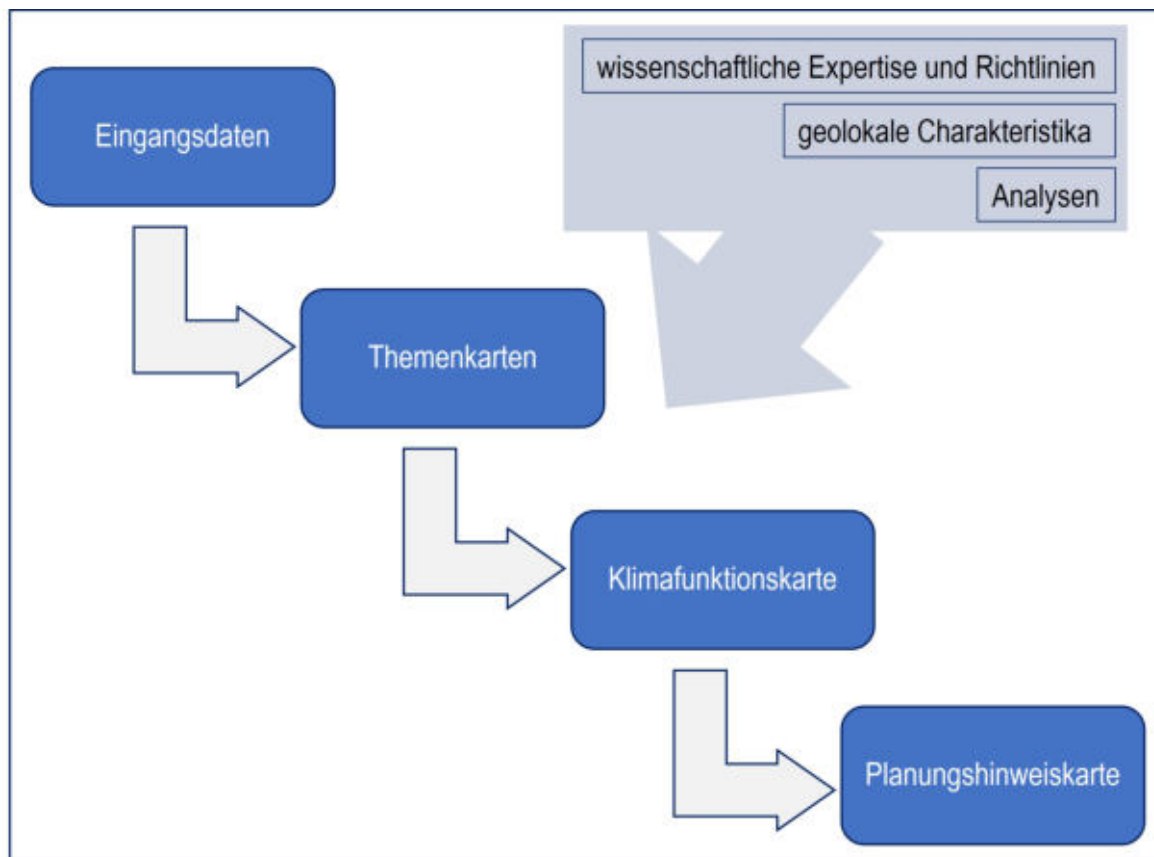


Abbildung 12 Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse

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 GIS Geodatenbestände und ermöglichen so die Verwaltung von räumlichen, zeitlichen und technischen Daten auf Datenbankebene.



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 Gitterpunktabstände sind dabei 20 bis 50 m. Die Modellgebietsgröße wird in der

Regel so gewählt, dass alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete erfasst sind. Bei 50 m Gitterabstand beträgt z.B. die maximale Größe 22.500 km². Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung (schematisiert in 9 Nutzungsklassen, Sondernutzungen können bei Bedarf ergänzt werden) sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder 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 Eberswalde umfasst eine Fläche von 9.358 ha. Das Stadtzentrum liegt bei 52° 83' 376 nördlicher Breite und 13° 79' 740 östlicher Länge.

Die Stadt Eberswalde unterteilt sich in die sieben Ortsteile:

- Brandenburgisches Viertel,
- Eberswalde 1,
- Eberswalde 2,
- Finow,
- Sommerfelde,
- Spechthausen und
- Tornow

mit einer Bevölkerungszahl von 42.736 Personen (Stand 28.02.2022; Eberswalde 2022). Eberswalde ist Kreisstadt des Landkreises Barnim und ein Mittelzentrum im Land Brandenburg (Eberswalde 2022).

4.2. Topographie

Topographisch befindet sich der Untersuchungsraum in der Talregion des Barnim (Gärtner, Kiesel 2020). Das Minimum liegt im Bereich des Stadtzentrums, innerhalb des Eberswalder Urstromtals (siehe Abbildung 14), bei ca. 6 m über NN. Die höchste Erhebung findet sich mit ca. 78 m über NN im südlichen Randgebiet des Ortsteils Eberswalde 1, in den Ausläufern des Hohen Barnim. In der Betrachtung der flächig-dominanten topographischen Charakteristik, dem Eberswalder Urstromtal, liegt das Minimum bei ca. 6 m über NN und das Maximum bei ca. 19 m über NN. Damit ergibt sich eine Höhendifferenz von 13 m. Diese Differenz ist durch die Hänge und Gefällesituation des äußeren südöstlichen Stadtbereichs in der Landschaft deutlich erkennbar. Dies wird auch in der kombinierten Betrachtung der Gefällesituation und der Hangrichtung (siehe. Abbildung 34) deutlich: Im südöstlichen Bereich des Untersuchungsraums ist ein stärkeres Gefälle in Richtung Nordwest vorherrschend, da sich dieses Gebiet in den Ausläufern des Barnims befindet.

Die dominante Hangrichtung liegt in südlicher Richtung und verläuft sich in der dominanten topographischen Ausprägung des Urstromtals, welches sich vom Osten des Untersuchungsgebiets in Richtung Westen zieht (Gärtner, Kiesel 2020). Das Gelände des Urstromtals charakterisiert sich im Westen und Norden des Stadtgebiets durch sein überwiegend homogenes, flaches Relief und eine weitgehend milde ausgeprägte Hangsituation. Diese wird hauptsächlich durch einen topographischen Ausläufer des tiefer gelegenen Oderaltals östlich abseits des Untersuchungsraums gekennzeichnet, welcher sich sowohl durch das zentrale Stadtgebiet als auch dessen südlichen Außenraum in Richtung Spechthausen erstreckt. Diese Senke stellt jedoch eine Ausnahmesituation innerhalb des Eberswalder Urstromtals dar, und entspricht nicht dem für den Untersuchungsraum sonst typischen topographischen Charakter.

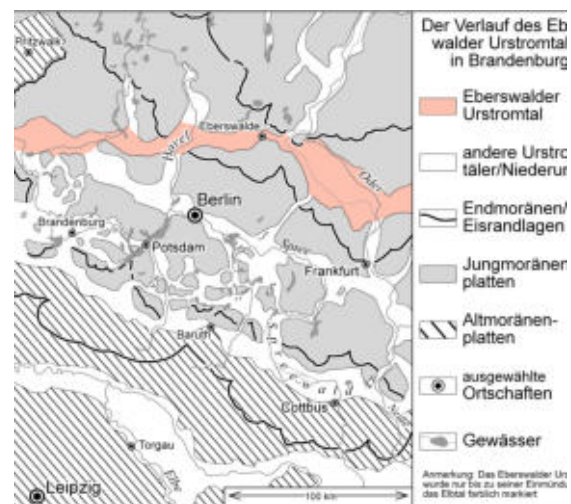


Abbildung 14 Übersicht zum Verlauf des Eberswalder Urstromtals (farbliche Markierung) (Grabenstedt 2005)

4.3. Naturräumliche Einordnung

Eine Gliederung Deutschlands in naturräumliche Großregionen, Haupteinheiten und Untereinheiten berücksichtigt in erster Linie geomorphologische, geologische, hydrologische, biogeographische und bodenkundliche Kriterien, um die Landschaft in größere einheitliche Gebiete aufzuteilen.

Die Naturräumliche Großregion (Meynen und Schmithüsen et al. 1962) (siehe Abbildung 15) 1. Ordnung, in der sich Eberswalde befindet, ist das „Norddeutsche Tiefland“. Hinsichtlich der weiteren Eingrenzungen liegt die Stadt Eberswalde im Grenzbereich zwischen der nördlich angrenzenden „Nordostdeutschen Seenplatte“ (2. Ordnung) mit der „Mecklenburgischen Seenplatte“ (Nr.75 – 3. Ordnung) und dem südlich anschließenden „Brandenburgischen Jungmoränenland“ (2. Ordnung) mit der „Ostbrandenburgischen Platte“ (Nr.79 – 3. Ordnung). Die „Mecklenburgischen Seenplatte“ entspricht der namengleichen Großlandschaft (D04) nach Ssysmank et al. (1994) (siehe Abbildung 16), gleiches gilt für die „Ostbrandenburgische Platte“ (D06).

In der Betrachtung der Repräsentanz der Schutzgebiete von einer Fläche > 300 ha in den naturräumlichen Haupteinheiten liegt die „Ostbrandenburgische Platte“ in der Klasse zwischen 3,65 % und 6,1 % und gehört im gesamtdeutschen Vergleich zu den unterrepräsentierten naturräumlichen Haupteinheiten (Ackermann, Burghardt et al. 2021). Die „Mecklenburgischen Seenplatte“ ist vor Hintergrund derselben Betrachtungskriterien (> 300 ha Schutzgebiete) der Klasse zwischen 8,58 % und 24,35 % zuzuordnen und zählt daher im gesamtdeutschen Vergleich zu den überrepräsentierten naturräumlichen Haupteinheiten (ebd.).

Die Stadt Eberswalde beinhaltet zwei Naturschutzgebiete und zwei Landschaftsschutzgebiete, bei welchen es sich je um Schutzgebiete > 300 ha handelt. Unmittelbar südlich der Stadt befindet sich der Naturpark Barnim, der durch seine Größe von ca. 75.000 ha sehr prägend für seine Umgebung ist (Landesamt für Umwelt 2022). Das Naturschutzgebiet „Nonnenfließ-Schwärzetal“ (488 ha) sowie das Landschaftsschutzgebiet „Barnimer Heide“ (12.561 ha) sind Teile des Naturparks und finden sich im Süden der Stadtbegrenzungsfläche bis hin zu den östlichen und

nordwestlichen Bereichen des Siedlungsraums (FNP Eberswalde 2014). Das Naturschutzgebiet „Finowtal-Pregnitzfließ“, mit seiner Größe von ca. 1.821 ha, liegt teilweise im Westen der Stadt, während sich das Landschaftsschutzgebiet „Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin“ im Norden befindet (FNP Eberswalde 2014).

Die Flächennutzung verteilt sich innerhalb der Gemarkung auf ca. 1.763 ha Bau- und Siedlungsflächen, 416 ha Grünfläche, 256 ha Wasserfläche, 732 ha Landwirtschaftliche Fläche, 5.809 ha Waldfläche und 382 ha sonstige SPE-Fläche (Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft) (Flächennutzungsplan 2021, Stadt Eberswalde).



Abbildung 15 Detailausschnitt der Karte der Naturräumlichen Großregionen Deutschlands (nach Meynen und Schmithüsen, überarbeitet 2012). Eberswalde („X“) liegt im Grenzbereich zwischen der „Mecklenburgischen Seenplatte“ (Nr.75) im Norden und der „Ostbrandenburgische Platte“ (Nr.79) im Süden.



Abbildung 16 Detailausschnitt der Karte der Großlandschaften (nach Ssysmank 1994). Die Großlandschaften in denen Eberswalde („X“) liegt, entsprechen den namensgleichen naturräumlichen Großregionen (siehe Abbildung 15)

5. Klimatisch-planerische Analysen

5.1. Klimatische Charakteristik der Region

In der bioklimatischen Bewertung (DWD 2022a) zeichnet sich die Region durch eine gelegentliche Wärmebelastung (Stufe 3 von 6) und einem vermehrt auftretenden Kältereiz (Stufe 3 von 6) aus. Die Region Eberswalde ist subkontinental geprägt, was im Durchschnitt mit einer Jahresschwankung der Lufttemperatur zwischen 18 und 19,5° Kelvin rechnen lässt (siehe Abbildung 17. Stärker kontinental geprägte Regionen zeichnen sich gegenüber stärker maritim geprägten

Regionen durch eine klimatisch wechselhaftere und heterogene Gesamtsituation aus.

Im Allgemeinen ist das Kontinentalklima geprägt durch große jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur, eine geringe relative Feuchte sowie mäßigen oder geringen, unregelmäßig fallenden Niederschlag. Häufig tritt im Sommer ein Niederschlagsmaximum auf (DWD 2022b). Hinsichtlich des subkontinentalen Klimas gelten diese klimatischen Parameter in abgeschwächter Form.



Abbildung 17 Übersichtskarte zur klimatischen Gliederung Deutschland (Hendl und Endlicher 2003). Die Stadt Eberswalde liegt in einer Zone des subkontinentalen Klimas und einer niederschlagbenachteiligten Region (rotes Punktmuster).

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.

Die Parameter „Lufttemperatur“ und „Niederschlag“ werden mit Hilfe von Rasterdatensätzen (Auflösung 1 km²) des DWD für die Stadt Eberswalde für drei aufeinanderfolgende 30jährige Mittel analysiert (siehe Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 21).

In Ergänzung dazu werden außerdem Datensätze (hinsichtlich des Auftretens von Tropennächten (siehe Abbildung 22) und dem Auftreten von Extremwetterereignissen (siehe Abbildung 23) der naheliegendsten DWD-Station in Angermünde (ID 00164) (siehe Abbildung 24) verwendet. Wegen ihrer räumlichen Nähe von 23 km Entfernung zu Eberswalde kann diese Station als Referenzstation verwendet werden; hierbei muss jedoch beachtet werden, dass u.a. die gemessenen Temperaturen stark standortabhängig sind und sich daher selbst auf kurzen Distanzen hin unterscheiden können. Die Daten der Angermünder DWD-Station sind daher weniger als identische, sondern

vielmehr als allgemeine Richtwerte für das Gebiet Eberswalde anzusehen.

Um einen Überblick der klimatischen Verhältnisse und der Klimaveränderungen bezüglich Temperatur und Niederschlag für Eberswalde zu erhalten, wurden die Daten der vieljährigen Mittel zwischen den Jahren 1932 bis 1961, 1962 bis 1991 und 1992 bis 2021 herangezogen. Die Abbildung 18 beschreibt zunächst den Verlauf der monatlichen Durchschnittstemperatur in einer Höhe von 2 m über Grund. Generell ist in jedem Monat ein Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen von bis zu 2 °C zu erkennen. Dieser Tendenz folgend ist ebenfalls die langjährige Durchschnittstemperatur von 8,8 °C auf 9,9 °C um 1,1 °C angestiegen. Für den Zeitraum 1992 – 2021 liegt die Lufttemperatur 0,6 °C über dem Durchschnitt Gesamtdeutschlands (9,3 °C). Die Stadt Eberswalde liegt in einer der trockensten Regionen Deutschlands. Dementsprechend summiert sich der Jahresniederschlag im vieljährigen Mittel (1992 – 2021) auf lediglich 581 l/m² (Durchschnittswert Deutschland 705 l/m² und Brandenburg 511 l/m² (DWD 2021). Besonders die Frühlingsmonate (speziell der April) sind von geringen Niederschlagsmengen geprägt (Abbildung 19).

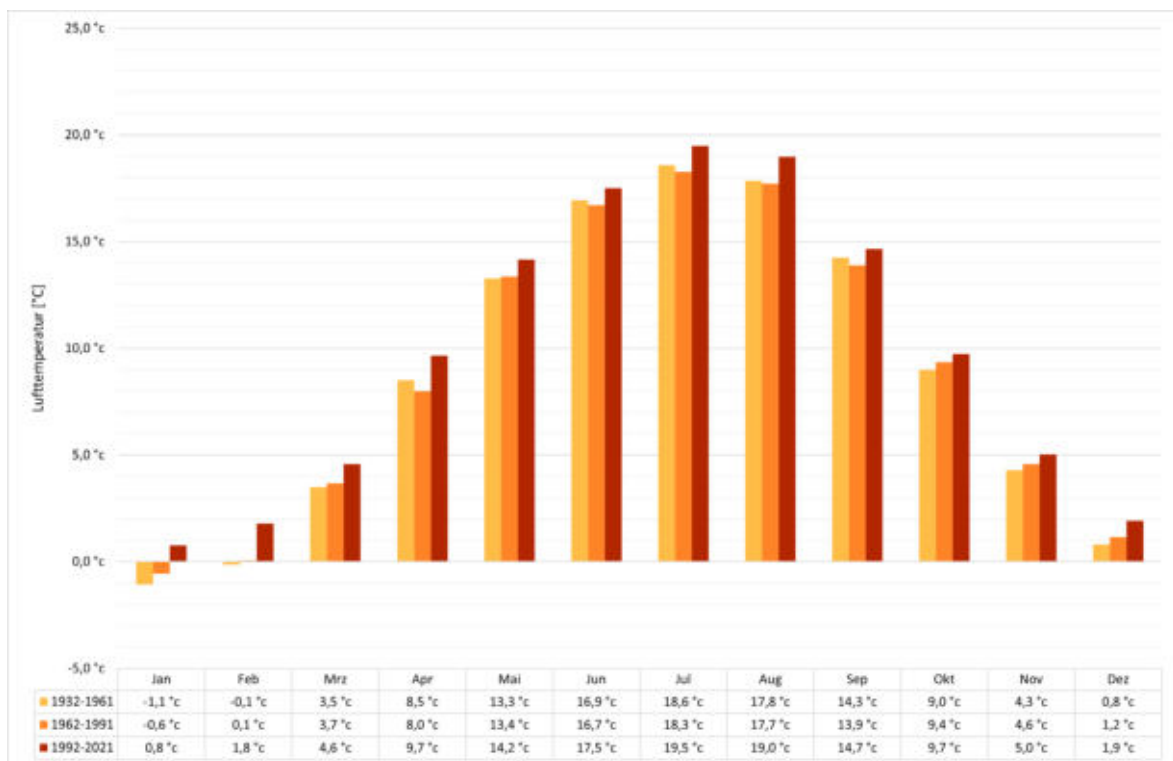


Abbildung 18 Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [°C] in einer Höhe von 2 m über Grund für drei aufeinanderfolgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c) – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.

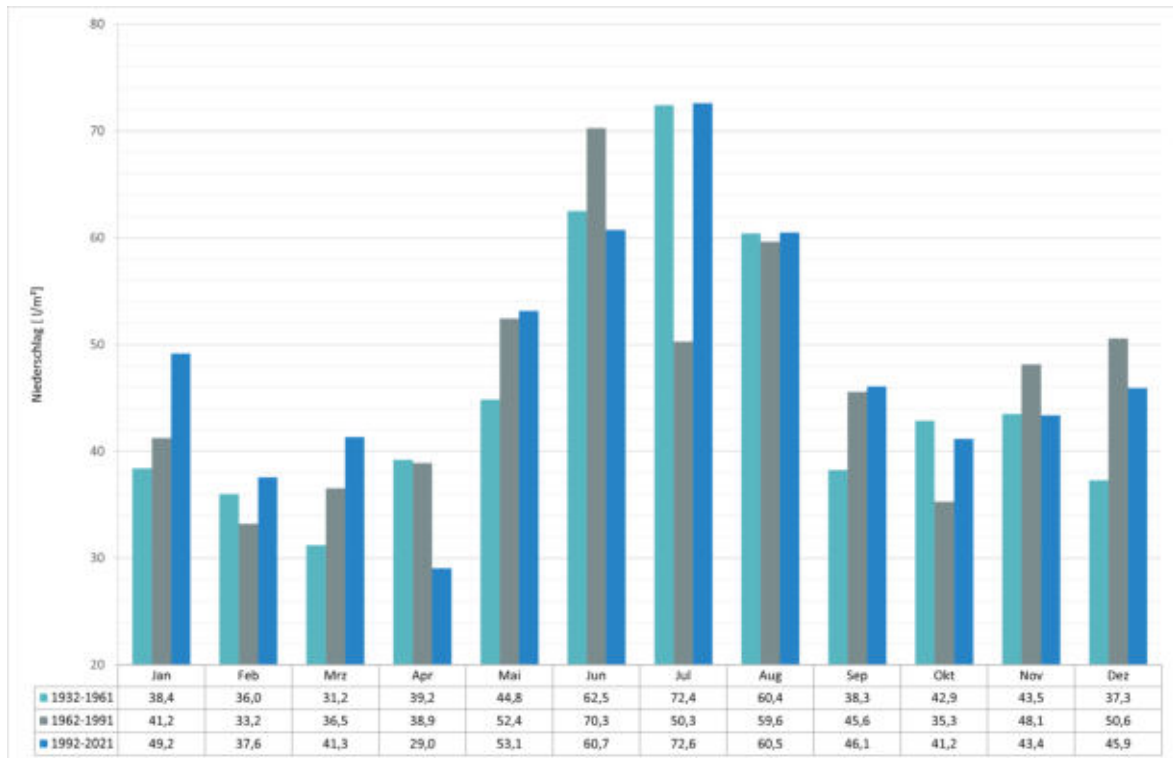


Abbildung 19 Darstellung des monatlichen Durchschnittsniederschlags [l/m²] für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c) – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.

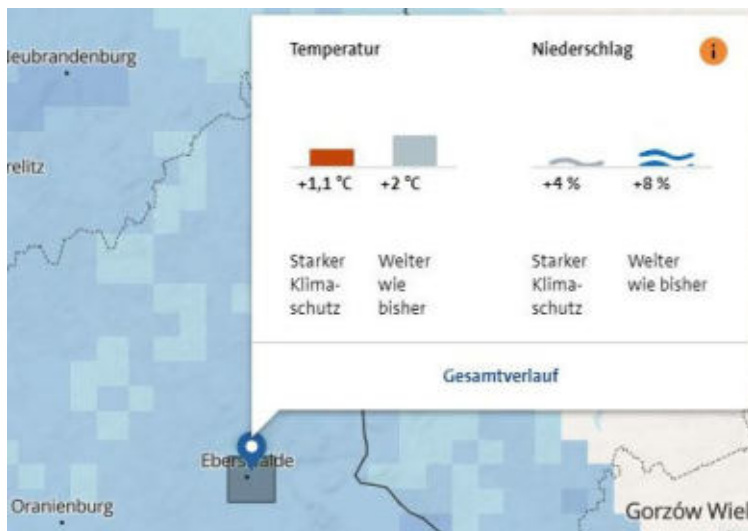


Abbildung 20 Abweichung der Jahresmitteltemperatur sowie der Niederschlags-summe für die Region Eberswalde bis 2050 (unter Berücksichtigung des RCP 8.5 Szenario – „weiter wie bisher“) vom ortsspezifischen Durchschnitt der Jahre 1971 bis 2000 (ARD 2022).

Laut der Berechnungen zur globalen Erderwärmung im 8.5 Szenario (siehe Abbildung 20) wird die durchschnittliche Jahrestemperatur bis 2050 um weitere 2 °C im Vergleich zu 1971 – 2000 in der Region Eberswalde ansteigen. Nach den Jahren 2009 bis 2014 in denen gegenüber dem Jahr 2006 eine Zunahme der Niederschlagsmengen stattgefunden hat (Abbildung

23), und den darauffolgenden Jahren 2015 bis 2020 in denen die Niederschlagsmengen unter denen des Jahres 2006 gesunken sind, ist entsprechend der vorliegenden Prognosen von einem Anstieg der Jahresniederschlagsmengen um 8 % bis zur Mitte des aktuellen Jahrhunderts gegenüber dem Zeitraum von 1971 – 2000 auszugehen. (ARD 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.

In Eberswalde steigen die Temperaturen seit dem letzten Jahrhundert kontinuierlich an und damit auch die thermische Belastung auf den menschlichen Körper (siehe Abbildung 18). Derartige Belastungen sind ab höheren Temperaturen auch mit gesundheitlichen Folgen verbunden. Daher sind nachfolgend die sogenannten Sommertage ($\geq 25^\circ\text{C}$) und Heiße Tage ($\geq 30^\circ\text{C}$) dargestellt, an denen die maximale bodennahe Lufttemperatur (2 m über der Oberfläche) während eines Tages über den jeweiligen Werten liegt. Im Rahmen der Auswertung der aufeinanderfolgenden 30-jährigen Mittel ist eindeutig ein voranschreitender Anstieg bei den Sommertagen und eine Verdopplung (Vergleich der Zeiträume 1951-1980 und 1992-2021) bei den Heißen Tagen im Jahresdurchschnitt erkennbar.

Eine weitere Kategorie der Ereignistage ist die der Tropennächte (siehe Abbildung 22). Hiervon spricht man,

sobald die Temperatur während der gesamten Nachtstunden nicht unter die Marke von 20°C fällt. Der Vergleich zu den vorangegangenen 30-jährigen Mitteln zeigt einen Anstieg um 0,3 Tagen im Juli und einen Anstieg von 0,3 im August. Besonders der Anstieg der Anzahl der Tropennächte ist auch gesundheitlicher Sicht kritisch zu sehen, da der menschliche Körper die normalerweise kühleren Nachtphasen zur Regeneration und Erholung benötigt. Hohe Nachttemperaturen von über 20°C über einen längeren Zeitraum stellen eine zusätzliche Belastung für den Organismus dar und verhindern die Regeneration.

Neben den temperaturbedingten Ereignistagen treten im Zuge des Klimawandels auch zunehmend niederschlagsgekoppelte Extremwetterlagen (z.B. Dürreperioden oder Starkregenereignisse) auf (siehe Abbildung 23). Da die in diesem Kontext vorhandenen Daten ausschließlich für 10-jährige Zeiträume vorhanden sind, darf diese Auswertung nur als Trend und nicht als Auswertung eines 30-jährigen klimatischen Mittels gesehen werden. Die Auswertung bezieht sich auf einen Referenzzeitraum (1995-2005), auf den sich die nachfolgenden Zeiträume mit ihren Ergebnissen beziehen.

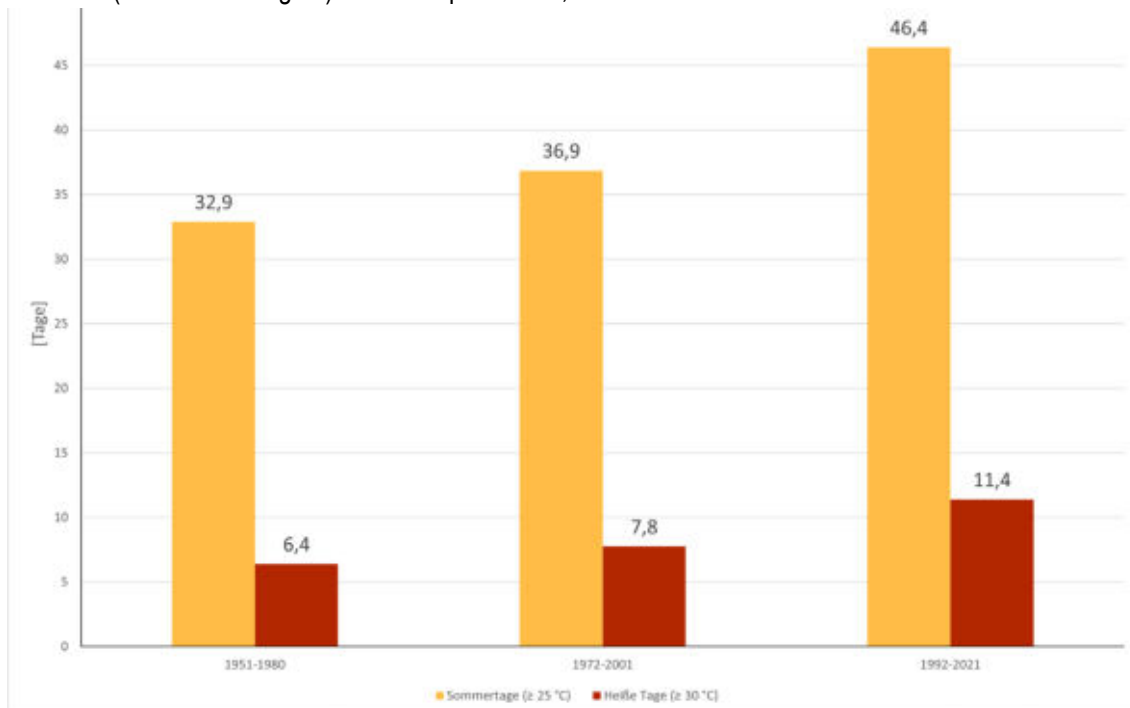


Abbildung 21 Darstellung des Auftretens von Ereignistagen (Sommertage in orange, Heiße Tage in rot) für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c)

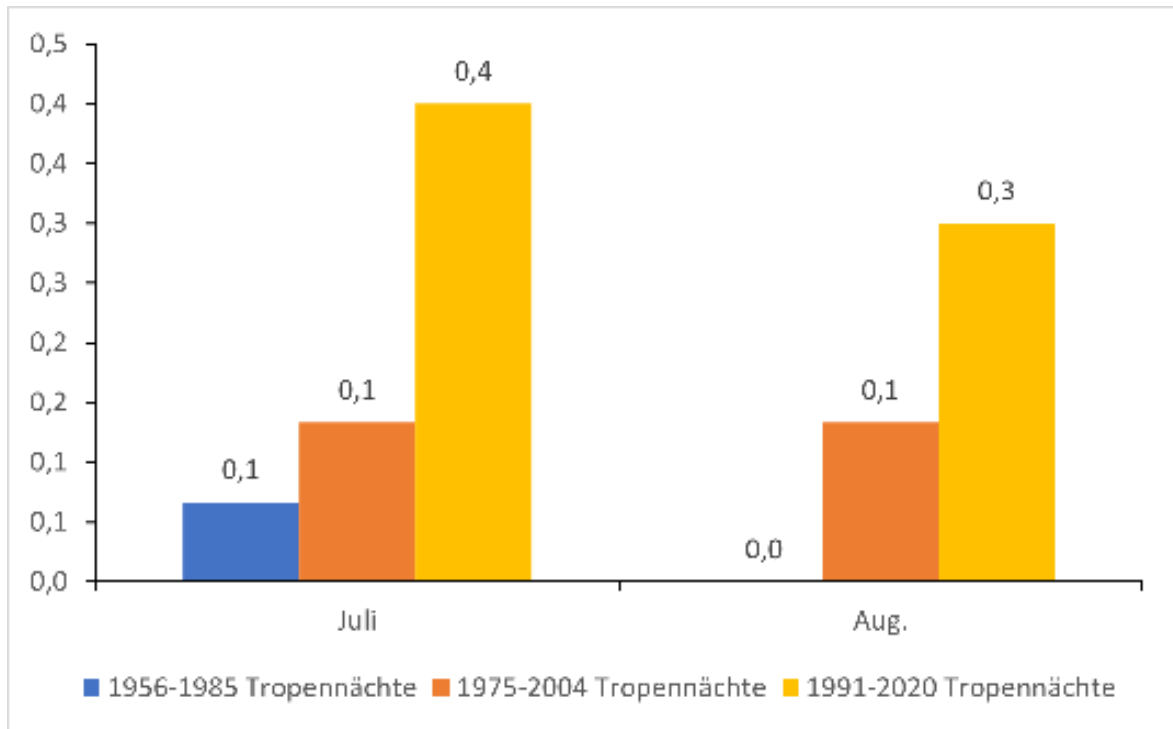


Abbildung 22 Anstieg der monatlichen Tropennächte der letzten drei aufeinanderfolgenden 30jährigen Mittel. Besonders deutlich ist der Anstieg von rund 30 % im Vergleich der Zeiträume von 1975 bis 2004 und 1991 bis 2020 (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)).

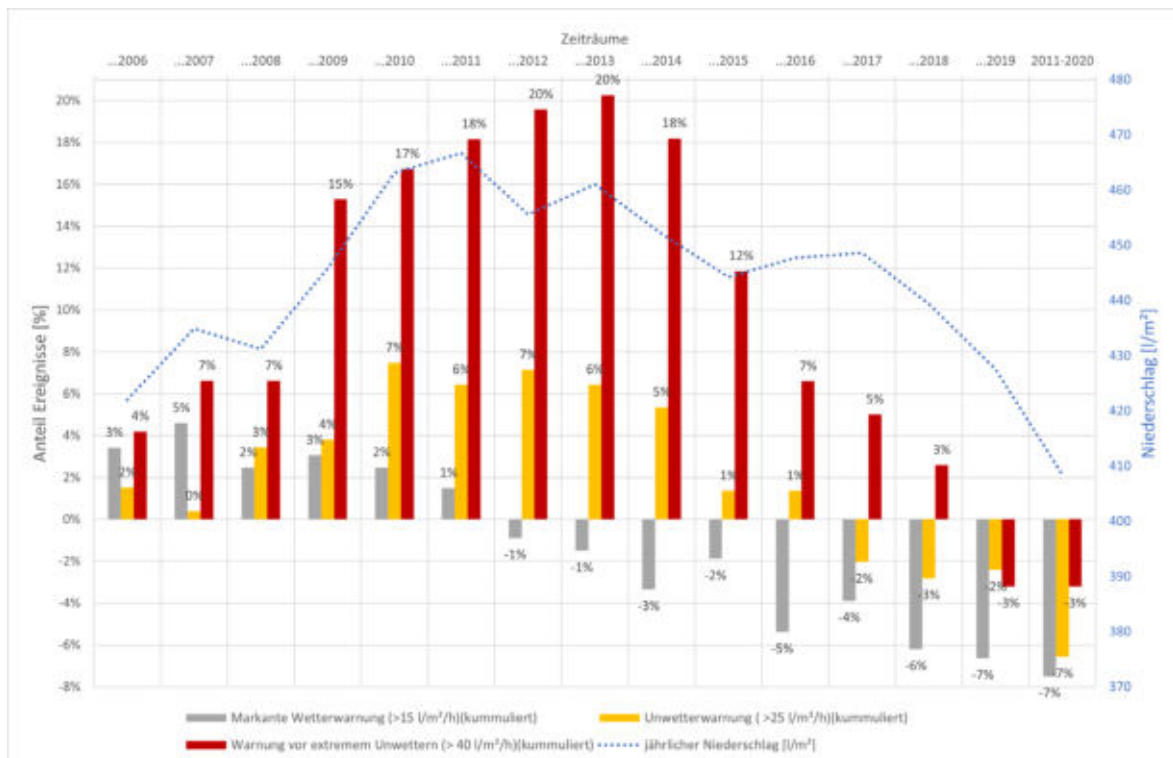


Abbildung 23 Darstellung der Veränderung der Niederschlagsmengen und dem Auftreten von Extremwetterlagen in 10-jährigen Berechnungsintervallen (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)). Hierbei wird der Zeitraum 1995 bis 2005 als Referenzzeitraum gewählt, auf den sich die nachfolgenden Zeiträume und deren prozentualen Abweichungen beziehen. – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.

5.1.3 Windverhältnisse

Zur Erläuterung der Windverhältnisse in Eberswalde wurden wie bereits bei den Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen die Daten der DWD Wetterstation 00164 Angermünde angenommen. Nichtsdestotrotz sind Windrichtung und Windstärke stark von den topographischen Gegebenheiten und der Art der Flächennutzung abhängig, weshalb die stündlich aufgenommenen Daten aus Angermünde lediglich als allgemeine Richtwerte für die Windverhältnisse Eberswalde zu verstehen sind. Insbesondere die dargestellten Schwachwindsituationen (0-4 m/s) sind nicht für Planungsaussagen belastbar. In diesem konkreten Fall befindet sich die Messstation in 10 m Höhe (52 m ü. N.N.) innerhalb des Siedlungsbereichs von Angermünde, wodurch wiederum weitere ortsspezifische Bedingungen in die Messungen mit einfließen (siehe Abbildung 24).

Nachfolgend (vgl. Tabelle 6) werden die regionalen Windverhältnisse getrennt in die Kernzeiten für den Tag (8 Uhr – 18 Uhr) und für die Nacht (22 Uhr – 4 Uhr) dargestellt. 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 eine differenzierte Betrachtung



Abbildung 24 Verortung der DWD Messstation in Angermünde auf dem Dach des grauen Gebäudes (roter Marker) (Google Maps 2022).

gemäß der Jahreszeiten Winter (Dezember, Januar, Februar), Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August) und Herbst (September, Oktober, November).

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Anströmungen haben zur Folge, dass bestimmte Stadtbereiche Eberswaldes aufgrund ihrer Stadtmorphologie abhängig von der Uhrzeit bzw. der Jahreszeit unterschiedlich stark durchlüftet werden. Insbesondere in Monaten mit einer hohen thermischen Belastung ist dies von Relevanz. Das bedeutet, dass während der zunehmenden austauschärmeren Sommernächte die Durchlüftung der Stadt entsprechend des heterogenen bodennahen Flurwindes geschieht (vgl. Kaltluftkarten) und am Tag die Anströmung aus Westen dominant ist, und entsprechend Durchlüftungsachsen mit West-Ost-Ausrichtung von Bedeutung sind. Die Windverhältnisse in

Tabelle 6 Übersicht der zeitlichen und saisonalen Grenzen der Winddatenauswertung

	TAG	NACHT
Winter (DJF) Dezember - Januar - Februar	08:00 Uhr – 18:00 Uhr (Abbildung 27)	22:00 Uhr – 04:00 Uhr (Abbildung 26)
Frühling (MAM) März - April - Mai	08:00 Uhr – 18:00 Uhr (Abbildung 28)	22:00 Uhr – 04:00 Uhr (Abbildung 29)
Sommer (JJA) Juni - Juli - August	08:00 Uhr – 18:00 Uhr (Abbildung 31)	22:00 Uhr – 04:00 Uhr (Abbildung 30)
Herbst (SON) September - Oktober - November	08:00 Uhr – 18:00 Uhr (Abbildung 33)	22:00 Uhr – 04:00 Uhr (Abbildung 32)

Eberswalde wurden für den Zeitraum der vergangenen 30 Jahre gemittelt. Allgemein wird ein solcher Zeitraum in der Klimabeschreibung angenommen, um die langfristigen Windverhältnisse abzubilden.

Die Windrosen in den Abbildung 26 bis Abbildung 33 geben Aufschluss über die relative Ausprägung von Windgeschwindigkeiten (in %) in Beziehung zur Windrichtung. Der geringen Ausprägung von Windgeschwindigkeit über 12 m/s entsprechend, wurden diese zusammengefasst.

Im Vergleich der Windrosen (siehe Abbildung 26 bis Abbildung 33) erschließt sich eine ganzjährige Gemeinsamkeit der Anströmung aus westlicher Richtung bzw. südwestlicher Richtung (240°). Außerdem herrschen in den Wintermonaten höhere Windgeschwindigkeiten als in den Sommermonaten. Damit einhergehend fällt die kühlende Wirkung durch den sog. Wind Chill Effekt während der Sommermonate geringer aus.

Die ganzjährige Durchschnittsgeschwindigkeit für die Stadt Eberswalde auf 50 m (6,44 m/s) und auf 10 m (3,02 m/s) Höhe ist in der Abbildung 25 dargestellt. Wenig nördlich von Berlin verortet zählt die Region Eberswalde zu den windreicheren Gebieten Deutschlands, u.a. durch die räumliche Nähe zur Ostsee und durch das geringe Relief.

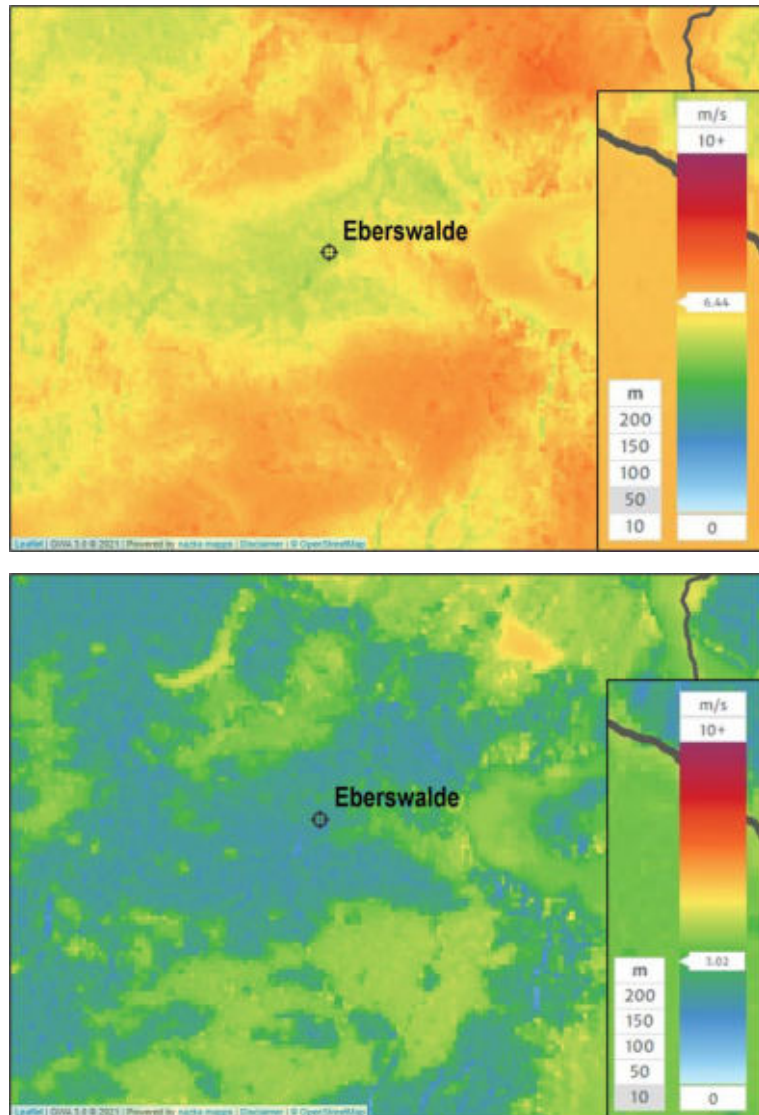


Abbildung 25 Übersicht zur ganzjährigen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in der Region Eberswalde (3km x 3km) auf unterschiedlichen Höhen: 6.44m/s auf 50m (obere Abbildung) und 3.02m/s auf 10m (untere Abbildung) (Global Wind Atlas 2022).

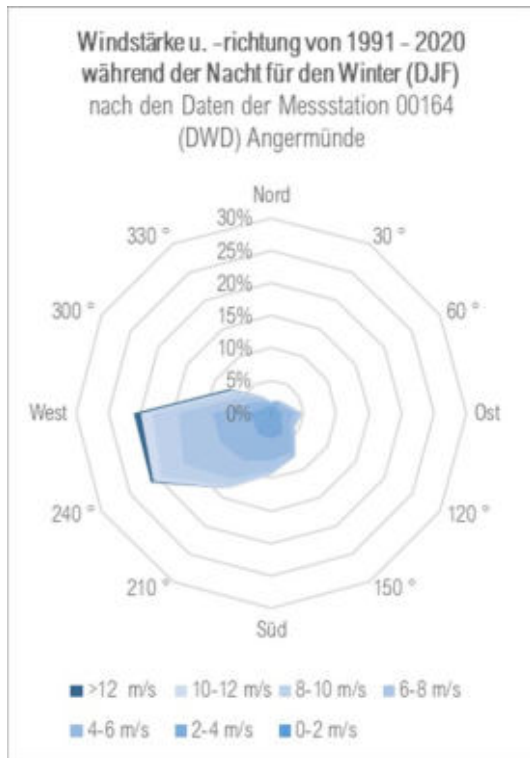


Abbildung 26 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Winter

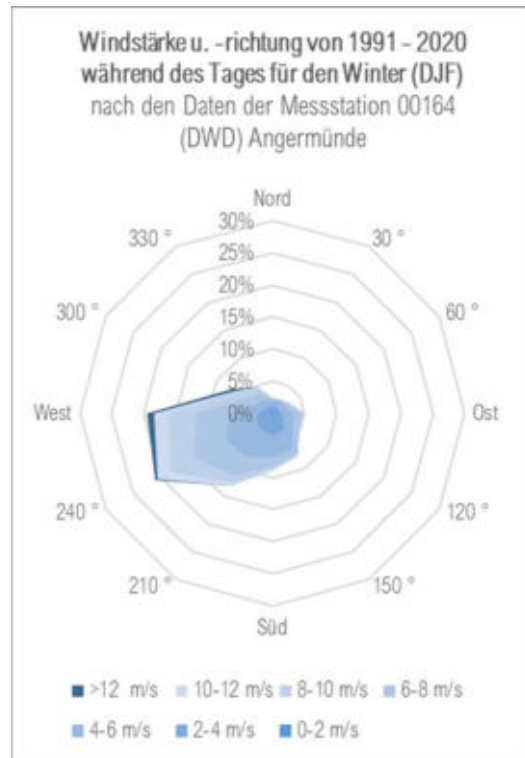


Abbildung 27 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Winter

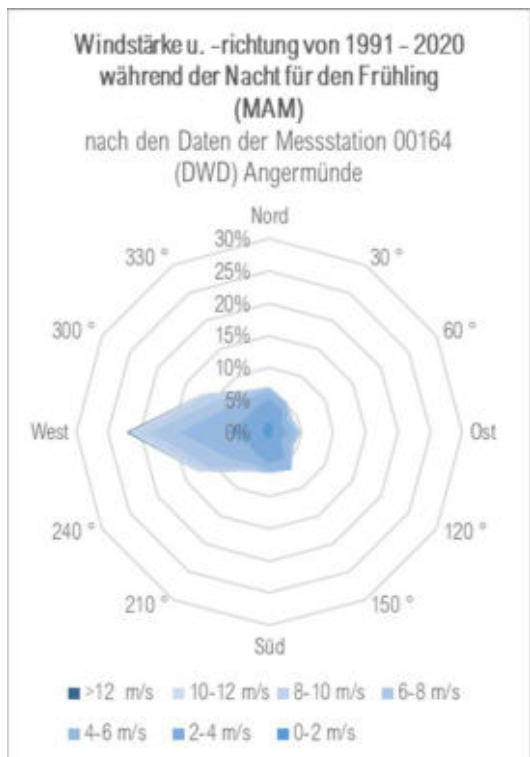


Abbildung 28 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für das Frühjahr

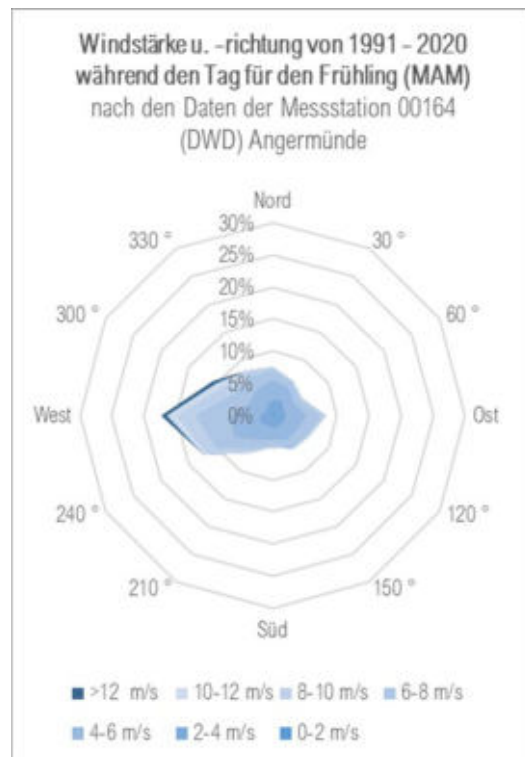


Abbildung 29 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für das Frühjahr

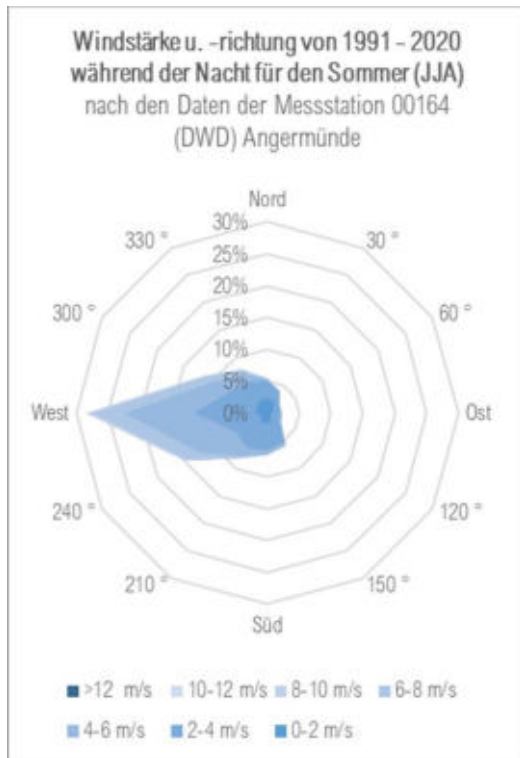


Abbildung 30 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Sommer

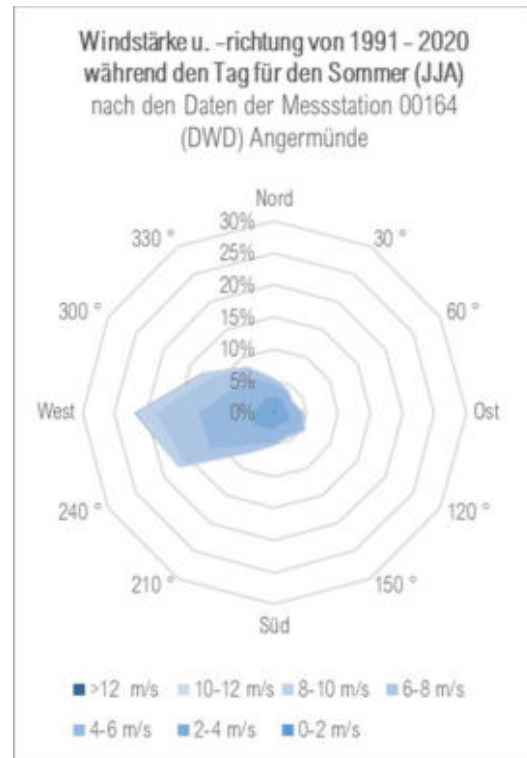


Abbildung 31 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Sommer

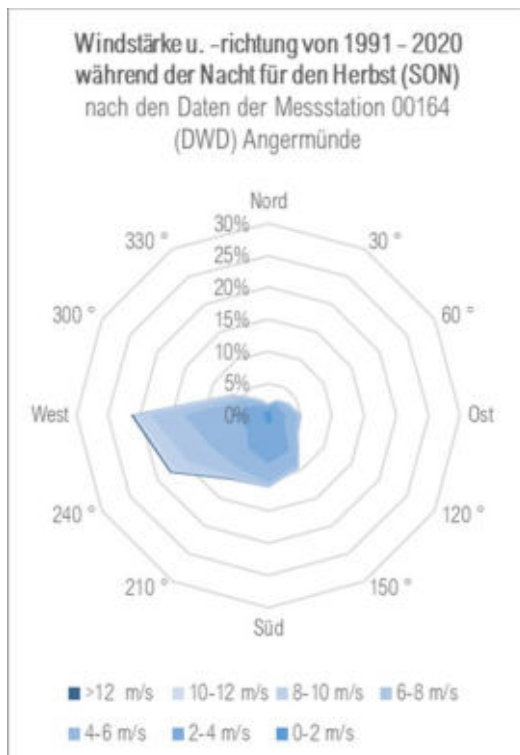


Abbildung 32 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Herbst

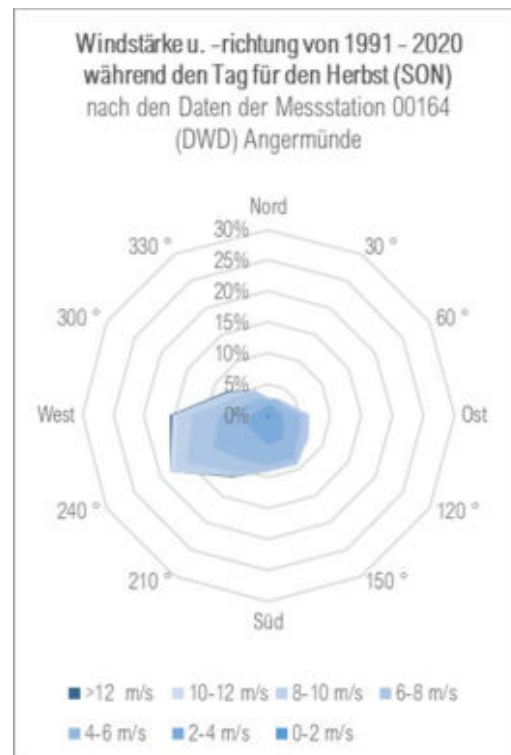


Abbildung 33 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Herbst

5.2. Topographische Analysen

5.2.1 Hangneigung und Hangrichtung

Die Analyse beschreibt flächendeckend für das Stadtgebiet von Eberswalde die prozentuale Stärke der Hangneigung in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Hangs. Abbildung 34 stellt beispielhaft einen Detailausschnitt des zentralen Stadtgebiets dar. Die Information zur Hangneigung und zur Hangrichtung wird über die spezielle Farbgebung (siehe Abbildung 35) wiedergegeben. Eine A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum ist in Kapitel 9.3 zu finden.

Der Untersuchungsraum charakterisiert sich in nordwestlicher Richtung durch sein überwiegend homogenes, flaches Relief und einer recht milde ausgeprägten Hangsituation. Nördlich und südlich des durch den Ort verlaufenden Finowkanals steigt das Gelände an; bei Regenfall wird das Regenwasser daher in den Finowkanal abgeleitet. Zwischen dem Finowkanal und dem weiter nördlich verlaufenden Oder-Havel-Kanal steigt das Gelände zu beiden Seiten der Gleise ebenfalls an; die Waldflächen nördlich des Kanals fallen in Richtung Norden und der dortigen Stadtseen ab.

Am heterogensten gestaltet sich die topographische Situation im südöstlichen Teil des Untersuchungsraums. Hier ist die Hangneigung mitunter am stärksten ausgeprägt (> 40 %); das Gelände steigt in Richtung

Süden und Südosten an. Der Stadtteil Eberswalde 1 sowie der Siedlungsbereich Ostend sind somit direkt durch den Geländeanstieg gekennzeichnet. Der südwestliche Teil des Untersuchungsgebiets gestaltet sich homogener als der südöstliche Teil.

Auf Höhe des Schwärzesees steigt das Gelände in Richtung Norden und Süden an. Das Nonnenfließ-Schwärzetal liegt in der Senke des westlichen und östlichen Geländes, welches bis hin zu Spechthausen und darüber hinaus in beide Richtungen ansteigt.



Abbildung 35 Kartenlegende zur Themenkarte Hangneigung und Hangrichtung. Die drei Kreise definieren die Hangneigung in Prozent (5-20 %, 20-40 % und > 40 %), die unterschiedlichen Farben geben hingegen die Hangrichtung wieder. Eine Fläche im satten Gelbton hat somit eine Ausrichtung nach Nordwesten (NW) und eine Neigung von > 40 %.

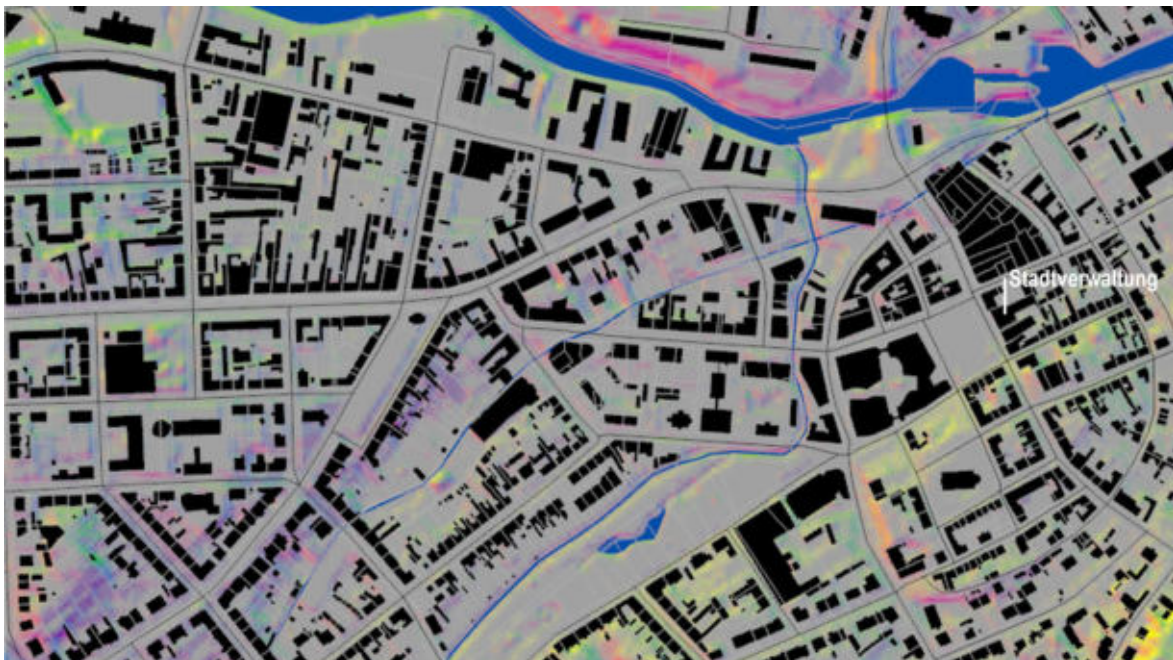


Abbildung 34 Detailausschnitt des Innenstadtbereichs von Eberswalde - Themenkarte „Hangneigung und Hangrichtung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

5.2.2 Landnutzung & Flächendurchgrünung



Abbildung 36 Legende der Themenkarte „Landnutzung“

Die Darstellung der Flächendurchgrünung basiert auf der räumlichen Verschneidung der Flurstücksdaten mit den erfassten Vegetationsstrukturen auf Grundlage der Nahinfrarot Luftbilddauswertung. Dabei wird der prozentuale Anteil der Flächendurchgrünung ausschließlich für Flächen in Siedlungsräumen dargestellt. Vegetationsdominierte Flächen im Außenbereich werden im Kontext der prozentualen Durchgrünung nicht aufgeschlüsselt.

Die Einordnung der Flächen orientiert sich an drei Kategorien: Bebaute Flächen, unbebaute Flächen und Verkehrsflächen. Die unbebauten Flächen werden in

die Nutzungsarten „Sport, Freizeit & Erholung“, „Friedhof“, „Offenland“ und „Wald“ unterteilt. Die Waldflächen dominieren den südlichen und nördlichen Außenraum des Untersuchungsgebiets und durchziehen zu Teilen den Siedlungsbereich westlich der Bahnleiße. Im östlichen Bereich des Außenraums und von West nach Ost den Siedlungsraum durchdringend befinden sich primär Offenlandflächen. Innerhalb des Siedlungsraums, bzw. an den Siedlungsrändern liegen vereinzelte Friedhöfe und Flächen, die zu Sport-, Freizeit- und Erholungszwecken genutzt werden. Darüber hinaus verlaufen diverse Verkehrsachsen durch die Stadt und ihr Umland; besonders prominent treten die Gleise des Bahnverkehrs hervor, da diese von Nord nach Süd die Stadt durchziehen und mitunter zentrumsnah vom Hauptbahnhof Eberswaldes sowie dem Bahngelände nordwestlich des Finowkanals eingefasst werden. Die bebauten Flächen der Stadt sind in die weiteren vier Kategorien „Industrie & Gewerbe“, „Flächen genutzter Mischung“, „Wohnbau“, „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ unterteilt. Die größeren Industrie- und Gewerbeflächen konzentrieren sich insbesondere, aber nicht ausschließlich, auf die Gebiete unmittelbar am und nördlich des Finowkanals. Der restliche Stadtbereich wird vorwiegend durch kleinparzellige Gewerbe-, Wohnbau-, Misch- und Sonderflächen durchmischt. Das innerstädtischen Fokusgebiet wirkt besonders stark durchmischt, was unter anderem auf die



Abbildung 37 Detailausschnitt des Innenstadtbereichs von Eberswalde – Themenkarte „Landnutzung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

geringe durchschnittliche Parzellengröße der dargestellten Flächen zurückzuführen ist (Abbildung 37). Dennoch sind im südwestlichen Teil des Ausschnitts besonders die Wohnbauflächen dominant und im Norden entlang des Finowkanals die Industrie- und Gewerbeflächen. Vom Kanal ausgehend durchfließt die „Schwärze“ den Fokusraum. Der daran angrenzende „Park am Weidendam“ zählt zum Funktionsraum „Sport, Freizeit & Erholung“, und ist eine der wenigen unbebauten (größeren) Flächen innerhalb dieses Gebiets. Östlich der „Schwärze“, nahe der Stadtverwaltung, ist der Fokusraum erneut stark durchmischt. Abseits der Stadtmitte nimmt das Verhältnis der Wohnbauflächen gegenüber den anderen Landnutzungstypen zu. Beispiele hierfür sind z.B. die Clara-Zetkin-Siedlung, das Leibnizviertel und Tornow.

Die auf dem Atkis BasisDLM basierende Aufschlüsselung der Landnutzungstypen in Abhängigkeit ihres

Durchgrünungsgrads (Abbildung 38) auf Grundlage der Nahinfrarot Auswertung ergibt, dass Friedhöfe (54,27 %) und Sport, Freizeit und Erholungsflächen (62,9 %) in vergleichsweise geringem Maße versiegelt / überbaut und daher am stärksten durchgrünt sind. Von den per se bebauten Flächen sind die Sonder- (46,22 %) und Mischflächen (48,08 %) stärker durchgrünt als die Flächen aller anderen Landnutzungstypen. Die Industrie- und Gewerbeflächen (43,44 %) liegen in diesem Kontext noch vor den Wohnbauflächen (40,89 %); dazwischen befinden sich mit 41,03 % die Bahnverkehrsflächen. Die Wohnbauflächen sind somit abgesehen von den Plätzen (26,57 %) und den Straßenverkehrsflächen (29,07 %) die vergleichsweise am stärksten versiegelten Landnutzungsflächen, während die Bahnverkehrsflächen unter den Verkehrsflächen am grünsten sind.



Abbildung 38 Auswertung der prozentualen Flächendurchgrünung auf Grundlage der zusammengefassten Landnutzungsklassifizierung des Atkis BasisDLM und der Nahinfrarot Luftbild Befliegung für die Stadt Eberswalde

5.2.3 BlueSpots (Starkregen)

Bei den sogenannten BlueSpots handelt es sich um Bereiche, die i.d.R. eine topographische Senke darstellen und bei stärkerem Wassereintrag durch abfließendes Oberflächenwasser gefüllt werden. Übersteigen die eingebrachten Wassermassen das Fassungsvermögen der Senke folgt ein Überlaufen (Spillover) zu Lasten des in der Topographie hierarchisch nachfolgenden (und somit tiefer liegenden) Bereichs (siehe Abbildung 39).

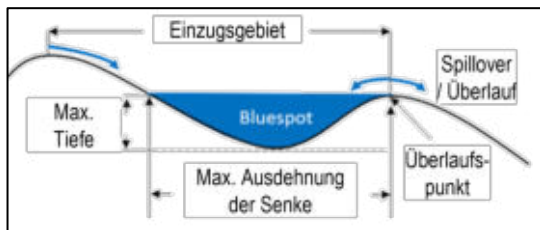


Abbildung 39 Schematische Darstellung eines BlueSpots mit den entsprechenden Fachtermini

Die A3-Übersichtskarten zum gesamten Untersuchungsraum sind in Kapitel 9.3 zu finden, nachfolgend werden nur Detailausschnitte der entsprechenden Karten dargestellt.

Für den gesamten Untersuchungsraum wurden diese potentiellen Überschwemmungsbereiche (BlueSpots)

auf Informationsgrundlage der vorherrschenden topographischen Bedingungen ermittelt. Kanalabflüsse und die natürliche Wasseraufnahmefähigkeit von Vegetationsflächen wurden in dieser computerbasierten Berechnung nicht berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund stellt das im Detailausschnitt (siehe Abbildung 40) dargestellte Szenario eine „Worst-Case“ Situation bei einer maximalen Niederschlagsmenge von 100 mm dar. Da die Infiltrationseigenschaften von Oberflächen nicht berücksichtigt werden, gibt es auch keine zeitliche Komponente (zeitlich dimensionslos). Das bedeutet, dass der Wassereintrag nicht zeitlich, sondern mengenbasiert geschieht. Um die Maximalniederschlagsmenge von 100 mm zu erreichen, wird flächendeckend der Wassereintrag in 10 mm Schritten erhöht. Ist die Kapazität einer Senke erreicht, wird das überschüssige Volumen entsprechend der Fließpfade weitergeben. Dies geschieht (grafisch dargestellt) über Linien, die die Abflussrichtung überschüssiger Wassermassen aller BlueSpots verdeutlichen. Beim Niederschlagsereignis fließt ein Teil der Wassermassen im flussnahen Siedlungsraum auch in den Finowkanal und seine weiteren Ausläufer ab. Innerhalb des Siedlungsraums (siehe Abbildung 40) befinden sich daher vorwiegend kleinteilige BlueSpots, welchen einzelne Parzellen und Gebäude betreffen. Der Großteil



Abbildung 40 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Identifikation von potentiellen Überschwemmungsbereichen“. Blue-Spots werden in einem hellen blau dargestellt, Fließ- und Stillgewässer in einem dunklen blau. Die roten Grenzlinien definieren die Oberflächeneinzugsgebiete.

der BlueSpots verteilt sich allerdings auf die weiteren Wald- und Freiflächen im südlich und östlich gelegenen Außenraums.

In der Gesamtbetrachtung des Siedlungsraums treten die städtischen Räume der „Clara-Zetkin-Siedlung“, das „Gewerbegebiet TGE“, der Siedlungsraum zwischen „Finow-Ost“ und „Märkische Heide“, das „Brandenburgisches Viertel“, das Gewerbegebiet nordwestlich des „Wurzelberg“ sowie im Bereich der „Angermünder Chaussee“ in den Fokus, da es hier zur Ausprägung von teils großflächigeren BlueSpots kommen kann. Auf Grund des hohen Vegetationsanteils ist jedoch davon auszugehen, dass mögliche Überschwemmungen in geringerem Maße auftreten würde. Auf Grund der Größe des BlueSpot im „Brandenburgische Viertel“ sollte darauf geachtet werden das im Rahmen einer potentiellen zukünftigen städtebaulichen Weiterentwicklung der Fläche der Versiegelungsgrad möglichst minimiert wird. Gleiches gilt auch für die zwei zukünftigen Gewerbestandorte westlich der „Angermünder Straße“ sowie südlich der „Carl-von-Linde Straße“. Der Bereich um den Kleingartenverein „Dr. Schreiber e.V.“ entlang des „Lichterfelder Weg“ sowie die östlich anschließenden Vegetationsräume nördlich der „Georg-Friedrich-Hegel-Straße“ stellen eine zusammenhängende große Senke dar, die auf Grund des hohen Vegetationsanteils als natürliches Retentionsgebiet bewertet werden kann.

Im Detailausschnitt (Abbildung 40) können vier größere BlueSpots identifiziert werden. Hierbei handelt es sich um den Wohnblock im Eck westlich der „Rudolf-Breitscheid-Straße“ und südlich der „Eisenbahnstraße“ sowie um den Wohnblock östlich der „Grabowstraße“ und südlich der „Eisenbahnstraße“. Diese beiden Bereiche werden primär durch die umschließende Bebauung definiert. In Abhängigkeit der Vegetationsausstattung ist das Überschwemmungsrisiko bedingt lokal begrenzt. Der dritte Abschnitt erstreckt sich entlang des Bereichs zwischen „Friedrich-Ebert-Straße“ und „Eisenbahnstraße“. Hierbei handelt es sich bei der Fläche primär um private Grünflächen, bei denen von einem hohen Retentionspotential ausgegangen werden kann. Der vierte Abschnitt befindet sich (nur zum Teil in der Detailansicht in Abbildung 40 abgebildet) im Kreuzungsbereich zwischen „Weinbergstraße“ und „Ruhlaer Straße / Schicklerstraße“

sowie auf den nördlich anschließenden vegetationsdominierten Privatflächen. Während letztere als eher unproblematisch betrachtet werden, und hier der Fokus auf der Sicherstellung des Retentionspotentials liegt, handelt es sich beim Kreuzungsbereich sowie entlang der Straßen um einen hoch versiegelten Raum. Entsprechend wird das Überschwemmungsrisiko bei Starkregenereignissen in diesem Gebiet als sehr hoch eingestuft.

Die Kapazitäten der BlueSpots sind unterschiedlich stark ausgeprägt; Abbildung 42 unterteilt die identifizierten BlueSpots hinsichtlich ihrer Wasseraufnahmefähigkeit bei einer Niederschlagsmenge von 20 mm (Rot) – 100 mm (Grün) (vgl. Legende Abbildung 41).

Spillover Effekte nach (20 -100) mm

 ab 20 mm	 ab 70 mm
 ab 30 mm	 ab 80 mm
 ab 40 mm	 ab 90 mm
 ab 50 mm	 ab 100 mm
 ab 60 mm	 kein Spillover

Abbildung 41 Farbkodierung ab welchen Wassermaseneintrag ein Spillover (Überlaufen), und damit die Ableitung von überschüssigen Wasser in niedriger gelegene BlueSpots eintritt

Der Spillover-Effekt (und damit Überlaufen) tritt bei den bereits herausgegriffenen und beschrieben Gebieten im Siedlungsraum nach dem Eintrag unterschiedlicher Wassermengen ein. Besonders früh kann dies bei den Gebieten der „Clara-Zetkin-Siedlung“, sowie im Kreuzungsbereich zwischen „Weinbergstraße“ und „Ruhlaer Straße / Schicklerstraße“ auftreten. Gefolgt von den Siedlungsräumen zwischen „Finow-Ost“ und „Märkische Heide“ sowie dem „Brandenburgischen Viertel“. Die zukünftigen Gewerbestandorte sind heterogen geprägt, da sie durch mehrere BlueSpots beeinflusst werden. Positiv sind die drei Innenhofsituationen im Detailausschnitt (Abbildung 42) um den Wohnblock im Eck westlich der „Rudolf-Breitscheid-Straße“ und südlich der „Eisenbahnstraße“ und um den Wohnblock östlich der „Grabowstraße“ und südlich der „Eisenbahnstraße“ sowie der dritte Abschnitt entlang des Bereichs zwischen „Friedrich-Ebert-Straße“ und



Abbildung 42 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Eintreten von Überschwemmungen in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge“. Visualisierung der notwendigen Starkregenmengen, um den Spillover-Effekt (Überlauf eines Blue-Spots) der identifizierten Blue-Spots auszulösen (vgl. Abbildung 40). Die unterschiedlichen Farbgebung geben den nötigen Eintrag an Wasser wieder, der den Effekt auslöst. Olivfarbene Fläche erfahren bei dem in der Analyse angenommenen maximalen Wassereintrag von 100 mm keinen Überlauf, rote Flächen im Gegensatz hierzu bei bereits 20 mm.

„Eisenbahnstraße“, da bei ihnen kein Spillover einsetzt, was auf den geringen räumlichen Einzugsbereich und die entsprechend großräumige Senken Situation zurückzuführen ist.

Der dritte Detailausschnitt (siehe Abbildung 44) zeigt die maximale Tiefe aller BlueSpots. Dabei werden in der Berechnung nur BlueSpots mit einer minimalen Tiefe von 0,5 m (vgl. Legende Abbildung 43) und einem Fassungsvermögen von 1 m³ identifiziert. Die Tiefe der BlueSpots im Untersuchungsraum ist stark heterogen ausgeprägt. Dabei ist nicht per se von einem Zusammenhang zwischen maximaler Tiefe und Flächenausdehnung auszugehen. Zusätzlich wird nur die maximale Tiefe eines BlueSpots dargestellt. So kann es vorkommen, dass eine Senke eine hohe maximale Tiefe aufweist, diese jedoch nur in einem kleinen Bereich der Senke vorkommt. Um dies in einer dezidierten Betrachtung zu erfassen zu können, ist die Berücksichtigung der berechneten Rasterdaten notwendig, die im Projekt hinterlegt sind. Die maximale Tiefe mit 12 m findet sich im Untersuchungsgebiet im Südosten, im Bereich der „Schwärze“. Die Siedlungsbereiche „Clara-Zetkin-Siedlung“ und der Siedlungsraum zwischen „Finow-Ost“ und „Märkische Heide“ weisen eher

geringe maximale Tiefen von bis zu 1,75 m auf. Beim „Brandenburgischen Viertel“ kann der zentrale zusammenhängende BlueSpot eine maximale Tiefe von 3 m erreichen. Im Detailraum (Abbildung 44) fällt die Ausprägung der maximalen Tiefe der BlueSpots ebenfalls heterogen aus. Besonders das vegetationsdominierte Räumen besitzen eine hohe maximale Tiefe, was Ihre potentielle Funktion als Retentionsraum unterstreicht.

BlueSpot Tiefen (in m)

0,5 m - 0,75 m	2 m - 3 m
0,7 m - 1 m	3 m - 4 m
1 m - 1,25 m	4 m - 6 m
1,25 m - 1,5 m	6 m - 8 m
1,5 m - 1,75 m	8 m - 10 m
1,75 m - 2 m	10 m - 12 m

Abbildung 43 Farbliche Darstellung der Klassifizierung der maximalen BlueSpot Tiefe in Meter.

Dass trotz der teils geringen Tiefe vieler BlueSpots im Innen- und Außenraum des Siedlungsgebiets dennoch ein Großteil der Kategorie „kein Spillover“ zugeordnet wird, liegt an der Anzahl vieler nahe beieinanderliegender BlueSpots und den dazugehörigen Einzugsgebieten, die den Raum unterteilen. Ein Teil des

Regenwassers wird zusätzlich durch die Gewässer im Untersuchungsgebiet aufgefangen oder fließt in diese ab.



Abbildung 44 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Tiefendarstellung“. Zeigt die für die identifizierten Blue-Spots die maximalen Tiefen (vgl. Abbildung 39) berechnet wurden. Dabei beträgt die minimale Wassertiefe 0,5 m und die maximale Wassertiefe (im gesamten Untersuchungsgebiet) 12 m.

5.3. Bebauungs-Analysen

5.3.1 Räumlich-bauliche Offenheit (SkyView)

Die farbliche Abstufung des SkyView-Faktors gibt an, in welchem Maße die Offenheit des Himmels, vom Boden aus betrachtet, eingeschränkt wird (siehe Abbildung 46). Einerseits wird der Grad der Offenheit durch Bebauungen und deren Dichte zueinander beeinträchtigt, andererseits treten Einschränkungen auch auf natürliche Weise im Kontext topographischer Gegebenheiten (z.B. Hügel, Senken) auf. In dieser Hinsicht gestaltet sich der städtische Außenbereich (vgl. A3-Übersichtskarte in Kapitel 9.3), abgesehen von Teilen des östlichen und südlichen Untersuchungsgebiets, weitgehend homogen. Baulich wird die Offenheit des Himmels in den Siedlungsbereichen eingeschränkt; am stärksten ist dies im stark verdichten Innenstadtbereich der Fall (siehe Abbildung 45). Korridore zwischen einzelnen Gebäudegruppen – insbesondere Blockrandbebauungen - und einzelne Straßenzüge befinden sich im untersten Wertebereich der räumlich-baulichen Offenheit. Die freistehenden, kleinflächigen Gebäude der umliegenden Wohngebiete (z.B. Sommerfelde, Ostend) wirken sich weniger stark auf den SkyView-Faktor aus. Da die Gebäude der Gewerbe- und Industriegebiete zwar oft großflächig angelegt

sind, die Gebiete regulär jedoch nicht die gleiche bauliche Dichte aufweisen wie etwa die Innenstadt, fällt der SkyView-Faktor hier je nach Gebäudeanordnung positiver aus als in den hochverdichteten städtischen Räumen.



Abbildung 46 Schematische Darstellung des SkyView Faktors



Abbildung 45 Detailausschnitt Themenkarte „Räumlich-bauliche Offenheit (SkyView)“. Rote Bereiche beschreiben eine stark eingeschränkte räumlich-bauliche Offenheit, während blaue Bereiche eine große räumlich-bauliche Offenheit beschreiben (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

5.3.2 Gebäudevolumendichte

Über die Gebäudevolumendichte (vgl. A3-Übersichtskarte in Kapitel 9.3) lässt auf die Baumassen und die bauliche Dichte der Gebäude innerhalb des Siedlungsraums zueinander schließen. Die Analyse erfolgt auf Grundlage eines Rasters (1 m Auflösung) bei dem für jeder Rasterzelle ein Umkreis von 50 m, und den darin vorkommenden Rasterzellen mit dem jeweiligen Wert der Rasterzelle, berücksichtigt wird. Die Gebäudevolumendichte in der Innenstadt Eberswaldes ist stärker ausgeprägt als in den umliegenden Wohnbereichen. Da die Innenstadt stark verdichtet ist erreichen die Rasterzellen daher punktuell Werte von rd. 12 bis 15 m³/m² (siehe Abbildung 47).

Noch bezeichnender ist jedoch die verbreitete räumliche Anordnung von Rasterzellen mit Werten von 2,51 m³/m² - 7,5 m³/m², da die Gebäudevolumendichte im gesamten Siedlungsraum überwiegend 0,01 m³/m² - 2,5 m³/m² beträgt. Die Innenstadt überschreitet diesen Wert großflächig und enthält darüber hinaus weitere Räume mit einer noch höheren Gebäudevolumendichte. Während die Gebäudevolumendichte in den umliegenden Wohnbereichen gering ausfällt, sind neben der Innenstadt weitere Flächen wie z.B. das

„Brandenburgisches Viertel“ und die Gewerbe- und Industrieflächen an dem Oder-Havel-Kanal oder das Kranbaugelände von höheren Werten gekennzeichnet.

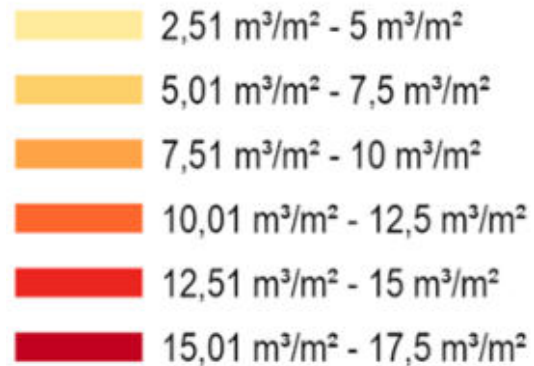


Abbildung 48 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Gebäudevolumendichte“.

Für die Erfassung der Gebäudevolumendichte wurden auch bereits bekannte und in Planung befindliche Bauvorhaben gemäß rechtswirksamer bzw. in Aufstellung befindlicher Bebauungspläne und geplanter Nachverdichtungen innerhalb des Siedlungsgebietes berücksichtigt. Die aus diesen Bauvorhaben resultierende



Abbildung 47 Detailausschnitt Themenkarte „Gebäudevolumendichte“. Die Ausgabe erfolgt in Kubikmeter pro Quadratmeter und bezieht neben der eigenen Masse auch die Massen der Nachbarschaft (Nachbarschaftsanalyse) mit ein. Die im Kartenausschnitt am dunkelsten orange-rot gefärbten Bereiche (Bereich der Stadtverwaltung) haben eine Gebäudevolumendichte von rd. 10 bis 12 m³/m² (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

potentielle Gebäudevolumendichte wurde berechnet und in den Kontext der bereits bestehenden Bebauung gesetzt.

Für Wohnbauvorhaben wurden die geplanten Gebäudedekubaturen übernommen (entsprechend vorliegenden städtebaulichen Entwürfen), für die Gewerbegebiete, bei denen die zukünftige Bebauungsstruktur noch nicht festgelegt sind, wurden die Flächen mit Hilfe einer standardisierten und fiktiven Rasterung bebaut, die dem durchschnittlichen Bebauungsgrad vergleichbarer Gebiete entspricht.

Folgende Baugebiete, die bisher noch nicht realisiert, aber deren Umsetzung in den nächsten Jahren vorgesehen ist, wurden zusätzlich zum vorhandenen Gebäudebestand berücksichtigt:

1. Gebiete mit rechtswirksamen Bebauungsplänen:

BPL Nr. 107 „Mühlenteich“

BPL Nr. 123 „Schwärzeblick“

vBPL Nr. 324 „Käthe-Kollwitz-Straße“

BPL Nr. 708 „Clara-Zetkin-Siedlung – Hinter“, 2. Änderung

BPL Nr. 805 „Abrundung Ostend“, 1. Änderung

2. Gebiete mit in Aufstellung befindlichen Bebauungsplänen:

BPL Nr. 406/1 „Wohnquartier Westend-Center“

BPL Nr. 422 „Hufnagelquartier Eberswalde“

BPL Nr. 527 „Finowtal“

BPL Nr. 606 „Christel-Brauns-Weg“

3. Geplante Bauvorhaben im Innenbereich:

Hortneubau Kyritzer Straße 17

Lückenschließung Lessingstraße / Erich-Mühsam-Straße

Lückenschließung Prignitzer Straße

Bebauung Friedrich-Ebert-Straße-Süd

4. Gewerbegebiete:

BPL Nr. 400 „Technologie und Gewerbepark“

BPL Nr. 626 „Industrie- und Innovationszentrum Finow“

5.3.3 Grundflächenzahl und Geschossflächenzahl

Einen genaueren Einblick über das Maß der baulichen Nutzung ermöglicht die Darstellung der Geschossflächenzahl (GFZ) und der Grundflächenzahl (GRZ) beispielhaft im nachfolgenden Detailausschnitt (siehe Abbildung 50) dargestellt. Eine A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum ist in Kapitel 9.3 zu finden.

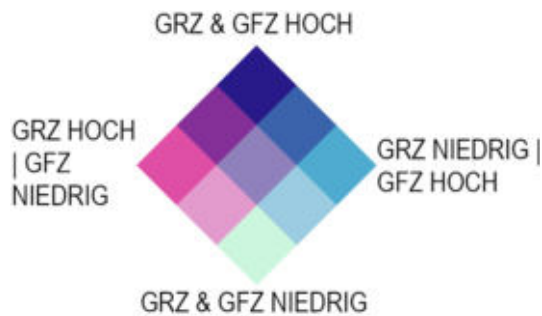


Abbildung 49 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Grundflächenzahl (GRZ) und Geschossflächenzahl (GFZ)“

Vereinfacht dargestellt nimmt ein Gebäude mit einer hohen GRZ und einer niedrigen GFZ mehr Fläche auf seinem Grundstück als durch seine Stockwerke ein, während es bei einer hohen GFZ und einer niedrigen GRZ eher in die Höhe als in die Fläche geht.

Die Wohngebietsflächen außerhalb der Innenstadt nehmen einen überwiegend niedrigen Anteil (GRZ 0,6) der ihr zur Verfügung stehenden Grundstücksfläche durch eine mehrgeschossige Bauweise (höhere GFZ) in Anspruch. Dieses Bild gestaltet sich im Innenstadtbereich heterogener: Stellenweise sind GFZ und GRZ auf der Bewertungsskala entweder nahezu ausgeglichen, beide als sehr hoch einzustufen oder überwiegen in je eine Richtung der Skala ($GFZ > GRZ$; $GRZ > GFZ$). Eine niedrige GRZ und GFZ gibt es in der Stadt lediglich auf den Flächen der Kleingartenanlagen. Die Gewerbe- und Industrieflächen gestalten sich ebenfalls heterogener als die Wohngebietsflächen abseits der Innenstadt.



Abbildung 50 Detailausschnitt Themenkarte „Grundflächenzahl (GRZ) und Geschossflächenzahl (GFZ)“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

5.4. Vegetations-Analysen

5.4.1 Vegetationserfassung

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

Vegetation verfügt über eine sehr charakteristische spektrale Signatur. Während die Blau – und Rotbereiche des sichtbaren Lichts vom Chlorophyll der Pflanzen absorbiert und zur Photosynthese genutzt werden, werden der Grün- und besonders der Nahinfrarotbereich reflektiert (siehe Abbildung 51). Das so erzeugte Reflexions-Spektrum unterscheidet sich deutlich von anderen Landnutzungen.

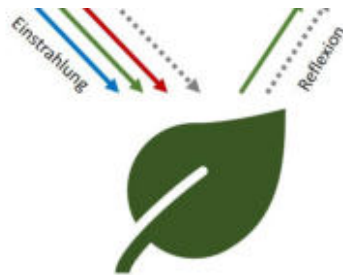


Abbildung 51 Schematische Darstellung des Licht-Absorptions- und Reflexionsverhaltens von Vegetation.

Gleichzeitig können, über das Maß der infraroten Rückstrahlung der Vegetation, Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Pflanzen getätigt werden.

Geschädigte Vegetation weist eine deutlich reduzierte Infrarotrückstrahlung im Vergleich zu gesunder Vegetation auf. Die über den Nahinfrarotkanal erfassten Vegetationsstrukturen innerhalb des Siedlungsgebiets werden durch die weiteren vegetationsdominierten Flächen des Außenbereichs ergänzt. Eine A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum ist in Kapitel 9.3 zu finden. Der Detailausschnitt (siehe Abbildung 52) vermittelt einen ersten Eindruck über die Verteilung der Vegetationsbestände im städtischen Innenraum. Entsprechend den Ausführungen im Kapitel 5.3.2. wurden für die geplanten und zusätzlich berücksichtigten Baugebiete auch die vorgesehenen Grünareale entsprechend den vorliegenden städtebaulichen Entwürfen übernommen.



Abbildung 53 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Vegetationserfassung“



Abbildung 52 Detailausschnitt Themenkarte „Vegetationserfassung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3)

In den Gewerbe- und Industriegebieten nahe des nördlich im Untersuchungsgebiet gelegenen Oder-Havel-Kanals sowie im innerstädtischen Bereich (Eberswalde) und auf dem Gelände des Hauptbahnhofs ist der Flächenversiegelungsgrad weiter fortgeschritten als in den restlichen Teilen des Untersuchungsgebiets. Hier ist ein geringerer Bestand an Vegetationsstrukturen vorhanden als etwa in den weiter außerhalb gelegener Wohngebiete.

5.4.2 Durchgrünung (bebauter) Flächen im Siedlungsraum

Diese Analyse relativiert die Ansicht der erfassten Vegetationsbestände des Siedlungsraums, indem der prozentuale Anteil der Flächendurchgrünung parzellengenau farblich abgestuft dargestellt wird. Der innerstädtische Bereich gestaltet sich hinsichtlich seines Durchgrünungsgrades besonders defizitär: Der Großteil aller hier gelegenen Flurstücke ist zu 0 – 20 % durchgrünt. Zu den vegetationsreichsten Flächen der Innenstadt zählen der „Park am Weidendamm“ und das „Fritz-Lesch-Stadion“. Einige der an den südlich gelegenen Forst (zwischen „Forstbotanischer Garten“ und „Lauseberg“) angrenzenden innerstädtischen Flurstücke sind bereits bewaldet und besitzen daher einen hohen prozentualen Vegetationsanteil (70 – 100 %). Neben der Innenstadt gestaltet sich der Durchgrünungsgrad im historischen Stadtkern Finow ebenfalls überwiegend defizitär. Die verschiedenen Gewerbeflächen im Untersuchungsraum sind in einem ähnlich geringen Maße durchgrünt. Zudem gibt es einige Abschnitte südlich entlang der Bundesstraße 167 die

ebenfalls einen geringen Durchgrünungsanteil aufweisen.

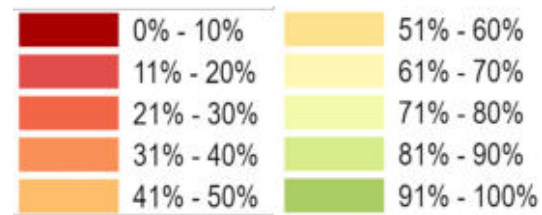


Abbildung 55 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Durchgrünung (bebauter) Flächen im Siedlungsraum“

In den Einfamilienhausgebieten am Stadtrand (insbesondere Clara-Zetkin-Siedlung, Märkische Heide, Sommerfelde, Tornow) erreicht der Durchgrünungsgrad hohe prozentuale Anteile.

Entsprechend ihrer Nutzungsart (siehe Abbildung 54) gestaltet sich der Durchgrünungsanteil im Siedlungsbereich des Untersuchungsgebiets sehr unterschiedlich: Der Durchgrünungsanteil aller als Hausgärten genutzten Flächen beträgt durchschnittlich 81 %, dicht gefolgt von Wochenendhausgebieten mit 80 %. Unter allen zu Wohnzwecken genutzten Bebauungen weisen Flächen für den Geschosswohnungsbau (Block) innerhalb des Stadtgebiets den geringsten Durchgrünungsanteil auf (44,8 %). Zu den Flächen mit dem geringsten Durchgrünungsanteil zählen Gewerbeflächen (39,1 %), Garagenhöfe (36,7 %) und Parkplätze (33,3 %).

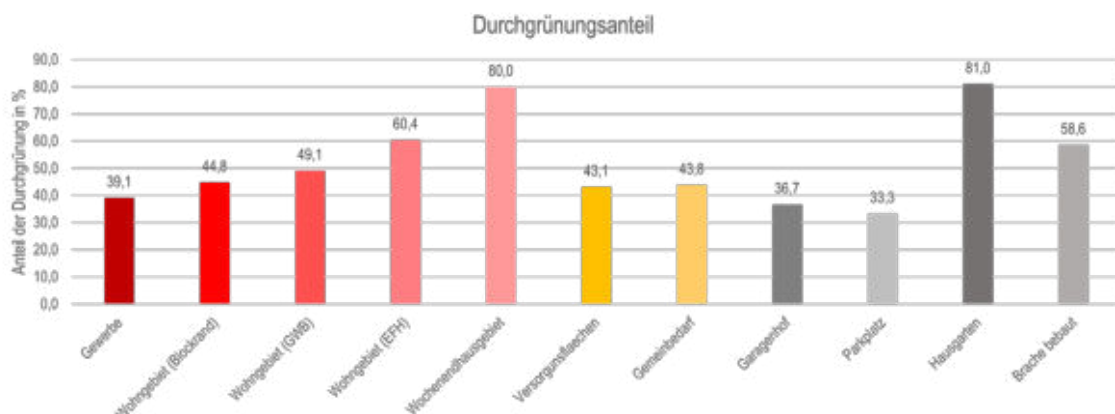


Abbildung 54 Auswertung der Durchgrünung für das gesamte Stadtgebiet von Eberswalde entsprechen den primären Nutzungsklassen – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.

5.5. Klimatische Analysen

5.5.1 Nächtliche Kaltluftschichtdicke und bodennahe Strömungsfeld

Die Berechnung der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes geschieht innerhalb des DWD Programms Klam_21 (vgl. 3.4.2). Die Berechnung basiert auf der Landnutzung, der Bebauungsstruktur sowie der Topographie. Ausgegangen wird hier von einer austauscharmen Strahlungsnacht (ohne regionale Überströmung). Gleichzeitig fördern innerstädtische Frei- und Grünflächen die lokale Kaltluftproduktion (< 1 ha nur lokal, > 1 ha auch mit potenzieller Fernwirkung) und können, je nach Lage und Ausrichtung, das Eindringen des Kaltluftabflusses in den Siedlungsraum unterstützen.

Entsprechend der technischen Beschreibung in Kapitel 2.5 bildet sich Kaltluft in den Nachtstunden, vorzugsweise während Strahlungsnächten (wolkenlos). Der klimatisch wirksame Kaltluftabfluss / -transport ist zudem abhängig von einer autochthonen Wetterlage, ohne überlagernde regionale Anströmungen, da sonst der Kaltluftabfluss / -transport zum Erliegen kommen kann.

Die Kaltluflhöhen und das bodennahe Strömungsfeld wurde für eine Referenzzeitspanne von 8 Stunden nach Sonnenuntergang berechnet. Dabei wurden für unterschiedliche Zeiten während der Simulationsnacht Schnitte (siehe Tabelle 7) erzeugt und als separate Karten herausgeschrieben.

Alle zeitlichen Schnitte sowie die finale Situation nach acht Stunden sind als A3-Übersichtskarten zum gesamten Untersuchungsraum in Kapitel 9.3 zu finden.

Insbesondere die Sicherstellung und Förderung der Kaltluftversorgung der bebauten Siedlungsbereiche ist im Kontext des klimawandelbedingten Anstiegs der Temperatur und der durch Nachverdichtung steigenden städtischen Überwärmung von besonderer planerischer Relevanz. Künstliche topographische Veränderungen (z.B. Bahndämme oder Mulden) gilt es zu vermeiden, oder ausreichend durchlässig zu gestalten, damit der vorhandene Kaltlufttransport nicht behindert wird.

Die Simulationsergebnisse der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes unterstreichen die Planungs-

relevanz dieses Themenfeldes im Kontext der Reduktion der thermischen Belastung insbesondere während länger anhaltender Wärme- und Hitzeperioden in den Sommermonaten.

Tabelle 7 Übersicht zu den erstellten Zeitschnitten der Kaltluftsimulation, die fett geschriebenen Schnitte werden nachfolgend abgebildet. Alle Zeitschnitte finden sich außerdem in Kapitel 9.3

SCHNITT	ZEITPUNKT
Nr. 1	nach 15 min
Nr. 2	nach 30 min
Nr. 3	nach 1 Std
Nr. 4	nach 2 Std.
Nr. 5	nach 3 Std
Nr. 6	nach 4 Std
Nr. 7	nach 5 Std
Nr. 8	nach 6 Std
Nr. 9	nach 7 Std
Nr. 10 (final)	nach 8 Std

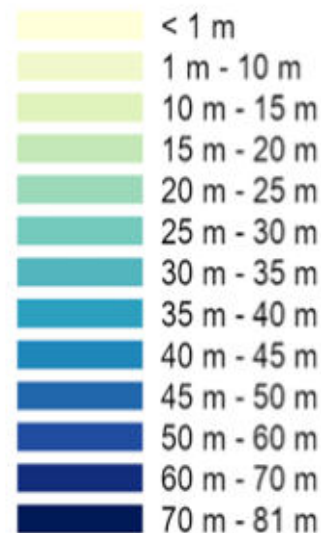


Abbildung 56 Legende zu nachstehenden Zeitschnitten der Themenkarte „Kaltluft“. Angabe der zum jeweiligen Zeitschnitt generierten Kaltluftschichtdicke in Metern.

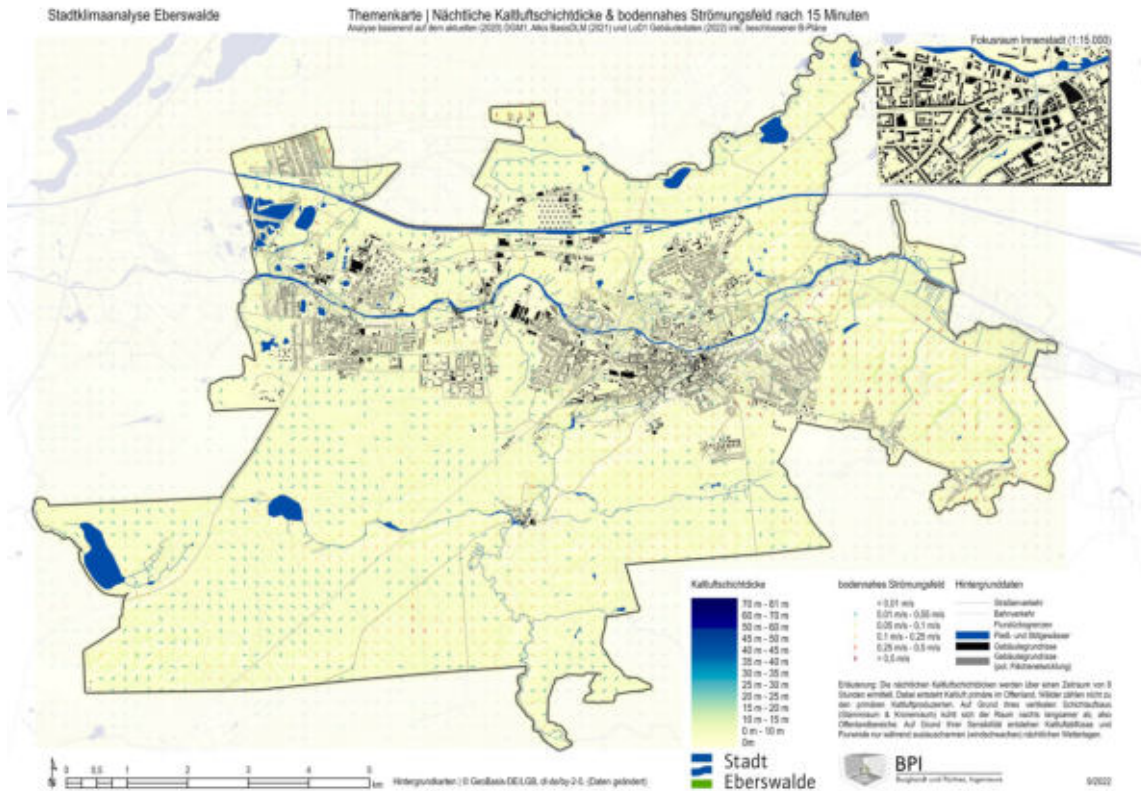


Abbildung 57 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 15 Minuten Simulationszeit. Die sichtbaren blauen Spots stellen Still- und Fließgewässer dar.

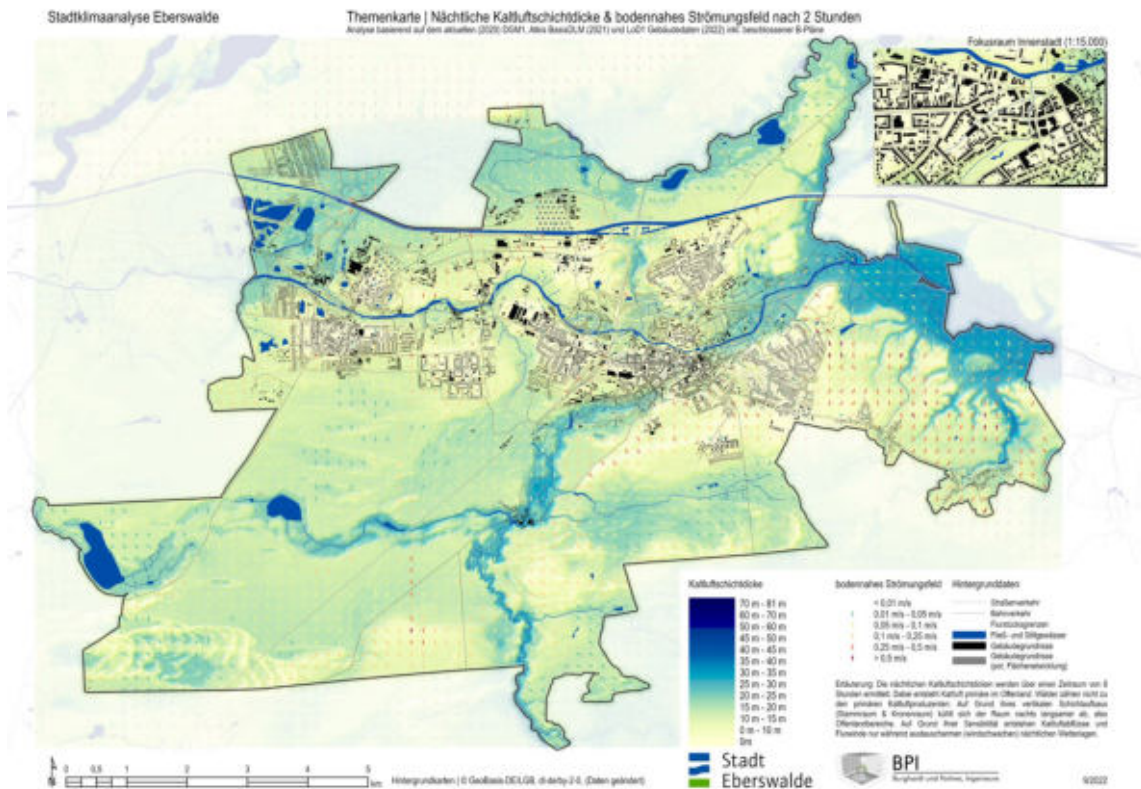


Abbildung 58 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 2 Stunden Simulationszeit.

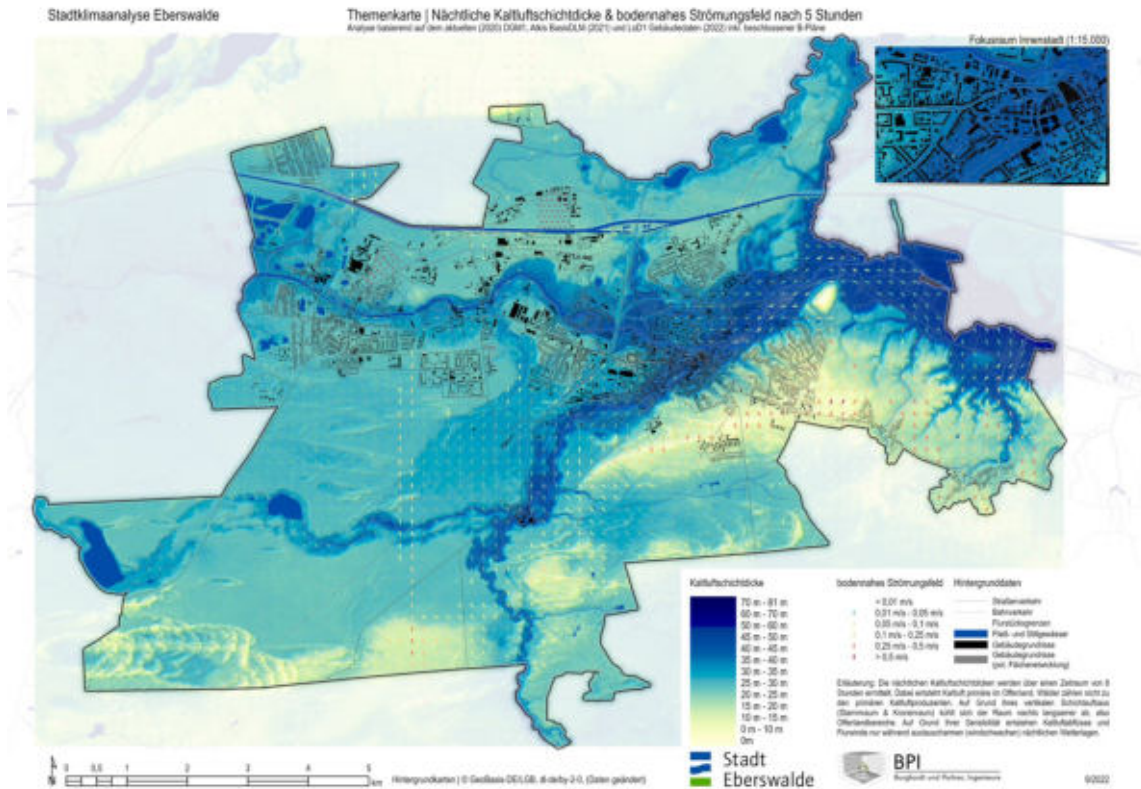


Abbildung 59 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 5 Stunden Simulationszeit

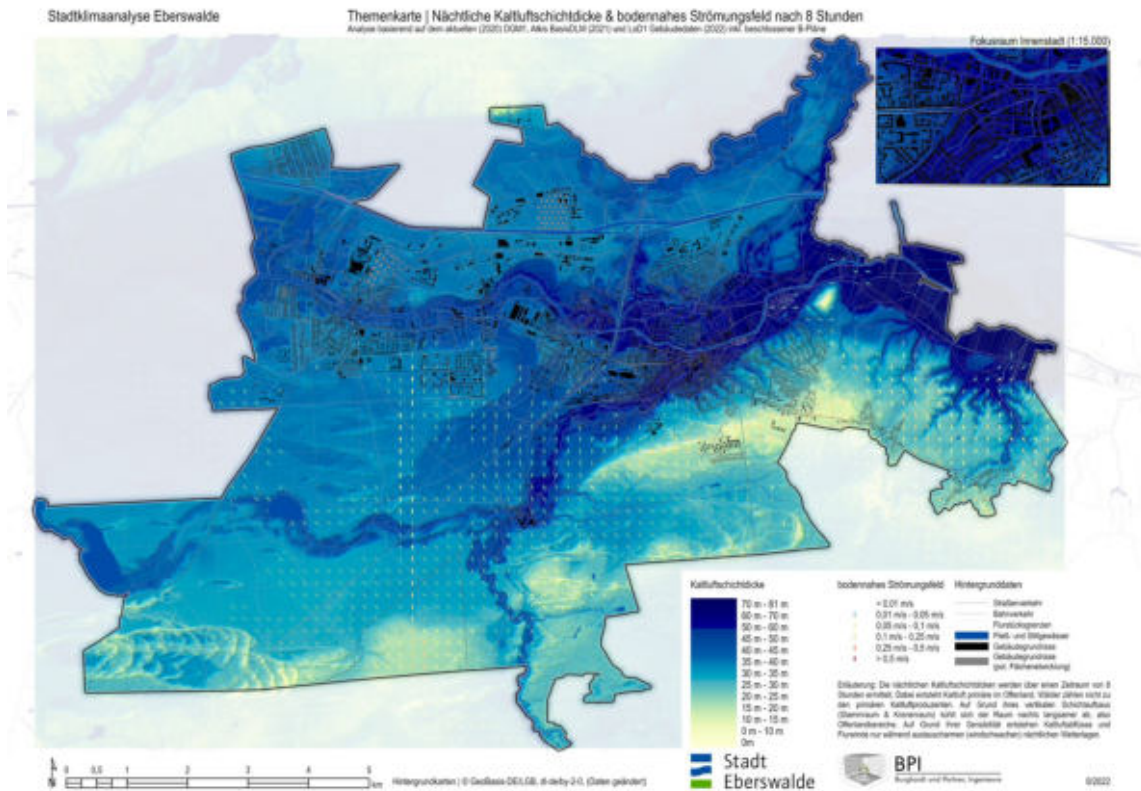


Abbildung 60 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 8 Stunden am Ende der Simulationszeit.

5.5.2 Bodennahe nächtliche Lufttemperatur

Die Darstellung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur eignet sich zur Abbildung des städtischen Wärmeinseleffektes. Im Kontext der unterschiedlich starken Abkühlung von Oberflächen, Objekten und Räumen wird eine austauschbare Nachtsituation angenommen, da hier die maximal zu erwartenden Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land auftreten. Als Ausgangssituation wird ein Temperaturmaximum am Tag von 30 °C und ein Temperaturminimum (im Außenbereich) in der Nacht von 15 °C angenommen.

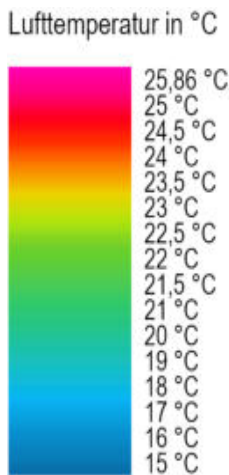


Abbildung 61 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „bodennahe nächtliche Lufttemperatur“

Vor dem Hintergrund des angenommenen Szenarios zeigt Abbildung 62, wie stark die Überwärmung des urbanen Raums im Vergleich zum unbebauten Umland ausfällt. Während der Außenraum zum angegebenen Zeitpunkt (04:00 Uhr) beinahe gänzlich auf das Temperaturminimum von 15 °C (vgl. Gesamtkarte unter Kapitel 9.3) abgekühlt ist, ist der Siedlungsraum dem

gegenüber ausnahmslos überwärmt. Da sich die räumliche Gestaltung und Zusammensetzung des urbanen Raums mitunter stark voneinander unterscheidet, fällt die Wärmebelastung jedoch unterschiedlich stark aus. Zum Beispiel beträgt die Temperatur in den Siedlungsrandbereichen etwa 17 °C bis 18,5 °C, während sie im Innenstadtbereich auf bis zu 23,0 °C ansteigen kann. Aufgelockerte und durchgrünte Stadtgebiete sind regulär in minderm Maße (18,0 °C bis 20,0 °C) überwärmt (z.B. Finow), wenngleich auch hier entlang zentraler Verkehrsachsen und Ballungsräume die Temperaturen stärker ansteigen können. Einige im Stadtgebiet verteilte Orte sind neben der Innenstadt ebenfalls punktuell stärker wärmebelastet. Die Belastung beschränkt sich hierbei nicht nur auf die Gewerbe- und Industriegebiete nördlich des Finowkanals, sondern betrifft auch Stadträume, die primär zu Wohnzwecken genutzt werden. Beispiele hierfür sind neben der großräumig überwärmten Innenstadt die südwestlichen Siedlungsräume Finows und das Leibnizviertel. Zwar erreichen die Temperaturen nicht an all den genannten Räumen die nächtlichen Maximaltemperaturen von 25,8 °C, doch sie liegen allesamt deutlich über dem Mittelfeld zwischen 21,5 °C und 23 °C.

Die bebauten Flächen des Fokusraums Innenstadt sind nahezu komplett wärmebelastet. Vergleichsweise

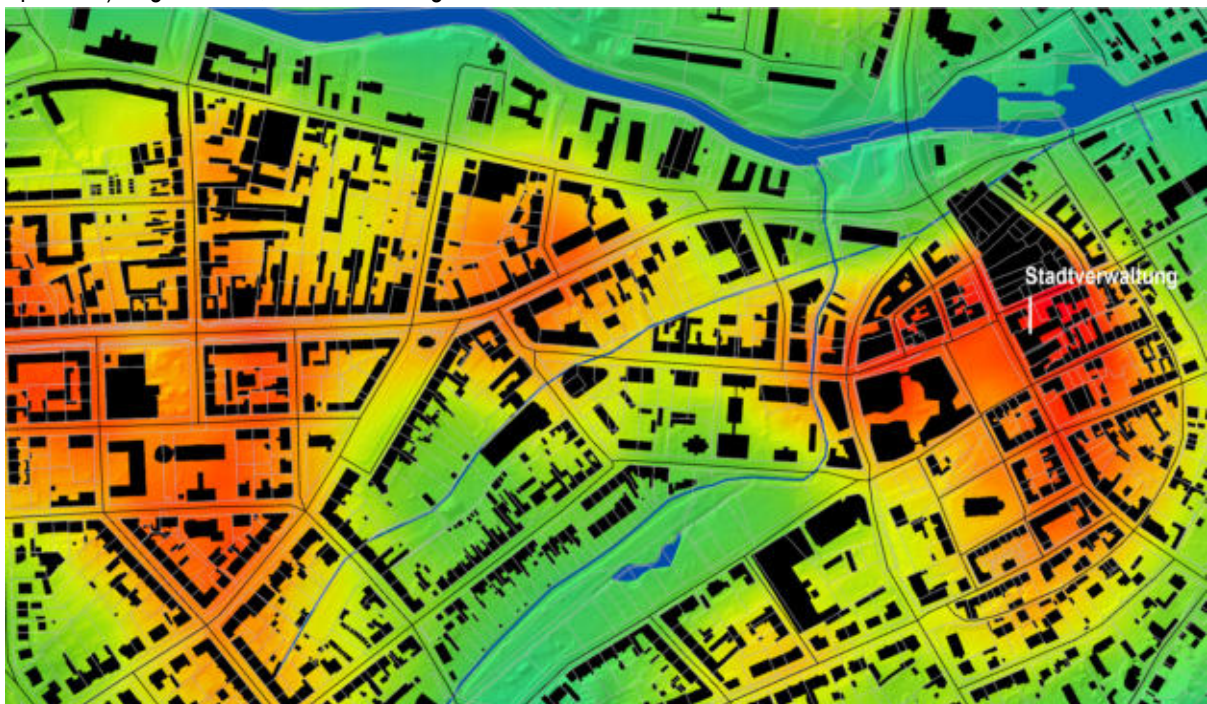


Abbildung 62 Detailausschnitt Themenkarte „bodennahe nächtliche Lufttemperatur“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

minimal überwärmte Flächen (Temperaturen zwischen ca. 19,0 °C und 20,0 °C) sind in diesem Detailausschnitt entweder unbebaut (z.B. der „Park am Weidendamm“) oder befinden sich im Uferbereich des Finowkanals. Entlang der „Bundesstraße 167“ und der „Rudolf-Breitscheid-Straße“ erreichen die Siedlungsflächen flächenübergreifend Temperaturen von über 19 °C; bei der Innenstadt handelt es sich somit um einen der am stärksten hitzebelasteten Räume des gesamten Stadtgebiets.

5.5.3 Vulnerabilität

Die Daten zur demographischen Verteilung der vorkommenden Altersstrukturen innerhalb eines Untersuchungsraums können wichtige Planungs- und Entscheidungsgrundlagen darstellen. Insbesondere im klimatischen Kontext ist die hitzebedingte Vulnerabili-

Ergebniskarten sowie Datenbanken dahingehend generalisiert, dass keine lagegenaue Verortung einzelner Personen mehr möglich ist). Das Ergebnis der Analyse beschreibt den Untersuchungsraum der Stadt Eberswalde mit Hilfe einer „Heat-Map“. Diese zeigt die Dichte (Grad der räumlichen Agglomeration) unterschiedlicher Altersgruppen (Alters-

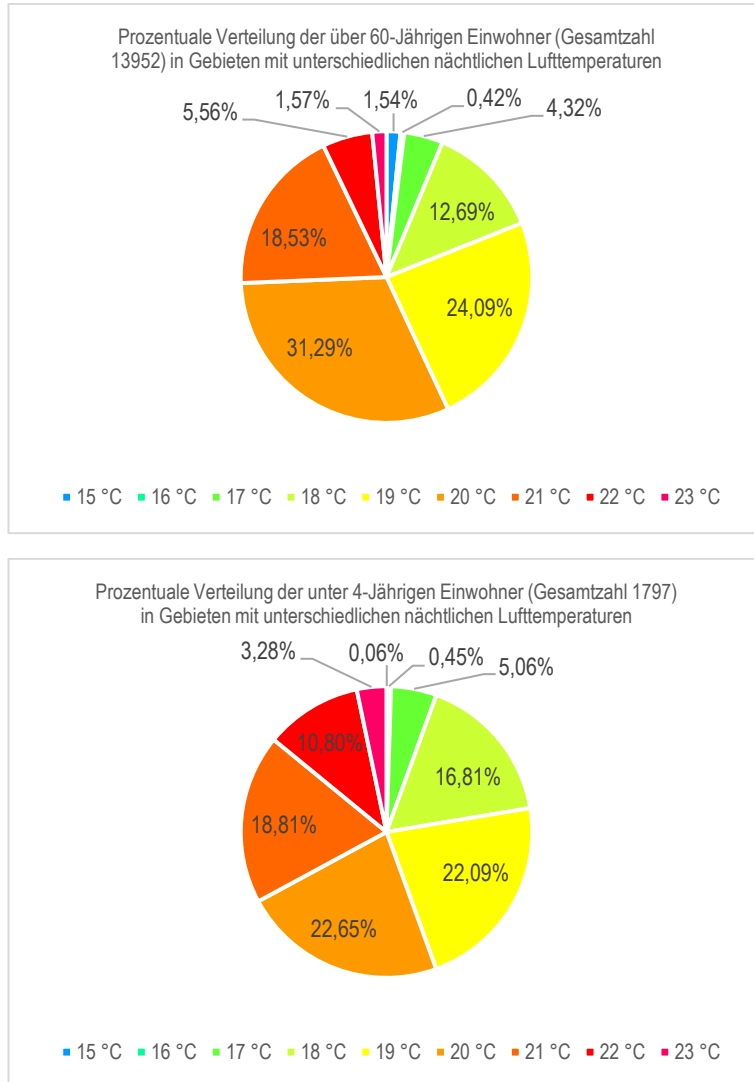


Abbildung 63 Verteilung der Altersklassen über 60 Jahre und unter 4 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde

tät (Verletzlichkeit) maßgeblich vom Alter der Bevölkerung abhängig. Zusätzlich bietet die Analyse der demographischen Verteilung generell die Möglichkeit, den Siedlungsraum auf Aspekte der Überalterung oder Verjüngung zu untersuchen.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden die aktuellen Daten (Stand 2021) des Einwohner-meldeamtes ausgewertet (Anmerkung: Alle personenbezogenen Daten wurden in der Analyse und in den

strukturen) im räumlichen Kontext. Zu den besonders vulnerablen Bevölkerungsgruppen gegenüber der thermischen Belastung zählen insbesondere ältere und junge Altersklassen. Abbildung 63 zeigt die Anzahl der Personen der Altersklassen ü60 und u4 Jahre, die in Eberswalde in unterschiedlich thermisch belasteten Gebieten leben. Nur wenige Stadtbewohner, die den entsprechend vulnerablen Altersgruppen zugehörig sind, wohnen demnach in Gebieten, an denen die thermische Belastung in der Nacht (von heißen Tagen) die 20 °C Grenze überschreitet. Die Darstellungen der Abbildung 64 und Abbildung 65 zeigen die räumliche Verortung vulnerabler Bevölkerungsgruppen im Kontext ihrer demographischen Klassifizierung. Die Altersgruppe der unter 4-Jährigen ballen sich vorrangig an vier verschiedenen Standorten: Der Innenstadt und dem naheliegenden Leibnizviertel sowie in Finow und dem Brandenburgischen Viertel. Im Gegensatz zu der Altersgruppe über 60-Jährigen ist die Ballungsdichte der unter 4-jährigen jedoch sehr gering; im Brandenburgischen Viertel sind sie am stärksten vertreten. Wie sich Abbildung 65 ent-

nehmen lässt, sind ältere Personen entgegen der jüngeren über das gesamte Stadtgebiet verteilt. Insbesondere in der Innenstadt, westlich des Hauptbahnhofs und der Bahngleise, im Brandenburgischen Viertel und in Finow ist die Ballungsdichte dieser Altersklassen höher als im Rest Eberswaldes. Im nördlichen Innenstadtbereich und im südlichen Teil Finows ist die über 60-jährige Altersgruppe am dichtesten geballt.

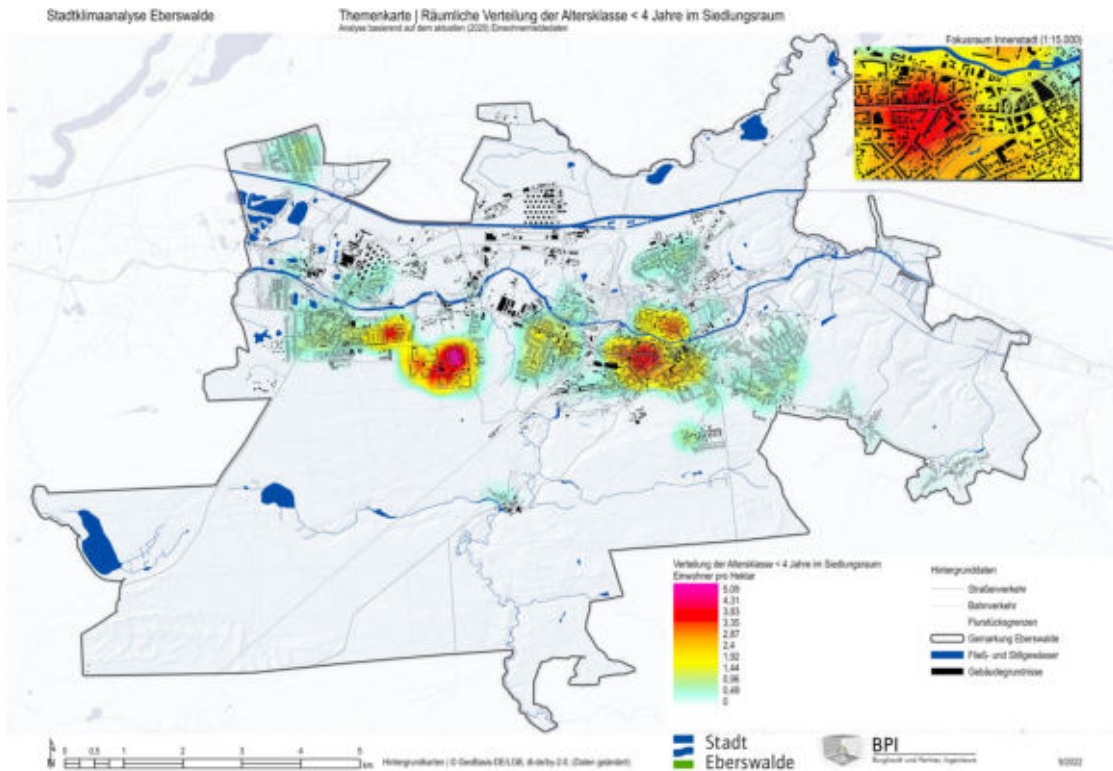


Abbildung 64 Demographische Auswertung – Verteilung von Personen der Altersgruppe unter 4 Jahren im Untersuchungsraum. Die Darstellung erfolgt datenschutzkonform über eine fließende Dichtedarstellung, da so keine standortgenaue Verortung möglich ist (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

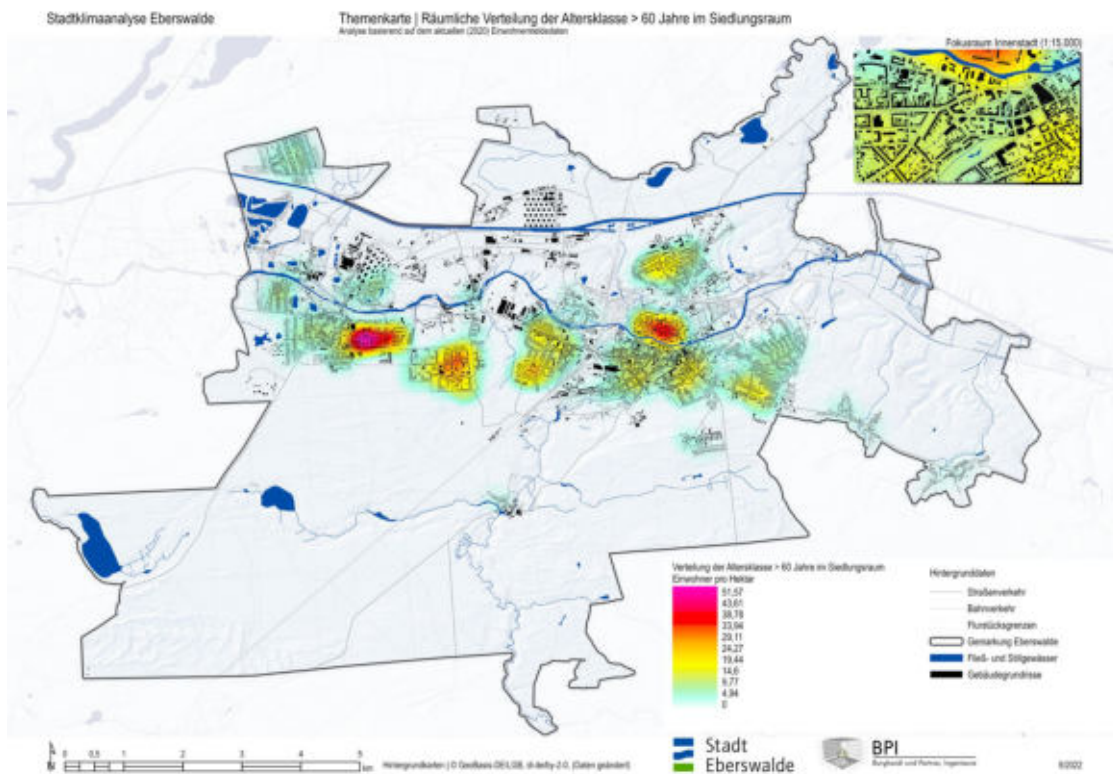


Abbildung 65 Demographische Auswertung – Verteilung von Personen der Altersgruppe über 60 Jahren im Untersuchungsraum. Die Darstellung erfolgt datenschutzkonform über eine fließende Dichtedarstellung, da so keine standortgenaue Verortung möglich ist (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

6. Klimatischer Bestand und Szenarien

6.1. Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte (KFK) (A3-Karte in Kapitel 9.3) stellt die fachliche Verschneidung der erarbeiteten Themenkarten dar, welche durch die gis-gestützte Verarbeitungsmatrix unter Berücksichtigung der Lokalisation des Untersuchungsraums die stadtklimatischen Zusammenhänge als sechs definierte Klimatope beschreibt. In Anlehnung an die VDI Richtlinie 3787 können diese sechs Klimatopklassen mit unterschiedlichen Klimaeigenschaften assoziiert werden. Jedes Klimatop besitzt zudem eine Beschreibung, welche seine wichtigsten klimatischen Eigenschaften charakterisiert (siehe Abbildung 68).

In baulich geprägten Bereichen führen verschiedene nutzungsbedingte "Ausstattungs-faktoren" je nach Ausprägungen zu mehr oder weniger starken Überwärmungstendenzen wie auch zu einer Einschränkung der Durchlüftung und Reduzierung / Verzögerung nächtlicher Abkühlung. Zu diesen Faktoren zählen z.B. Versiegelung, Gebäudestrukturen bzw. -kubaturen oder Durchgrünung, aber auch Aspekte wie Topografie, Lage, Größe etc. der entsprechenden Flächen sowie der ggfs. vorhandene kompensatorische Einfluss

von benachbarten Ausgleichsflächen. Hieraus können im Zusammenspiel mit Emissionen je nach Wetterlage teilweise hohe Luftbelastungen resultieren, die in Abhängigkeit der Wetterlage und der Geländestruktur auch auf benachbarte Räume negativ einwirken.

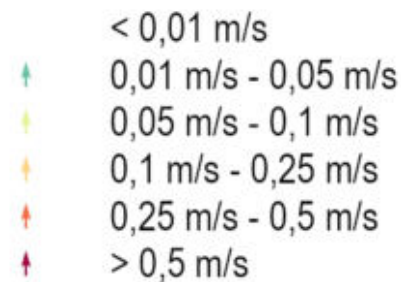


Abbildung 67 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Klimafunktionskarte. Die Pfeile bilden das nächtliche bodennahe Strömungsfeld unterschiedlicher Intensität ab.



Abbildung 66 Detailausschnitt Themenkarte „Klimafunktionskarte“, die Farbgebung bzw. die unterschiedlichen Klimatope werden in der nachfolgenden Übersicht tiefergehend erläutert (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

Kategorie	Beschreibung	Orientierung nach VDI Klimateigenschaft
Primäres Kaltluftentstehungsgebiet	Diese klimatisch hochaktiven Flächen sind wichtige Kalt- und (Frischlucht)entstehungsgebiete. Sie sind meist durch niedrigen Bewuchs geprägt, womit eine geringe Oberflächenrauigkeit gegeben ist. Dementsprechend können sie in Abhängigkeit ihrer Exposition und Verteilung im Raum die Belüftungssituation und den Kaltluftabfluss beeinflussen. Zu den Gunstklimate gehören Flächen mit hoher nächtlicher Abkühlungsrate (vornehmlich Grünland sowie landwirtschaftliche Flächen und Brachen). Zudem sind diese Gunstklimate nur gering emissionsbelastet, wodurch ihnen eine wichtige Funktion in Zusammenhang mit dem regionalen und lokalen Belüftungs- und Zirkulationssystem zukommen.	Freilandklimate Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich; Größtenteils mit geringer Rauigkeit und entsprechender Hangneigung.
Primäres Frischluftentstehungsgebiet	Insbesondere die Frischluftentstehungsgebiete sind lufthygienisch bedeutende Flächen mit starker Filterwirkung für Luftschadstoffe sowie charakterisierende Frischluftproduktion. Größtenteils durch dichten Gehölzbestand gekennzeichnet.	Waldklimate Flächen ohne Emissionsquellen; Hauptsächlich mit dichten Baumbestand und hoher Filterwirkung
Misch- und Übergangsklimate	Diese vegetationsgeprägten Gebiete haben ausreichende Größe um ein lokales klimatisches Ausgleichspotential zu generieren. Sie besitzen damit eine hohe klimaökologische Wertigkeit als Puffer- und Ausgleichsgebiete. Misch- und Übergangsklimate können als Pufferbereiche in der Stadt dienen. Auf diesen Flächen findet eine ausreichende lokale Belüftung und Evapotranspiration statt, wodurch sie besonders in den Sommermonaten mit ihrer Ausgleichsfunktion dem idealen Stadtklimate entsprechen.	Klimate innerstädtischer Grünflächen Flächen mit sehr hohem Vegetationsanteil, geringe und diskontinuierliche Emissionen; Pufferbereiche zwischen unterschiedlichen Klimateopen.
Geringe Überwärmung	Baulich geprägte Gebiete mit hohem Vegetationsanteil oder Offenheit, sowie moderatem nächtlichen Abkühlungspotential. Belüftung kann durch Bebauung eingeschränkt sein.	Vorstadtklimate Baulich geprägte Bereiche mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen; Größtenteils ausreichende Belüftung.
Moderate Überwärmung	Verdichtete Gebiete mit großen Baumassen. Freiräume meist vegetationsfrei und mit eingeschränkter Belüftung. Überwärmungsrisiko erhöht.	Stadtklimate Dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad und wenig Vegetation in den Freiräumen; Belüftungsdefizite.
Starke Überwärmung	Stark verdichtete Gebiete, geprägt durch fehlende Vegetation und geringer Retentionseigenschaften. Stark eingeschränkte Belüftung. In Kombination mit großen Baumassen entsteht ein hohes Überwärmungsrisiko.	Innenstadtklimate Stark verdichtete Innenstadtbereiche / City, Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetationsanteil und fehlender Belüftung.

Abbildung 68 Übersicht und Beschreibung der unterschiedlichen Klimate, die über die Klimafunktionskarte widergespiegelt werden. Die Einteilung orientiert sich an den VDI-Klimateigenschaften.

6.2. Klimaprojektionen

Für die Inhalte der nachfolgenden Kapitel 6.2.1 bis Kapitel 6.2.3 liegt die Urheberschaft beim DWD.

6.2.1 Allgemein

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.

6.2.2 Szenarien

Jedes Szenarium beschreibt eine mögliche Zukunft der globalen Wirtschaft und die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen (siehe Tabelle 8). Aber welche Folgen haben diese Einflüsse auf das äußerst komplexe System Klima? Welche Wirkungen, Nebenwirkungen, Rückkopplungen, verstärkenden oder abschwächenden Prozesse zieht ein erhöhter Eintrag von Treibhausgasen in die Atmosphäre nach sich? Um diese Fragen zu beantworten, müssen zunächst die einzelnen Vorgänge bekannt sein; diese haben die Wissenschaftler inzwischen - mit einigen Ausnahmen - verstanden.

Im nächsten Schritt wurden die Parameter und Prozesse in hochkomplexen Rechenmodellen nachgebildet, um möglichst realistische Simulationen des Klimas durchführen zu können.

6.2.3 Globale und regionale Klimamodelle

Die Parameter und Prozesse der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre werden in hochkomplexen Rechenmodellen nachgebildet, um möglichst realistische Simulationen unseres Klimas durchführen zu können. Die Teilsysteme des Klimasystems werden häufig in eigenen Rechenmodellen abgebildet

Tabelle 8 Übersicht und Kurzbeschreibung der RCP-Szenarien

NAME	MODELLIERGRUPPE	SZENARIEN-ENTWICKLUNG
RCP 8.5	Message (A)	über 1370 ppm CO ₂ -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau.
RCP 6.0	AIM (JAP)	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 ppm CO ₂ -Äquivalent, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300.
RCP 4.5	MiniCAM (USA)	„moderate Entwicklung“ - Anstieg des CO ₂ -Äquivalents bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau.
RCP 2.6	IMAGE (NL)	"Peak-Szenario" - Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm ² im Jahr 2100. Ein "politisches" Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als 2°C im Jahr 2100 nicht überschritten wird. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris.

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.

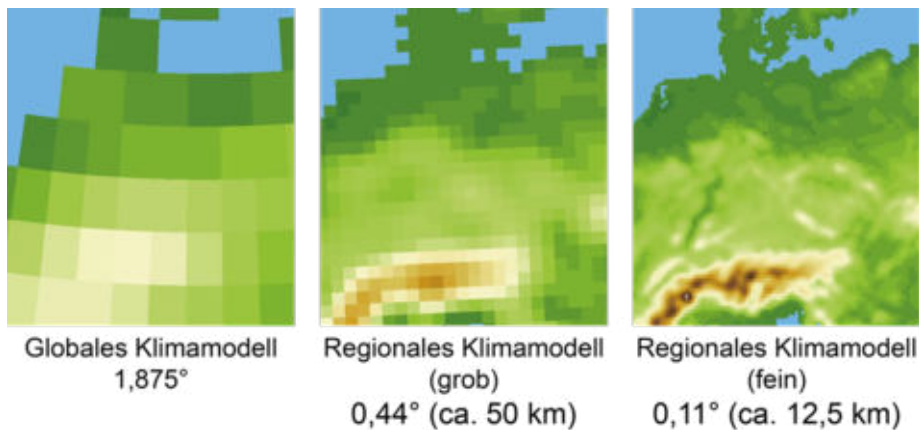


Abbildung 69 Beispiel für die ergebnisbezogenen Auswirkungen bei der Änderung der Gitternetzdicke.

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.

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 (siehe Abbildung 69).

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. Verwendet werden zwei unterschiedliche Ansätze, um die Auswirkungen eines veränderten Weltklimas auf die klimatischen Verhältnisse beispielsweise in Deutschland möglichst genau zu beschreiben. Zu der ersten Gruppe gehören die numerisch-dynamischen Klimamodelle (RCM, regional climate models), die für einen kleinen Ausschnitt der Erde (z.B. Europa) räumlich und zeitlich höher aufgelöste Simulationen rechnen. Die zweite Gruppe umfasst die Empirisch-Statistischen Downscaling Methoden (ESD). Hier wird eine Vielzahl an verschiedenen statistischen Ansätzen genutzt, um den Übergang von

der großräumigen Information der Ergebnisse der globalen Klimamodelle hin zu der lokalen Information zu ermöglichen. Entwickelt werden regionale Klimamodelle durch nationale Wetterdienste, Forschungseinrichtungen und Universitäten.

Um die Vorgehensweisen und Ergebnisse

vergleichbar zu gestalten, wurde vom World Climate Research Programme (WCRP) mit dem Projekt CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) eine entsprechende Koordination aufgebaut. Für Europa liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Auflösung von 50 und 12,5 km vor.

Klimamodelle liefern keine Klima-Prognosen, sondern lediglich Klima-Projektionen. Das heißt, sie liefern Aussagen darüber, wie sich das Klima unter den im Modell enthaltenen Voraussetzungen verändert, also auch, was passiert, wenn sich der Mensch so verhält, wie es im Szenarium beschrieben ist.

6.2.4 Auswertung der Klimawandelszenarien RCP4.5 & RCP8.5 mit unterschiedlichen Klimaparametern

Die nachfolgenden Diagramme beschreiben die zu erwartenden klimatischen Veränderungen bis zur Mitte und bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Entsprechend der Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP8.5 wurden jeweils die 30-jährigen Mittel berechnet und vergleichend dargestellt.

Die Betrachtung der Veränderungen der Durchschnittstemperatur (Abbildung 70) zeigt für Eberswalde einen signifikanten Anstieg der Durchschnittstemperaturen zwischen Mitte und Ende des Jahrhunderts für die Wintermonate Dezember und Januar. Hier beträgt die maximale Temperaturdifferenz 4 °C. Aber auch in den Monaten September, Oktober und November beträgt die maximale Temperaturdifferenz 3 °C. Damit wird ein klarer Trend, hin zu milderem (und in Teilen nasserem) Wintern deutlich.

gemäßigten RCP4.5 Szenario die Anzahl der Sommertage und heißen Tage die des aktuellen Trend Szenarios RCP8.5 im Juni bis zum Ende dieses Jahrhunderts deutlich übersteigen, kehrt sich diese Entwicklung in den Monaten August und September nahezu um. Die Belastungen im Sommermonat Juli verändern sich dagegen im Vergleich der Szenarien zur Mitte wie auch zum Ende dieses Jahrhunderts nur geringfügig. Eine zusätzlich gravierende Veränderung zeigt sich im Anstieg der Anzahl der zu erwartenden Tropennächte, in den die Minimaltemperatur in der Nacht im (thermisch unbelasteten) Außenraum nicht unter 20 °C absinkt. Abbildung 73 verdeutlicht einen starken Anstieg bereits im Juni in beiden Szenarien bis zum Ende des Jahrhunderts. Die Monate Juli und August zeigen die gravierenden Veränderungen des aktuellen Trends, so dass, gegenüber der Mitte dieses Jahrhunderts, von einer Zunahme der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte von 2,4 im Juli und 2,5 im August auszugehen ist. Zudem lässt sich auch das

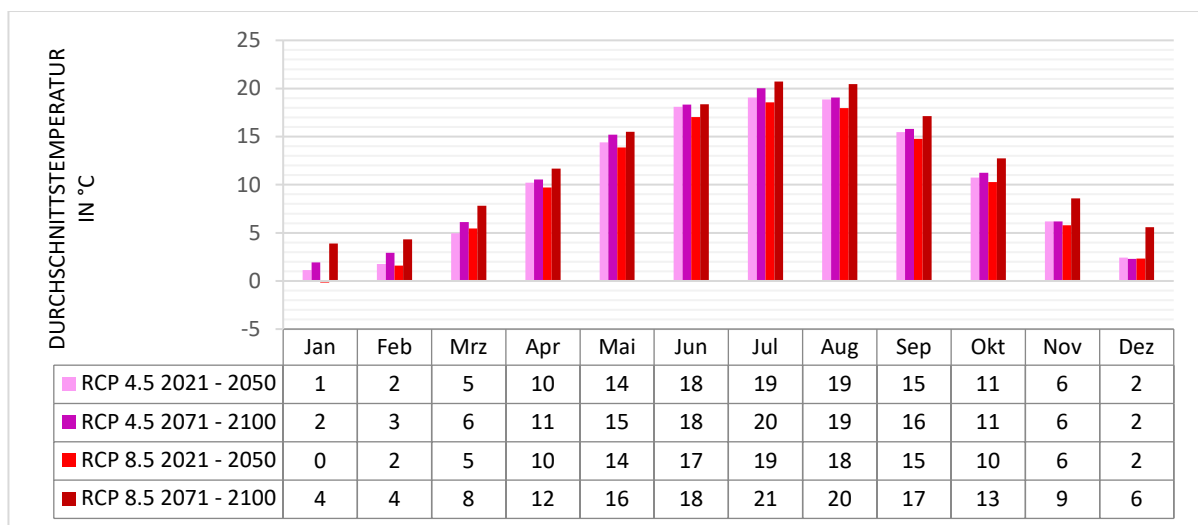


Abbildung 70 Darstellung der Durchschnittstemperaturen im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100

Im Kontext der sommerlichen Hitzebelastung ist jedoch nicht nur die Veränderung der monatlichen Durchschnittstemperatur bedeutsam, sondern auch wie stark die Veränderungen der sogenannten Ereignistage, wie „Sommertage“, „Heiße Tage“ und „Tropennächte“ ausfallen.

Die in Abbildung 71 und Abbildung 72 dargestellten Vorkommen von Sommertagen und heißen Tagen verdeutlichen ein interessantes Bild im Vergleich beiden ausgewerteten RCP-Szenarien 4.5 & 8.5. Während im

Auftreten von Tropennächten im September beobachten. Insbesondere der Anstieg der Tropennächte ist ein wichtiges Indiz für das Auftreten von länger andauernden Wärmeperioden oder Hitzewellen, in denen ein signifikanter Anstieg der hitzebedingten Mortalität zu erwarten ist.

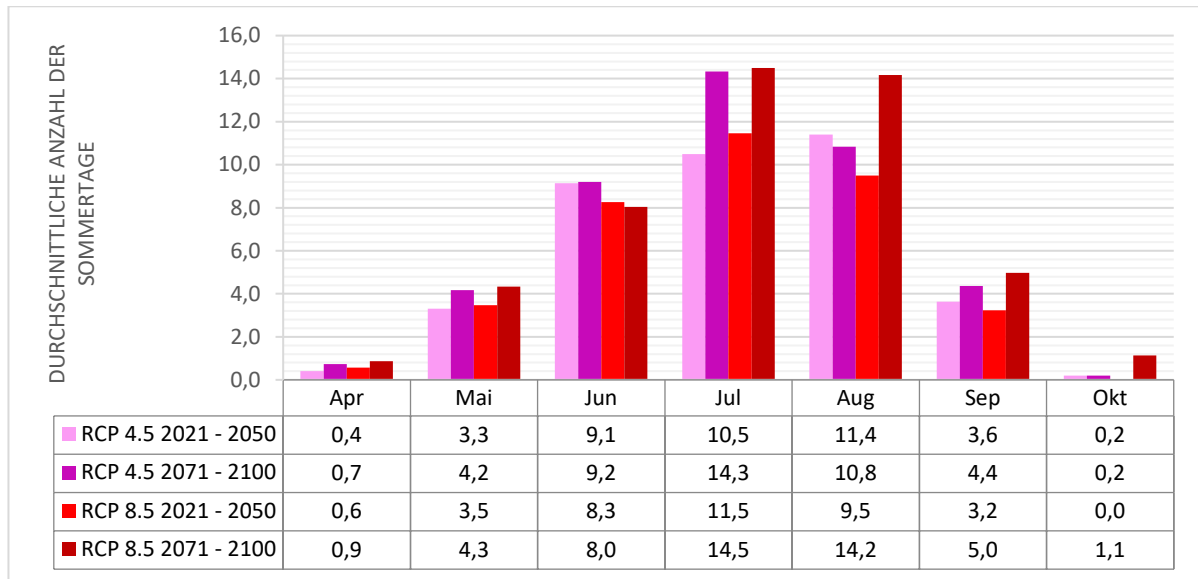


Abbildung 71 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate April bis Oktober in denen Sommertage auftreten)

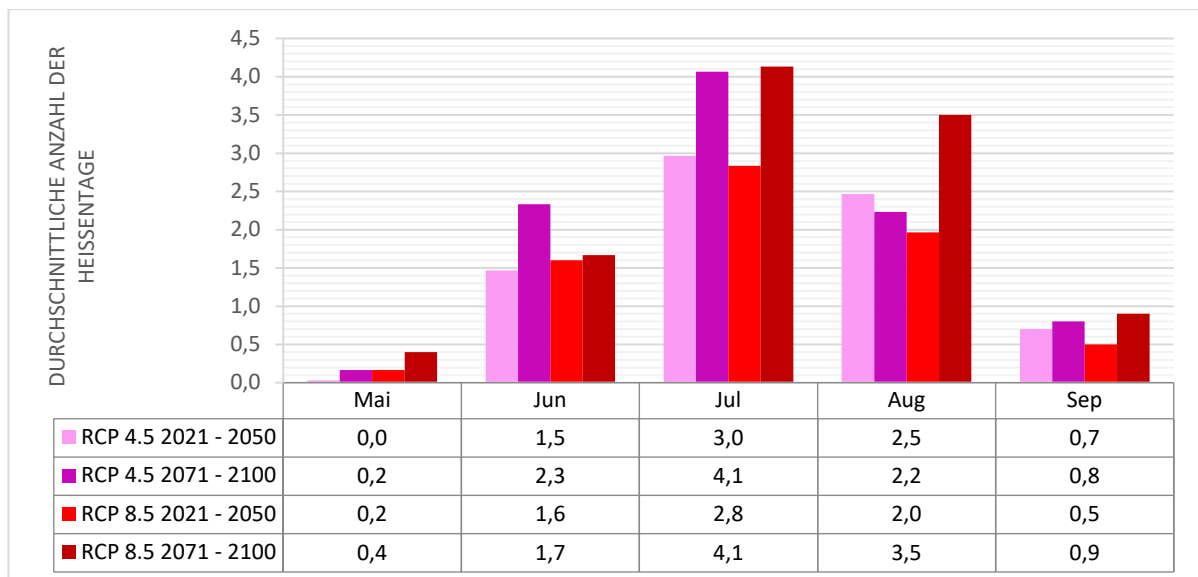


Abbildung 72 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Heißen Tage im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate Mai bis September in denen Heiße Tage auftreten)

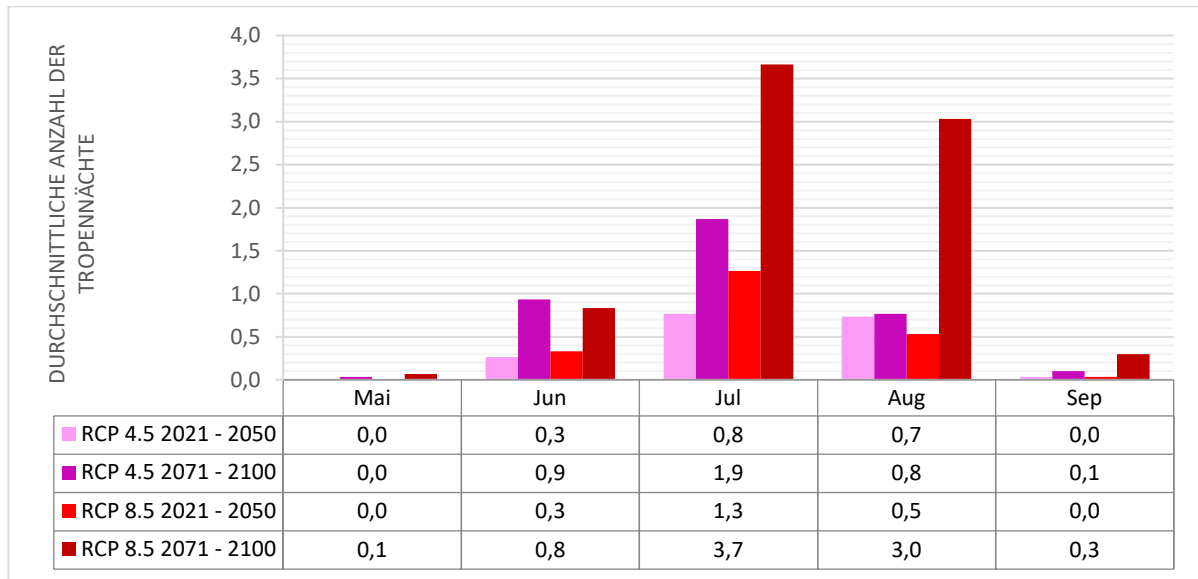


Abbildung 73 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte (mit einer Minimumtemperatur nicht unter 20 °C) im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate Mai bis September in denen Tropennächte auftreten)

7. Zukünftige Planungen

7.1. Planungshinweiskarte

Die Planungshinweise werden in der Planungshinweiskarte als Punktsymbole dargestellt. Dabei beschreiben sie jedoch nicht nur einen einzelnen Punkt, sondern stehen für einen Bereich bzw. ein Gebiet. Dabei kann der Bezugsraum der Planungshinweise variieren. Für eine dezidierte Abgrenzung einzelnen Planungshinweise dienen die unterschiedlichen Themenkarten sowie die Klimafunktionskarte.

Im Rahmen der Stadtklimaanalyse Eberswalde stellt die Planungshinweise eine wichtige Grundlage für ein gesamtstädtisches Klimaanpassungskonzept dar. Die aufgeführten Planungshinweise sind in die Kategorien „sehr hoch / sehr stark“ und „hoch / stark“ eingeteilt (Abbildung 74).

Die Räume mit Planungshinweisen sollten im Kontext der städtebaulichen Entwicklung als klimatisch "sehr sensibel" und "sensibel" eingestuft werden. Entsprechend der vorliegenden Planungshinweise, sollte geprüft werden, inwieweit die Entwicklung eines Raums den Planungshinweisen entgegensteht. Ergänzend verorten Ungunstbereiche defizitäre Räume (in roter Symbolik dargestellt), die einer klimatischen Aufwertung bedürfen.

Planungshinweise mit "sehr hoher / sehr starker" 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 für den weiteren Siedlungsraum.

Planungshinweise "hoher / starker" 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 mit „sehr hoher / sehr starker“ klimatischer Bedeutung.

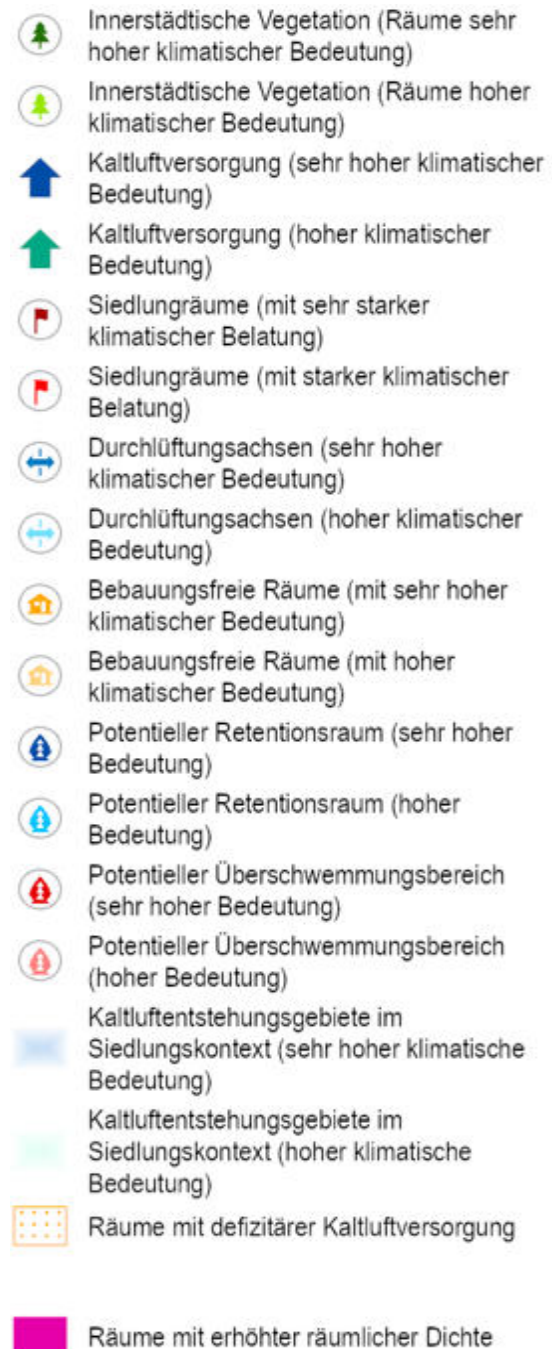


Abbildung 74 Legende der Planungshinweiskarte mit Einteilung der Planungshinweise untergliedert in Planungshinweise "sehr hoher / sehr starker" und "hoher / starker" klimatischer Bedeutung

7.2. Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen

Die Planungshinweise wurde für den gesamten Untersuchungsraum der Stadt Eberswald erstellt. Entsprechend findet sich in Kapitel 9.3 die Planungshinweiskarte für die Gesamtstadt. Abbildung 75 stellt den Detailausschnitt für den gewählten Innenstadtbereich dar. In der genaueren Betrachtung werden mehrere Aspekte deutlich, die sich typisch für den städtischen Raum der Stadt Eberswalde darstellen.

Es zeigt sich, dass Eberswalde auch in den verdichteten Innenstadtbereichen über wichtige klimatische Ausgleichspotentiale verfügt, die der nächtlichen Überwärmung der Stadt bzw. des dortigen Siedlungsraums entgegenwirken. Dabei handelt es sich primär um die stark durchgrünten Innenhofsituationen, die klimatisch sehr positiv zu bewerten sind. Neben ihrer stadtklimatischen Wirkung dienen sie auch als lokale kleinklimatische Ausgleichsräume, mit der Einschränkung, dass diese öffentlich meist nicht zugänglich sind. Gleichzeitig erkennt man innerhalb der gesamten Detailbetrachtung Räume mit erhöhter baulicher Dichte (Dunkelrosa dargestellt). Hier weist der östliche Bereich der Detailbetrachtung eine höhere Belastung auf, da hier die Räume erhöhter

baulicher Dichte flächendeckender auftreten, gleichzeitig besitzen diese Bereiche geringere klimatische Ausgleichspotentiale.

Der „Park am Weidendamm“ stellt aufgrund seiner Lage sowie seiner offenen und unversiegelten Charakteristik eine bedeutsame klima-ökologische Fläche im Siedlungsraum dar. Durch seine Nähe zu den südlichen Waldflächen und der Lage im verdichteten Siedlungsraum besitzt der Park neben dem klimatischen Aspekt auch eine besondere Bedeutung im Kontext der Biodiversität inklusive der Vernetzung der innerstädtischen Vegetationsräume, auch über den weiteren Verlauf der „Schwärze“, bis hin zu den vegetationsdominierten Flächen entlang des „Finowkanals“.

Im westlichen Randgebiet der Detailbetrachtung sind Räume mit defizitärer Kaltluftversorgung vorhanden. In diesem Kontext ist es zudem von besonderer Bedeutung, dass die dargestellten Durchlüftungspotentiale entlang des „Finowkanals“, der „Eisenbahnstraße (B167)“ sowie entlang der „Rudolf-Breitscheid-Straße“ und im Verlauf der „Schwärze“ gefördert werden, damit am Tag wie aber auch in der Nacht ausreichend Durchlüftungspotentiale vorhanden sind, um den innerstädtischen Siedlungsraum ausreichend zu durch- / belüften.



Abbildung 75 Detailausschnitt Themenkarte „Planungshinweiskarte“, die klimatischen Gunst- und Ungunsträume werden im Kontext ihrer klimatischen Schwerpunktsetzung als Piktogramme dargestellt. (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).

8. Zusammenfassung

Die vorliegende Stadtklimaanalyse der Stadt Eberswalde stellt einen wichtigen Grundlagenbaustein für zukunftsgerechte und damit auch klimaangepasste Stadtentwicklung dar. Aufbauend auf der Stadtklimaanalyse ist es möglich im Rahmen eines Klimawandelfolgenanpassungskonzeptes räumlich dezidierte Aussagen zu treffen und Handlungsmöglichkeiten sowie -bedarfe abzuleiten.

Auf Grundlage der modernen Geoinformation und der Verwendung standardisierter, auf landes- und Kommunalebene verfügbaren (Geo)daten sind die erstellten (klimatischen) Themenkarten für die Stadt Eberswalde reproduzierbar, so dass auch zukünftig eine Fortschreibung der Stadtklimaanalyse im Allgemeinen aber auch eine Fortschreibung einzelner thematischer Aspekte, wie z.B. der Durchgrünung des Stadtgebietes möglich sind.

Ein besonderer Mehrwert der Stadtklimaanalyse Eberswalde liegt in den bereits angesprochenen Themenkarten, die für sich selbst stehend im Planungsalltag genutzt, und bei der Beantwortung nicht ausschließlich klimatischer Fragestellungen herangezogen werden können. Gleichzeitig unterstützen diese Themenkarten das Verständnis und die Nachvollziehbarkeit der auf diesen Karten aufbauenden Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte. Die Klimafunktionskarte visualisiert die thermischen und dynamischen Aspekte des Stadtklimas in Form von Klimatopdarstellungen. Dabei liegt ein Vorteil gegenüber der punktuellen (lokalen) Expertise auf der flächendeckenden Beschreibung und Einteilung des Untersuchungsraums. Die Planungshinweiskarte dient dazu, die primären (klimatisch) defizitären und handlungsbedürftigen Räume und Gebiete mit Hilfe von Planhinweisen darzustellen. Dabei kanalisiert die Planungshinweiskarte die primären Ungunst- und Gunstbereiche der Stadt, um sie mit Planungshinweisen zu belegen, die im Kontext der zukünftigen Stadtentwicklung von besonderer Bedeutung sind.

In der Gesamtbetrachtung der Stadt Eberswalde ist der Siedlungsraum eingebettet in umgebende Waldstrukturen, die den Großteil des Außenbereichs

ausmachen. Nur im Osten und Südosten grenzen großräumige Offenlandstrukturen an den Siedlungsraum. Diese Offenheit des Geländes in Kombination mit der vorherrschenden Topographie erhöht die klimatische Bedeutung dieser Flächen vor dem Hintergrund der nächtlichen Kaltluftproduktion und des bodennahen Kaltlufttransportes. Insgesamt ist der Großteil des Siedlungsraums stark durchgrünt. Im Schnitt liegt der Anteil der Flächendurchgrünung auf Flurstücksebene bei 50,6 %. Dabei stellen der Straßenraum mit 29,1 % sowie öffentliche Plätze mit 26,6 % die im Siedlungsraum am schwächsten durchgrünt Bereiche dar.

In der Betrachtung des städtischen Wärmeinseleffektes zeigt sich, dass Eberswalde, unter anderem auf Grund seiner bauhistorischen lang gezogenen Stadtmorphologie, geringer durch die nächtliche städtische Überwärmung beeinflusst wird, als Städte vergleichbarer Größe (bezogen auf die Einwohnerzahlen). Entsprechend gering ist die Ausprägung der städtischen Räume, in denen das Auftreten einer Tropennacht, während der warmen und heißen Sommermonate wahrscheinlich ist.

Die Klimatopbewertung der Klimafunktionskarte stellt eine zusammenfassende Analyse und Bewertung der unterschiedlichsten Themenkarten dar. Dabei zeigt sich in der Untersuchung das Ausbleiben des stärksten Überwärmungsklimatops, da die stadtmorphologischen Charakteristika einer hochversiegelten und stark überbauten Innenstadt sich nur in Teilen im Stadtbild wiederfindet. Damit erwächst aus der klimatisch positiven Gesamteinschätzung der Stadt Eberswalde die Notwendigkeit die stadtklimatischen Belange in der zukünftigen städtebaulichen, politischen und strategischen Entwicklung der Stadt Eberswalde zu berücksichtigen.

Neben der Klimafunktionskarte und den unterschiedlichen (klimatischen) Themenkarten stellt die Planungshinweiskarte das abschließende Planungswerk der Stadtklimaanalyse Eberswalde und damit auch eine wichtige Grundlage für die zukünftige strategische Ausrichtung der Stadt- und Landschaftsplanung in Eberswalde dar.

9. Anhang

9.1. 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 $\geq 30\text{ °C}$ beträgt (früher auch Tropentag).
Hitzewelle	eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
Immission*	Einwirkung von unmittelbar oder mittelbar durch menschliche Tätigkeit verursachte Emissionen auf die Umwelt. Zu den Immissionen gehören vorwiegend Luftverunreinigungen, Geräusche, Gerüche, Erschütterungen, Licht, Strahlen und Wärme.

Klimafaktoren	(auch klimatologische Wirkungsfaktoren) sind Faktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte usw.) und damit das Klima eines Ortes beeinflussen.
Kaltluftabfluss	der nächtliche Abfluss von örtlich gebildeter Kaltluft, dabei wird genügend Gefälle vorausgesetzt - trifft insbesondere an unbewaldeten und unbebauten Hängen auf.
Kaltluftfluss	die in windschwachen, klaren Nächten hangabwärts strömende kalte Luft. Sie sammelt sich am Erdboden und ist dann schwerer als die wärmere Luft der Umgebung. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft hängt von der Hangneigung, der Bodenrauigkeit und der Größe des Kaltlufteinzugsgebietes, das heißt, von der Größe des Gebietes, in dem Kaltluft produziert wird ab.
Kaltluftstau	die abriegelnde Wirkung eines Hindernisses auf einen Kaltluftfluss. Die Kaltluft kann sich sowohl vor orografischen Hindernissen (z.B. Hügelrücken) als auch vor künstlichen Hindernissen (z.B. Bauwerke, Dämme) stauen.
Klimamodell*	mathematisches Gleichungssystem welches das Klima bzw. dessen Änderungen simuliert. Als Variablen dienen physikalische und chemische Beziehungen.
Klimaprojektion	Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde unter Nutzung von Klimamodellen. Sind in der Lage alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre des Planeten, zu beschreiben. Mit ihnen können die beobachteten Änderungen des Klimas in der Erdgeschichte analysiert und nachvollzogen werden.
Kontinentalklima	Klima, welches charakteristisch für das Innere größerer Festlandsmassen ist. Im Allgemeinen ist das Kontinentalklima durch große jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur, eine geringe relative Feuchte sowie mäßigen oder geringen, unregelmäßig fallenden Niederschlag geprägt.
Lokalklima	Klima an einem konkreten Ort. Es ist eingebettet in das Regionalklima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt.
Makroklima	Klima, welches von großskaligen Prozessen geprägt ist
Maritimes Klima	Klima von Gebieten, die an die See bzw. das Meer angrenzen oder davon umgeben sind (auch ozeanisches Klima). Geringe Tages- und/oder Jahresgänge der Temperatur und hohe relative Luftfeuchte sind charakteristisch für das maritime Klima.
Mesoklima	Bereich, der zwischen dem Mikroklima und dem Makroklima liegt. Während das Makroklima hauptsächlich von großskaligen und das Mikroklima vor allem von kleinskaligen, lokalen Prozessen beeinflusst ist, ist es im Mesoklima eine Mischung von beiden. Damit umfassen die Skalen der mesoskaligen Phänomene etwa eine horizontale Ausdehnung von ca. 1 bis 2000 km und eine typische Lebensdauer von einer Stunde bis hin zu einer Woche. Geländeform, Hangneigung und Beschaffung der Erdoberfläche sind dabei wichtige Parameter.
Mikroklima	mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene im mikrometeorologischen Maßstabsbereich. Nach Orlanski (1975) werden atmosphärische Prozesse mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern der Mikroskala zugeordnet. Mit Mikroklima ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist.
Patch	Gebietsabgrenzung. Im Kontext der vorliegenden Arbeit, ist der Patch eine Flächendefinition für die Rauigkeitsberechnungen. Dabei ist jedes Patch ein Voronoi Polygon, d.h. jeder Punkt innerhalb eines Patches liegt näher an dessen Mittelpunkt bzw. den darin befindlichen Gebäuden als zu einem Gebäude oder Mittelpunkt eines anderen Patches.
Rauigkeit***	(auch Rauheit) bezeichnet die Unebenheit von Oberflächen
Regionalklima	eng verwandt mit der Begrifflichkeit Mesoklima. Dabei sind Phänomene mit sehr ähnlichen Raum- und Zeitskalen gemeint, die durch sowohl groß- als auch kleinskalige Prozesse beeinflusst werden, aber auch von

	regionalen Gegebenheiten wie der Geländeform und der Landnutzung abhängen. Beim Regionalklima, im Gegensatz zum Mesoklima, wird deutlicher der Bezug zu natur- oder kulturräumlichen Klimabesonderheiten hergestellt.
Resilienz**	Die Leistungsfähigkeit eines Systems Störungen zu absorbieren, und sich in Phasen der Veränderung so neu zu organisieren, dass wesentliche Strukturen und Funktionen erhalten bleiben.
Retention**	Rückhaltevermögen von unterschiedlichen Oberflächen für flüssiges Wasser.
Sommertag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$ beträgt
Spektrale Signatur** ^S	für eine Oberfläche typisches Verhältnis der Messwerte in mehreren Spektralbereichen, mit denen Unterschiede in der Reflexionscharakteristik verschiedener Oberflächen erfasst werden können
Städtische Wärmeinsel* ^L	ein typisches Merkmal des Stadtklimas welches durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen wird. Durch die starke Aufwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer.
Strahlungsantrieb* ^S	Maß für die global gemittelten klimarelevanten Störungen des atmosphärischen Strahlungs- und Energiehaushaltes
Strahlungsbilanz*	Differenz zwischen Ein- und Ausstrahlung einer Fläche. Insbesondere terrestrische und solare Strahlung sind dabei von Bedeutung.
Strahlungswetterlage*	eine Form des Hochdruckwetters mit geringer Bewölkung und höchstens mäßigen Winden
Synoptik	ein Teilgebiet der Meteorologie, das in einer großräumigen Zusammenschau die Wetterzustände in ihrer räumlichen Verteilung und zeitlichen Änderung für einen gegebenen Zeitpunkt untersucht (Analyse oder Wetterlage).
Talwind	bei Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Luft im Gebirge stärker als über der Ebene. Dadurch steigt die Luft nach oben und der Luftdruck sinkt über dem Gebirge. Zum Ausgleich beginnt die Luft unterhalb der Gipfel von außen - also durch die Täler - ins Gebirge einzuströmen.
Tropennacht	eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20\text{ °C}$ beträgt
Übergangsklima*	beschreibt den fließenden Übergang zwischen dem maritimen Klima und dem kontinentalen Klima. Das Übergangsklima kommt überwiegend in Europa vor. Daher ist der Westen dieses Klimas ozeanisch geprägt, während der Osten eher kontinental beeinflusst wird
Überwärmungsakkumulationseffekt* ^L	während längeren Hitzeperioden kann die nächtliche Abkühlung die erhöhte tägliche Wärmeaufnahme von Atmosphäre und Gebäuden nicht mehr kompensieren, d.h. auch die Minima der nächtlichen Temperaturen steigen an
Urban Canopy Layer	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.
zyklonal	Drehsinn der Luftströmung um ein Gebiet tiefen Luftdrucks (Nordhalbkugel: gegen den Uhrzeigersinn, Südhalbkugel: im Uhrzeigersinn) Außerdem die Bezeichnung für eine Wetterlage mit überwiegendem

Tiefdruckeinfluss, welche zumeist durch wolken- und niederschlagsreiches Wettergeschehen gekennzeichnet ist.

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

- * Wetter-Lexikon von wetter.net - Q.met GmbH (<https://www.wetter.net/wetterlexikon>)
- ** Lexikon der Nachhaltigkeit der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (<https://www.nachhaltigkeit.info>)
- *** Duden - Bibliographisches Institut GmbH (<https://www.duden.de>)
- *L Enironmental Sciences Europe – Kuttler 2011 (<http://www.enveurope.com>)
- *S Spektrum – Lexikon der Geowissenschaften (www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften)

9.2. Quellenverzeichnisse

9.2.1 Literaturverzeichnis

ACKERMANN, W., BURKHARDT, R., HÄNEL, K., HOPF, A., SCHRÖDER-RÜHMKORF, H., RUFF, A., SCHUBERT, E., STÖCKEL, K., WICHELHAUS, A., 2021, Grundlagen und Bausteine für einen Aktionsplan Schutzgebiete, Abschlussbericht des gleichnamigen F+E-Vorhabens (FKZ: 3517 83 0300), Online-Quelle URL: https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-11/Skript611_red.pdf (Abruf 07/2022)

ARD KLIMAKARTE (2022), ONLINE-QUELLE URL <https://ard-klimakarte.de/#p=12.724860:52.523833:7.41&o=temperature:2035:rcp8&d=0> (Abruf: 04/2022).

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

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

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

DEUTSCHE METEOROLOGISCHE GESELLSCHAFT E.V., Online-Quelle URL: www.dmg-ev.de/publikationen/stellungnahmen (Abruf: 10/2018)

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

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

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

Deutscher Wetterdienst (DWD): Bioklimakarte Bundesrepublik Deutschland für den Zeitraum 1981 bis 2010. In: <https://gcos.dwd.de/DE/leistungen/bioklimakarte/bioklimakarte.html> (Abruf: 06/2022a)

Deutscher Wetterdienst (DWD): Wetter- und Klimalexikon, Online-Quelle URL: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101486> (Abruf: 02/2022b)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Klimadaten Deutschland, Online-Quellen URLs:
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html;jsessionid=AB88DA4FDAD2D2F58A70C8C8DA25B2F5.live11054?nn=560208>, (Abruf: 02/2021), (2021a)
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_fest.html.html?view=nasPublication&nn=16102, (Abruf 10/2020), (2020, b)
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_8110_fest.html.html%3Fview%3DnasPublication, (Abruf 10/2020), (2020, c)
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne_8110_fest.html.html?view=nasPublication&nn=16102, (Abruf 10/2020)

Rasterfelder für Deutschland - https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/cdc_ueberblick-klimadaten.html#:~:text=Die%20Daten%20liegen%20auf%20einem,den%20Zeitraum%202001%20bis%202017 (Abruf 07/2022c)

- EBERSWALDE 2022, Eberswalde auf einen Blick, Online-Quelle URL: <https://www.eberswalde.de/start/stadt/eberswalde-auf-einen-blick> (Abruf 07/2022)
- EBERSWALDE 2014, Stadt Eberswalde Flächennutzungsplan; Begründung, Online-Quelle URL: https://www.eberswalde.de/fileadmin/bereich-eberswalde/user/ewschwarz/FNP/FNP_EW_rechtswirksam/FNP_Begruendung_20140228.pdf (Abruf 07/2022)
- 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
- Gärtner P. und Kiesel J. 2020, Regionalatlas geformte und genutzte Landschaft, Online-Quelle URL: [Regionalatlas geformte und genutzte Landschaft - http://landschaften-in-deutschland.de/](http://landschaften-in-deutschland.de/) (Abruf: 06/2022)
- 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
- Hendl und Endlicher 2003, Klimatische Gliederung nach Kontinentalität, Niederschlagsversorgung und Höheneinfluss, Leibniz-Institute für Länderkunde
- HUPFER P. UND KUTTLER W. (Hrsg.) 1998, Witterung und Klima, Vieweg + Teubner Verlag
- HUSSAIN M. UND LEE B.E. 1980, A wind tunnel study of the mean pressure forces acting on large groups of low-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.6, Iss.3-4, p 207-225
- 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
- LANDESAMT FÜR UMWELT, 2022, Naturpark Barnim, Online-Quelle URL: <https://www.barnim-naturpark.de> (Abruf 07/2022)
- LANUV 2018, Fachbericht 86 – Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- LOHMEYER, A. 2008, Klimafunktions- und Klimaplanungskarten, In: Lohmeyer Aktuell, Bd. 20, Karlsruhe
- MATZARAKIS A., RÖCKEL R., RICHTER C.-J., HÖFL. H.-C., STEINICKE W., STREIFENEDER M., MAYER H., 2008, Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas am Beispiel von Freiburg im Breisgau, Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 68, 334-340
- MAYER H. 1992, Stadtklima und Lufthygiene, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 4 „Stadtökologie“, 21-30
- 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. (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
- 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
- VDI 2015, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1
- VDI 2003, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5
- VM BW (Hrsg.) 2012, Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg

9.2.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht der Klimatebenen im typischen Planungskontext	4
Abbildung 2 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017)	5
Abbildung 3 Übersicht zu unterschiedlichen Beispielen urbaner Vegetations- und Grünstrukturen	6
Abbildung 4 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)	8
Abbildung 5 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).	9
Abbildung 6 Schematische Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).	11
Abbildung 7 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in der Stadt.	12
Abbildung 8 Der den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (oben) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (unten) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).	13
Abbildung 9 Übersicht zu unterschiedlichen Planungsebenen sowie den korrespondierenden klimatischen Fragestellungen und Auflösungen.	15
Abbildung 10 Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK. Die Eingangsdaten bilden diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen ab, die Themenkarten repräsentieren (klimarelevante) räumliche Ableitungen.	18
Abbildung 11 Vier Themenkartengruppen (links) mit deren Hilfe unterschiedlichste klimatische Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können.	19
Abbildung 12 Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse	19
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.	20
Abbildung 14 Übersicht zum Verlauf des Eberswalder Urstromtals (farbliche Markierung) (Grabenstedt 2005)	22
Abbildung 15 Detailausschnitt der Karte der Naturräumlichen Großregionen Deutschlands (nach Meynen und Schmithüsen, überarbeitet 2012). Eberswalde („X“) liegt im Grenzbereich zwischen der „Mecklenburgischen Seenplatte“ (Nr.75) im Norden und der „Ostbrandenburgische Platte“ (Nr.79) im Süden.	23
Abbildung 16 Detailausschnitt der Karte der Großlandschaften (nach Ssystmank 1994). Die Großlandschaften in denen Eberswalde („X“) liegt, entsprechen den namensgleichen naturräumlichen Großregionen (siehe Abbildung 15)	23
Abbildung 17 Übersichtskarte zur klimatischen Gliederung Deutschland (Hendl und Endlicher 2003). Die Stadt Eberswalde liegt in einer Zone des subkontinentalen Klimas und einer niederschlagbenachteiligten Region (rotes Punktmuster).	24
Abbildung 18 Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [$^{\circ}\text{C}$] in einer Höhe von 2 m über Grund für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c) – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.	25
Abbildung 19 Darstellung des monatlichen Durchschnittsniederschlags [l/m^2] für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c) – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.	26
Abbildung 20 Abweichung der Jahresmitteltemperatur sowie der Niederschlagssumme für die Region Eberswalde bis 2050 (unter Berücksichtigung des RCP 8.5 Szenario – „weiter wie bisher“) vom ortsspezifischen Durchschnitt der Jahre 1971 bis 2000 (ARD 2022).	26
Abbildung 21 Darstellung des Auftretens von Ereignistagen (Sommertage in orange, Heiße Tage in rot) für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c)	27

Abbildung 22 Anstieg der monatlichen Tropennächte der letzten drei aufeinanderfolgenden 30jährigen Mittel. Besonders deutlich ist der Anstieg von rund 30 % im Vergleich der Zeiträume von 1975 bis 2004 und 1991 bis 2020 (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)).	28
Abbildung 23 Darstellung der Veränderung der Niederschlagsmengen und dem Auftreten von Extremwetterlagen in 10-jährigen Berechnungsintervallen (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)). Hierbei wird der Zeitraum 1995 bis 2005 als Referenzzeitraum gewählt, auf den sich die nachfolgenden Zeiträume und deren prozentualen Abweichungen beziehen. – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.	28
Abbildung 24 Verortung der DWD Messstation in Angermünde auf dem Dach des grauen Gebäudes (roter Marker) (Google Maps 2022).	29
Abbildung 25 Übersicht zur ganzjährigen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in der Region Eberswalde (3km x 3km) auf unterschiedlichen Höhen: 6.44m/s auf 50m (obere Abbildung) und 3.02m/s auf 10m (untere Abbildung) (Global Wind Atlas 2022).	30
Abbildung 26 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Winter	31
Abbildung 27 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Winter	31
Abbildung 28 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für das Frühjahr	31
Abbildung 29 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für das Frühjahr	31
Abbildung 30 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Sommer	32
Abbildung 31 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Sommer	32
Abbildung 32 Darstellung der Windstärke und -richtung in der Nacht im 30jährigen Mittel für den Herbst	32
Abbildung 33 Darstellung der Windstärke und -richtung am Tag im 30jährigen Mittel für den Herbst	32
Abbildung 34 Detailausschnitt des Innenstadtbereichs von Eberswalde - Themenkarte „Hangneigung und Hangrichtung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	33
Abbildung 35 Kartenlegende zur Themenkarte Hangneigung und Hangrichtung. Die drei Kreise definieren die Hangneigung in Prozent (5-20 %, 20-40 % und > 40 %), die unterschiedlichen Farben geben hingegen die Hangrichtung wieder. Eine Fläche im satten Gelbton hat somit eine Ausrichtung nach Nordwesten (NW) und eine Neigung von > 40 %.	33
Abbildung 36 Legende der Themenkarte „Landnutzung“	34
Abbildung 37 Detailausschnitt des Innenstadtbereichs von Eberswalde – Themenkarte „Landnutzung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	34
Abbildung 38 Auswertung der prozentualen Flächendurchgrünung auf Grundlage der zusammengefassten Landnutzungs klassifizierung des Atkis BasisDLM und der Nahinfrarot Luftbild Befliegung für die Stadt Eberswalde	35
Abbildung 39 Schematische Darstellung eines Blue-Spots mit den entsprechenden Fachtermini	36
Abbildung 40 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Identifikation von potentiellen Überschwemmungsbereichen“. Blue-Spots werden in einem hellen blau dargestellt, Fließ- und Stillgewässer in einem dunklen blau. Die roten Grenzlinien definieren die Oberflächeneinzugsgebiete.	36
Abbildung 41 Farbkodierung ab welchen Wassermasseneintrag ein Spillover (Überlaufen), und damit die Ableitung von überschüssigen Wasser in niedriger gelegende BlueSpots eintritt	37
Abbildung 42 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Eintreten von Überschwemmungen in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge“. Visualisierung der notwendigen Starkregenmengen, um den Spillover-Effekt (Überlauf eines Blue-Spots) der identifizierten Blue-Spots auszulösen (vgl. Abbildung 40). Die unterschiedlichen Farbgebung geben den nötigen Eintrag an Wasser wieder, der den Effekt auslöst. Olivfarbene Fläche erfahren bei dem in der Analyse angenommenen maximalen Wassereintrag von 100 mm keinen Überlauf, rote Flächen im Gegensatz hierzu bei bereits 20 mm.	38
Abbildung 43 Farbliche Darstellung der Klassifizierung der maximalen BlueSpot Tiefe in Meter.	38
Abbildung 44 Detailausschnitt Themenkarte „Starkregen (BlueSpots) – Tiefendarstellung“. Zeigt die für die identifizierten Blue-Spots die maximalen Tiefen (vgl. Abbildung 39) berechnet wurden. Dabei beträgt die minimale Wassertiefe 0,5 m und die maximale Wassertiefe (im gesamten Untersuchungsgebiet) 12 m.	39
Abbildung 45 Detailausschnitt Themenkarte „Räumlich-bauliche Offenheit (SkyView)“. Rote Bereiche beschreiben eine stark eingeschränkte räumlich-bauliche Offenheit, während blaue Bereiche eine große räumlich-bauliche Offenheit beschreiben (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	40

Abbildung 46 Schematische Darstellung des SkyView Faktors	40
Abbildung 47 Detailausschnitt Themenkarte „Gebäudevolumendichte“. Die Ausgabe erfolgt in Kubikmeter pro Quadratmeter und bezieht neben der eigenen Masse auch die Massen der Nachbarschaft (Nachbarschaftsanalyse) mit ein. Die im Kartenausschnitt am dunkelsten orange-rot gefärbten Bereiche (Bereich der Stadtverwaltung) haben eine Gebäudevolumendichte von rd. 10 bis 12 m ³ /m ² (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	41
Abbildung 48 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Gebäudevolumendichte“.	41
Abbildung 49 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Grundflächenzahl (GRZ) und Geschossflächenzahl (GFZ)“	43
Abbildung 50 Detailausschnitt Themenkarte „Grundflächenzahl (GRZ) und Geschossflächenzahl (GFZ)“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	43
Abbildung 51 Schematische Darstellung des Licht-Absorptions- und Reflexionsverhaltens von Vegetation.	44
Abbildung 52 Detailausschnitt Themenkarte „Vegetationserfassung“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3)	44
Abbildung 53 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Vegetationserfassung“	44
Abbildung 54 Auswertung der Durchgrünung für das gesamte Stadtgebiet von Eberswalde entsprechen den primären Nutzungsklassen – größere Darstellung siehe Kapitel 9.3.	45
Abbildung 55 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „Durchgrünung (bebauter) Flächen im Siedlungsraum“	45
Abbildung 56 Legende zu nachstehenden Zeitschnitten der Themenkarte „Kaltluft“. Angabe der zum jeweiligen Zeitschnitt generierten Kaltluftschichtdicke in Metern.	46
Abbildung 57 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 15 Minuten Simulationszeit. Die sichtbaren blauen Spots stellen Still- und Fließgewässer dar.	47
Abbildung 58 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 2 Stunden Simulationszeit.	47
Abbildung 59 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 5 Stunden Simulationszeit	48
Abbildung 60 Zeitschnitt - Kaltluftproduktion bzw. Kaltluftschichtdicke und das sich bildende bodennahe Windfeld (2 m über Grund) nach 8 Stunden am Ende der Simulationszeit.	48
Abbildung 61 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Themenkarte „bodennahe nächtliche Lufttemperatur“	49
Abbildung 62 Detailausschnitt Themenkarte „bodennahe nächtliche Lufttemperatur“ (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	49
Abbildung 63 Verteilung der Altersklassen über 60 Jahre und unter 4 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde	51
Abbildung 64 Demographische Auswertung – Verteilung von Personen der Altersgruppe unter 4 Jahren im Untersuchungsraum. Die Darstellung erfolgt datenschutzkonform über eine fließende Dichtedarstellung, da so keine standortgenaue Verortung möglich ist (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	52
Abbildung 65 Demographische Auswertung – Verteilung von Personen der Altersgruppe über 60 Jahren im Untersuchungsraum. Die Darstellung erfolgt datenschutzkonform über eine fließende Dichtedarstellung, da so keine standortgenaue Verortung möglich ist (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	52
Abbildung 66 Detailausschnitt Themenkarte „Klimafunktionskarte“, die Farbgebung bzw. die unterschiedlichen Klimatope werden in der nachfolgenden Übersicht tiefergehend erläutert (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	53
Abbildung 67 Legende zum nachstehenden Fokusraum der Klimafunktionskarte. Die Pfeile bilden das nächtliche bodennahe Strömungsfeld unterschiedlicher Intensität ab.	53

Abbildung 68 Übersicht und Beschreibung der unterschiedlichen Klimatope, die über die Klimafunktionskarte widergespiegelt werden. Die Einteilung orientiert sich an den VDI-Klimaeigenschaften.	54
Abbildung 69 Beispiel für die ergebnisbezogenen Auswirkungen bei der Änderung der Gitternetzdicke.	56
Abbildung 70 Darstellung der Durchschnittstemperaturen im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100	57
Abbildung 71 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate April bis Oktober in denen Sommertage auftreten)	58
Abbildung 72 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Heißen Tage im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate Mai bis September in denen Heiße Tage auftreten)	58
Abbildung 73 Darstellung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte (mit einer Minimumtemperatur nicht unter 20 °C) im Jahresgang mit Monatsbezug für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in den Zeitspannen 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (Die Darstellung visualisiert ausschließlich die Monate Mai bis September in denen Tropennächte auftreten)	59
Abbildung 74 Legende der Planungshinweiskarte mit Einteilung der Planungshinweise untergliedert in Planungshinweise "sehr hoher / sehr starker" und "hoher / starker" klimatischer Bedeutung	60
Abbildung 75 Detailausschnitt Themenkarte „Planungshinweiskarte“, die klimatischen Gunst- und Ungunsträume werden im Kontext ihrer klimatischen Schwerpunktsetzung als Piktogramme dargestellt. (A3-Übersichtskarte zum gesamten Untersuchungsraum siehe Kapitel 9.3).	61
Abbildung 77 Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [°C] in einer Höhe von 2 m über Grund für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c).	76
Abbildung 78 Darstellung des monatlichen Durchschnittsniederschlags [l/m²] für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c).	77
Abbildung 79 Darstellung der Veränderung der Niederschlagsmengen und dem Auftreten von Extremwetterlagen in 10jährigen Berechnungsintervallen (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)). Hierbei wird der Zeitraum 1995 bis 2005 als Referenzzeitraum gewählt, auf den sich die nachfolgenden Zeiträume und deren prozentualen Abweichungen beziehen.	78
Abbildung 80 Auswertung der Durchgrünung für das gesamte Stadtgebiet von Eberswalde entsprechen den primären Nutzungsklassen.	79
Abbildung 80 Verteilung der Altersklassen über 60 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde	80
Abbildung 81 Verteilung der Altersklassen unter 4 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde	81

9.2.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkungen (rechte Spalte) im städtischen Raum	4
Tabelle 2 Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017).	9
Tabelle 3 Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entspr. Strömungsregimen	11
Tabelle 4 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k.A. = keine Angaben).	14
Tabelle 5 Übersicht über die vier grundlegenden Aspekte und deren Ursprung bzw. ihren Abhängigkeiten, die zur Bewertung der Klima-funktionen herangezogen werden.	17
Tabelle 6 Übersicht der zeitlichen und saisonalen Grenzen der Winddatenauswertung	29
Tabelle 7 Übersicht zu den erstellten Zeitschnitten der Kaltluftsimulation, die fett geschriebenen Schnitte werden nachfolgend abgebildet. Alle Zeitschnitte finden sich außerdem in Kapitel 9.3	46
Tabelle 8 Übersicht und Kurzbeschreibung der RCP-Szenarien	55
Tabelle 9 Diagrammübersicht Anhang	75

9.2.4 Datenverzeichnis

DATEN	QUELLE	STAND	BEZUGSSYSTEM
City GML Stadtgebiet Eberswalde	LGB Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg	2022	EPSG: 25833
Digitales Basis-Land- schaftsmodell (Basis- DLM) Stadtgebiet Eberswalde		2021	
Digitales Geländemodell (DGM) Stadtgebiet Eberswalde		2019	
Digitales Geländemodell (DGM) Umgebung Eberswalde		2019	
Digitale Orthofotos (RGBI)		2019	
Stadtentwicklungsvorha- ben	Stadt Eberswalde	2022	
Bevölkerungsdaten	Stadt Eberswalde / Ein- wohnermeldeamt	2021	

9.3. Diagramme, Karten und Planwerke

Tabelle 9 Diagrammübersicht Anhang

NR.	DIAGRAMM	SEITE
1	Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur	25
2	Darstellung des monatlichen Durchschnittsniederschlags	26
3	Darstellung der Veränderung der Niederschlagsmengen und dem Auftreten von Extremwetterlagen in 10jährigen Berechnungsintervallen	28
4	Auswertung der Durchgrünung für das gesamte Stadtgebiet von Eberswalde entsprechen den primären Nutzungsklassen	45
5	Anzahl der im Untersuchungsraum wohnenden Personen unterschiedlicher Altersklassen, die in der Nacht eines "Heißen Tages" durch thermische Belastung betroffen sind	51

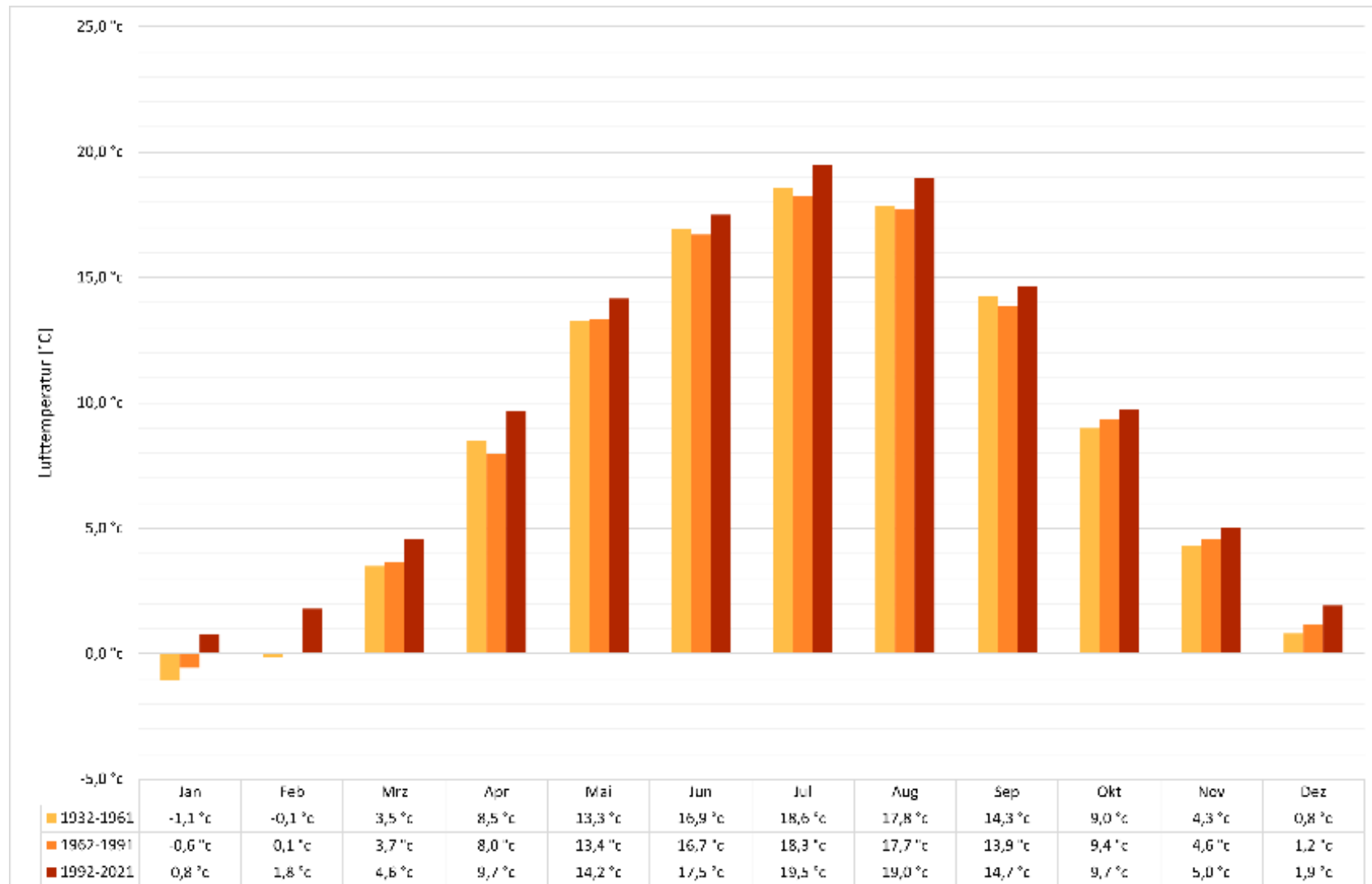


Abbildung 76 Darstellung der monatlichen Durchschnittstemperatur [°C] in einer Höhe von 2 m über Grund für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c).

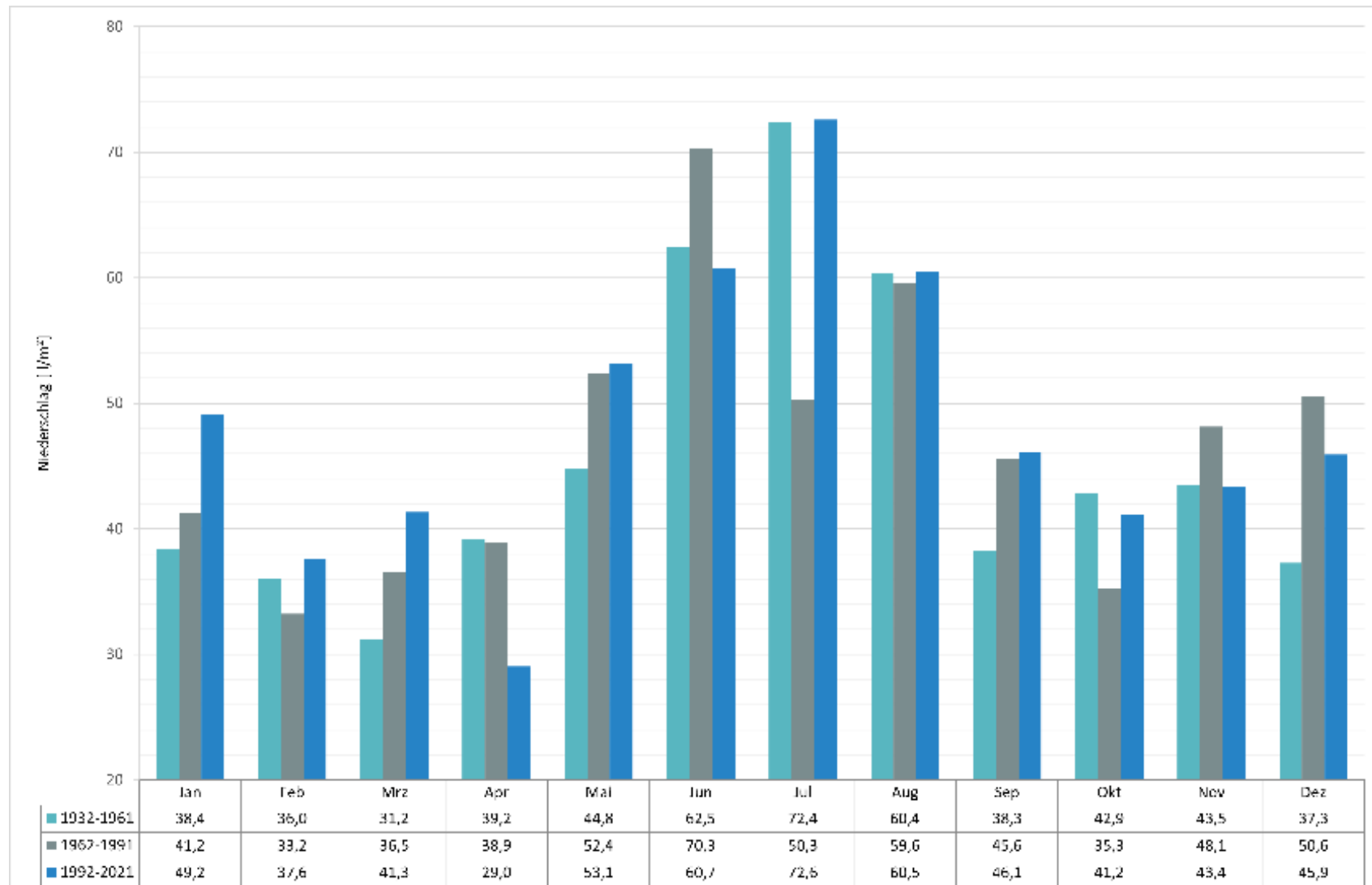


Abbildung 77 Darstellung des monatlichen Durchschnittsniederschlags [l/m²] für drei aufeinander folgende 30-jährige Mittel für die Stadt Eberswalde (DWD 2022c).

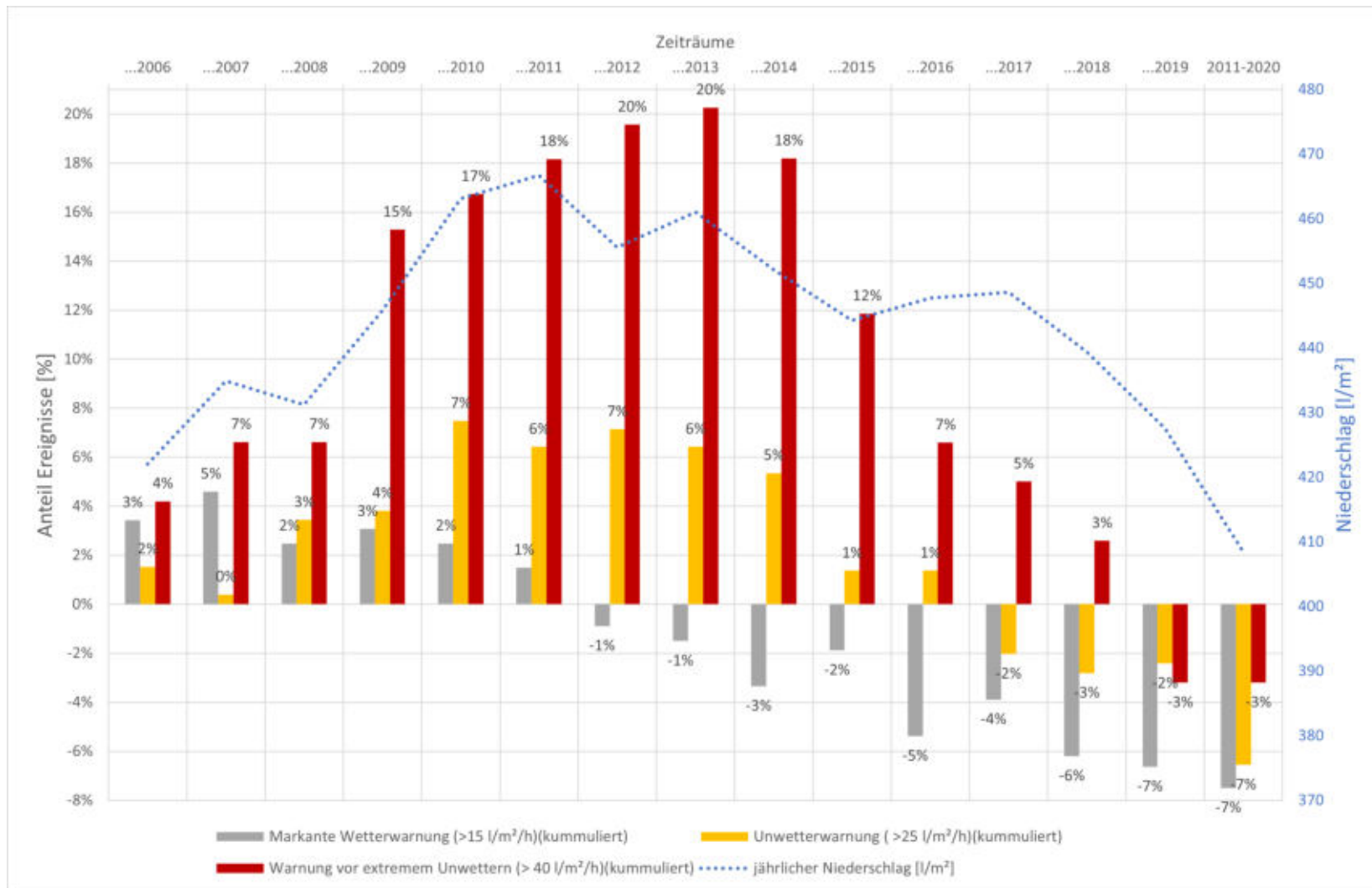


Abbildung 78 Darstellung der Veränderung der Niederschlagsmengen und dem Auftreten von Extremwetterlagen in 10jährigen Berechnungsintervallen (Datenquelle: Station Angermünde (ID 00164)). Hierbei wird der Zeitraum 1995 bis 2005 als Referenzzeitraum gewählt, auf den sich die nachfolgenden Zeiträume und deren prozentualen Abweichungen beziehen.

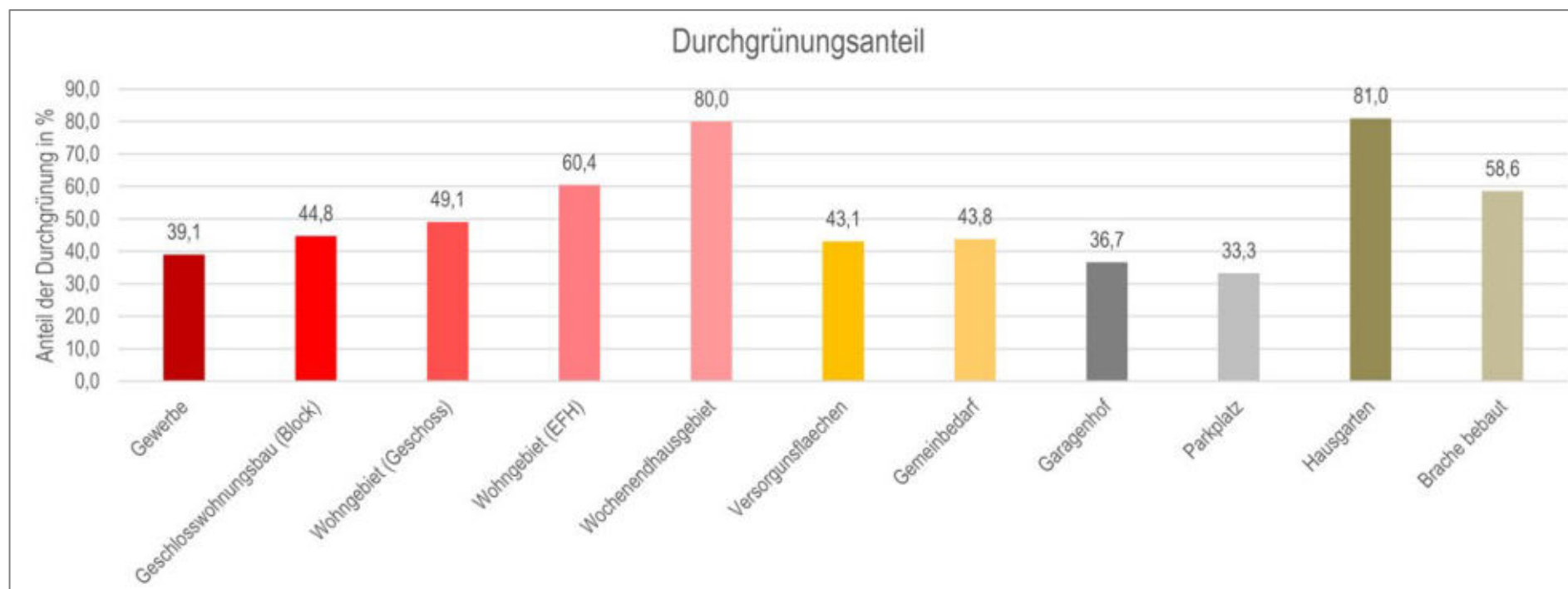


Abbildung 79 Auswertung der Durchgrünung für das gesamte Stadtgebiet von Eberswalde entsprechen den primären Nutzungsklassen.

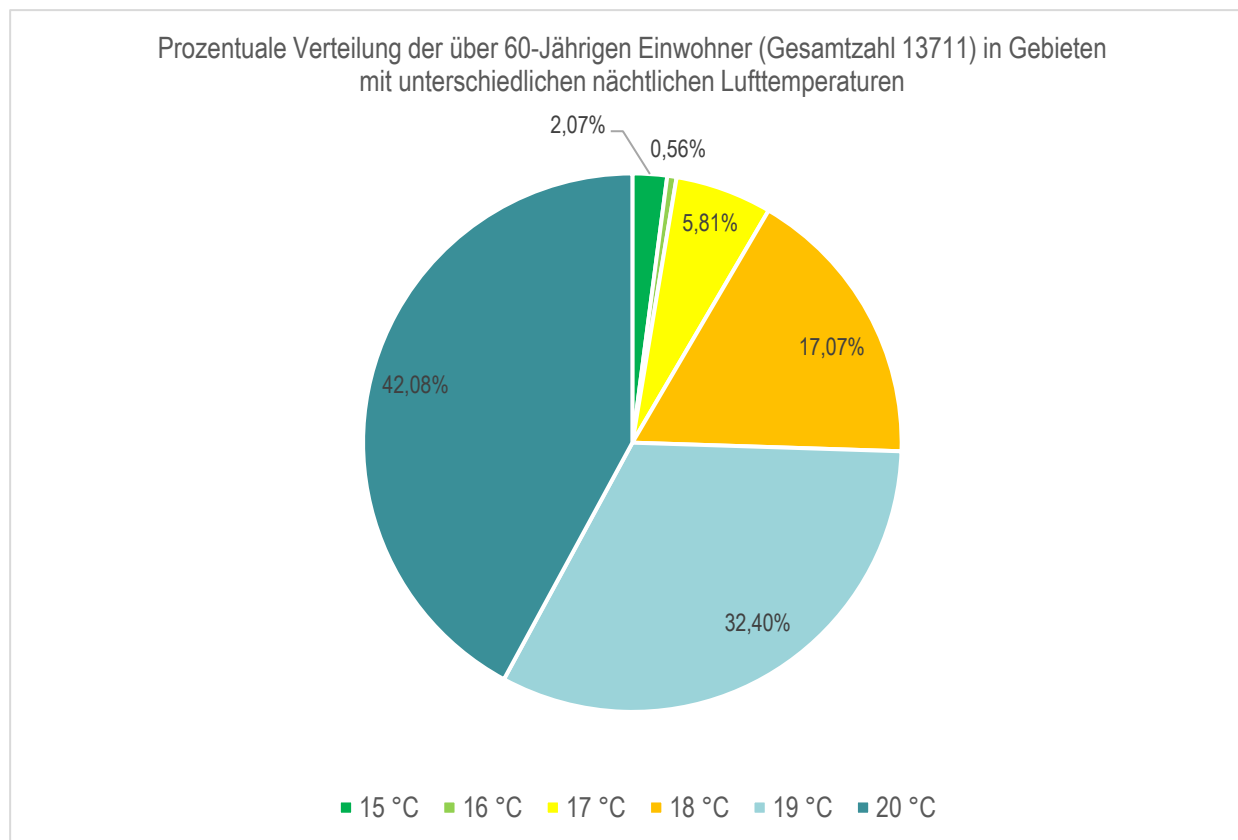


Abbildung 80 Verteilung der Altersklassen über 60 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde

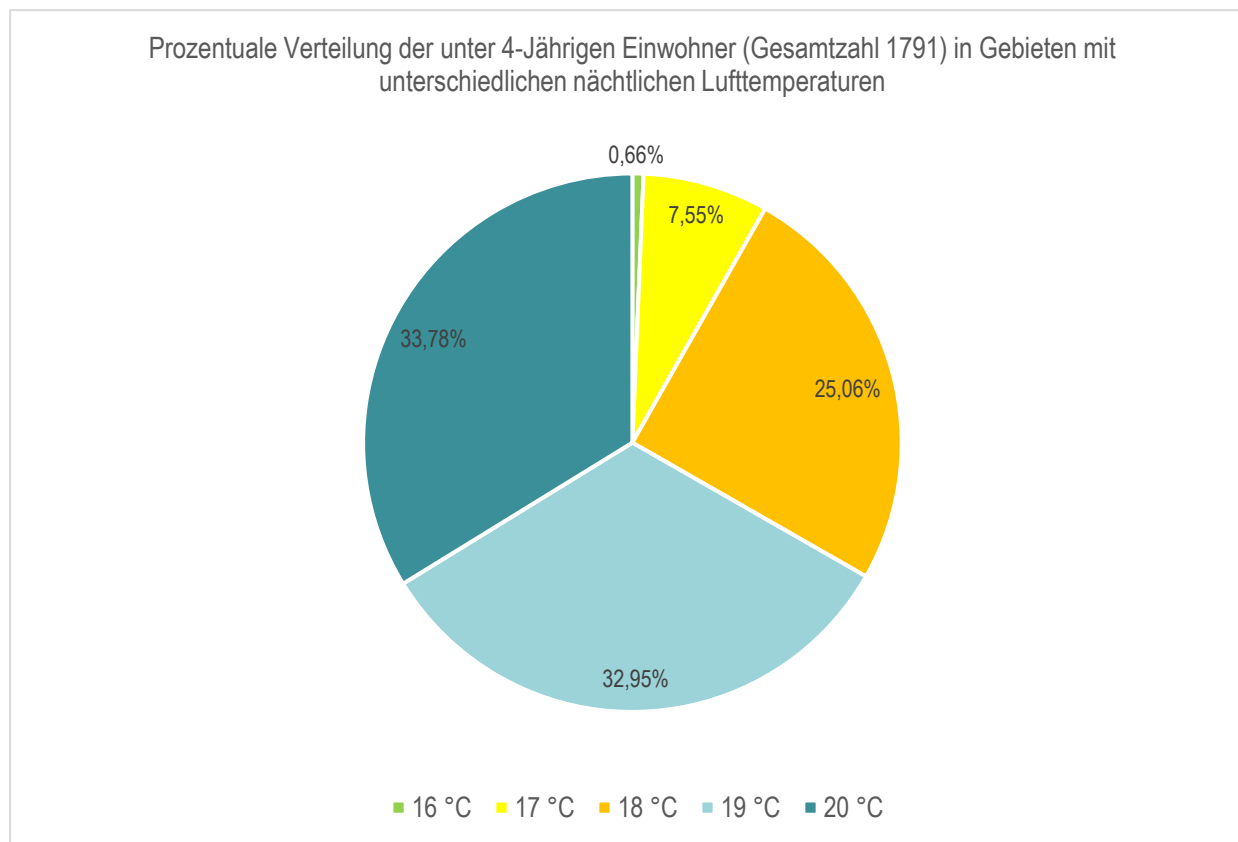
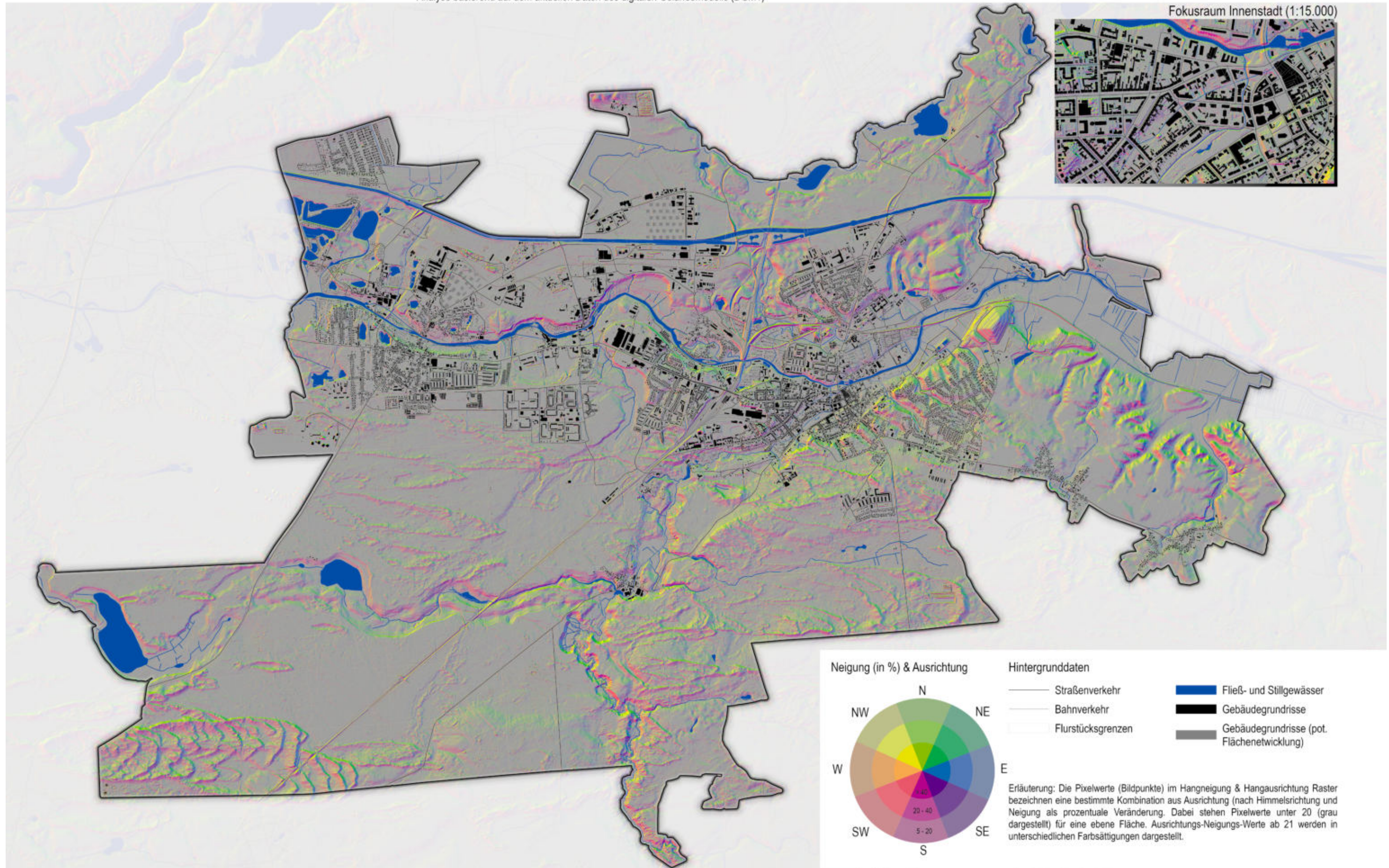
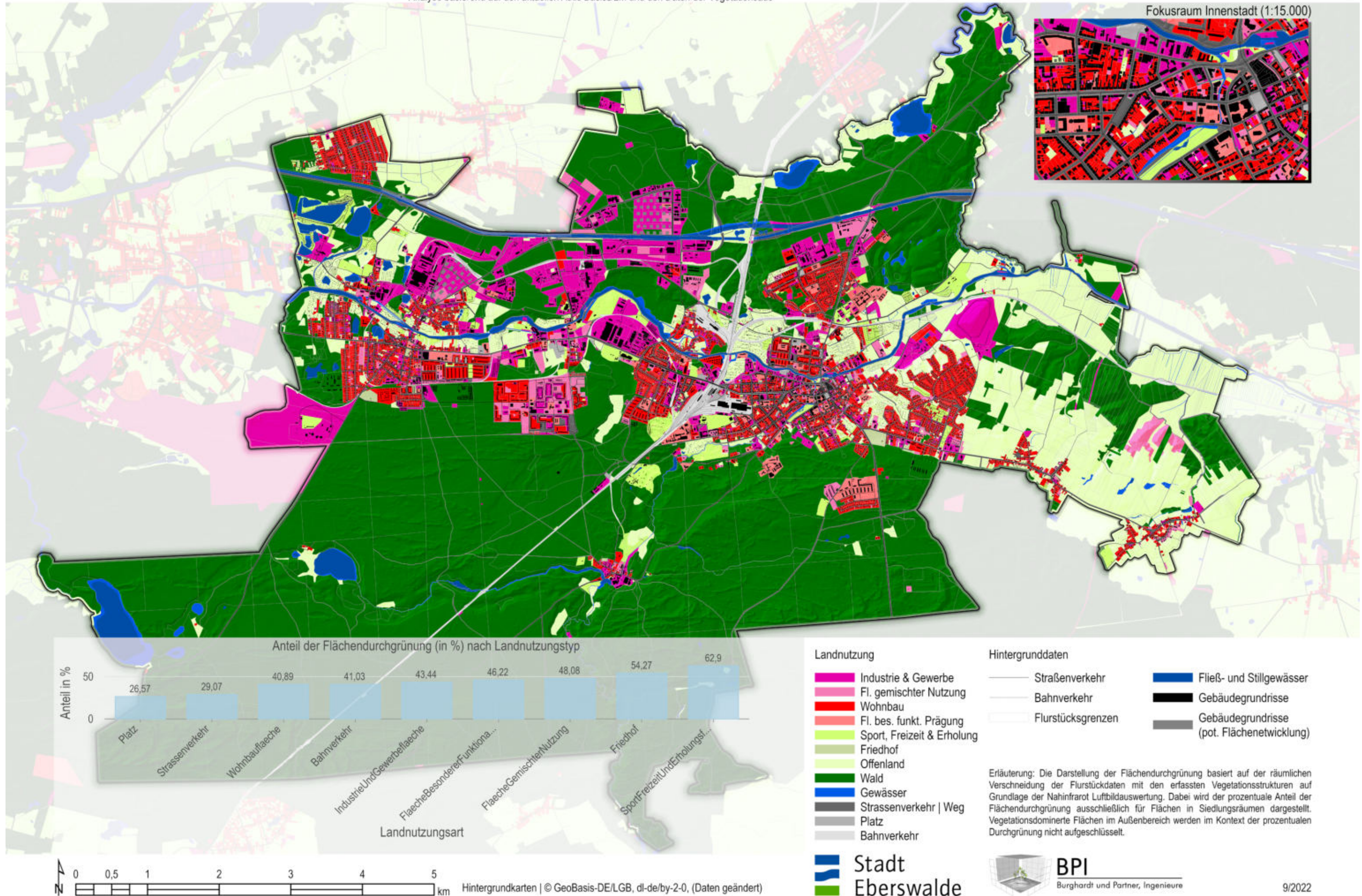
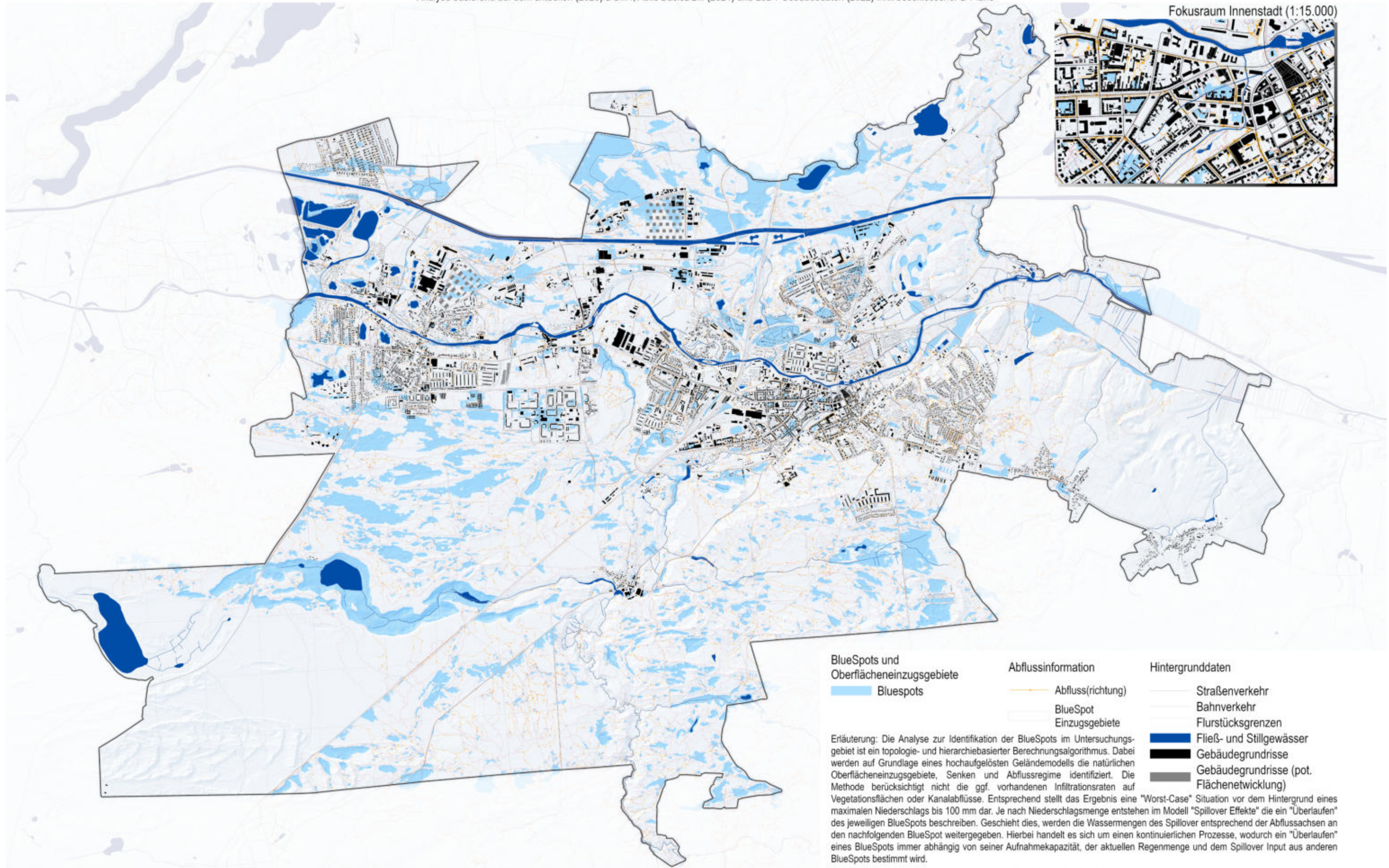


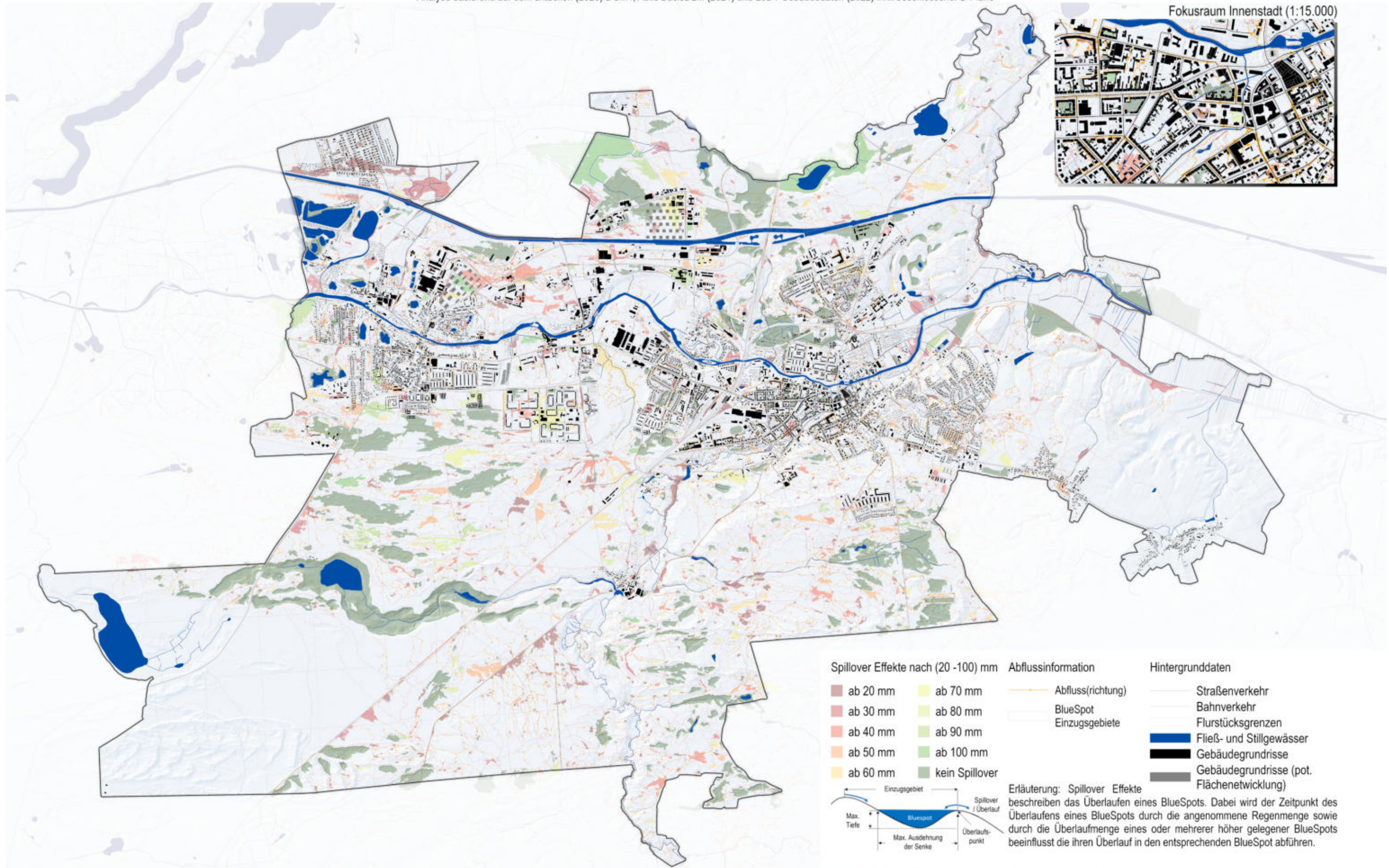
Abbildung 81 Verteilung der Altersklassen unter 4 Jahre im Stadtgebiet bzw. innerhalb unterschiedlicher Temperaturbereiche (nächtliche bodennahe Lufttemperatur an einem heißen Tag) im Stadtgebiet Eberswalde

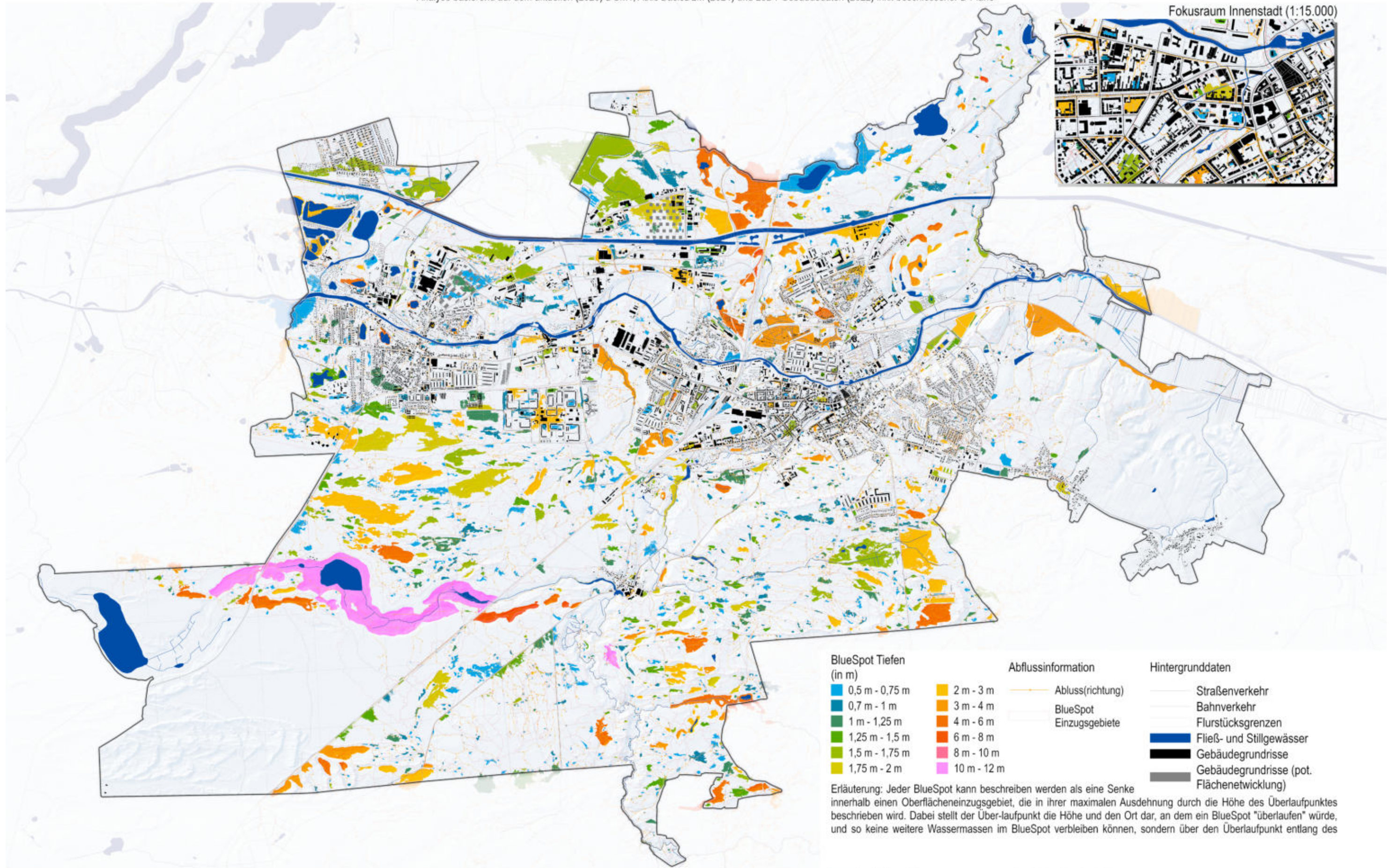
NR.	(THEMEN)KARTE	KATEGORIE
1	Hangneigung- und Hangrichtung	Topographische Analysen
2	Landnutzung	
3	Blue-Spot-Map (Allgemein - Starkregengefahrenkarte)	
4	Blue-Spot-Map (Event - Starkregengefahrenkarte)	
5	Blue-Spot-Map (Tiefe - Starkregengefahrenkarte)	
6	Räumliche-bauliche Offenheit (Sky-View-Faktor)	Bebauungs-Analysen
7	Gebäudevolumendichte	
8	Grundflächen- und Geschossflächenzahl	
9	Vegetationserfassung	Vegetations-Analysen
10	Durchgrünung des Siedlungsraums	
11	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (15 Minuten)	Klimatische Analysen
12	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (30 Minuten)	
13	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (1 Stunde)	
14	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (2 Stunden)	
15	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (3 Stunden)	
16	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (4 Stunden)	
17	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (5 Stunden)	
18	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (6 Stunden)	
19	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (7 Stunden)	
20	Nächtliche Kaltluftschichtdicke & bodennahes Strömungsfeld (8 Stunden)	
21	Bodennahe nächtliche Lufttemperatur (städtischer Wärmeinseleffekt)	
22	Vulnerabilität Altersgruppe unter 4 Jahre	
23	Vulnerabilität Altersgruppe über 60 Jahre	
24	Klimafunktionskarte	Klimatischer Bestand
25	Planungshinweiskarte	Planungsempfehlung

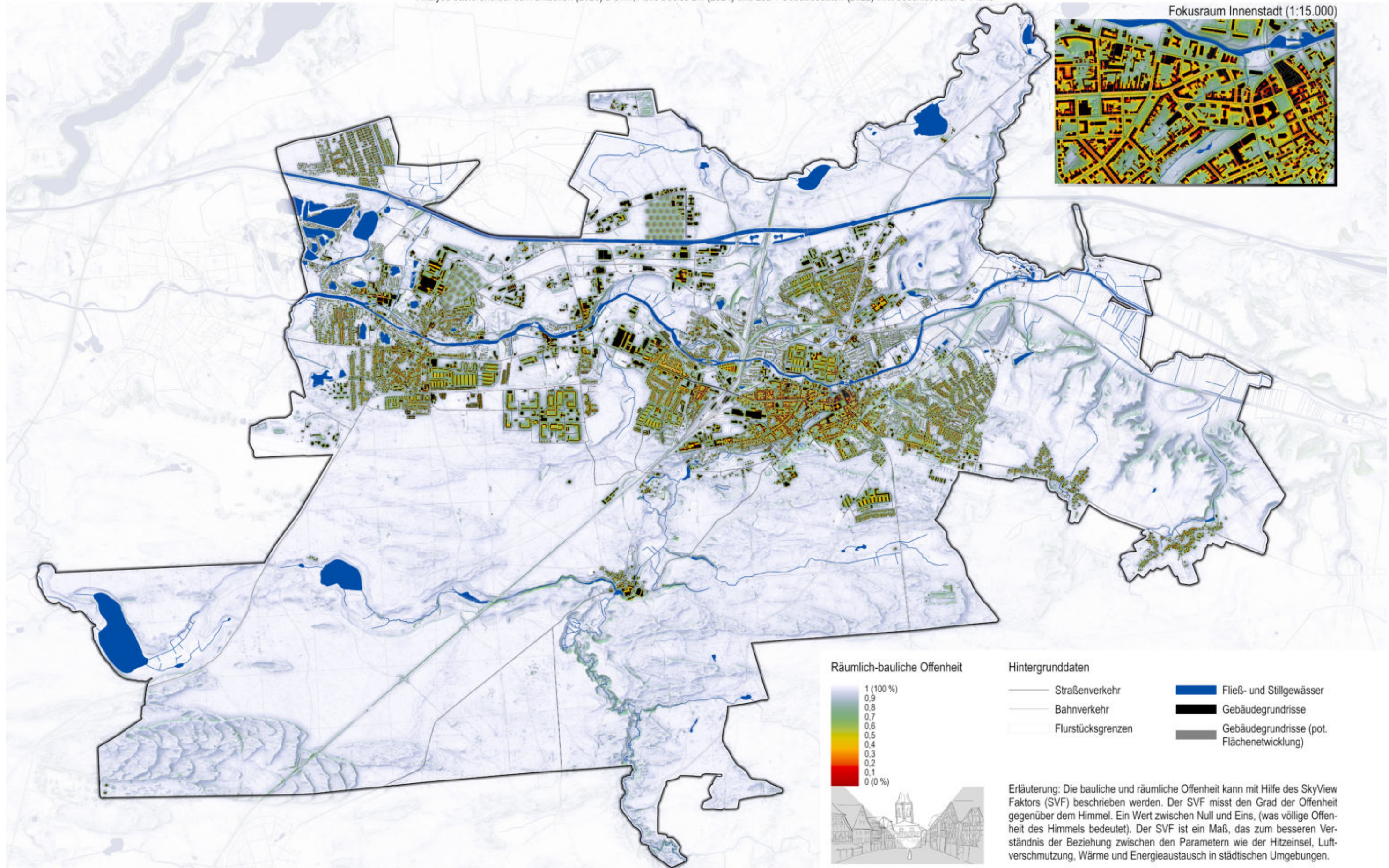








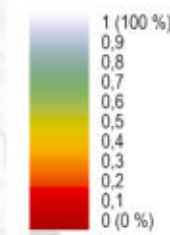




Fokusraum Innenstadt (1:15.000)



Räumlich-bauliche Offenheit

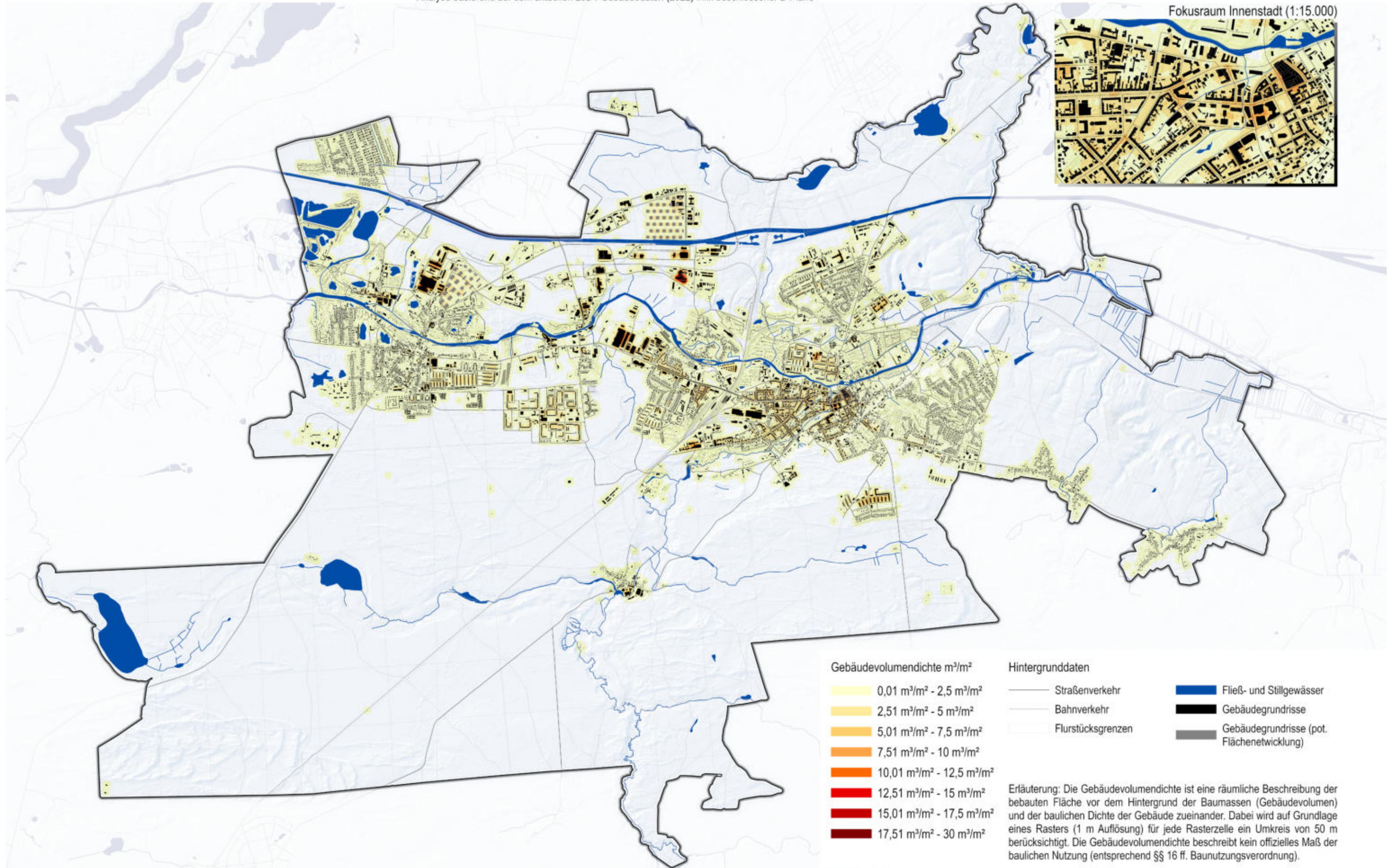


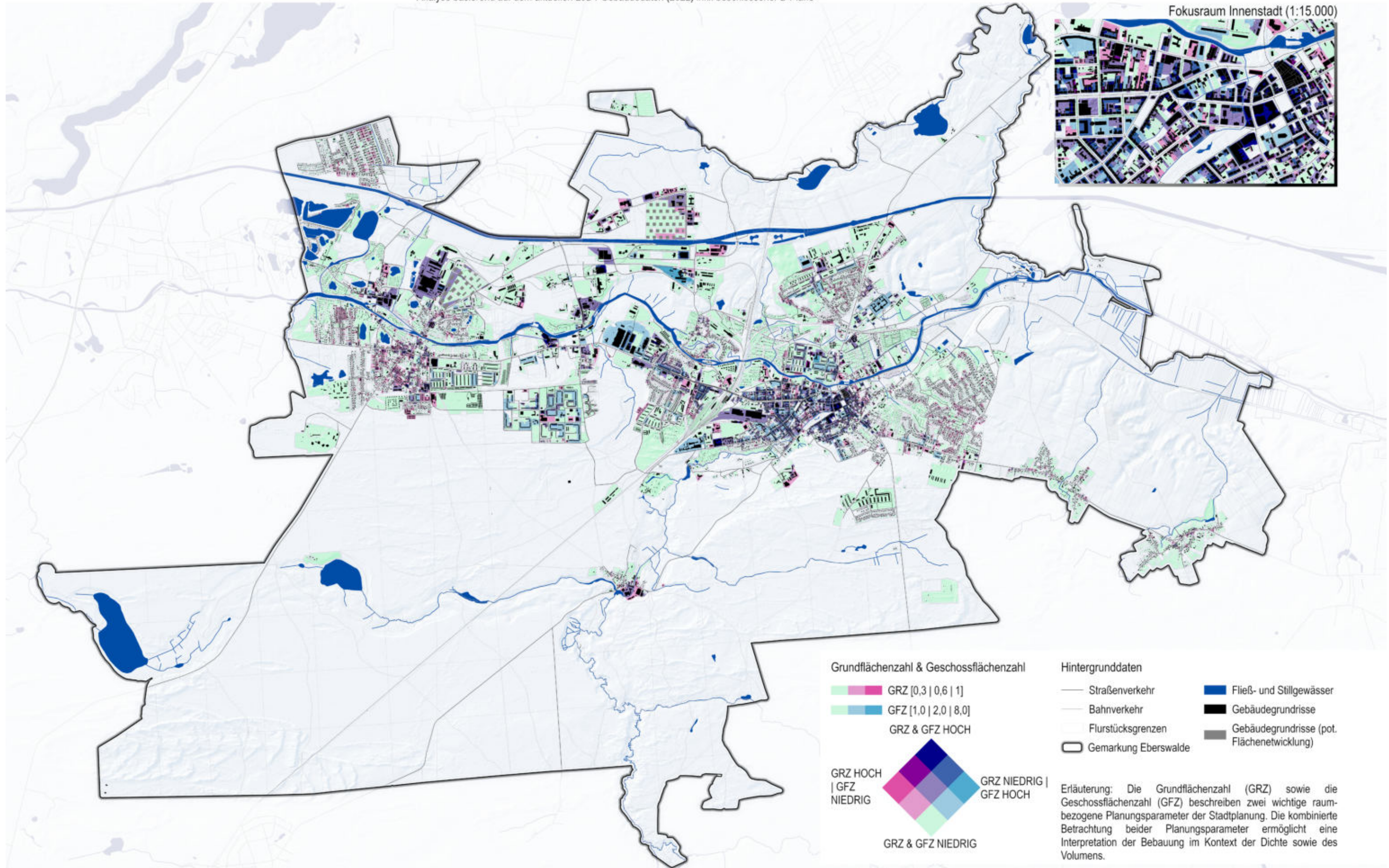
Hintergrunddaten

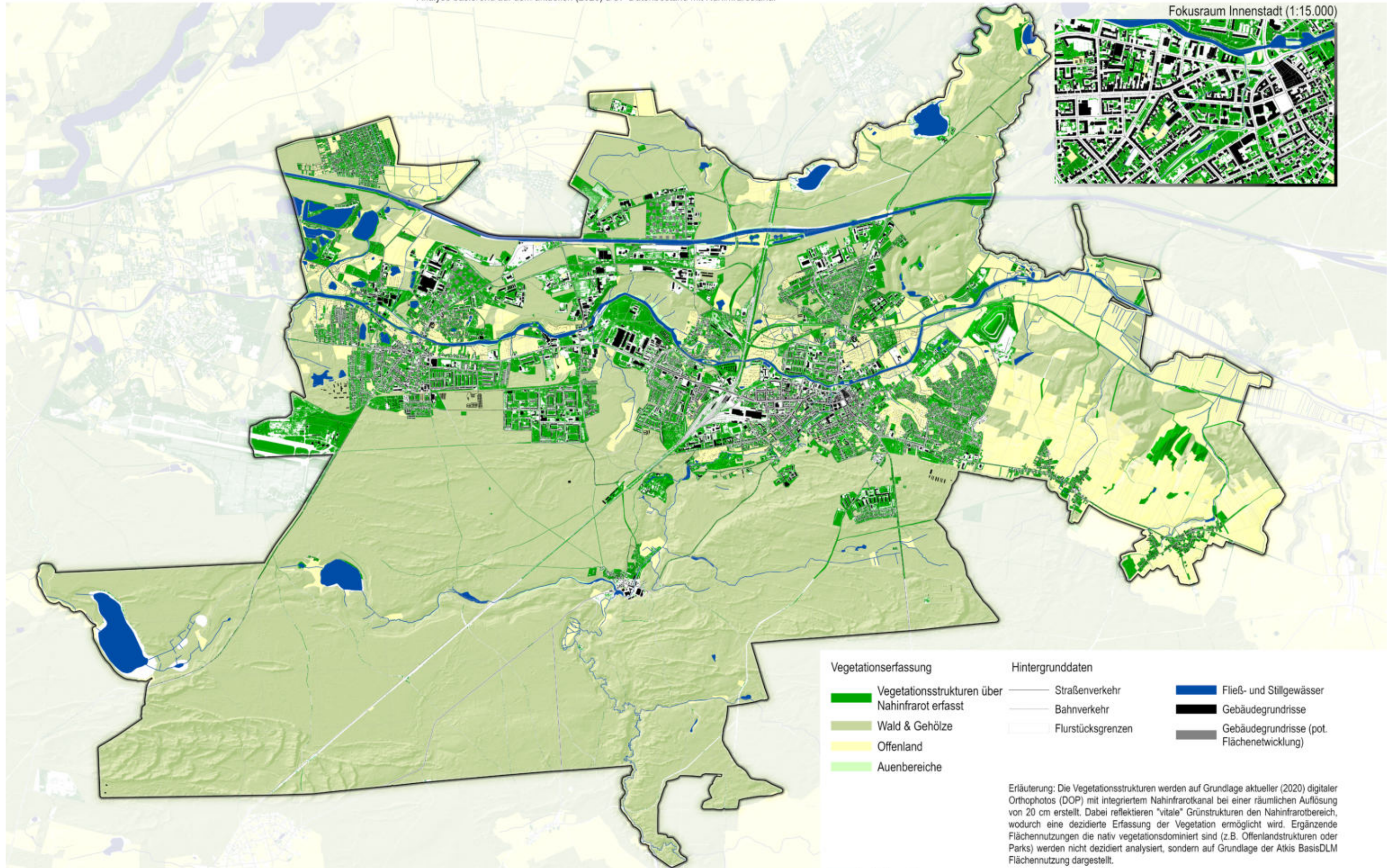
- Straßenverkehr
- Bahnverkehr
- Flurstücksgrenzen
- Fließ- und Stillgewässer
- Gebäudegrundrisse
- Gebäudegrundrisse (pot. Flächenentwicklung)

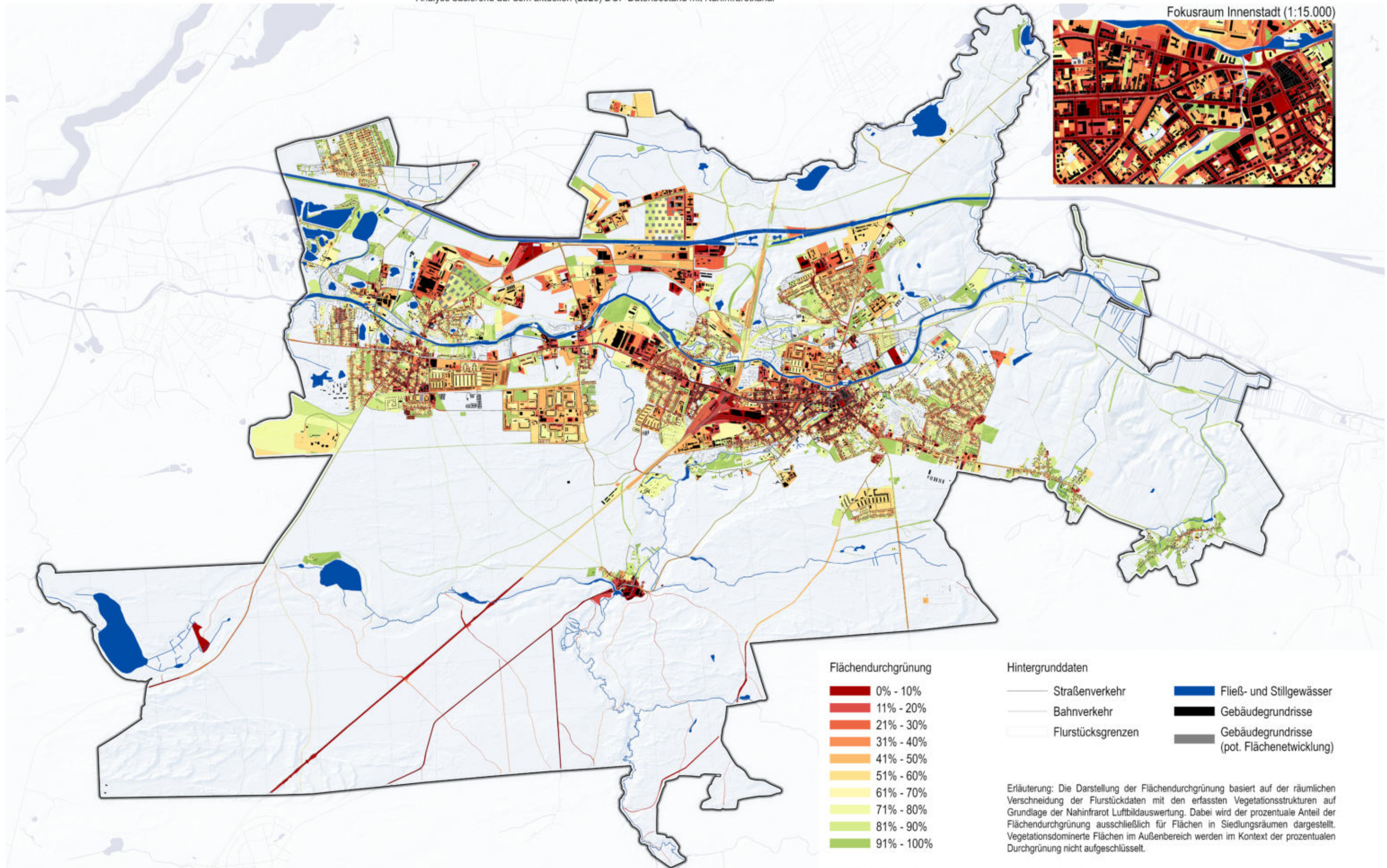
Erläuterung: Die bauliche und räumliche Offenheit kann mit Hilfe des SkyView Faktors (SVF) beschrieben werden. Der SVF misst den Grad der Offenheit gegenüber dem Himmel. Ein Wert zwischen Null und Eins, (was völlige Offenheit des Himmels bedeutet). Der SVF ist ein Maß, das zum besseren Verständnis der Beziehung zwischen den Parametern wie der Hitzeinsel, Luftverschmutzung, Wärme und Energieaustausch in städtischen Umgebungen.

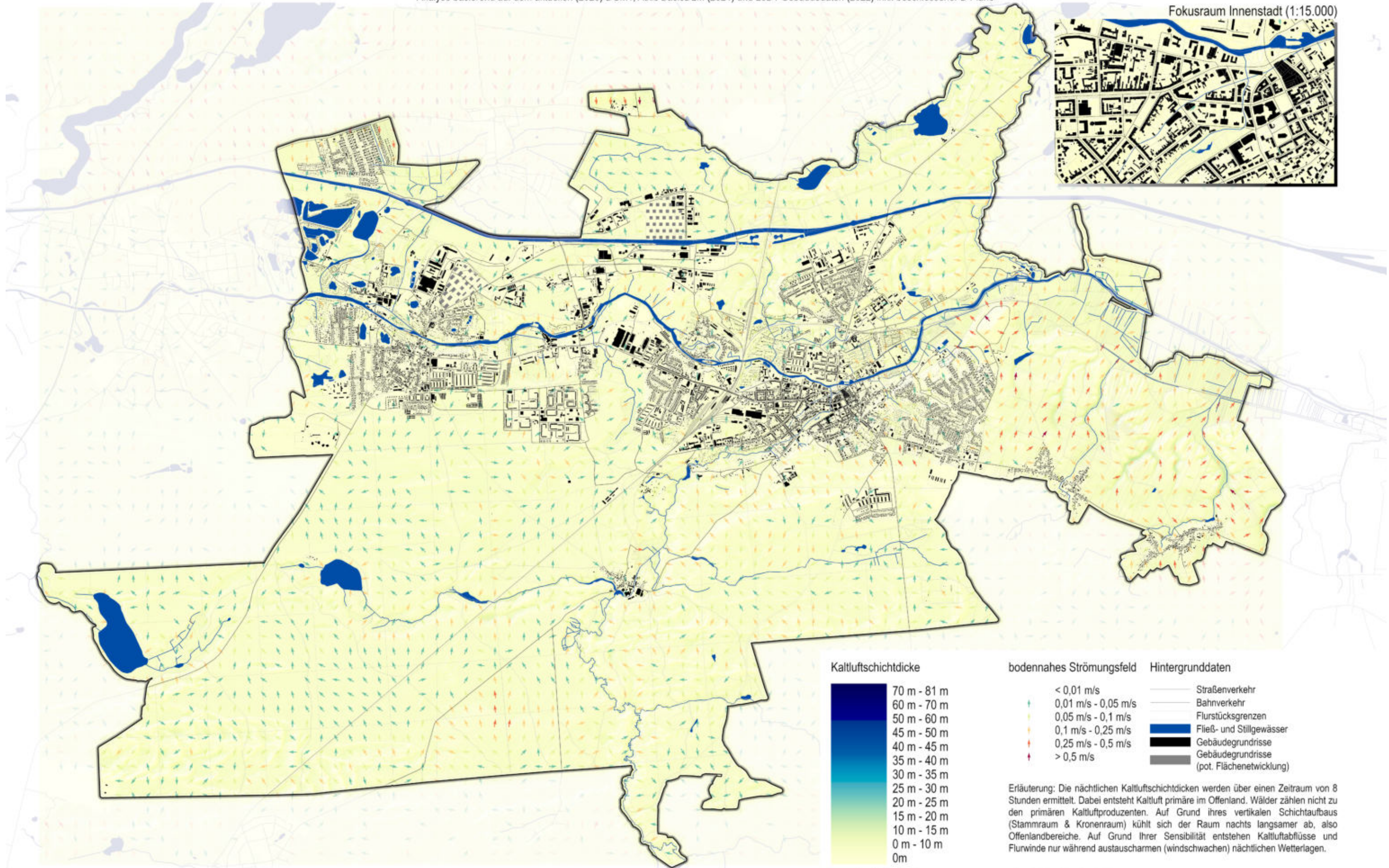






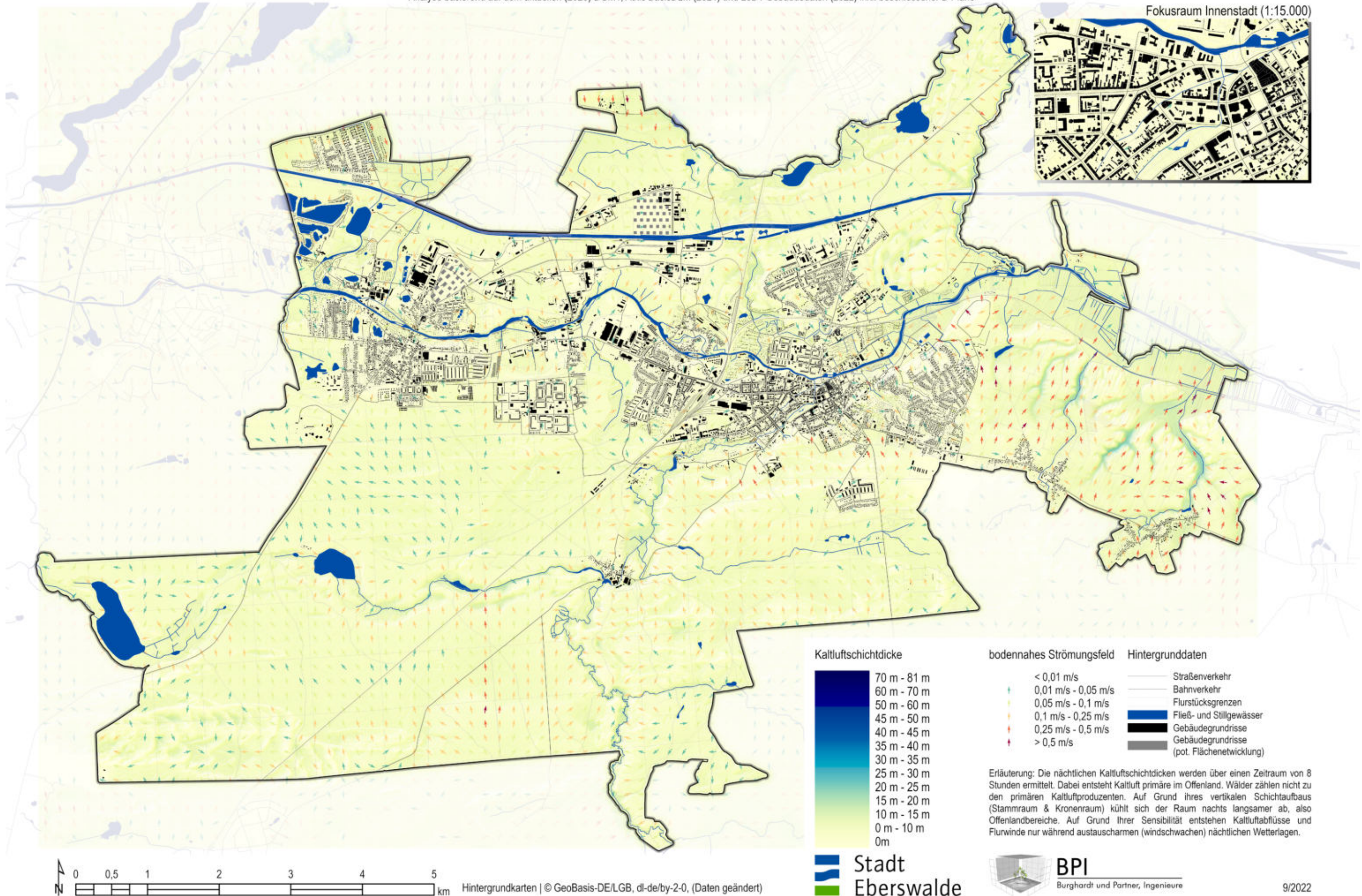


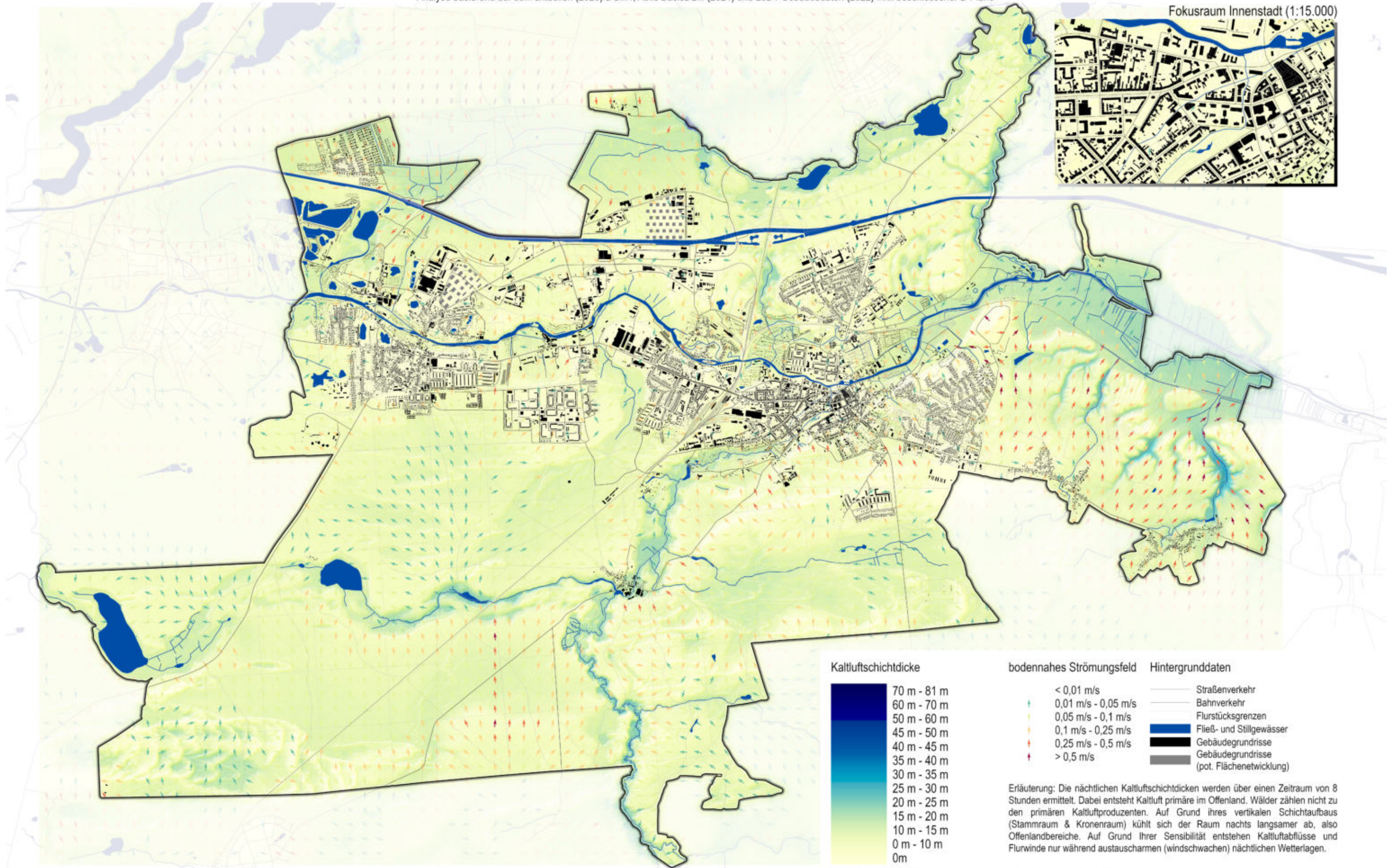


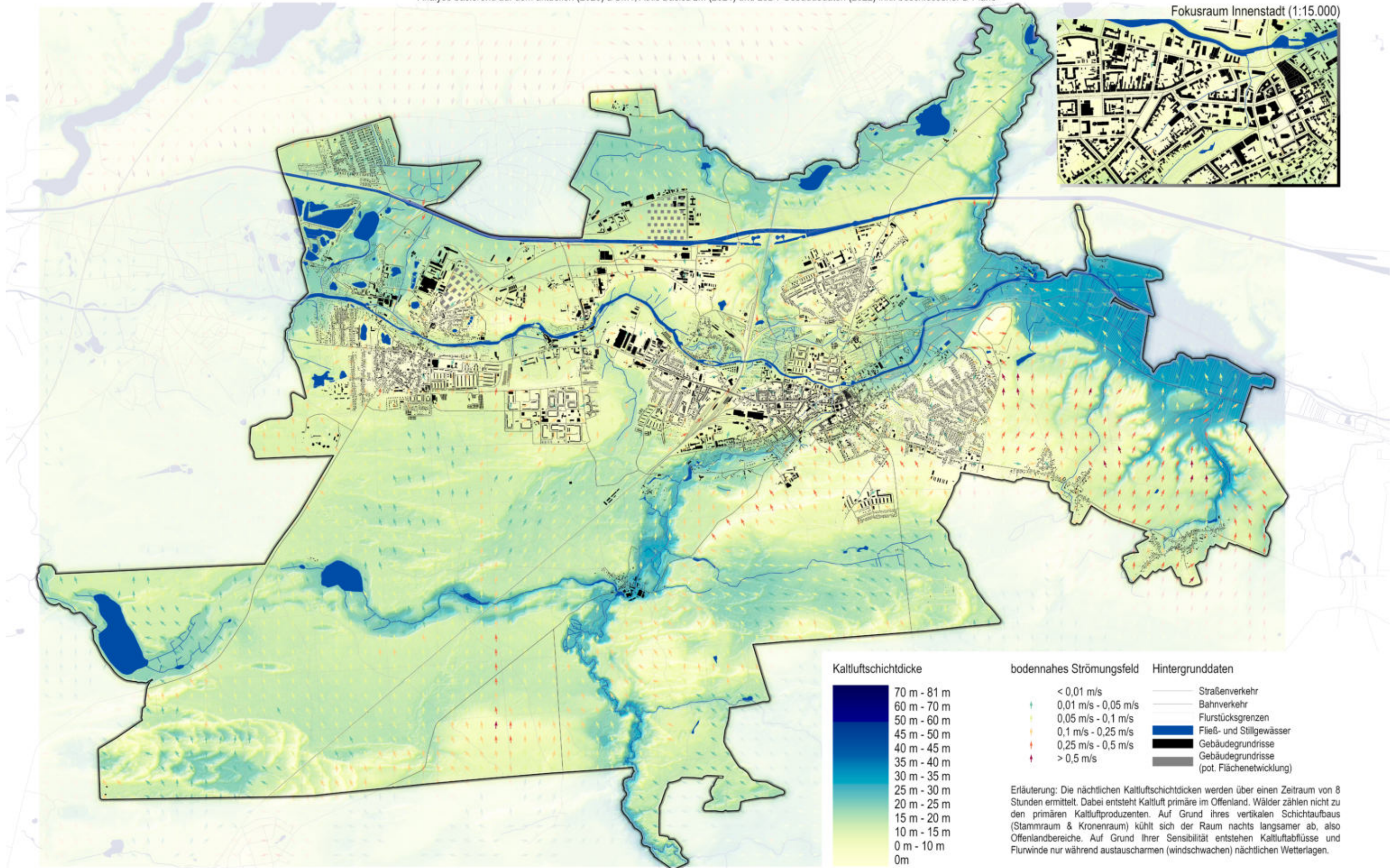


Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund Ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.

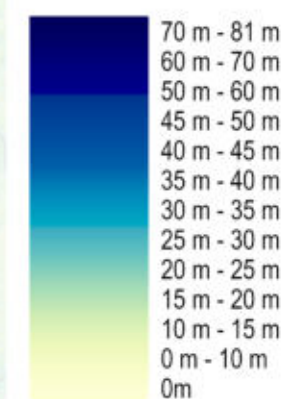




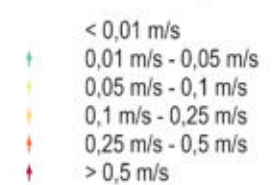




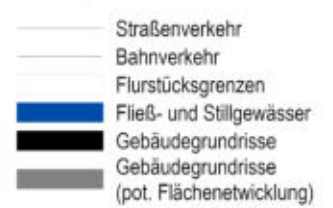
Kaltluftschichtdicke



bodennahes Strömungsfeld

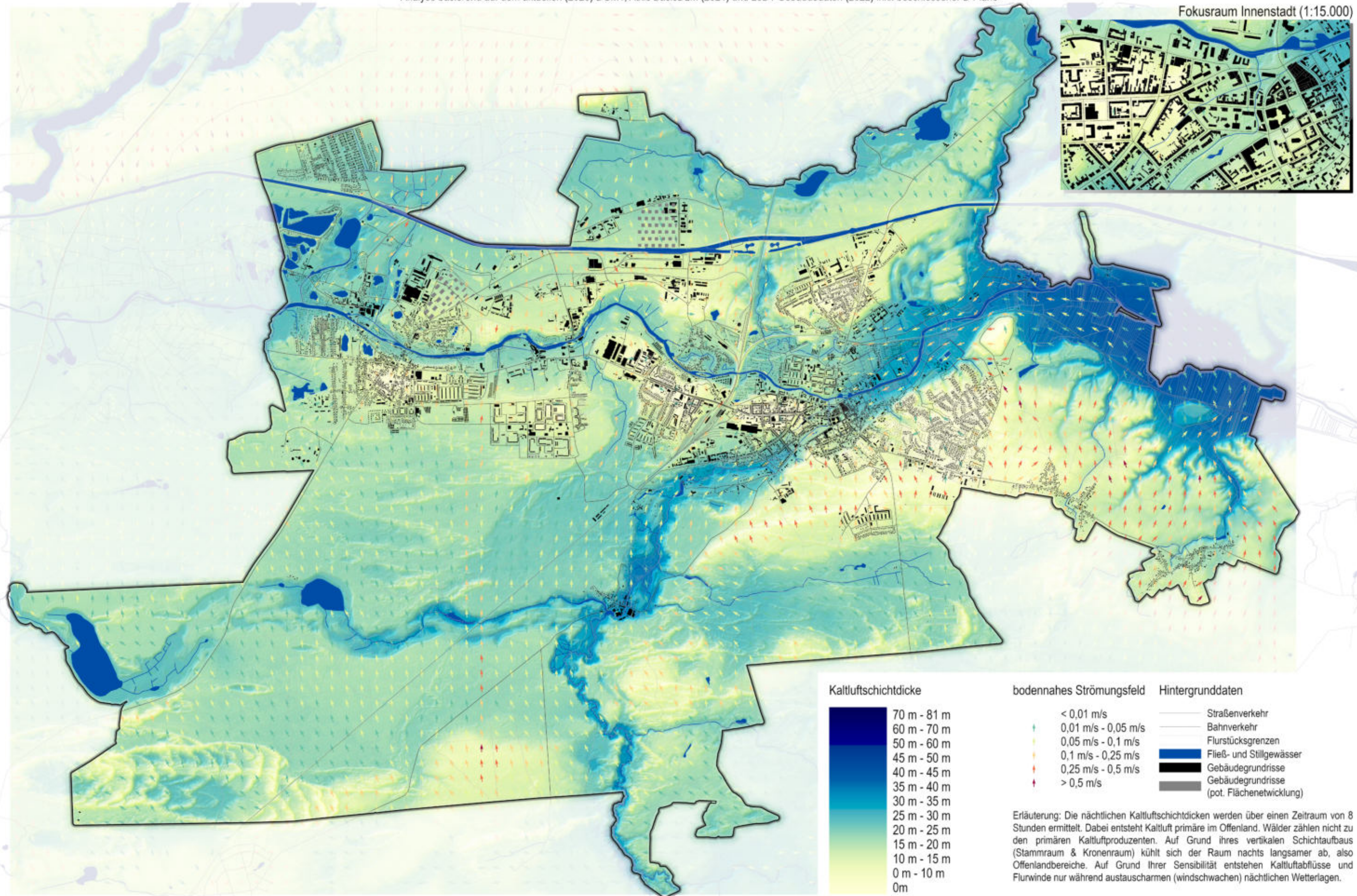


Hintergrunddaten

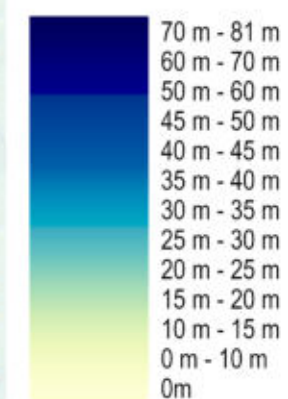


Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund Ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.

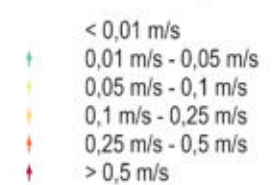




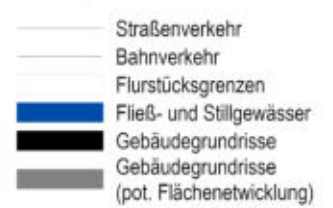
Kaltluftschichtdicke



bodennahes Strömungsfeld

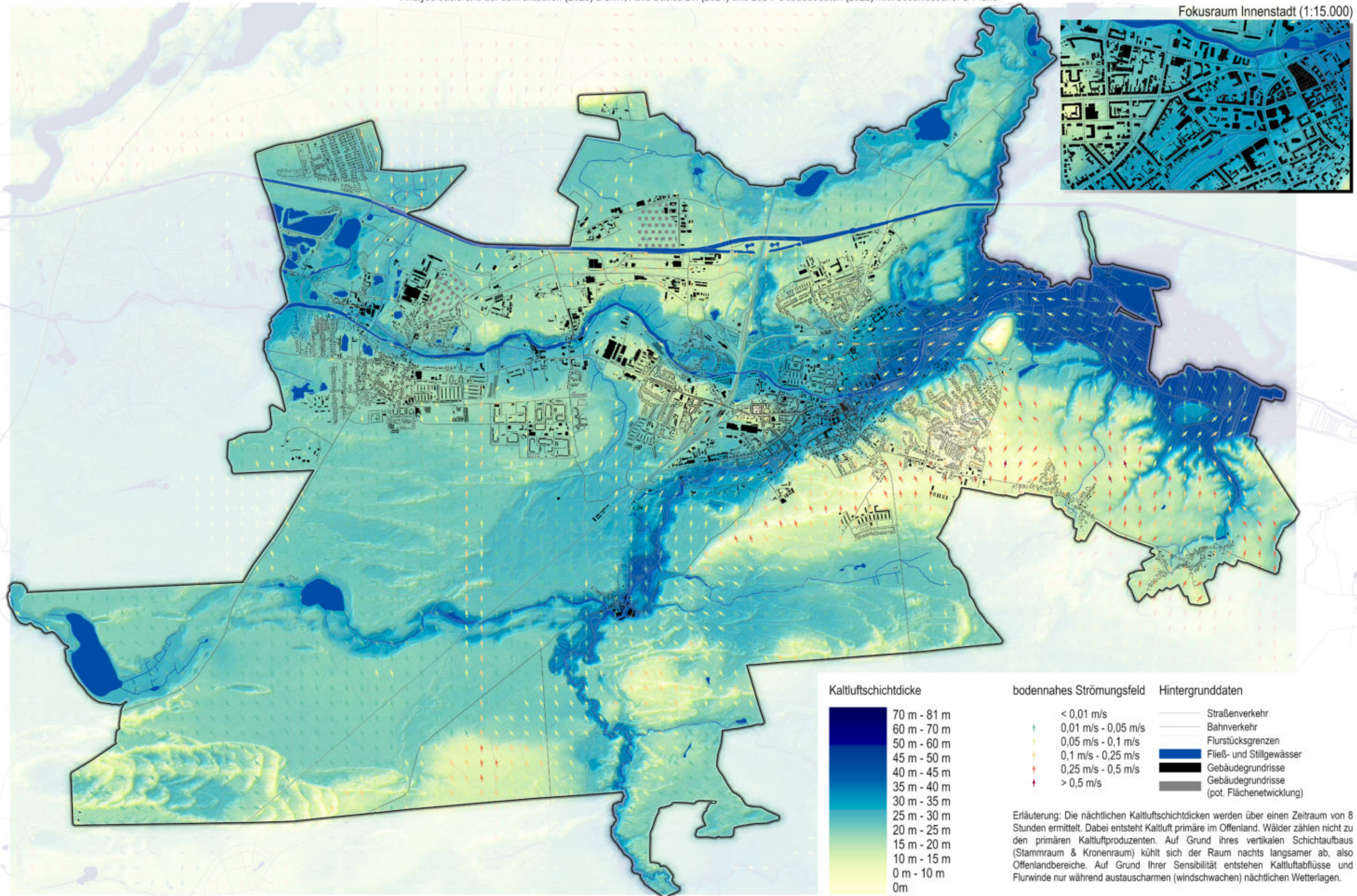


Hintergrunddaten

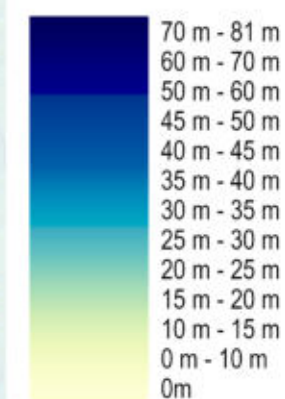


Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund Ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.

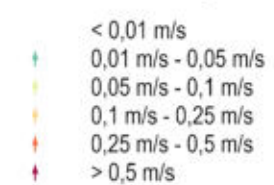




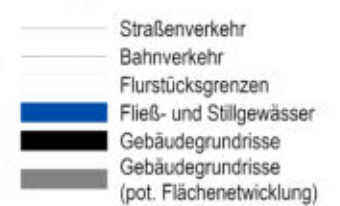
Kaltluftschichtdicke



bodennahes Strömungsfeld

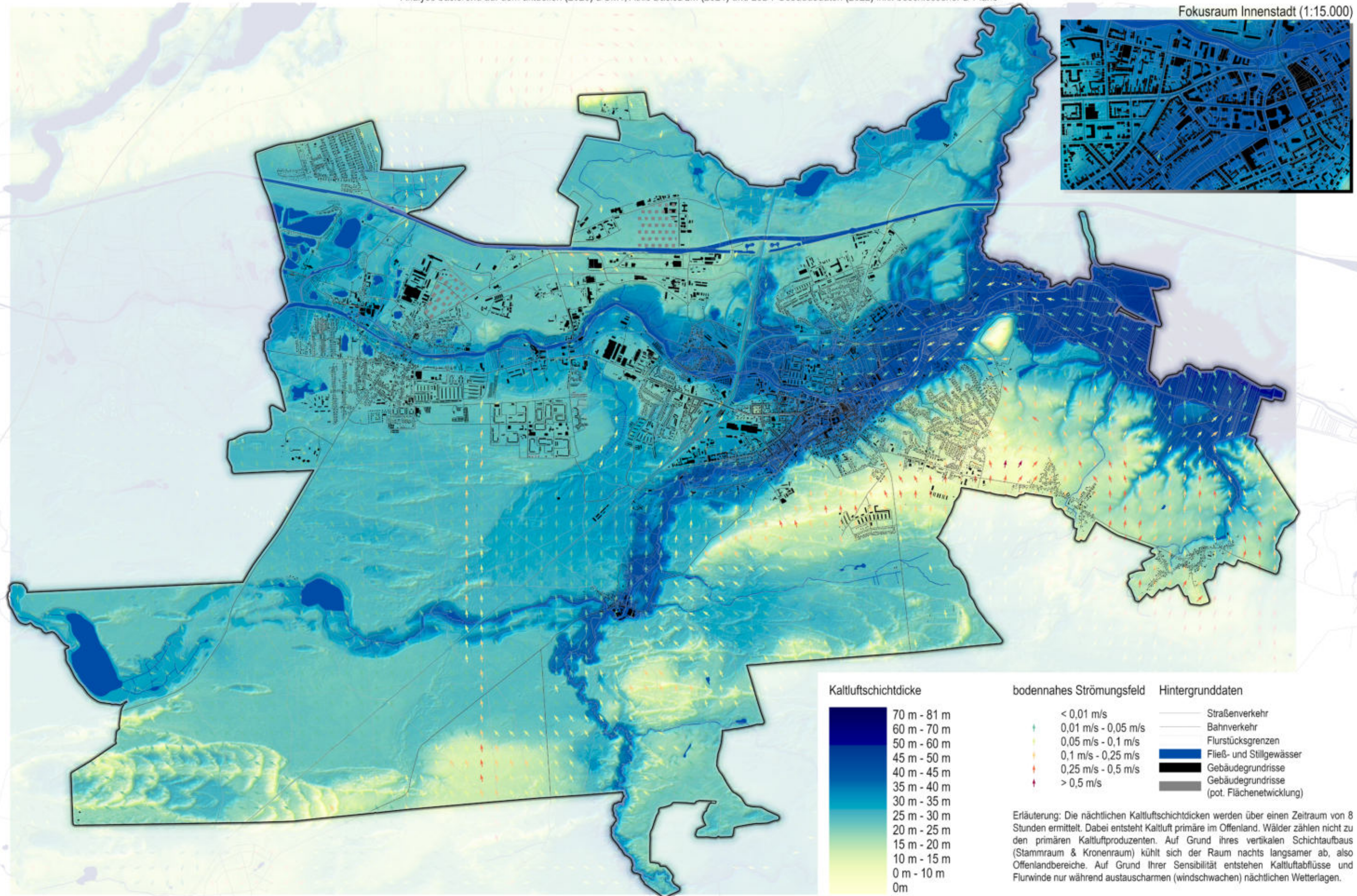


Hintergrunddaten

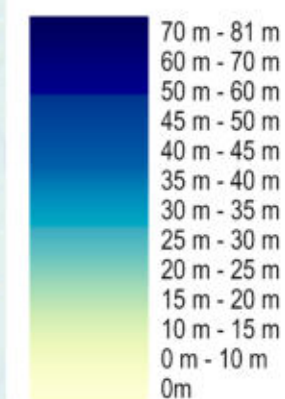


Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.

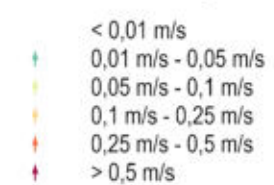




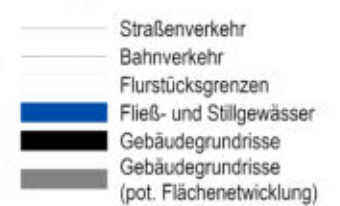
Kaltluftschichtdicke



bodennahes Strömungsfeld

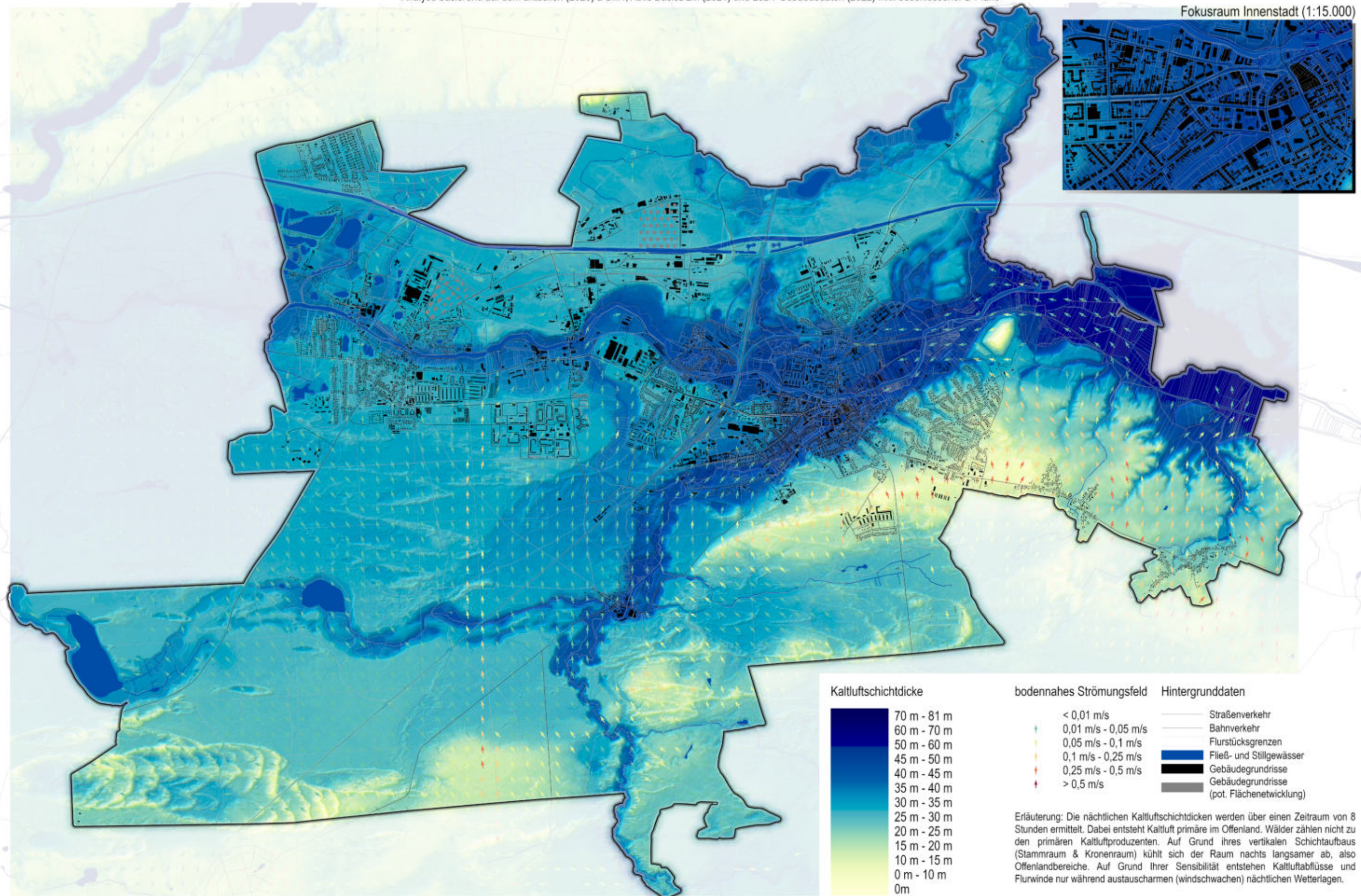


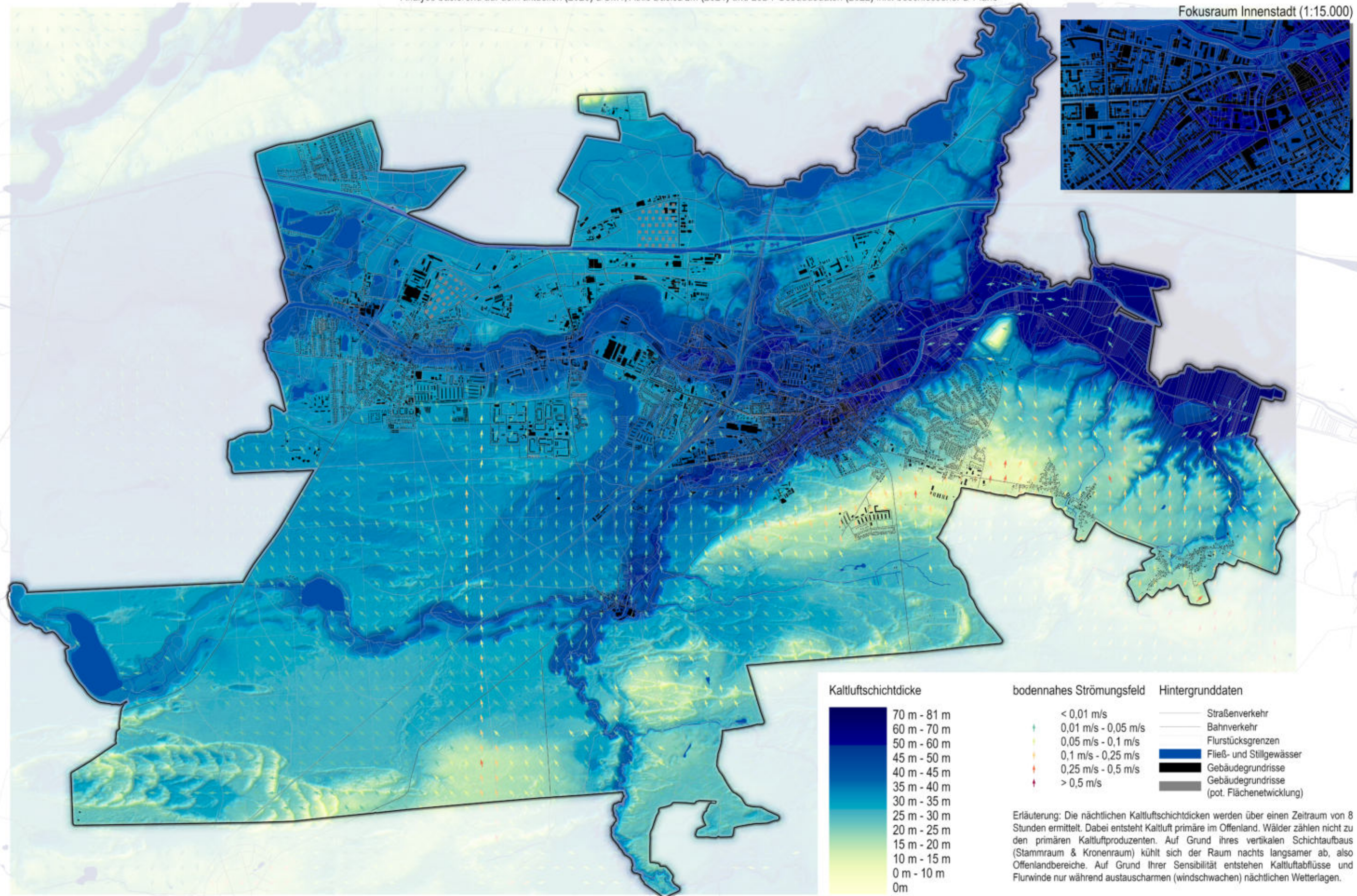
Hintergrunddaten



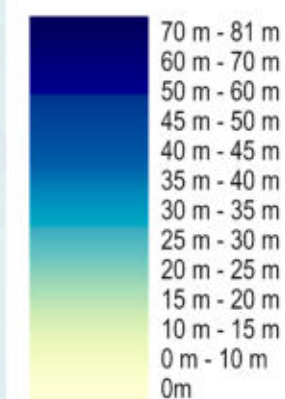
Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund Ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.



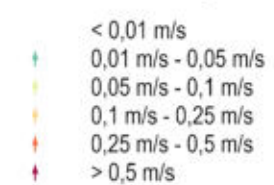




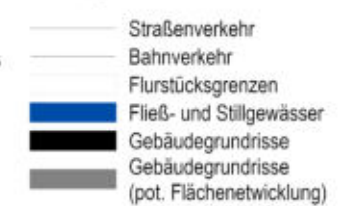
Kaltluftschichtdicke



bodennahes Strömungsfeld

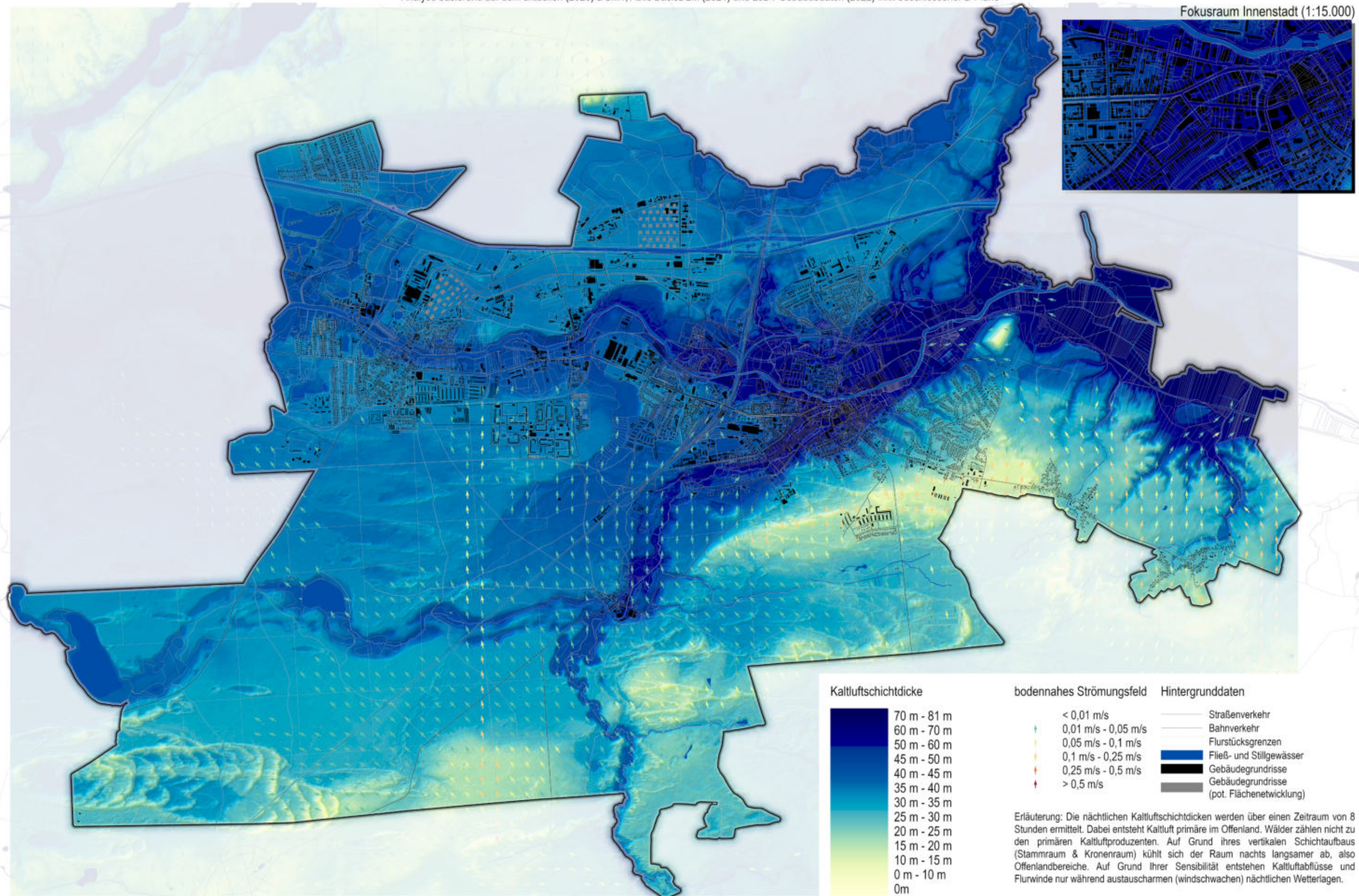


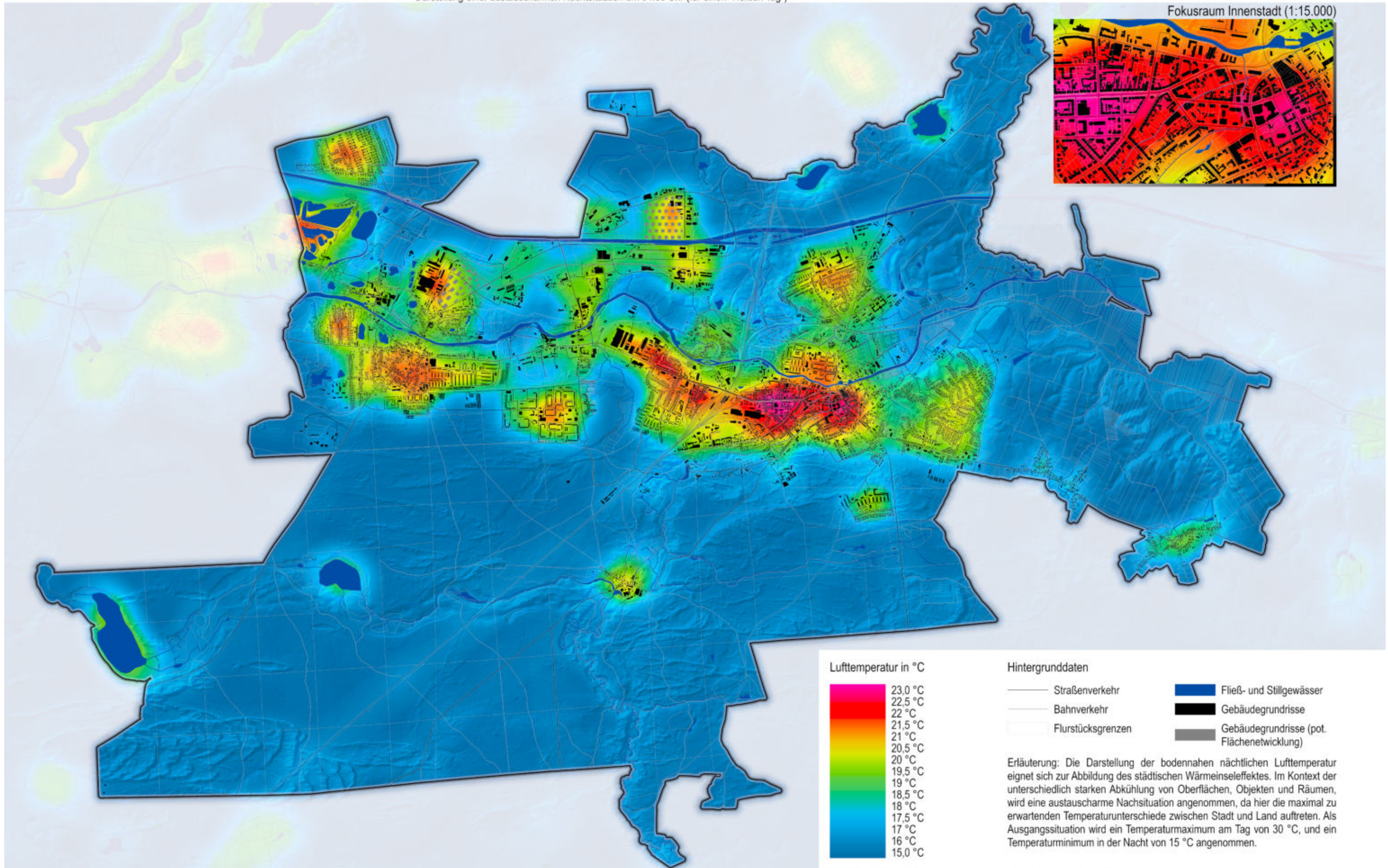
Hintergrunddaten



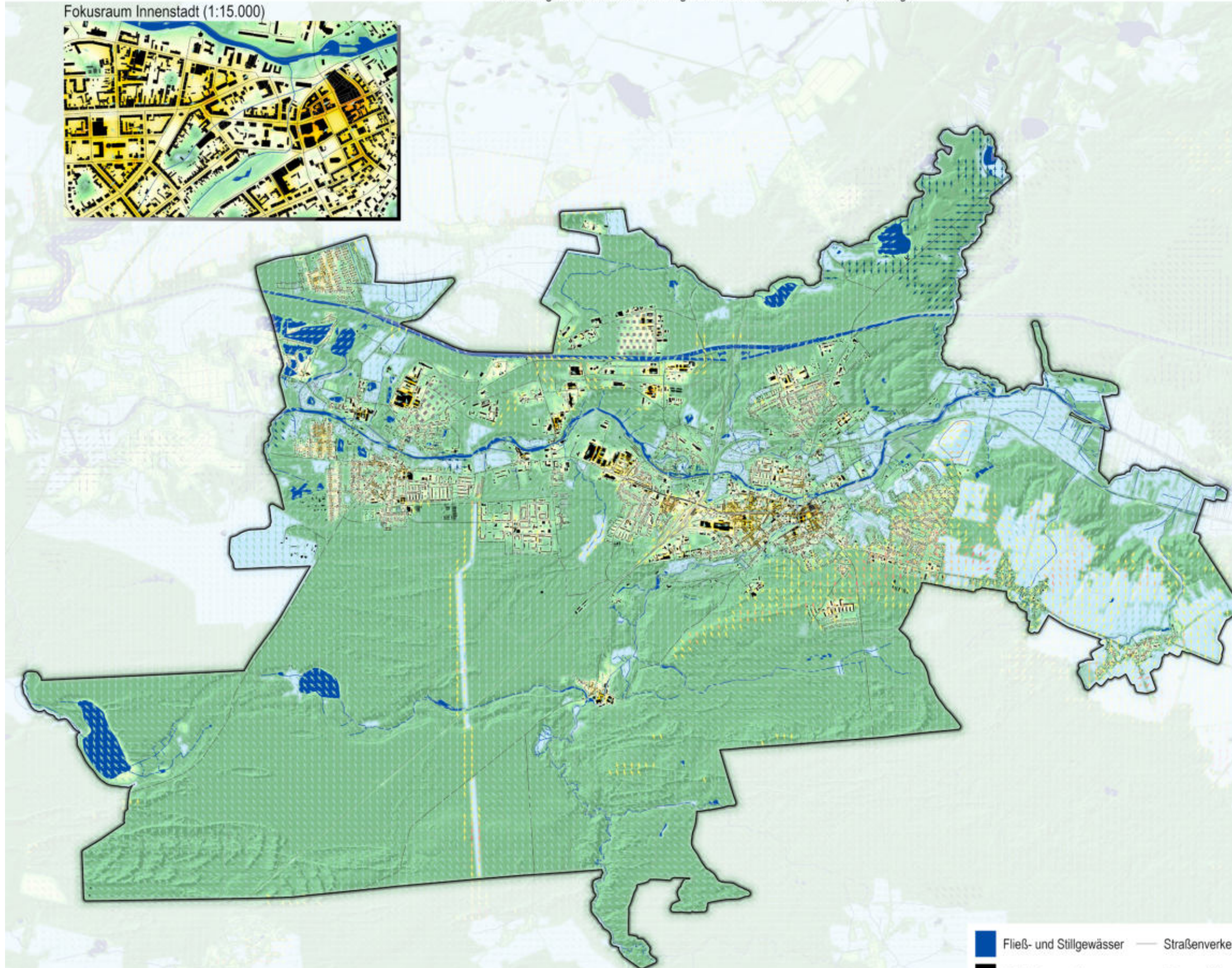
Erläuterung: Die nächtlichen Kaltluftschichtdicken werden über einen Zeitraum von 8 Stunden ermittelt. Dabei entsteht Kaltluft primäre im Offenland. Wälder zählen nicht zu den primären Kaltluftproduzenten. Auf Grund ihres vertikalen Schichtaufbaus (Stammraum & Kronenraum) kühlt sich der Raum nachts langsamer ab, also Offenlandbereiche. Auf Grund Ihrer Sensibilität entstehen Kaltluftabflüsse und Flurwinde nur während austauschenden (windschwachen) nächtlichen Wetterlagen.







Fokusraum Innenstadt (1:15.000)



Klimafunktion des Raums

Freilandklimatop (Kaltluftentstehung)
Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich. Sie sind meist durch niedrigen Bewuchs geprägt, womit eine geringe Oberflächenrauigkeit gegeben ist. Diese Flächen zählen zu den Günstigsten mit einer hohen nächtlichen Abkühlungsrate, vornehmlich auf Grünland und landwirtschaftlichen Flächen oder Brachen.

Waldklimatop (Frischlufteinstellung)
Flächen ohne / nahezu ohne Emissionsquellen. Hauptsächlich mit dichtem Baumbestand und hoher (Luftschadstoff) Filterwirkung.

Misch- und Übergangsklimatop
Vegetationsgeprägte Gebiete ausreichender Größe, um ein lokales klimatisches Ausgleichspotential zu generieren. Diese Flächen besitzen eine hohe klimaökologische Wertigkeit als Puffer- und Ausgleichsflächen in Nachbarschaft zu klimatisch belasteten Gebieten. Auf diesen Flächen findet eine ausreichende lokale Belüftung und Evapotranspiration statt, wodurch sie insbesondere in den Sommermonaten eine wichtige klimatisch regulierende Funktion übernehmen.

Vorstadtklima
Baulich geprägte Gebiete mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen und moderatem nächtlichen Abkühlungspotential. Belüftung kann durch Bebauung eingeschränkt sein.

Stadtklima
Verdichtete Gebiete mit großen Baumassen. Freiräume meist vegetationsfrei / stark versiegelt. Überwärmungsrisiko erhöht.

Innenstadtklima
Stark verdichtete Gebiete, geprägt durch fehlende Vegetation und geringer Retentionseigenschaften. Teils stark eingeschränkte Belüftung. In Kombination mit großen Baumassen entsteht ein hohes Überwärmungsrisiko.

Bodennahes nächtliches Strömungsfeld

Das bodennahe (2 m über Grund) nächtliche Strömungsfeld stellt die Situation während einer ausstrahlungsnächtigen Strahlungsnacht dar. Dabei entsteht ein topographie- und druckinduziertes Strömungsfeld, welches maßgeblich für den Transport nächtlicher Kaltluftströme verantwortlich ist. Die Intensität dieser bodennahen Strömungsschicht liegt zwischen 0,0 m/s und 1,5 m/s.

Erläuterung: Die Klimafunktionskarte unterteilt den Raum in unterschiedliche Klimatoppe, von dem jedes eine eigene besondere klimatische Charakteristik aufweist. Dabei kann die Klimafunktionskarte als eine klimatische Zusammenfassung der unterschiedlichen Themenkarten verstanden werden. Ergänzt werden die Klimatoppe durch die Darstellung des bodennahen nächtlichen Windfeldes.



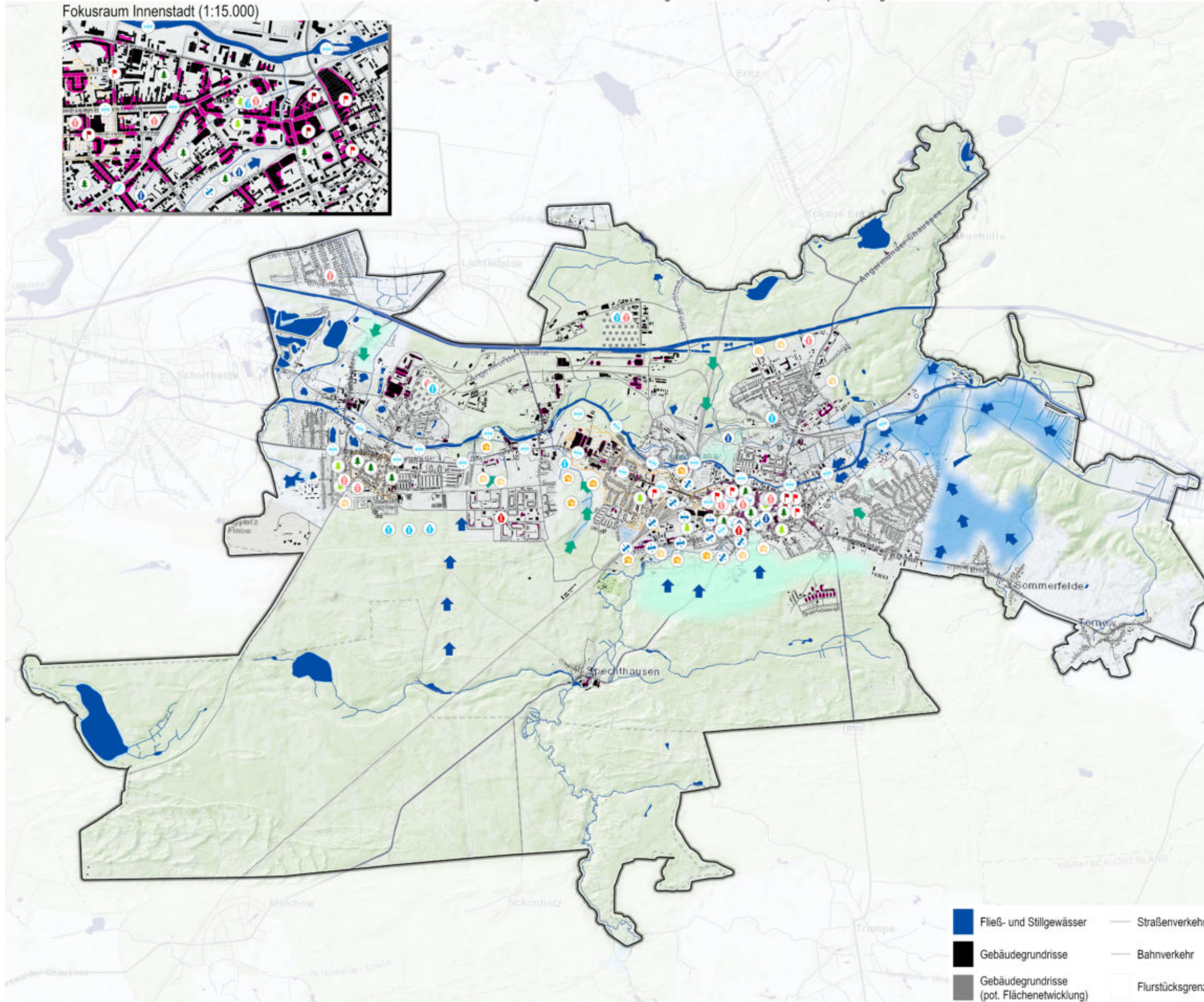
- Fließ- und Stillgewässer
- Gebäudegrundrisse
- Gebäudegrundrisse (pot. Flächenentwicklung)
- Straßenverkehr
- Bahnverkehr
- Flurstücksgrenzen

Stadtklimaanalyse Eberswalde

Planungshinweiskarte

Darstellung der stadtklimatischen Gegebenheiten in Form von Klimatopzuordnungen

Fokusraum Innenstadt (1:15.000)



Räume besonderer Planungsrelevanz

- Innerstädtische Vegetation (Räume sehr hoher klimatischer Bedeutung)
 - Innerstädtische Vegetation (Räume hoher klimatischer Bedeutung)
 - Kaltluftversorgung (sehr hoher klimatischer Bedeutung)
 - Kaltluftversorgung (hoher klimatischer Bedeutung)
 - Siedlungsräume (mit sehr starker klimatischer Belastung)
 - Siedlungsräume (mit starker klimatischer Belastung)
 - Durchlüftungssachsen (sehr hoher klimatischer Bedeutung)
 - Durchlüftungssachsen (hoher klimatischer Bedeutung)
 - Bebauungsfreie Räume (mit sehr hoher klimatischer Bedeutung)
 - Bebauungsfreie Räume (mit hoher klimatischer Bedeutung)
 - Potentieller Retentionsraum (sehr hoher Bedeutung)
 - Potentieller Retentionsraum (hoher Bedeutung)
 - Potentieller Überschwemmungsbereich (sehr hoher Bedeutung)
 - Potentieller Überschwemmungsbereich (hoher Bedeutung)
 - Kaltluftentstehungsgebiete im Siedlungskontext (sehr hoher klimatische Bedeutung)
 - Kaltluftentstehungsgebiete im Siedlungskontext (hoher klimatische Bedeutung)
 - Räume mit defizitärer Kaltluftversorgung
 - Räume mit erhöhter räumlicher Dichte
- Vegetation die in mitten des Siedlungsraum gehäuft vorkommt und dadurch eine klimatische Ausgleichsfunktion mit Fernwirkung besitzt.
- Räume die die städtische Kaltluftversorgung durch Kaltlufttransport über das bodennahe Strömungsfeld unterstützen.
- Klimatisch belastete Räume die einer Aufwertung bedürfen. Beispielsweise durch Verschattung, Materialanpassung, Nutzungsanpassung, etc..
- Räume mit geringer Barrierewirkung die einen bedeutsamen und positiven Effekt auf das städtische Durchlüftungspotential haben.
- Räume die aktuell unbebaut sind und aufgrund ihrer klimatisch bedeutsamen Lage und Charakteristik möglichst freizuhalten sind.
- Räume die aufgrund ihrer Lage und der natürlichen Senkungsituation als Retentionsräume sind und gleichzeitig die Wasserlast lokal vermindern können.
- Räume die im Siedlungsraum liegen, und die bedingt durch ihre Senkungsituation einen Gefährdungsbereich darstellen.
- Offen geprägte Räume und Flächen mit hoher Kaltluftproduktion und die, bedingt durch ihre Lage, für den Siedlungsraum als klimatischer Ausgleich bedeutsam sind.
- Siedlungsbereiche in denen eine weitere Versiegelung von Vegetationsflächen vermieden werden sollte.
- Siedlungsbereiche in denen eine weitere städtebauliche Entwicklung (Nachverdichtung) nur bedingt stattfinden sollte.

Erläuterung:

Die Planungshinweise werden über die Karte als Punktsymbole dargestellt. Dabei beschreiben sie jedoch nicht nur einen einzelnen Punkt, sondern stehen für einen Bereich bzw. ein Gebiet. Dabei kann der Bezugsraum der Planungshinweise variieren. Für eine dezidierte Abgrenzung einzelnen Planungshinweise dienen die unterschiedlichen Themenkarten sowie die Klimafunktionskarte. Im Rahmen der Stadtklimaanalyse Eberswalde stellen die Planungshinweise eine wichtige Grundlage für ein gesamtstädtisches Klimaanpassungskonzept dar. Die aufgeführten Planungshinweise sind in die Kategorien „sehr hoch / sehr stark“ und „hoch / stark“ eingeteilt.

Die Räume mit Planungshinweisen sollten im Kontext der städtebaulichen Entwicklung als klimatisch „sehr sensibel“ und „sensibel“ eingestuft werden. Entsprechend der vorliegenden Planungshinweise, sollte geprüft werden, inwieweit die Entwicklung eines Raums den Planungshinweisen entgegensteht. Ergänzend verorteten Ungunstbereiche defizitäre Räume (in roter Symbolik dargestellt), die einer klimatischen Aufwertung bedürfen.

Planungshinweise mit „sehr hoher / sehr starker“ 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 / starker“ 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 / sehr starker“ klimatischer Bedeutung.



Hintergrundkarten | © GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, (Daten geändert)
Esri, HERE, Garmin, USGS, NGA

Stadt
Eberswalde

BPI
Burghardt und Partner, Ingenieure

9/2022