

Analyse der dynamischen Prozesse
der Be- und Durchlüftung sowie der Kaltluftpro-
duktion und des Kaltlufttransportes in der Stadt
Würzburg

September 2022

Auftraggeber (AG)

Stadt Würzburg

Stabsstelle Klimaschutz

Kamelitenstraße 20

97070 Würzburg

Ansprechpartner

Hr. Christian Göpfert

Tel.: +49 931 372686

E-Mail: christian.goepfert@stadt.wuerzburg.de

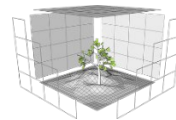


Auftragnehmer (AN)

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

Analyse der dynamischen Prozesse der Be- und Durchlüftung der Stadt Würzburg uneingeschränkt, zur öffentlichen Verwendung.

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

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

Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Unterschrift

René Burghardt

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 25.10.2021

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung.....	1
I.1	Auftragsgegenstand	1
I.2	Untersuchungsraum.....	1
II.	Fachliche und planerische Einordnung des Gutachtens.....	2
III.	Fachliche Grundlagen.....	4
III.1	Kaltluft	4
III.2	Flurwind	5
III.3	Durchlüftung	6
IV.	Eingesetzte Software.....	9
IV.1	Geoinformationssystem.....	9
IV.2	Airflow Analyst	9
IV.3	KLAM_21.....	9
V.	Verwendeten Modellparameter.....	10
V.1	Kaltluftproduktion, Kaltlufttransport und Flurwinde.....	10
V.2	Regionaltypische Windfeldberechnungen	10
VI.	Ableitung Kaltluft und Luftleitbahnen.....	11
VI.1	Kaltluft.....	11
VI.1.1	Abschätzung der Auswirkungen eines Eingriffs nach VDI 3787 Bl. 5	11
VI.1.2	Maßnahmen zur Minimierung von Eingriffsfolgen (ergänzt nach VDI 3787 Bl.5).....	12
VI.2	Luftleitbahnen.....	13
VII.	Ergebnisse.....	14
VII.1	Vegetationsräume im Untersuchungsgebiet	14
VII.2	Kaltluftproduktion und Kaltluftschichtdicken im Stadtgebiet	16
VII.3	Bewertung der Potential- und Vorbehaltsgebiete	18
VII.3.1	Städtische Grünflächen und topographische Einzugsgebiete.....	18
VII.3.2	Planungskarte	22
VIII.	Zusammenfassung.....	26
IX.	Anlagen.....	27
IX.1	Abbildungsverzeichnis	27
IX.2	Tabellenverzeichnis.....	27
IX.3	Literaturverzeichnis	28
IX.3.1	Bodennahes nächtliches Windfeld (aus Flurwind und Kaltluft)	29

I. Einleitung

I.1 Auftragsgegenstand

Die Stadt Würzburg verfügt seit dem Jahr 2016 (2018 aktualisiert, siehe Abbildung 1) über eine Klimafunktionskarte (KFK), die im Rahmen einer Stadtklimauntersuchung erstellt wurde. Im Kontext dieser Analyse wurden auch die Themenbereiche der städtischen Durchlüftung sowie der Kaltluftentstehung und des -transportes betrachtet. Zur Berücksichtigung der entsprechenden Belange in Planungsprozessen ist eine vertiefende dynamische Analyse des Stadtgebietes im Hinblick auf das nächtliche Kalt- und Flurwindssystem sowie die durch die regionaltypischen Anströmungsverhältnisse induzierten Windfelder erforderlich.

I.2 Untersuchungsraum

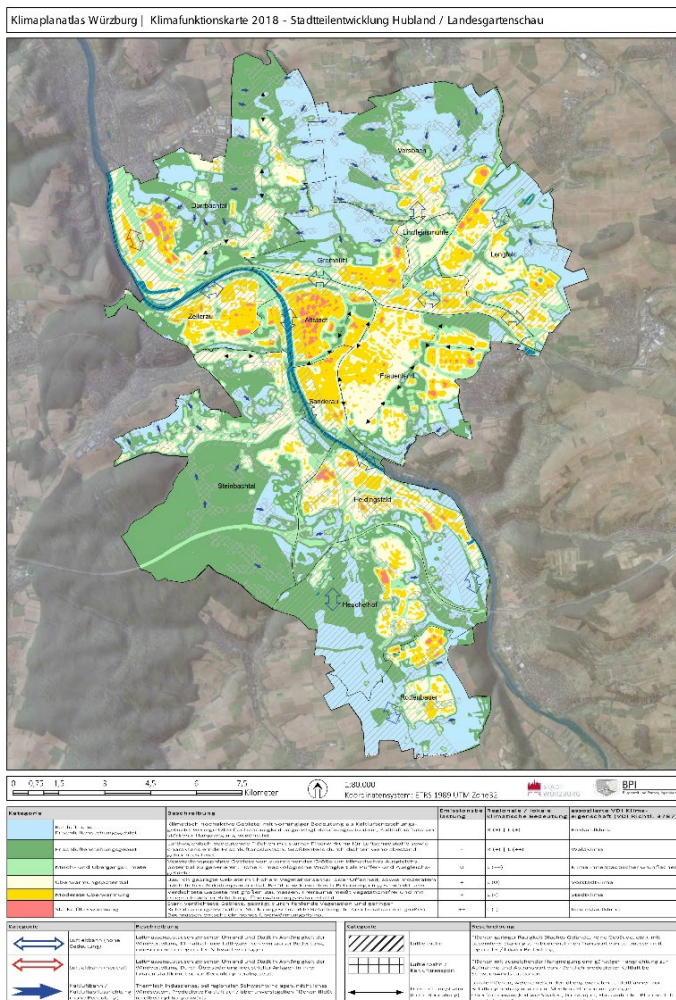


Abbildung 1 Klimafunktionskarte der Stadt Würzburg 2018

Die Innenstadt verfügt innerhalb des Ringparks, der die Innenstadt als Grüngürtel umschließt, kaum über öffentliche Frei- und Grünflächen. Die dominierenden / hervorstechendsten Freiraumelemente im Stadtgebiet sind der Main, der Ringpark, der Botanische Garten sowie die umliegenden Weinberge.

„Mit seiner flach gewellten Oberfläche liegt Würzburgs Siedlungsraum eingebettet im Mainfränkischen Becken. Dieses wird eingerahmt von den Höhenzügen des Odenwalds und Spessarts im Westen, der Rhön und dem Thüringer Wald im Norden sowie den Schichtstufen der Haßberge, des Steigerwaldes und der Frankenhöhe im Osten. Das Mainfränkische Becken wird durch den Main und seinen Nebenflüssen in einzelne Platten [...] gegliedert und in [...] tiefe Täler zerschnitten.“ (Künstler 2009).

Würzburgs höchster Punkt liegt mit 360 m über NN auf der Frankenwarte, der tiefste Punkt mit 166 m über NN am Neuen Hafen. Würzburg wird klimatisch stark durch topographische Gegebenheiten definiert. Die ausgeprägte Kessellage begünstigt das Risiko von Inversionswetterlagen, welche im Raum Würzburg vornehmlich im Winter auftreten. Die

II. Fachliche und planerische Einordnung des Gutachtens

Die Analyse zur Be- und Durchlüftung sowie zur Kaltluftproduktion und des Kaltlufttransportes in der Stadt Würzburg gliedert sich inhaltlich und zeitlich in eine Reihe stadtklimatischer Untersuchungen für die Stadt Würzburg ein. Das vorliegende Fachgutachten adressiert die Aspekte der nächtlichen Kaltluftproduktion sowie des Kaltlufttransportes. Entsprechend wird auf Grundlage eines numerischen Berechnungsmodells (KLAM21) des DWD, hochaufgelöst die Gesamtsituation für die Gemarkung der Stadt Würzburg (und darüber hinaus) berechnet. Damit befindet sich das vorliegende Gutachten auf der räumlich-betrachteten mesoklimatischen Ebene (vgl. Abbildung 2). Übergeordnete Gutachten werden bspw. durch die Klimafunktionskarte der Stadt Würzburg sowie die Schutzgutkarten des LfU Bayern abgebildet. Letztgenannte stellt die nächtliche Kaltluftsituation flächendeckend für den Freistaat Bayern dar. Dieser Analyse liegt jedoch eine räumliche Auflösung von 100 m zugrunde, wodurch Strukturen wie bspw. Gebäude nicht dezidiert, räumlich aufgelöst werden. Im durchgeführten Abgleich der Ergebnisdaten der vorliegenden Untersuchung mit denen der LfU Schutzgutkarten Luft / Klima findet sich ein hoher Grad der Übereinstimmung, jedoch übersteigt die Detailschärfe der vorliegenden Berechnungen, die der LfU Schutzgutkarten Luft / Klima sowie der Klimafunktionskarte (im Kontext der Ausweisung des Kaltlufttransportes), da die Kaltluftabflussräume in der Klimafunktionskarte allein über die topographischen Gegebenheiten abgeleitet wurden, während das vorliegende Gutachten einer komplexeren numerischen Simulation, unter Berücksichtigung mehrerer Einflussparameter zu Grunde liegt. Trotz des höheren Detailgrades bleibt die Aussagekraft des vorliegenden Gutachtens auf die mesoklimatische Planungsebene beschränkt. Weitere, für den Raum Würzburg vorliegende klimatische Arbeiten beziehen sich auf den klimatischen Übergangsbereich zwischen Meso- und Mikroklima (Bauflächenbewertung) oder rein auf die mikroklimatische Ebene (mikroklimatische Gutachten).

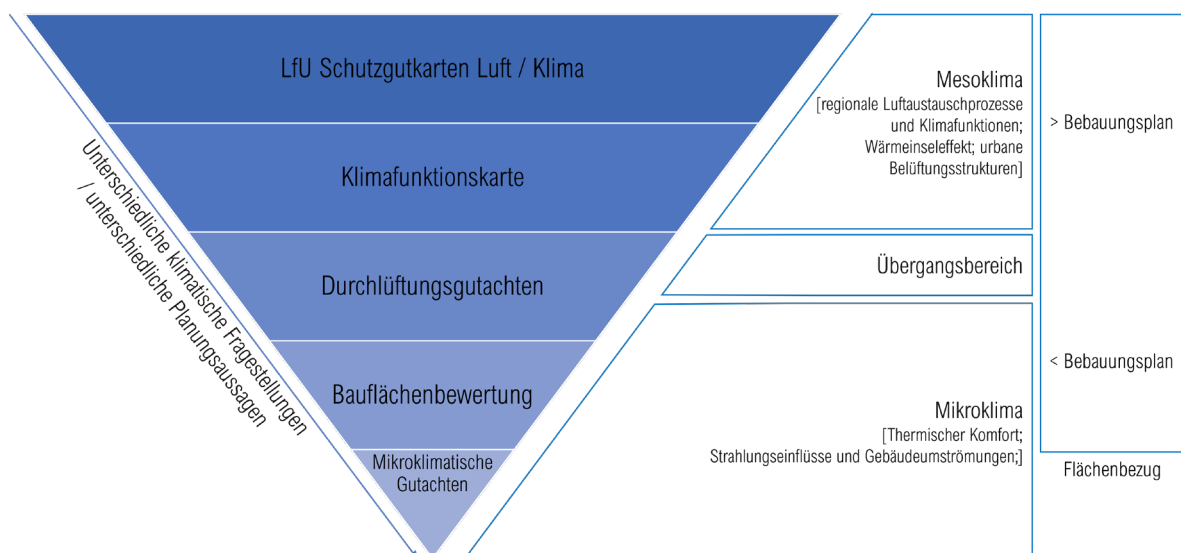


Abbildung 2 Fachlich-planerischer Bezug / Verknüpfung (der für die Stadt Würzburg) vorhandener klimatischer Gutachten

Daraus folgt, dass bspw. die Klimafunktionskarte weiterhin die relevante Analyse zur Darstellung der gesamten stadtklimatischen Situation darstellt. Bei der Verwendung im Planungsalltag kann nun aber die Klimafunktionskarte um die Planungsaussagen der vorliegenden Analyse ergänzend betrachtet werden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn bspw. Aspekte der täglichen Überwärmung (z.B. durch Gebäudemassen) vor dem Hintergrund des nächtlichen Abkühlungspotentials oder der Durchlüftung betrachtet

werden müssen. Durch die unterschiedlichen klimatischen Ebenen ist jedoch ein direkter Vergleich zwischen den Inhalten der klimatischen Arbeiten nicht möglich und auch die Übertragung von bspw. Planungsaussagen aus dem mesoklimatischen Kontext auf eine mikroklimatische Fragestellung würde klimatisch-fachliche nicht valide Aussagen zur Folge haben. Entsprechend bedarf es der fachlichen Expertise der Klimaanpassungsmanagerin, um klimatische Aussagen unterschiedlicher Planungsebenen im Kontext möglicher Rahmenparameter korrekt zu interpretieren. Die in den Abbildung 10 und Abbildung 11 (Anlagen) dargestellten numerisch berechneten Windfelder während des Tages entsprechen den Luftleit- und Durchlüftungsbahnen, die in den vorhergegangenen Untersuchungen geostatistisch bestimmt wurden. Sie bieten jedoch eine genauere Ausdifferenzierung der urbanen Windfeldsituation in Abhängigkeit der drei für den Würzburger Raum typischen Windrichtungen. Die in dieser Untersuchung erarbeitete Planungskarte (Abbildung 9) dient als planungsrelevante Entscheidungsgrundlage für das Themenfeld der Kaltluftentstehung und des Kaltluft-transportes für den Raum Würzburg.

III. Fachliche Grundlagen

III.1 Kaltluft

Auf mikro- und mesoskaliger Ebene beschreibt die Kaltluftentstehung den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Die Entstehung der Kaltluft beginnt während des Sonnenuntergangs, bedingt durch die fehlende solare Einstrahlung sowie die gleichzeitig beginnende thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht, und dauert bis in die frühen Morgenstunden an.

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

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

Fehlendes Gefälle bei diesen Kaltluftentstehungsflächen reduziert die Kaltluftproduktion nicht, limitiert allerdings den Wirkungsbereich durch den fehlenden Kaltluftabfluss. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde den Kaltlufttransport unterstützen. Waldgebiete auf stark geneigten Flächen (LANUV NRW 2018) tragen ebenfalls zur Kaltluftproduktion bei. Durch die Neigung des Geländes wird die Durchströmung des kühleren Stammraums (Aufheizung wird durch die Baumkronen verringert) unterstützt, wodurch der Kaltluftabfluss aus dem bodennahen Waldbereich möglich wird. Grundsätzlich zählen Waldgebiete gegenüber den Acker- und Wiesenstandorten zu den sekundären Kaltluftentstehungsgebieten. Ihre primäre Funktion ist die der Frischluftproduzenten. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von 100 m Metern und darüber hinaus anwachsen.

In Tabelle 1 werden Ergebnisse verschiedener Studien zur Kaltluftentstehung in Abhängigkeit zur Landnutzung, in Form von Volumen (m^3) pro Quadratmeter (m^2) und Stunde (h) wiedergegeben. Trotz der abweichenden Angaben zu den einzelnen Produktionsraten kann zusammenfassend abgeleitet werden, dass die bereits oben genannten natürlichen, unversiegelten Untergründe für die Kaltluftentstehung entscheidend sind. Zudem kann eine geringe Bodenrauheit (keine bodennahen Hindernisse wie z.B. Mauern, dichte Büsche, etc.) zu einem besseren Abflussverhalten am Hang führen, wodurch der Einflussbereich steigt. Im Durchschnitt wird den Acker- und Wiesenflächen das höchste Kaltluftentstehungspotential zugeordnet.

In der Regel handelt es sich bei diesen Luftmassen um weniger stark belastete Luft, weshalb sie auch im Zusammenhang mit dem städtischen Luftaustausch oft als „Frischluf“ bezeichnet wird. Dennoch bleibt anzumerken, dass bspw. durch die Überströmung lufthygienischer Defizitbereiche auch die Kaltluft belastet werden kann, sodass es sich dann nicht mehr um „Frischluf“ handelt.

Tabelle 1 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds.

	Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter Boden pro Stunde (m ³ /m ² /h)			
	Acker	Wiese	Wald	Siedlung
King (1973)	Keine Angaben	12	Keine Angaben	Keine Produktion
Gross (1987, 1989)	11	11	13	Keine Produktion
GEONet (2002)	10 - 20	Keine Angaben	(5 – 40)*	Keine Produktion
GEONet (2011)	10 - 15	20	15	1

* Die Angaben zur Kaltluftproduktion sind nicht dezidiert unterschiedlichen Waldflächen zuzuordnen. Jedoch variiert die Produktionsrate in Abhängigkeit der der Vegetationsvitalität, der Vegetationsdichte, des Bodens, des vorherrschenden Gefälles und der Einbettung der Flächen in den landschaftlichen Kontext.

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 unterstreicht diese Bedeutung mit der Forderung, Kaltluftentstehung und Kaltluftabflüsse in der Stadt- und Regionalplanung zu berücksichtigen.

III.2 Flurwind

Neben den durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen sogenannte Flurwinde aus. Das Flurwindssystem beschreibt Druckausgleichsströmungen zwischen verschiedenen Fluren (z.B. Stadt-Umland) wodurch das - durch Bebauung bedingte Windsystem - in diese Kategorie fällt. Sie sind an ein flaches Relief, bzw. an hindernisarme Freiflächen (Leitbahnen) gebunden. Flurwinde entstehen, wenn sich (insbesondere) durch die Überwärmung bebauter, bzw. versiegelter Gebiete – und dem damit einhergehenden konvektiven Aufstieg von Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut (siehe Abbildung 3). Der entstehende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Druckausgleichsströmung).

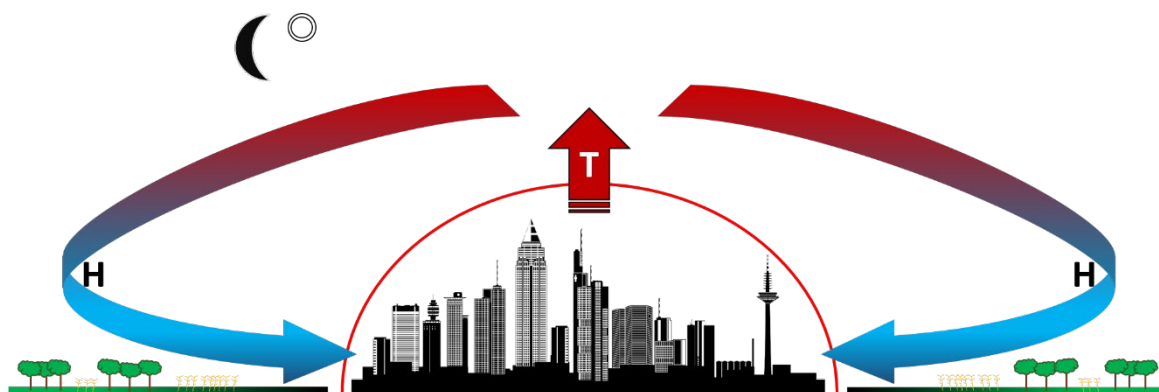


Abbildung 3 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.

Im Gegensatz zu den topographischen Windsystemen ist dieses System eher in Städten mit einem flachen Relief bzw. in ausgeprägten (Tal-)Niederungen zu finden. Entsprechend fördert der druckinduzierte Flurwind auch den Luftaustausch bzw. die Kaltluftversorgung verdichteter urbaner Gebiete, da das Druckgefälle

zwischen überwärmter (Innen)Stadt und den kühleren Kaltluftammelgebieten fördern kann. Es unterstützt die Kalt- und Frischluftzufuhr und den Luftabtransport, allerdings sind Flurwinde in der Regel in ihrer Intensität schwach ausgeprägt.

III.3 Durchlüftung

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

Hinsichtlich der Rauigkeit einer Oberfläche oder eines Terrains sind zwei Parameter von Relevanz, zum einen die Rauigkeitslänge (Z_0) und zum anderen die Nullpunktverschiebung (Z_d). Typische Werte beider Rauigkeitsparameter für unterschiedliche Beispiele werden in Tabelle 2 wiedergegeben. Bei Z_0 handelt es sich um eine fiktive Höhe über dem Boden, in der die Windgeschwindigkeit theoretisch gleich Null ist. Z_d beschreibt den vertikalen Versatz von Z_0 (siehe Abbildung 4). Je höher die Werte von Z_0 und Z_d , desto stärker wird das Windprofil verformt, was u.a. eine Verminderung der Windgeschwindigkeit im Urban Canopy Layer (UCL) zur Folge hat. Der UCL beschreibt in der Stadt die Atmosphärenschicht zwischen Erdoberfläche und mittlerer Hausdachhöhe (Stadthindernisschicht), also den typischen Lebensraum für Menschen in der Stadt.

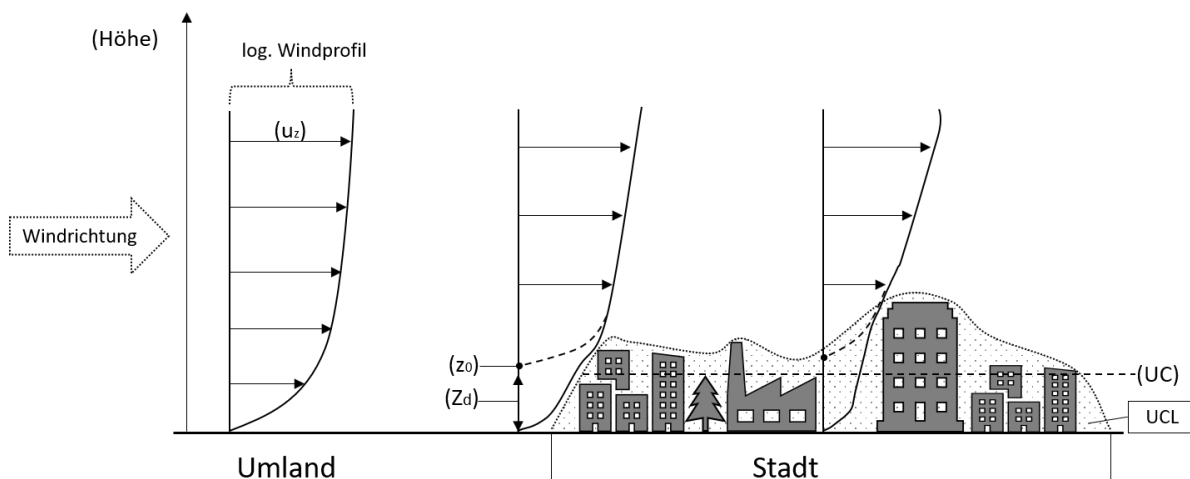


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC).

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

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

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

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

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

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

Mit Hilfe der berechneten städtische Porosität können klare Planungshinweise abgeleitet werden. Durch die Erfassung mehrere Bereiche mit einer hohen Porosität können Durchlüftungspotentiale definiert und in der

Klimafunktionskarte dargestellt werden.

Luftleitbahn ist der allgemeine Sammelbegriff für Belüftungskorridore und deutet darauf hin, dass in diesem Bereich die Belüftung in Abhängigkeit von der Ausrichtung zur Anströmungsrichtung und der Bodenbeschaffenheit (geringe Bodenrauigkeit) genutzt wird. Eine Abgrenzung der Luftqualität wird nicht vorgenommen. Um die Lufthygiene zu verbessern, müssen emittierte Schadstoffe verdünnt und abtransportiert werden. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto einfacher gelingt dies. Die Windrichtung gibt vor, aus welchen Bereichen (unbebaute Flächen, Industrieflächen usw.) der Wind kommt und wohin sich die Schadstoffe möglicherweise ausbreiten (VDI 3787 Bl.8).

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.

IV. Eingesetzte Software

IV.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. Unter der Berücksichtigung bzw. der Erfassung räumlicher sowie zeitlicher Korrelationen, können Mehrwerte für Analyse, Planung und darauf basierende Entwürfe generiert werden. Gleichzeitig organisieren GIS Geodatenbestände und ermöglichen so die Verwaltung von räumlichen, zeitlichen und technischen Daten auf Datenbankebene.

IV.2 Airflow Analyst

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

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

IV.3 KLAM_21

Kaltluftproduktion und -abfluss

„KLAM_21 ist ein vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung. (...) Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig auswählbaren, rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt, typische Gitterpunktabstände sind dabei 20 bis 50 m. Die Modellgebietsgröße wird in der Regel so gewählt, dass alle relevanten Kaltfluteinzugsgebiete 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 Grund-

strömung 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 ihre mittlere Fließgeschwindigkeit oder die 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)

V. Verwendeten Modellparameter

V.1 Kaltluftproduktion, Kaltlufttransport und Flurwinde

Tabelle 3 Verwendete Modellparameter zur Berechnung des Kalt- und Flurwindsystems

Untersuchungsraum	Räumliche Auflösung	Simulationsdauer	Ausgabeschnitte	Ausgabegrößen
Stadtgebiet und Umland 250 km ²	10 m	8 Std	15min., 30min., 1Std., 2Std., (3Std.), 4Std., (5Std., 6Std., 7Std.), 8Std. () = berechnet, aber in den Ergebniskarten nicht dargestellt	- Kaltluflhöhe in m - Windgeschwindigkeit in m/s (bzw. cm/s) auf 2 m über Grund

V.2 Regionaltypische Windfeldberechnungen

Tabelle 4 Verwendete Modellparameter zur Berechnung der regionaltypischen Windfelder

Untersuchungsraum	Räumliche Auflösung & Richtung	Simulationsdauer (Iterationen)	Ausgabeschnitte	Ausgabegrößen
Stadtgebiet und Umland 180 – 250 km ²	10 m Anströmung aus Süd 180° Südwest 225° West 270°	25.000	Mittlere „u“ und „v“ Komponenten basierend auf einem stabilen Windfeld	- Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s auf ca. 10 m über Grund

VI. Ableitung Kaltluft und Luftleitbahnen

Kaltluftabflüsse und Luftleitbahnen stellen Räume mit einem hohen dynamischen Charakter dar. Während Kaltluftabflüsse dem topographischen Gefälle folgen und für den barrierefreien Abfluss der nächtlich produzierten Kaltluft von besonderer Bedeutung sind, stellen Luftleitbahnen Durchlüftungsachsen dar, die ungeachtet der Tag- oder Nachtsituation die regional- und lokaltypische Anströmung aufnehmen und so die Durchlüftung des Siedlungsraums unterstützen.

VI.1 Kaltluft

Nimmt man als messtechnisch nachweisbare Mindestfließgeschwindigkeit 0,3 m/s an, so ergibt sich als Mindesthangneigung über Wiesen und Ackerland etwa 1°, über höherem Bewuchs etwa 5°. Die Mindestgeländeneigung, bei der Kaltluftabflüsse auftreten, hängt somit von der Oberflächenrauigkeit ab; ein allgemeingültiger Mindestwert kann nicht angegeben werden. In Abhängigkeit der Geschwindigkeit, Richtung und Schichtdicke lassen sich Kaltluftabflüsse wie nachfolgend dargestellt untergliedern (VDI 3787 Bl.5).

Tabelle 5 Untergliederung von Kaltluftabflüssen

Art (Wirkung)	Fließgeschwindigkeit	Wirkung
Kaltluftabfluss (groß)	(1 m/s bis 3 m/s)	hangabwärts gering (bis 10 m)
Kaltluftakkumulation (mittel)	(0,5 m/s bis 1 m/s)	hangabwärts mittel (10 m bis 50 m)
Kaltluftstau (gering)	(< 0,5 m/s)	keine definierte Richtung, Wirbel groß (50 m bis > 100 m)

Zusammenfassend wurden die Vorranggebiete (siehe Abbildung 9) entsprechend nachfolgenden Kriterien, abgeleitet durch die VDI Richtlinie 3787 Blatt 5 bestimmt.

VI.1.1 Abschätzung der Auswirkungen eines Eingriffs nach VDI 3787 Bl. 5

Die Beurteilung der Änderung von Kaltluftentstehung und -abfluss auf Grund planerischer Eingriffe muss sich an den Verhältnissen des Ausgangszustands orientieren. Die Bedeutung dieser Eingriffe hängt auch von den Häufigkeiten des Auftretens von lokaler Kaltluft ab. So können geringe Intensitätsminderungen durch hohe Auftrittswahrscheinlichkeiten höheres Gewicht erlangen. Das bedeutet, dass Planungen / Maßnahmen mit negativen klimatischen Auswirkungen auch einem kumulierenden Effekt entwickeln können. **„Ein Richtwert hierfür liegt bei 30 % der Nacht“** (Erläuterungen vgl. VDI 3787 Bl. 5). Die Überprüfung (der Einflussnahme) kann mittels bestehender Datenanalyse (meteorologischer Messdaten) oder durchzuführender Messkampagnen in Kombination mit numerischen Modellierungen erfolgen.

Ferner ist die zeitliche Zuordnung von Kaltluftabflüssen mit Belastungen im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen. In wärmebelasteten Gebieten ist den Kaltluftabflüssen im Sommer eine höhere Bedeutung zuzumessen als im Winter.

Dieses Vorgehen bedeutet, dass die Auswirkungen einer Planung nicht allein durch die Kaltluftentstehung

und den Kaltluftabfluss bewertet werden, sondern dass herausgestellt werden muss, wie die planungsrelevanten Parameter in ihrer Gesamtheit verändert werden. Dies ist zurzeit durch den Einsatz von Modellen bzw. die Kombination von Messung und Modell möglich. Als Maß der Beeinflussung wird die prozentuale Änderung eines Parameters gegenüber dem Ist-Zustand angesetzt sowie die Häufigkeit des Auftretens. Daraus folgt: ***Eine Verringerung der Abflussvolumina oder der Abflussgeschwindigkeiten von mehr als 10 % ist bereits ein starker Eingriff mit weitreichenden – meist negativ zu bewertenden – Auswirkungen.***

Weitere wichtige Erkenntnisse zur Abschätzung der Auswirkungen eines Eingriffs sind:

- Im Lee des Wohngebietes tritt im Mittel eine Strömungsreduktion durch turbulente Durchmischung auf.
- Bei Kaltluftströmungen mit großer vertikaler Ausdehnung gegenüber der Hindernishöhe (z.B. Bergwinde) kann die Reichweite des Einflusses mit dem 20-fachen bis 30-fachen der Hindernishöhe abgeschätzt werden; bei tiefer, in die Fläche hinein, gestaffelten Hindernissen wie Wohngebieten auch noch deutlich mehr. Kaltluftabflüsse von geringer vertikaler Erstreckung können dagegen vollständig zum Erliegen kommen.
- Die Eindringtiefe der Kaltluft in das Wohngebiet ist in hohem Maße von der Gestaltung und Anordnung der Gebäude einschließlich der Außenanlagen sowie von der Größe der Wohnsiedlung abhängig. Grundsätzlich erfolgt bereits ab dem luvseitigen Rand eine Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit; in einigen hundert Metern Entfernung vom Ortsrand kann die Belüftungswirkung auf null reduziert sein. Zudem nimmt im Wohngebiet die eigenständige Temperaturcharakteristik der Kaltluft durch turbulente Durchmischung ab; sie erwärmt sich und verliert ihren eigenständigen Charakter.

VI.1.2 Maßnahmen zur Minimierung von Eingriffsfolgen (ergänzt nach VDI 3787 Bl.5)

Eingriffe sollten entsprechend ihres Charakters klimatisch ausgeglichen bzw. abgemildert werden. Dabei sind allgemeingültige Maßnahmen in ihrem Detailgrad begrenzt. Für detaillierte Maßnahmen bedarf es einer individuellen Betrachtung des Planungsvorhabens.

- Wohngebiet nicht unmittelbar in der Talachse platzieren, sondern im Übergangsbereich zu den Hanglagen.
- Zur Erzielung einer großen Eindringtiefe (Ziel der thermischen Entlastung) in die Bebauung Verzicht auf geschlossene Randbebauung, insbesondere im luvseitigen Bereich, und aufgelockerter Bauungsrand. Gebäudeanordnung parallel und nicht quer zur Talachse bzw. zur Strömungsrichtung der Kaltluft. Bauhöhen in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Kaltluft festsetzen. Freiräume (Schneisen) zwischen den bebauten Bereichen von dichter und höherwachsender Vegetation freihalten. Die Vegetation sollte nur die halbe durchschnittliche Gebäudehöhe erreichen.
- Haupterschließungsstraßen von der Leeseite her an das Wohngebiet heranführen, da andernfalls Kfz-Emissionen mit der Kaltluft in das Wohngebiet gelangen können.
- Verwendung emissionsarmer Brennstoffe für Heizungen oder Konzentration im Blockheizkraftwerk (BHKW) mit ausreichender Emissionshöhe (ca. doppeltes Dachniveau)
- Kein Anbau kälteempfindlicher Pflanzen im Bereich von Kaltluftammel- und -staubereichen

VI.2 Luftleitbahnen

Luftleitbahnen sind durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite geeignete Flächen für den bodennahen Luftmassentransport. Luftleitbahnen, auch als Ventilations- oder Durchlüftungsbahn bezeichnet, sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzelstehende Bäume), möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und größere Breite (möglichst größer als ein Längen-Breiten-Verhältnis 20 :1) gekennzeichnet. Sie ermöglichen den Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt und sind von besonderer Bedeutung, wenn sie entlang der regionaltypischen Anströmungsrichtung des Regionalwindes ausgerichtet sind.

Im Kontext der vorliegenden Untersuchung und der entsprechenden Fokussierung auf die nächtliche Kaltluftversorgung bzw. des -transportes sind regionalbedeutsame Luftleitbahnen für die Durch- bzw. Belüftung der Stadt nicht im Detail behandelt. Entsprechend behält die Identifikation der Luftleitbahnen gemäß der Klimafunktionskarte weiterhin ihre Bedeutung.

Nach Mayer et al. (1994) gelten als Anforderungen zur Ausweisung von stadtklimarelevante Luftleitbahnen nachfolgende Grundlagenkriterien:

- Genügend große Länge der Luftleitbahn in einer Richtung, mindestens 1000 Meter;
- Genügend große Breite, mindestens 50 Meter;
- Möglichst glatte Ränder, d.h. keine großen Bebauungs- und/ oder Bewuchsvorsprünge die zu einer zusätzlichen bzw. stetigen Verengung der Luftleitbahn führen. Als übergeordnet bedeutsame Fläche für die Durchlüftung des städtischen Raums sollte der Erhalt und die Funktionsfähigkeit der Luftleitbahn sichergestellt werden;
- Die längere Seite eines eingelagerten Hindernisses sollte parallel zur Achse der Luftleitbahn liegen, d.h. die effektive Breite eines Hindernisses quer zur Windströmung in der Luftleitbahn ist möglichst gering;
- Bei mehreren einzelnen Hindernissen in der Luftleitbahn sollte das Verhältnis von Hindernishöhe zu horizontalem Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hindernissen nicht größer als 0.1 für Gebäude bzw. 0.2 für Bäume sein.

VII. Ergebnisse

VII.1 Vegetationsräume im Untersuchungsgebiet

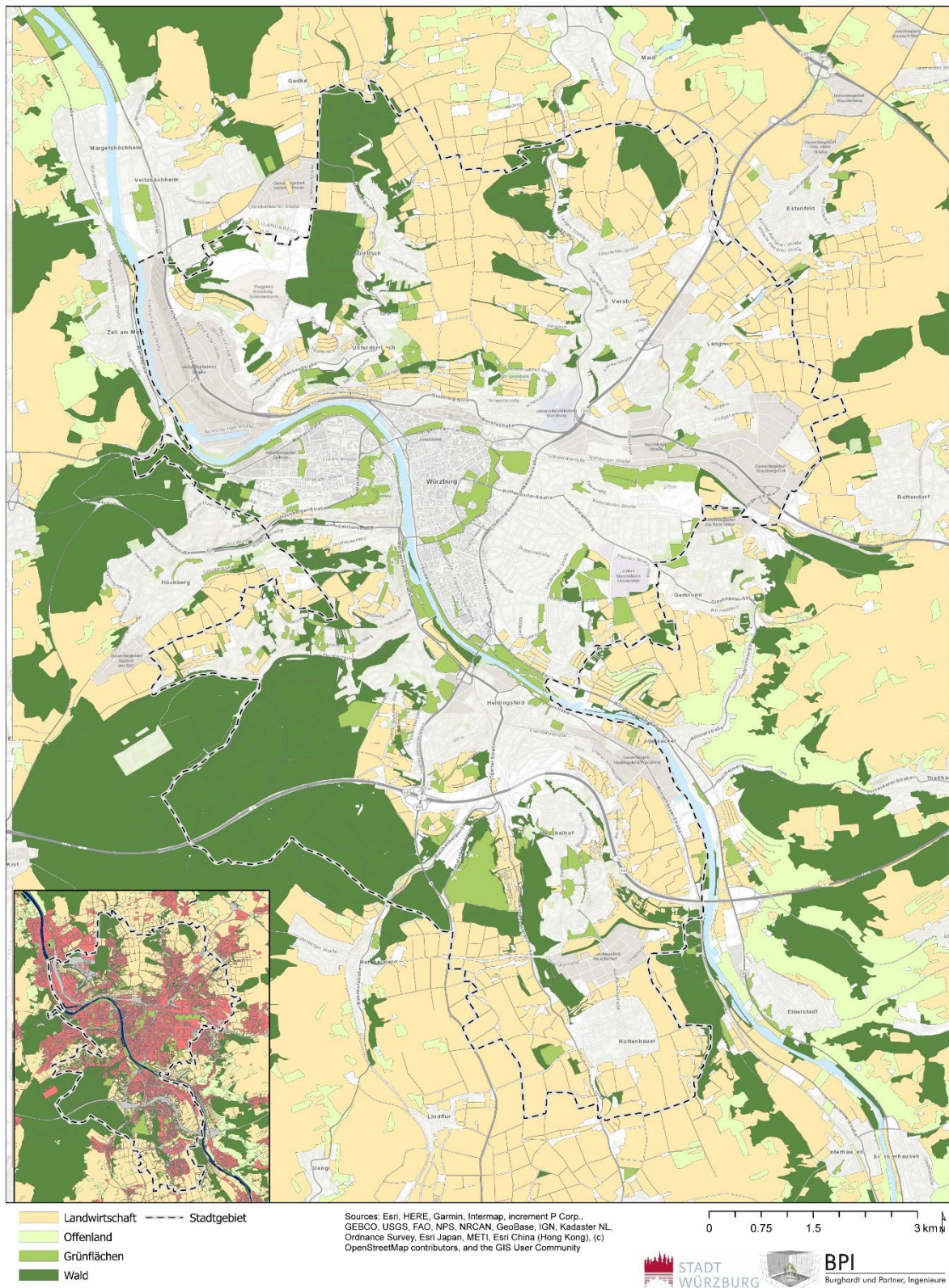


Abbildung 5 Flächenverteilung der Vegetationsstrukturen im Untersuchungsraum erfasst auf Grundlage des Atkis BasisDLM 2020

Die Vegetationsstrukturen im Untersuchungsraum (Abbildung 5) stellen die Grundlage für die, in der Klimafunktionskarte durchgeführten Identifizierung von klimatisch bedeutsamen Flächen der Kaltluft- und Frischluftentstehung dar. Dabei werden offen(land)geprägte Vegetationsräume der primären Kaltluftentstehung und bewaldete Flächen der primären Frischluftentstehung zugeordnet. Auf Grund der klimatisch wechselseitigen Beziehungen und gegenseitiger Einflussnahme von Räumen unterschiedlicher (Land)nutzung ist es typisch, dass kleinere Vegetationsräume innerhalb des bebauten Siedlungsraums nicht dem kaltluftentstehungsklimatop, sondern bspw. den Misch- und Übergangsklimaten zugeordnet werden. Dies kann auch der Fall sein, obwohl sie auf Grund Ihrer Größe (> 1 ha) potentielle Kaltluftentstehungsgebiete darstellen.

In der Gesamtbetrachtung zeigt sich die Dominanz offenlandgeprägter Flächen im Untersuchungsraum. Wald oder waldähnliche Räume sind zum einen heterogen um den eigentlichen Siedlungsraum verteilt, zum anderen wird der Südwesten des Stadtgebiets (Steinbachtal) und darüber hinaus von einem großen, für die Frischluftproduktion bedeutsamen Waldgebiet dominiert. Innerhalb des eigentlichen Siedlungsraums sind primär „Grünflächen“ als flächenhafte Vegetationsstrukturen vorhanden. Hierbei können kleinere baumbestandene Flächen gehören (wie z.B. der Friedhof oder der Grünzug Lehnleite). Vor dem Hintergrund der Identifizierung der Kaltluftentstehungsgebiete (in der Klimafunktionskarte) wurde alle Vegetationsräume im eigentlichen Siedlungsraum dezidiert bewertet.

Die Darstellung in Abbildung 5 beschreibt ausschließlich die Verteilung der Vegetationsstrukturen auf Grundlage der offiziellen Atkis Landnutzungskartierung, da diese auch als Grundlage für die in diesem Gutachten durchgeführten Kaltluftsimulationen diente. Im Rahmen der Erstellung der Klimafunktionskarte wurden zusätzlich alle Vegetationsstrukturen (≥ 1 m) im Stadtgebiet mit Hilfe von Nahinfrarot-Luftbildauswertung erfasst.

VII.2 Kaltluftproduktion und Kaltluftschichtdicken im Stadtgebiet

Kaltluftproduktion und Kaltlufttransport - Kaltluftschichtdicke in zeitlichen Schnitten

Stand 03/2020

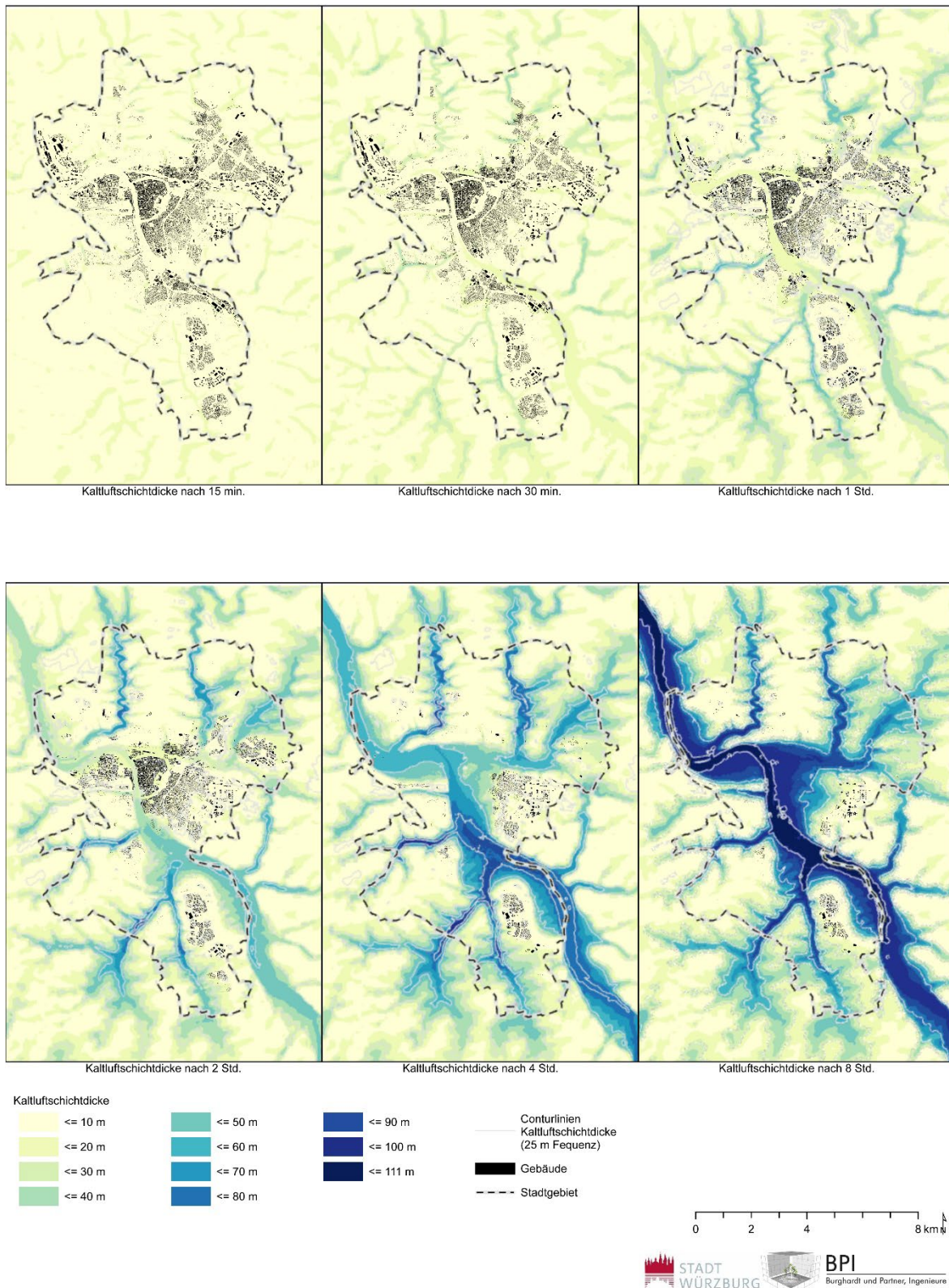


Abbildung 6 Kaltluftschichtdicken im nächtlichen Simulationsverlauf. Die Abbildung stellt dabei keine direkte Korrelation zwischen Kaltluftproduktion, -versorgung und der Lufttemperatur dar. Entsprechend bedeutet eine stärkere Kaltluftschichtdicke nicht gleichzeitig auch eine geringere Lufttemperatur. So bilden bspw. am Hang gelegene Offenlandflächen in der Regel nur eine geringe Kaltluftmächtigkeit aus, dass die gebildete Kaltluft abfließt. Gleichzeitig kann auf diesen Flächen die Lufttemperatur gegenüber dem Siedlungsraum jedoch signifikant geringer.

Entsprechend der Beschreibung in Kapitel III.1 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 bzw. überströmt wird. Die Berechnung der Kaltluftentstehung, des Kaltluftabflusses sowie des druckinduzierten Flurwindes geschieht innerhalb des DWD Programms Klam_21. Die Berechnung basiert auf der Landnutzung, Bebauungsstruktur und der Topographie. Ausgegangen wird 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 Flurwindes in den Siedlungsraum unterstützen.

Innerhalb der berechneten Modellergebnisse wird nicht dezidiert zwischen Flurwindkomponenten und Kaltlufttransportkomponente unterschieden werden, da diese Größen in gegenseitiger Abhängigkeit (s.o.) und Wechselbeziehung zueinander stehen. Entsprechend ist das nächtliche bodennahe Windfeld immer als Kombination aller relevanten Einflussgrößen zu betrachten, die einen direkten Einfluss auf die Bewegung / den Transport der Luftmassen haben.

Die in Abbildung 6 dargestellte Kaltluflhöhen wurde für eine Referenzzeitspanne von 8 Stunden nach Sonnenuntergang mit dem DWD Programm Klam_21 berechnet. Durch die heterogenen topographischen Gegebenheiten in der Region des Untersuchungsraums, kommt dem Flurwindsystems im Kontext der nächtlichen städtischen Abkühlung und Durchlüftung des Siedlungsraums eine untergeordnete Bedeutung zu. Dennoch entsteht auch in Würzburg, insbesondere während austauscharmer heißer Perioden, ein Druckgefälle zwischen des stark überwärmten innerstädtischen Raum (Unterdruck) und dem kühleren Umfeld (Überdruck), wodurch auch „unbewegte“ Kaltluft (z.B. in flachen Gebieten) in Bewegung gesetzt werden kann. Durch die Einbettung des Siedlungsraums in eine, durch das Maintal bedingte, Kessellage ist der nächtliche Kaltluftabfluss in der Region besonders stark ausgeprägt. Wie in Abbildung 5 dargestellt, werden bereits nach kurzer Auskühlungsphase (< 1 Stunde) großflächig Kaltluftschichtdicken von bis zu 15 m erreicht. Durch die hohe Intensität der Kaltluftproduktion in Kombination mit dem lokalen Flurwind (unterstützt durch die vorhandenen Luftleitbahnen), werden große Teile des Siedlungsraums bereits nach der Hälfte der simulierten Nacht mit Kaltluft (insbesondere der Altstadtbereich) überströmt. Nach Abschluss der Simulationsdauer von 8 Stunden wird sichtbar, dass alle, in den Niederungen und Tal-/Hanggebieten befindlichen, Siedlungsflächen mit Kaltluft überströmt werden. Nur einzelne, auf Kuppen/Plateau befindlichen, Siedlungsräume werden nicht komplett überströmt.

VII.3 Bewertung der Potential- und Vorbehaltsgebiete

VII.3.1 Städtische Grünflächen und topographische Einzugsgebiete

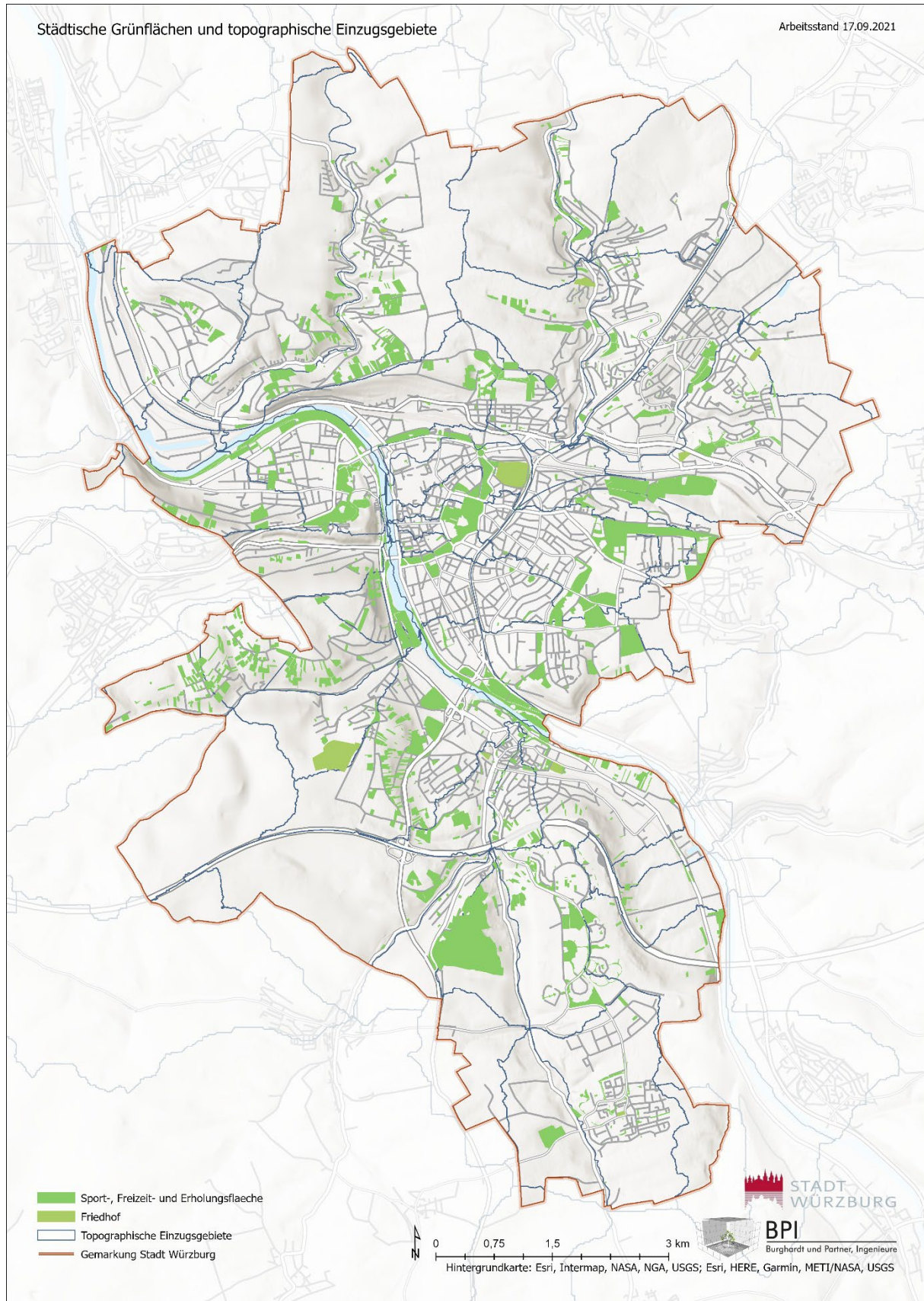


Abbildung 7 Karte der städtischen Grün- und Freiflächen sowie der topographischen Einzugsgebiete

Die Karte der städtischen Grün- und Freiflächen (Abbildung 7) stellt eine ergänzende und vorgelagerte Grundlage für die Planungskarte (Abbildung 9) dar. Die Informationen dienen dazu, die Einteilungen der Planungskarte, insbesondere vor dem Hintergrund der topographischen Einzugsgebiete in Kombination mit Abbildung 8 für die Kaltluftentstehung, deren Transport und Wirkraum besser nachvollziehen zu können. Entsprechend handelt es sich in Abbildung 7 und Abbildung 8 um zwei primär informatorische Karten ohne konkrete Planungsaussagen. Folgende Flächen sind in den folgenden zwei Karten dargestellt. In beiden Abbildungen werden die topographischen Einzugsgebiete dargestellt. Dabei werden die Einzugsgebiete in Abbildung 8 höher aufgelöst als in Abbildung 7. Entsprechend stellen die Einzugsgebiete in Abbildung 7 die primäre und grundlegende Oberflächencharakteristik des Oberflächenabflusses dar. Darauf aufbauend zeigt Abbildung 8 eine detaillierte Betrachtung der Einzugsgebiete, in der die primären Einzugsgebiete aus Abbildung 7 auf Grund ihrer Oberflächencharakteristik weitergehend ausdifferenziert und dargestellt werden.

a) Grün- und Freiflächen im städtischen Raum (vgl. Abbildung 7)

Definition: Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit Bezug zum Siedlungsraum, wie innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems liegen. Je nach Lage kann es sich um Räume mit hohem klimatischem Wert handeln, welche sich primär aus Grünflächen, Parks, Friedhöfen oder Parkwäldern zusammensetzen. Gleichzeitig fördern innerstädtische Frei- und Grünflächen die lokale Kaltluftproduktion (< 1 ha nur lokal, > 1 ha auch mit potenzieller Fernwirkung) und können, je nach Lage und Ausrichtung, das Eindringen des Flurwindes in den Siedlungsraum unterstützen. Trotz der teils geringen Größen oder fehlendem Gefälle können diese Flächen ein lokalklimatisches und lufthygienisches Ausgleichspotential besitzen und können "Cold Spots" im urbanen Raum darstellen. Flächen entlang des Mainufers unterstützen zudem die Funktion der Luftleitbahn. Diese Gebiete sollten besonders geschützt bzw. gefördert werden. Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen aus klimatisch-lufthygienischen Gründen für den Ballungsraum von großer Wichtigkeit. Die genannten Flächentypen sind empfindlich gegenüber nutzungsändernden Eingriffen. Bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen können zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen führen. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern.

b) Topographische Einzugsgebiete

Auf Grundlage der topographischen Oberflächenanalyse ist die Ableitung der topographisch bedingten Einzugsgebiete möglich. Dabei handelt es sich um Gebiete, deren Flächen entsprechend ihrer Gefällerrichtung und des daraus resultierenden „theoretischen“ Abflusses als ein zusammenhängendes Einzugsgebiet identifiziert werden können. Da sich nächtlich produzierte Kaltluft entsprechend der höheren Dichte (vgl. Kapitel III.1) der Topographie folgend hangabwärts bewegt, können über die topographisch bedingten Einzugsgebiete auch die Einzugs- bzw. Abflussgebiete für Kaltluft erfasst werden. Damit ist die Abgrenzung dieser Gebiete von erheblicher Planungsrelevanz, da der Kaltluftabfluss großer zusammenhängender Kaltluftentstehungsflächen per se nicht in einer einheitlichen Richtung verläuft, wodurch sich Einzugsgebiet und Wirkraum verändern können. Das bedeutet, dass Einzugsgebiete in das Stadtgebiet hinführen sowie herausführen können, und das entsprechend für jedes Einzugsgebiet beurteilt werden muss, wie hoch die Wirkung ausfällt und sich eine Unterscheidung in der Wirksamkeit je nach Einzugsgebiet ergibt.

c) Hangneigung und Hangrichtung

Die Pixelwerte (Bildpunkte) im Hangneigung & Hangausrichtung Raster bezeichnen eine bestimmte Kombination aus Ausrichtung (nach Himmelsrichtung und Neigung als prozentuale Veränderung. Dabei stehen Pixelwerte unter 20 (grau dargestellt) für eine ebene Fläche. Ausrichtungs-Neigungs-Werte ab 21 werden in unterschiedlichen Farbsättigungen dargestellt. Somit wird eine flächendeckende Betrachtung der topographischen Exposition der Flächen im Gebiet der Stadt Würzburg ermöglicht, wodurch räumlich-orographische Zusammenhänge verdeutlicht werden.

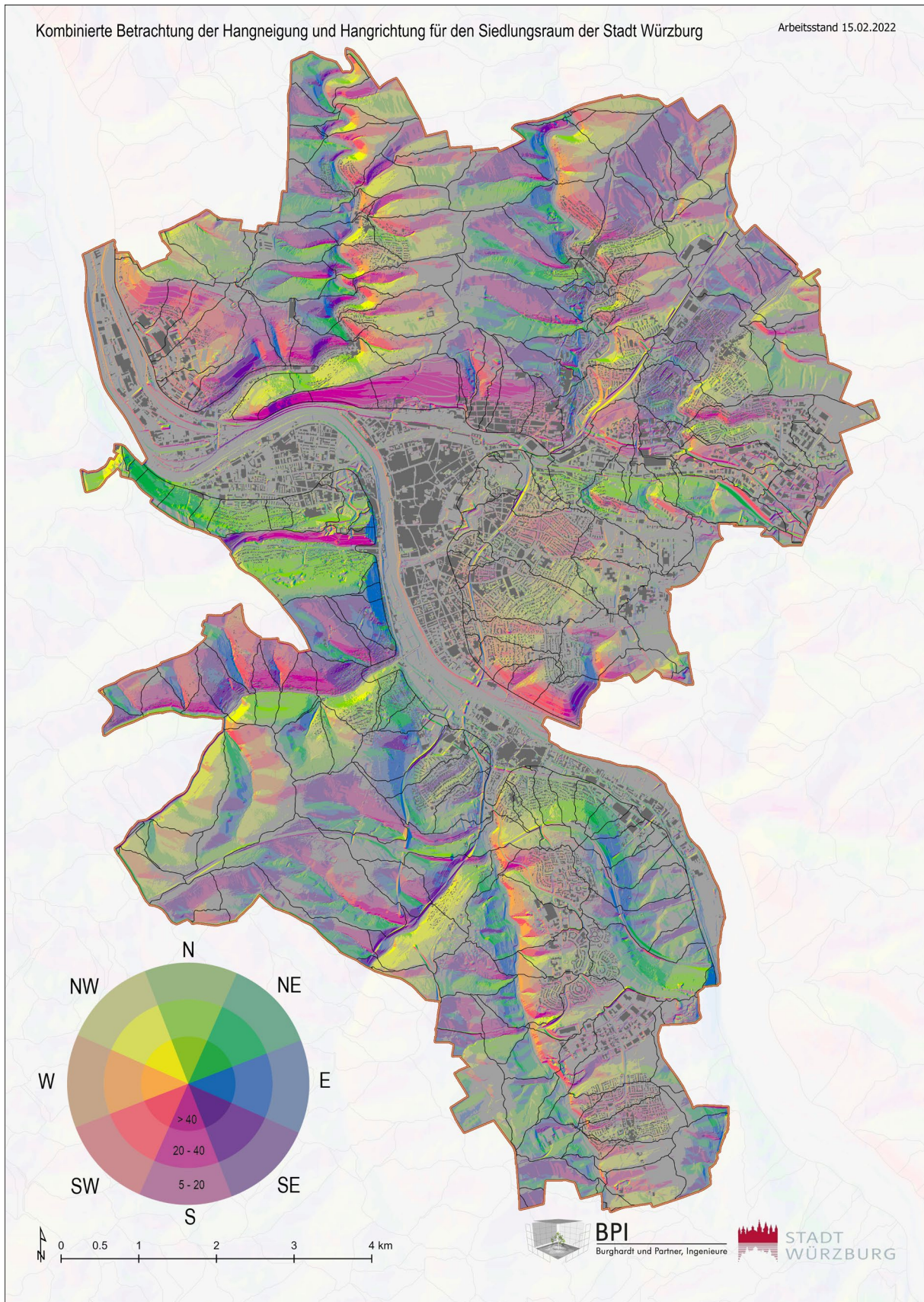


Abbildung 8 Hangneigung (in %) und Hangrichtung auf Grundlage des Digitalen Gelände Modells (DGM1) mit Darstellung der topographisch bedingten Einzugsgebiete für die Stadt Würzburg

VII.3.2 Planungskarte

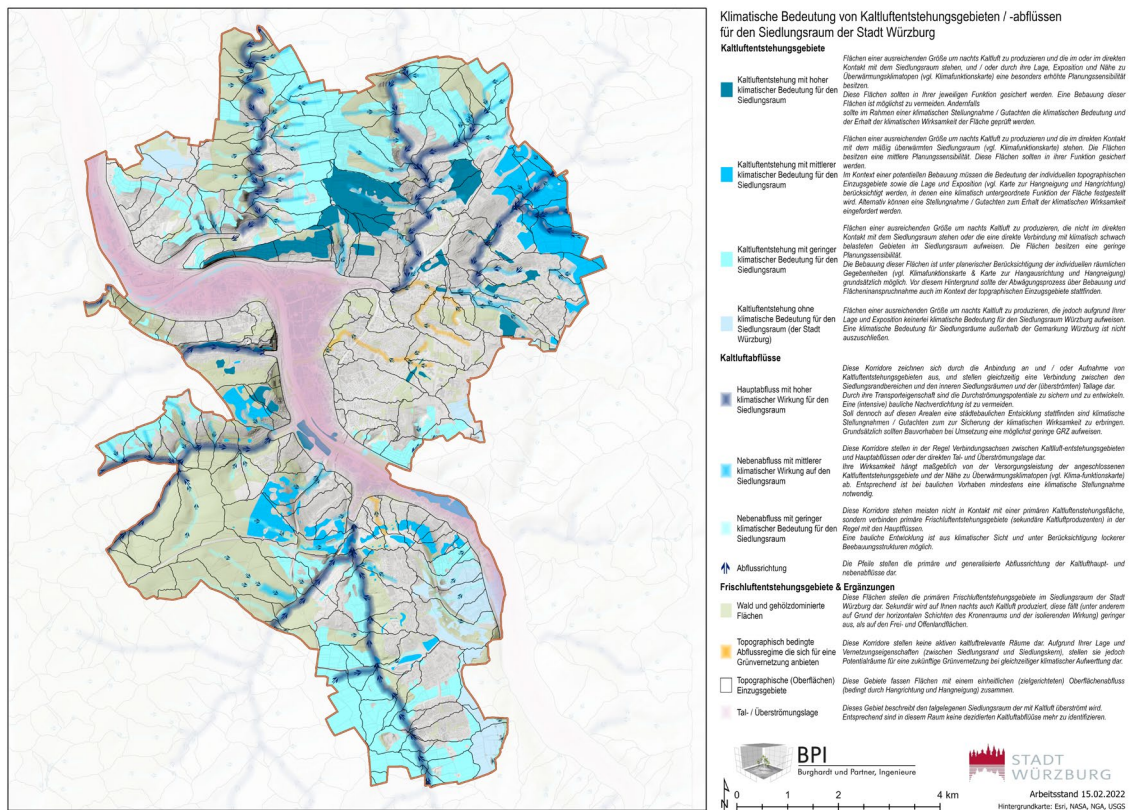


Abbildung 9 Planungskarte zur klimatischen Bedeutung von Kaltluftentstehungsgebieten / -abflüssen für den Siedlungsraum der Stadt Würzburg (vergrößerte Darstellung im Anhang)

Die Planungskarte zur Planungsrelevanz der Kaltluftentstehungs- und Kaltlufteinzugsgebiete für den Großraum der Stadt Würzburg sowie der klimatischen Bewertung des gesamten Siedlungsraums basiert auf der Landnutzungsdatenbank, des Digitalen Gelände Modell (DGM1) sowie der Klimafunktionskarte der Stadt Würzburg. Diese wird vom Simulationsprogramm Klam21 als Datengrundlage verwendet. Entsprechend der wissenschaftlichen Grundlagen sowie den Standardparametern wird auch auf bzw. in Waldgebieten Kaltluft produziert. Sie sind jedoch nicht die primären nächtlichen Kaltluftproduzenten, sondern die primären Frischluftproduzenten am Tag. Entsprechend handelt es sich bei den in der Planungskarte (Abbildung 9) dargestellten „Kaltluftentstehungsflächen“ insbesondere um offenlandgeprägte Landschaften. Nachfolgende klimatisch relevante Ebenen mit Planungsrelevanz werden dargestellt.

3.2.1 Kaltluftentstehungsgebiete

Kaltluftentstehung mit hoher klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe, um nachts Kaltluft zu produzieren. Diese Flächen stehen im direkten oder indirekten Kontakt mit dem Siedlungsraum, und / oder besitzen durch ihre Lage, Exposition und Nähe zu Überwärmungsklimatopen (vgl. Klimafunktionskarte) eine besonders erhöhte Planungssensibilität.

Diese Flächen sollten in Ihrer jeweiligen Funktion gesichert werden. Eine Bebauung dieser Flächen ist möglichst zu vermeiden. Im Zuge der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung muss diese Funktion erhalten bleiben, was bedeutet, dass hier von einer Bebauung möglichst abzusehen ist. Vor der Kulisse des FNP bestehen entsprechende Möglichkeiten nach §5 Abs. 2 Nr. 2c BauGB Flächen auszuweisen, die

der Funktion zur Anpassung an den Klimawandel dienen. Bei einer städtebaulichen Entwicklung auf diesen Flächen sind negative Effekte auf die Kaltluftproduktion möglichst zu vermeiden und zu kompensieren. In diesem Kontext sollte im Rahmen einer klimatischen Stellungnahme / eines klimatischen Gutachtens die klimatische Bedeutung geprüft werden, und es müssen fallbezogene Maßnahmen und Anpassungsmöglichkeiten abgeleitet werden, die den Erhalt der klimatischen Wirksamkeit der Fläche zum Ziel haben.

Kaltluftentstehung mit mittlerer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe, um nachts Kaltluft zu produzieren und die im direkten Kontakt mit dem mäßig überwärmten Siedlungsraum (vgl. Klimafunktionskarte) stehen. Die Flächen besitzen eine mittlere Planungssensibilität. Diese Flächen sollten in ihrer Funktion gesichert werden.

Im Zuge der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung gilt es, diese Funktion zu erhalten. Im individuellen Abwägungsprozess können diese Flächen aber auch als wichtige Flächen ausgewiesen werden, die im Sinne der Klimaanpassung von funktionseller Bedeutung sind (vgl. §5 Abs. 2 Nr. 2c BauGB). Im Kontext einer potentiellen Bebauung müssen die Bedeutung der individuellen topographischen Einzugsgebiete sowie die Lage und Exposition (vgl. Karte zur Hangneigung und Hangrichtung) berücksichtigt werden, in denen eine klimatisch untergeordnete Funktion der Fläche festgestellt wird. Alternativ können eine Stellungnahme / Gutachten zum Erhalt der klimatischen Wirksamkeit eingefordert werden.

Kaltluftentstehung mit geringer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe, um nachts Kaltluft zu produzieren, die nicht im direkten Kontakt mit dem Siedlungsraum stehen oder die eine direkte Verbindung mit klimatisch schwach belasteten Gebieten im Siedlungsraum aufweisen. Die Flächen besitzen eine geringe Planungssensibilität.

Die Bebauung dieser Flächen ist unter planerischer Berücksichtigung der individuellen räumlichen Gegebenheiten (vgl. Klimafunktionskarte & Karte zur Hangausrichtung und Hangneigung) grundsätzlich möglich. Vor diesem Hintergrund sollte der Abwägungsprozess über Bebauung und Flächeninanspruchnahme auch im Kontext der topographischen Einzugsgebiete stattfinden.

Kaltluftentstehung ohne klimatische Bedeutung für den Siedlungsraum (der Stadt Würzburg)

Flächen einer ausreichenden Größe um nachts Kaltluft zu produzieren, die jedoch aufgrund Ihrer Lage und Exposition keinerlei klimatische Bedeutung für den Siedlungsraum Würzburg aufweisen. Eine klimatische Bedeutung für Siedlungsräume außerhalb der Gemarkung Würzburg ist nicht auszuschließen.

3.2.2 Kaltluftabflüsse

Hauptabfluss mit hoher klimatischer Wirkung für den Siedlungsraum

Diese Korridore zeichnen sich durch die Anbindung an und / oder Aufnahme von Kaltluftentstehungsgebiete-

ten aus, und stellen gleichzeitig eine Verbindung zwischen den Siedlungsrandbereichen und den inneren Siedlungsräumen und der (überströmten) Tallage dar.

Durch ihre Transporteigenschaft sind die Durchströmungspotentiale zu sichern und zu entwickeln. Eine (intensive) bauliche Nachverdichtung ist zu vermeiden. Soll dennoch auf diesen Arealen eine städtebauliche Entwicklung stattfinden sind klimatische Stellungnahmen / Gutachten zum zur Sicherung der klimatischen Wirksamkeit zu erbringen. Grundsätzlich sollten Bauvorhaben bei Umsetzung eine möglichst geringe GRZ aufweisen. Städtebauliche Entwicklung sollte sich an den vorherrschenden Gegebenheiten orientieren, und entsprechend Abflussrichtung, lokale Topografie sowie die lokale Morphologie (z.B. Vermeidung von Engstellen) in den Planungsvorgaben berücksichtigen.

Nebenabfluss mit mittlerer klimatischer Wirkung auf den Siedlungsraum

Diese Korridore stellen in der Regel Verbindungsachsen zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und Hauptabflüssen oder der direkten Tal- und Überströmungslage dar.

Ihre Wirksamkeit hängt maßgeblich von der Versorgungsleistung der angeschlossenen Kaltluftentstehungsgebiete und der Nähe zu Überwärmungsklimatopen (vgl. Klimafunktionskarte) ab. Entsprechend ist bei baulichen Vorhaben mindestens eine klimatische Stellungnahme notwendig. Im Kontext der Planungsrelevanz sollten sie, ähnlich wie bei Kaltluftabflüssen hoher Bedeutung, dezidiert betrachtet werden, um ihre planerische Wertigkeit lokal bewerten zu können. Städtebauliche Entwicklung sollte sich an den vorherrschenden Gegebenheiten orientieren, und entsprechend Abflussrichtung, lokale Topografie sowie die lokale Morphologie (z.B. Vermeidung von Engstellen) in den Planungsvorgaben berücksichtigen.

Nebenabfluss mit geringer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Diese Korridore stehen meisten nicht in Kontakt mit einer primären Kaltluftentstehungsfläche, sondern verbinden primäre Frischluftentstehungsgebiete (sekundäre Kaltluftproduzenten) in der Regel mit den Hauptflüssen.

Vor dem Hintergrund einer zukunftsorientierten Planung sind diese Flächen unter Vorbehalt zu betrachten, stehen aber grundsätzlich der Stadtentwicklung zur Verfügung. Eine bauliche Entwicklung ist aus klimatischer Sicht und unter Berücksichtigung lockerer Bebauungsstrukturen grundsätzlich möglich.

3.2.3 Frischluftentstehungsgebiete & Ergänzungen

Wald und gehölzdominierte Flächen

Diese Flächen stellen die primären Frischluftentstehungsgebiete im Siedlungsraum der Stadt Würzburg dar. Sekundär wird auf Ihnen nachts auch Kaltluft produziert, diese fällt (unter anderem auf Grund der horizontalen Schichten des Kronenraums und der isolierenden Wirkung) geringer aus als auf den Frei- und Offenlandflächen.

Topographisch bedingte Abflussregime die sich für eine Grünvernetzung anbieten

Diese Korridore stellen keine aktiven kaltluftrelevante Räume dar. Aufgrund Ihrer Lage und Vernetzungseigenschaften (zwischen Siedlungsrand und Siedlungskern), stellen sie jedoch Potentialräume für eine zukünftige Grünvernetzung bei gleichzeitiger klimatischer Aufwertung dar.

Topographische (Oberflächen) Einzugsgebiete

Diese Gebiete fassen Flächen mit einem einheitlichen (zielgerichteten) Oberflächenabfluss (bedingt durch Hangrichtung und Hangneigung) zusammen. Entsprechend besitzen sie primär informativen Charakter, zur Verdeutlichung topographischer Oberflächenabflussregime.

Tal- / Überströmungslage

Dieses Gebiet beschreibt den talgelegenen Siedlungsraum, der mit Kaltluft überströmt wird. Entsprechend sind in diesem Raum keine dezidierten Kaltluftabflüsse mehr zu identifizieren. Entsprechend sind vor dem Hintergrund der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes keine Planungsempfehlungen für dieses Gebiet festzusetzen.

VIII. Zusammenfassung

Mit Hilfe erweiterter Analysemethoden sowie der Anwendung der Vorgaben aus der VDI Richtlinie 3787 konnten die generellen Aussagen der Klimafunktionskarte aus dem Jahr 2018 konkretisiert werden. Dabei werden die Aussagen der damaligen Analyse nicht negiert. Vielmehr konnte mit der Ausweisung der Potential- und Vorbehaltsgebiete für Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss (siehe Abbildung 9) Flächen identifiziert werden, deren städtebauliche Entwicklung oder Sicherung unter stadtklimatischen Aspekten als prioritär anzusehen sind. Die Definition der Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung beschreibt Flächen mit einem hohen lokalen oder auch städtisch klimaökologischen Wert für den urbanen Raum.

Entsprechend ist die Planungskarte der Potential- und Vorbehaltsgebiete (Abbildung 9) in Kombination mit der in Kapitel VI.1.1 dargestellten Beschreibung als planungsrelevante Entscheidungsgrundlage für das Themenfeld der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes sowie für die klimatische Bewertung des Siedlungsraums der Stadt Würzburg zu verwenden.

Da es sich bei der Planungskarte (Abbildung 9) um den Themenbereich der Kaltluft handelt, werden nur offenlandgeprägte Landschaften als primäre Kaltluftproduzenten flächig ausgewiesen. Wälder die in erster Linie am Tag Frischluft produzieren, werden in der Planungskarte (Abbildung 9) entsprechend nicht ausgewiesen, jedoch in der Simulation berücksichtigt.

Die Ausweisung der Luftleitbahnen basiert weiterhin auf den Analysen aus der Klimafunktionskartierung aus dem Jahr 2018. Ebenso wie im Kontext der Kaltluftanalyse wurden die Vorgaben des VDI sowie der immer noch gültigen Luftleitbahnendefinition nach Mayer et al. (1994) auf den Raum der Stadt Würzburg und der darin ausgewiesenen Luftleitbahnen angewendet.

Mit Hilfe der vorliegenden Untersuchung besitzt die Stadt Würzburg ein weiteres wichtiges Planungsinstrument für die klimaangepasste und demensprechend zukunftsgerechte Stadtentwicklung. Über die Priorisierung der Potentialgebieten und Vorbehaltsgebieten kann zwischen zu sichernden und potentiell bebaubaren Flächen unterschieden und so städtebauliche Perspektiven geschaffen werden.

Abschließend wurde alle Berechnungsergebnisse auf die Flurstücksebene projiziert, so dass individuell für jedes Flurstück die numerischen Informationen der Untersuchung (z.B. mittlere Windgeschwindigkeiten, Kaltfluthöhe etc.) mit Hilfe eines Geoinformationssystems nachvollziehbar sind.

IX. Anlagen

IX.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Klimafunktionskarte der Stadt Würzburg 2018.....	1
Abbildung 2 Fachlich-planerischer Bezug / Verknüpfung (der für die Stadt Würzburg) vorhandener klimatischer Gutachten.....	2
Abbildung 3 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.	5
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich. Z_0 beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern, Z_d die Nullpunktverschiebung in Metern, u_z die Windgeschwindigkeit und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC).....	6
Abbildung 5 Flächenverteilung der Vegetationsstrukturen im Untersuchungsraum erfasst auf Grundlage des Atkis BasisDLM 2020	14
Abbildung 6 Kaltluftschichtdicken im nächtlichen Simulationsverlauf. Die Abbildung stellt dabei keine direkte Korrelation zwischen Kaltluftproduktion, -versorgung und der Lufttemperatur dar. Entsprechend bedeutet eine stärkere Kaltluftschichtdicke nicht gleichzeitig auch eine geringere Lufttemperatur. So bilden bspw. am Hang gelegene Offenlandflächen in der Regel nur eine geringe Kaltluftmächtigkeit aus, dass die gebildete Kaltluft abfließt. Gleichzeitig kann auf diesen Flächen die Lufttemperatur gegenüber dem Siedlungsraum jedoch signifikant geringer.	16
Abbildung 7 Karte der städtischen Grün- und Freiflächen sowie der topographischen Einzugsgebiete.....	18
Abbildung 8 Hangneigung (in %) und Hangrichtung auf Grundlage des Digitalen Gelände Modells (DGM1) mit Darstellung der topographisch bedingten Einzugsgebiete für die Stadt Würzburg	21
Abbildung 9 Planungskarte zur klimatischen Bedeutung von Kaltluftentstehungsgebieten / -abflüssen für den Siedlungsraum der Stadt Würzburg (vergrößerte Darstellung im Anhang).....	22
Abbildung 10 Bodennahes Windfeld am während eines warmen und austauscharmen Sommertages.....	29
Abbildung 11 Bodennahes Windfeld am während eines warmen und austauscharmen Sommertages aus drei regionaltypischen Windrichtungen	30
Abbildung 12 Planungskarte zur klimatischen Bedeutung von Kaltluftentstehungsgebieten / -abflüssen für den Siedlungsraum der Stadt Würzburg	31

IX.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds.....	5
Tabelle 2: Beispiele für Z_0 und Z_d für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017)	7
Tabelle 3 Verwendete Modellparameter zur Berechnung des Kalt- und Flurwindsystems	10
Tabelle 4 Verwendete Modellparameter zur Berechnung der regionaltypischen Windfelder	10
Tabelle 5 Untergliederung von Kaltluftabflüssen	11

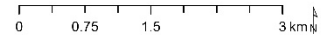
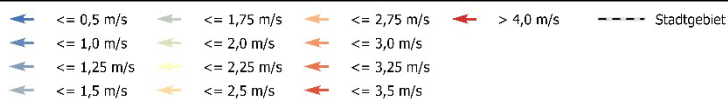
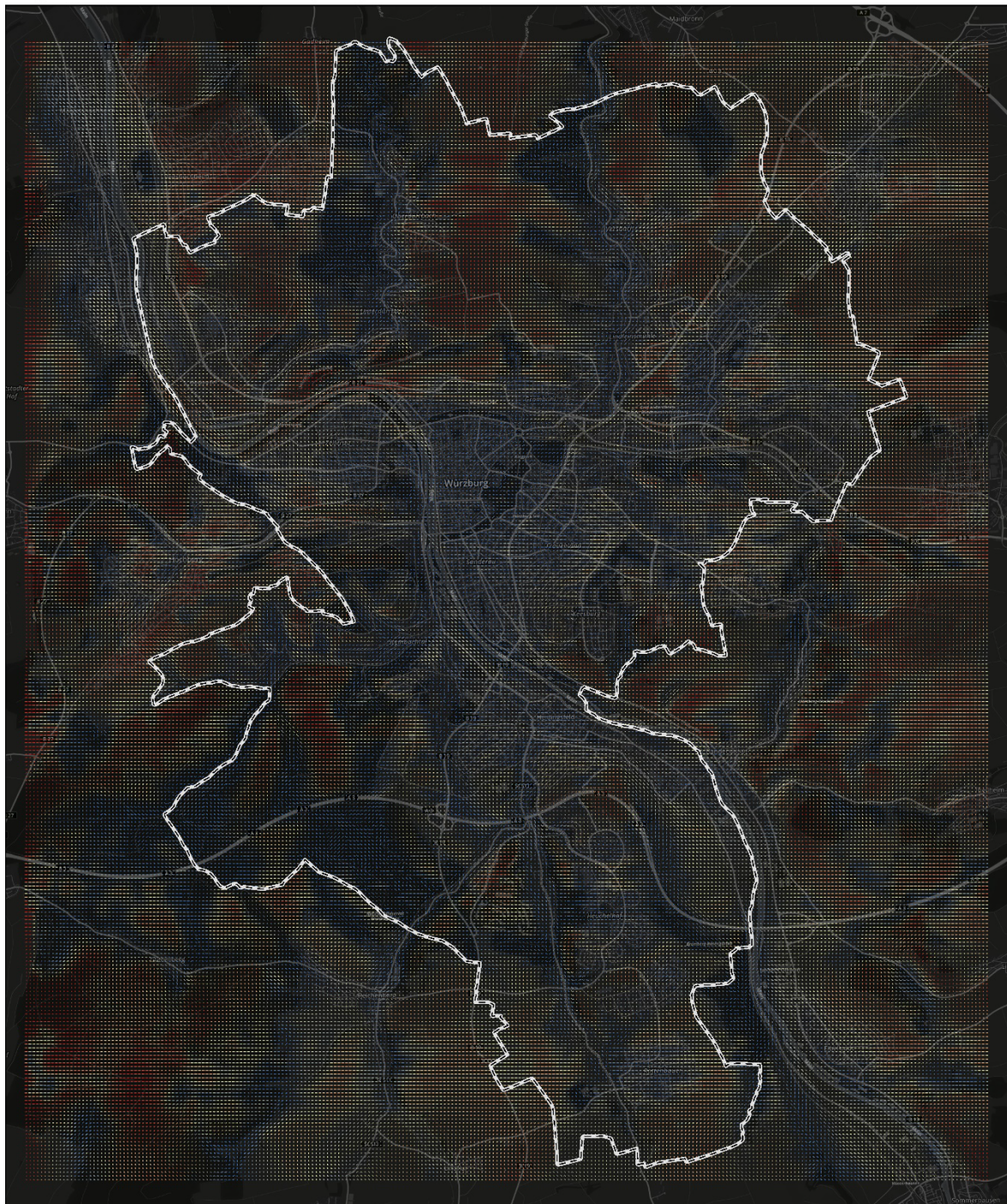
IX.3 Literaturverzeichnis

- Deutscher Wetterdienst (2016), Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21, Stand 03/2016
- Gartland, L (2011), Heat Islands – Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas, Earthscan, London
- Künstler, R. (2009), Stadtklimatische Untersuchungen in Würzburg. Institute für Geographie. Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- LANUV NRW (2018), Fachbericht 86 – Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- Mayer, H. et al. (1994) Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen
- Mayer, H. (1992), Stadtklima und Lufthygiene, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 4 „Stadtökologie“, 21-30
- Oke, T. (2017), Urban Climates, Cambridge University Press
- Unger, J. (2009), Detection of ventilation paths using high resolution roughness parameter mapping in large urban areas. Building and Environment 44, 198-206
- Verein Deutscher Ingenieure (2015), VDI Richtlinie 3787 Blatt 1.
- Verein Deutscher Ingenieure (2003), VDI Richtlinie 3787 Blatt 5
- Verein Deutscher Ingenieure (2015), VDI Richtlinie 3787 Blatt 8
- VM BW (2012), Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg

IX.3.1 Bodennahes nächtliches Windfeld (aus Flurwind und Kaltluft)

Windfeld am Tag bei Anströmung aus der regionaltypischen Richtung West (270°)
 - dargestellt 10 m über Grund bei einer Initialanströmung mit 5 m/s

Stand 04/2020



Spatial Reference
 Name: LIRS 1989 UTM Zone 22N
 PCS: FTRS 1989 UTM Zone 37N
 GCS: GCS LIRS 1989

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Swisstopo, Mapbox, and the GIS User Community

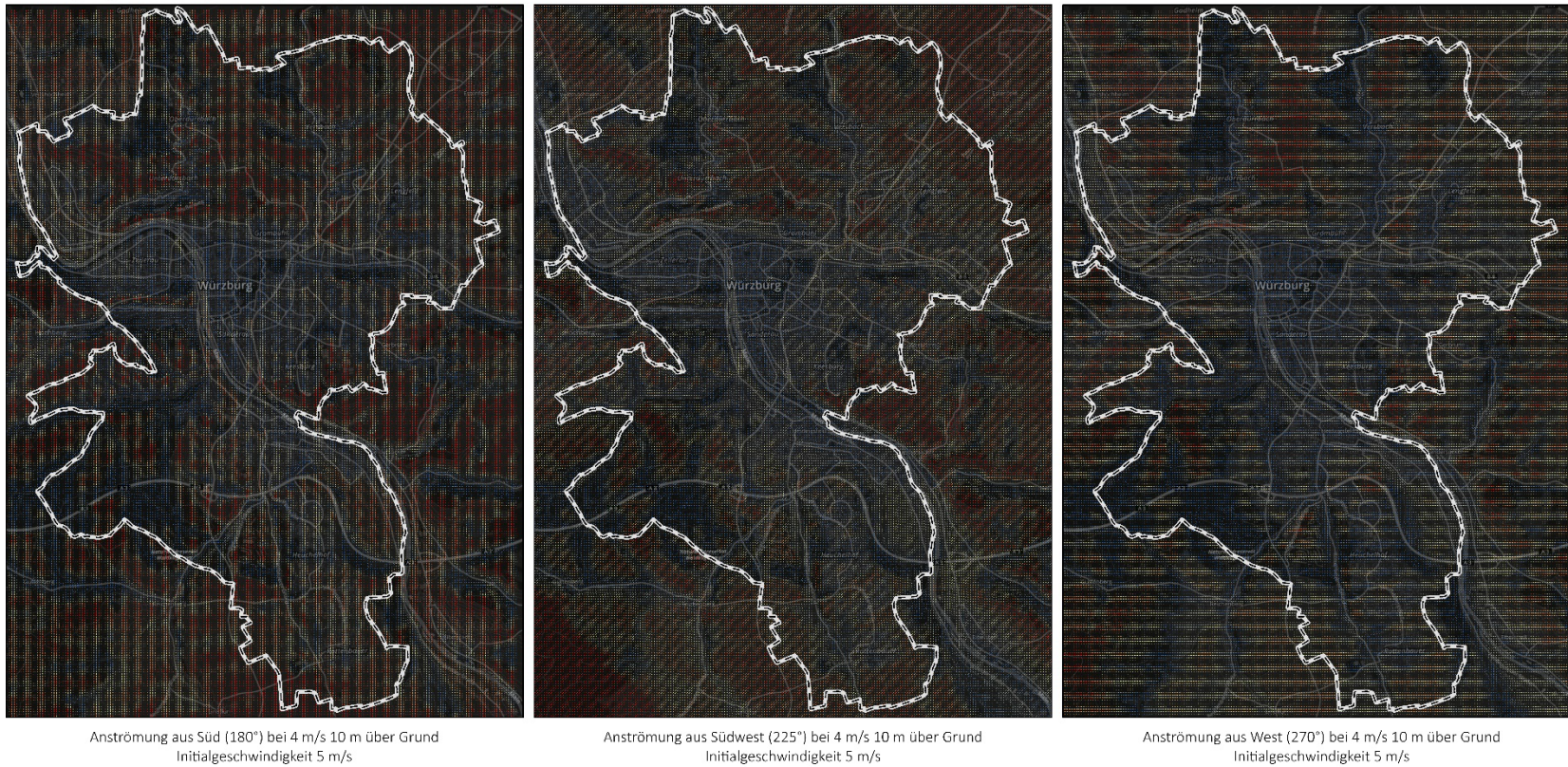


BPI
 Burghardl und Partner, Ingenieure

Abbildung 10 Bodennahes Windfeld am während eines warmen und austauscharmen Sommertages

Windfeld am Tag bei Anströmung aus regionaltypischen Richtungen

- aus Süd (180°), Südwest (225°) und West (270°) dargestellt auf 10 m über Grund

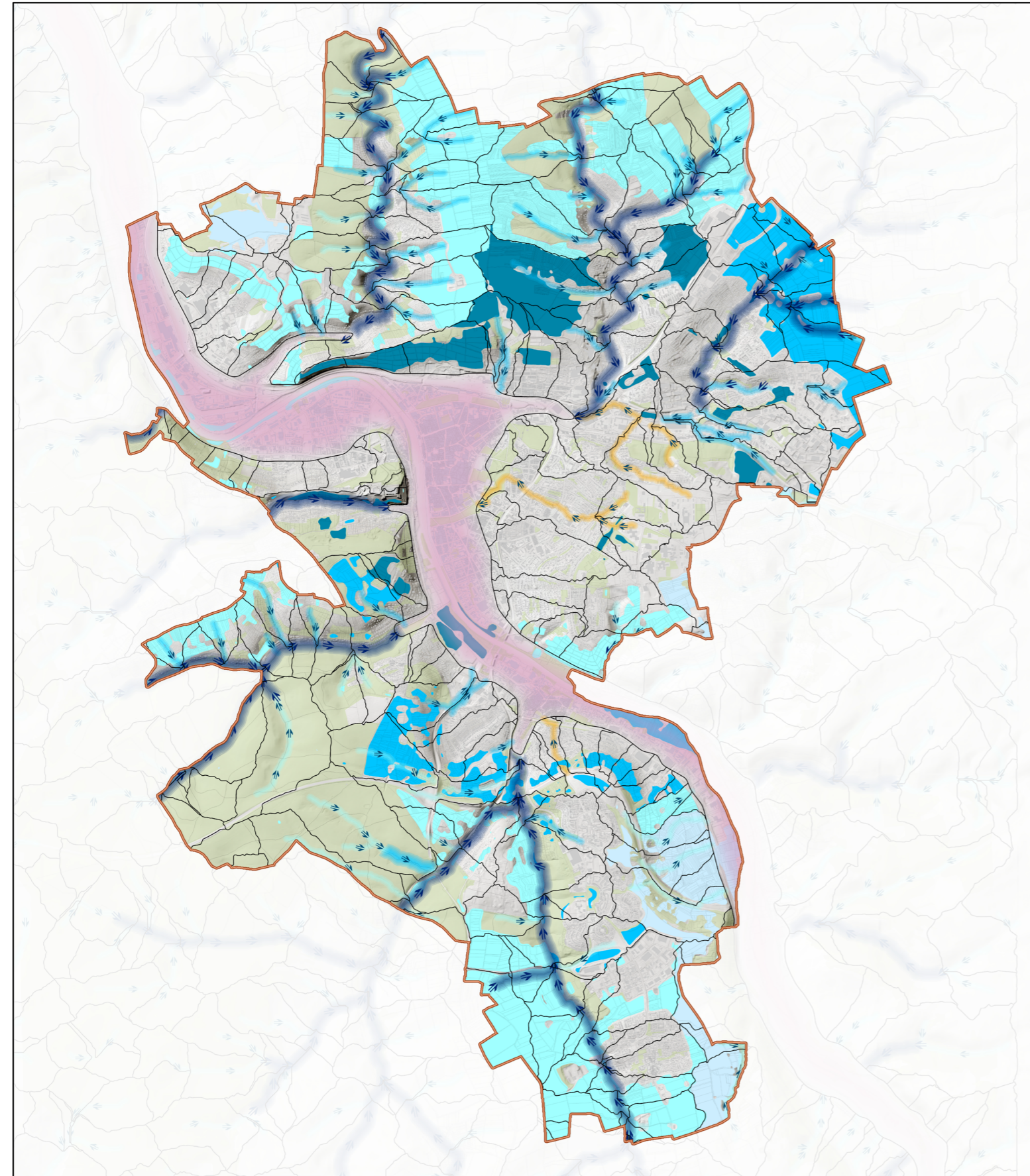


Spatial Reference
 Name: L IHS 1989 U. M. Zone 32N
 PCS: ETRS 1989 UTM Zone 32N
 GCS: CCS L IHS 1989

Sources: Esri, HRL, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

STADT WÜRZBURG BPI
 Burghard und Partner, Ingenieure

Abbildung 11 Bodennahes Windfeld am während eines warmen und austauscharmen Sommertages aus drei regionaltypischen Windrichtungen



Klimatische Bedeutung von Kaltluftentstehungsgebieten / -abflüssen für den Siedlungsraum der Stadt Würzburg

Kaltluftentstehungsgebiete

Kaltluftentstehung mit hoher klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe um nachts Kaltluft zu produzieren und die im oder im direkten Kontakt mit dem Siedlungsraum stehen, und / oder durch ihre Lage, Exposition und Nähe zu Überwärmungsklimatopen (vgl. Klimafunktionskarte) eine besonders erhöhte Planungssensibilität besitzen. Diese Flächen sollten in Ihrer jeweiligen Funktion gesichert werden. Eine Bebauung dieser Flächen ist möglichst zu vermeiden. Andernfalls sollte im Rahmen einer klimatischen Stellungnahme / Gutachten die klimatische Bedeutung und der Erhalt der klimatischen Wirksamkeit der Fläche geprüft werden.

Kaltluftentstehung mit mittlerer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe um nachts Kaltluft zu produzieren und die im direkten Kontakt mit dem mäßig überwärmten Siedlungsraum (vgl. Klimafunktionskarte) stehen. Die Flächen besitzen eine mittlere Planungssensibilität. Diese Flächen sollten in ihrer Funktion gesichert werden. Im Kontext einer potentiellen Bebauung müssen die Bedeutung der individuellen topographischen Einzugsgebiete sowie die Lage und Exposition (vgl. Karte zur Hangneigung und Hangrichtung) berücksichtigt werden, in denen eine klimatisch untergeordnete Funktion der Fläche festgestellt wird. Alternativ können eine Stellungnahme / Gutachten zum Erhalt der klimatischen Wirksamkeit eingefordert werden.

Kaltluftentstehung mit geringer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Flächen einer ausreichenden Größe um nachts Kaltluft zu produzieren, die nicht im direkten Kontakt mit dem Siedlungsraum stehen oder die eine direkte Verbindung mit klimatisch schwach belasteten Gebieten im Siedlungsraum aufweisen. Die Flächen besitzen eine geringe Planungssensibilität. Die Bebauung dieser Flächen ist unter planerischer Berücksichtigung der individuellen räumlichen Gegebenheiten (vgl. Klimafunktionskarte & Karte zur Hangaussichtung und Hangneigung) grundsätzlich möglich. Vor diesem Hintergrund sollte der Abwägungsprozess über Bebauung und Flächeninanspruchnahme auch im Kontext der topographischen Einzugsgebiete stattfinden.

Kaltluftentstehung ohne klimatische Bedeutung für den Siedlungsraum (der Stadt Würzburg)

Flächen einer ausreichenden Größe um nachts Kaltluft zu produzieren, die jedoch aufgrund Ihrer Lage und Exposition keinerlei klimatische Bedeutung für den Siedlungsraum Würzburg aufweisen. Eine klimatische Bedeutung für Siedlungsräume außerhalb der Gemarkung Würzburg ist nicht auszuschließen.

Kaltluftabflüsse

Hauptabfluss mit hoher klimatischer Wirkung für den Siedlungsraum

Diese Korridore zeichnen sich durch die Anbindung an und / oder Aufnahme von Kaltluftentstehungsgebieten aus, und stellen gleichzeitig eine Verbindung zwischen den Siedlungsrandbereichen und den inneren Siedlungsräumen und der (überströmten) Tallage dar. Durch ihre Transporteigenschaften sind die Durchströmungspotentiale zu sichern und zu entwickeln. Eine (intensive) bauliche Nachverdichtung ist zu vermeiden. Soll dennoch auf diesen Arealen eine städtebaulichen Entwicklung stattfinden sind klimatische Stellungnahmen / Gutachten zum zur Sicherung der klimatischen Wirksamkeit zu erbringen. Grundsätzlich sollten Bauvorhaben bei Umsetzung eine möglichst geringe GRZ aufweisen.

Nebenabfluss mit mittlerer klimatischer Wirkung auf den Siedlungsraum

Diese Korridore stellen in der Regel Verbindungsachsen zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und Hauptabflüssen oder der direkten Tal- und Überströmungslage dar. Ihre Wirksamkeit hängt maßgeblich von der Versorgungsleistung der angeschlossenen Kaltluftentstehungsgebiete und der Nähe zu Überwärmungsklimatopen (vgl. Klima-funktionskarte) ab. Entsprechend ist bei baulichen Vorhaben mindestens eine klimatische Stellungnahme notwendig.

Nebenabfluss mit geringer klimatischer Bedeutung für den Siedlungsraum

Diese Korridore stehen meisten nicht in Kontakt mit einer primären Kaltluftentstehungsfläche, sondern verbinden primäre Frischluftentstehungsgebiete (sekundäre Kaltluftproduzenten) in der Regel mit den Hauptflüssen. Eine bauliche Entwicklung ist aus klimatischer Sicht und unter Berücksichtigung lockerer Bebauungsstrukturen möglich.

Abflussrichtung

Die Pfeile stellen die primäre und generalisierte Abflussrichtung der Kaltlufthaupt- und nebenabflüsse dar.

Frischlufentstehungsgebiete & Ergänzungen

Wald und gehölzdominierte Flächen

Diese Flächen stellen die primären Frischluftentstehungsgebiete im Siedlungsraum der Stadt Würzburg dar. Sekundär wird auf Ihnen nachts auch Kaltluft produziert, diese fällt (unter anderem auf Grund der horizontalen Schichten des Kronenraums und der isolierenden Wirkung) geringer aus, als auf den Frei- und Offenlandflächen.

Topographisch bedingte Abflussregime die sich für eine Grünvernetzung anbieten

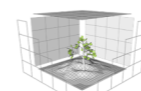
Diese Korridore stellen keine aktiven kaltluftrelevante Räume dar. Aufgrund Ihrer Lage und Vernetzungseigenschaften (zwischen Siedlungsrand und Siedlungskern), stellen sie jedoch Potentialräume für eine zukünftige Grünvernetzung bei gleichzeitiger klimatischer Aufwertung dar.

Topographische (Oberflächen) Einzugsgebiete

Diese Gebiete fassen Flächen mit einem einheitlichen (zielgerichteten) Oberflächenabfluss (bedingt durch Hangrichtung und Hangneigung) zusammen.

Tal- / Überströmungslage

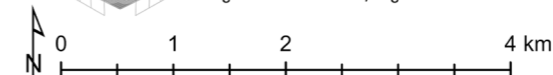
Dieses Gebiet beschreibt den talgelegenen Siedlungsraum der mit Kaltluft überströmt wird. Entsprechend sind in diesem Raum keine dezidierten Kaltluftabflüsse mehr zu identifizieren.



BPI
Burghardt und Partner, Ingenieure



STADT WÜRZBURG



Arbeitsstand 15.02.2022
Hintergrundkarte: Esri, NASA, NGA, USGS

Abbildung 12 Planungskarte zur klimatischen Bedeutung von Kaltluftentstehungsgebieten / -abflüssen für den Siedlungsraum der Stadt Würzburg

