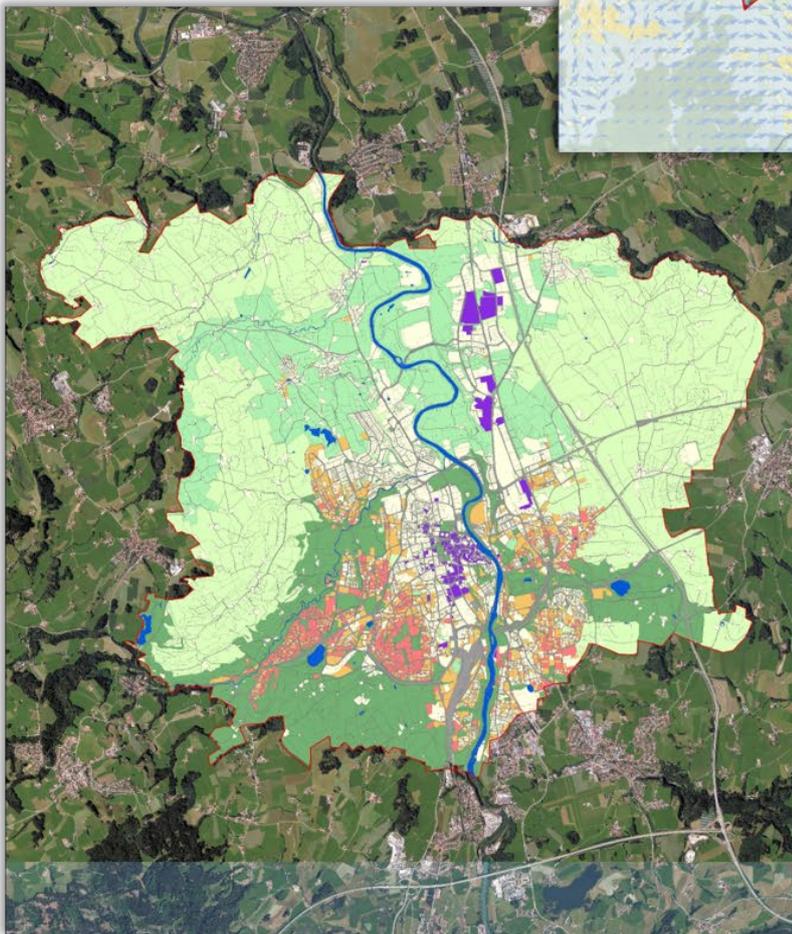
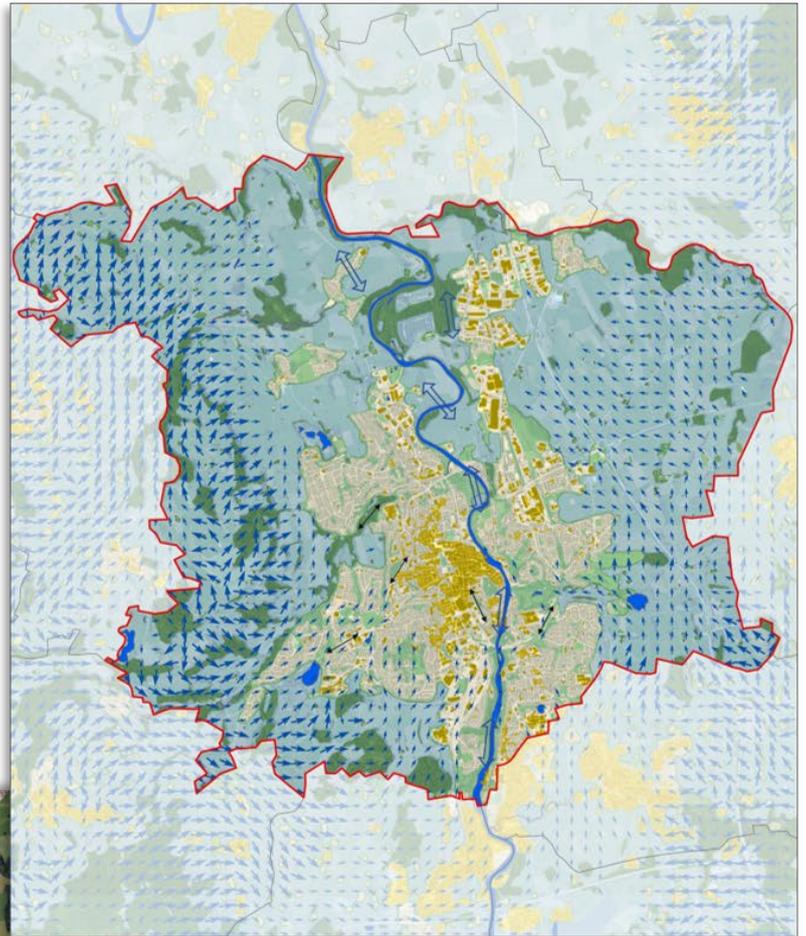


# Stadtklimaanalyse Kempten (Allgäu)



Mai 2021

**Auftraggeber (AG)**

Stadt Kempten (Allgäu)  
Stadtplanungsamt  
Kronenstraße 8  
87435 Kempten (Allgäu)

**Kempten**<sup>Allgäu</sup>**Ansprechpartner**

Herr Steffen Bareth  
Tel.: +49 831 2525272  
E-Mail: [steffen.bareth@kempten.de](mailto:steffen.bareth@kempten.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](mailto:info@lp-kassel.de)

**Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:**

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

**STADTKLIMAANALYSE KEMPTEN (ALLGÄU)**

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

---

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](mailto:info@lp-kassel.de) | [www.lp-kassel.de](http://www.lp-kassel.de)

Kassel, den 10.05.2021

## Inhaltsverzeichnis

1. Auftragsgegenstand .....	1
2. Fachliche Grundlagen .....	2
2.1. Stadtklima .....	2
2.2. Temperatur und die städtische Wärmeinsel.....	2
2.3. Vegetation und städtisches Grün.....	3
2.4. Wind und städtischer Luftstrom .....	5
2.5. Flurwind und Kaltluft.....	6
2.6. Städtische Belüftung – Rauigkeit und Porosität.....	8
2.7. Luftleitbahnen.....	10
2.8. Strömungsregime.....	10
3. Methodik und Software.....	12
3.1. Stadtklimatische Untersuchung .....	12
3.1.1. Herleitung .....	12
3.1.2. Ableitung der Klimafunktionskarte .....	14
3.1.3. Ableitung der Planungshinweiskarte .....	14
3.1.4. Technische Umsetzung.....	15
3.2. Geoinformationssystem.....	17
3.3. Kaltluftproduktion und -abfluss .....	17
3.4. Wildfeldsimulation .....	18
4. Der Untersuchungsraum .....	19
4.1. Untersuchungsraum (Lage und Naturraum) .....	19
4.2. Klimatische Beschreibung des Untersuchungsraums .....	20
4.2.1. Temperatur & Niederschlag .....	20
4.2.2. Windrichtung und Windstärke .....	24
5. Bestandsaufnahme und IST-Analyse .....	30
5.1. Klimarelevante Themenkarten.....	30
5.1.1. Vegetationserfassung .....	32
5.1.2. Landnutzung .....	34
5.1.3. Gebäudevolumendichte .....	36
5.1.4. SkyView Faktor.....	38
5.1.5. Topographisches Einzugsgebiet.....	40
5.1.6. Kaltluftentstehung und -transport.....	42
5.1.7. Städtische Durchlüftung .....	45
5.2. Klimafunktionskarte (KFK).....	48
6. Stadt- und Landschaftsplanerische Analysen .....	52

6.1.	Vulnerabilitätsanalyse .....	52
6.2.	Erreichbarkeitsanalyse .....	58
6.3.	Analyse des Straßenraums .....	61
7.	Klimaprojektionen .....	63
7.1.	Allgemein .....	63
7.2.	Szenarien.....	63
7.3.	Globale und Regionale Klimamodelle .....	64
7.4.	Auswertung der Klimawandelszenarien RCP4.5 und RCP8.5 mit unterschiedlichen Klimaparameter für die Stadt Kempten .....	65
7.4.1.	Erfassung, Aufbereitung und Analyse der für die Region Kempten prognostizierten Klimaveränderungen im Vergleich zu München .....	65
8.	Planung.....	69
8.1.	Planhinweiskarte (PHK).....	69
8.1.1.	Ausgleichsräume/Grün- und Freiflächen .....	69
8.1.2.	Bebaute Flächen/Lasträume.....	70
8.2.	Maßnahmensteckbriefe .....	73
8.2.1.	Objektmodifikationen .....	75
8.2.2.	Belüftung und Durchlüftung .....	81
8.2.3.	Aufenthaltsqualität .....	84
8.2.4.	Grünvernetzung und Entsiegelung .....	87
8.3.	Detailbetrachtungen .....	91
9.	Zusammenfassung.....	106
10.	Anlagen.....	109
10.1.	Glossar.....	109
10.2.	Abbildungsverzeichnis .....	114
10.3.	Tabellenverzeichnis .....	117
10.4.	Datenverzeichnis .....	118
10.5.	Literaturverzeichnis.....	118

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent	LP	Landschaftsplan
<	kleiner als	m	Meter
>	größer als	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
≤	kleiner gleich	m <sup>3</sup>	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 <sub>2</sub>	Sauerstoff
bspw.	beispielsweise	offiz.	offiziell
bzw.	beziehungsweise	PDF	Portable Document Format
CFD	Computer Fluid Dynamics	Ph <sub>var</sub>	städtische Porosität
cm	Zentimeter	PHK	Planhinweiskarte
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid	PNG	Portable Network Graphics
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment	PR	Planungsraum
DGM	Digitales Geländemodell	RCM	regional climate models
DJF	Dezember, Januar, Februar	RCP	Representative Concentration Pathways
DLM	Digitales Landschaftsmodell	S	Süden
DWD	Deutscher Wetterdienst	SKV	SkyView-Faktor
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy	SON	September, Oktober, November
ESD	Empirisch-Statistischen Downscaling Methoden	spez.	speziell
etc.	et cetera	Std.	Stunden
FFL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.	TK25	Topographische Karte 1:25000
FNP	Flächennutzungsplan	ü. NHN	über Normalhöhennull
GIS	Geoinformationssystem	ü.G.	über Grund
h	hour	UC	mittlere Gebäudehöhe
ha	Hektar	UCL	Urban Canopy Layer
inkl.	inklusiv	UR	Untersuchungsraum
JJA	Juni, Juli, August	U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
k.A.	keine Angaben	u <sub>z</sub>	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 <sub>0</sub>	Rauigkeitslänge
		Z <sub>d</sub>	Nullpunktverschiebung

## 1. Auftragsgegenstand

Im Zuge des voranschreitenden Klimawandels ist es für Städte, Gemeinden und Kommunen von besonderer Bedeutung die aktuelle klimatische Situation, sowie die prognostizierten klimatischen Veränderungen in ihrer strategischen Entwicklungsplanung zu berücksichtigen. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit negative klimatische Einflüsse zu reduzieren sowie positive klimatische Effekte für das Stadtgebiet aufzugreifen und weiterzuentwickeln.

Das Stadtplanungsamt der Stadt Kempten (Allgäu) plant, den Flächennutzungsplan (FNP) für die Gesamtstadt fortzuschreiben und dabei grundsätzlich zu überarbeiten.

In diesem Kontext wird mit einer Stadtklimaanalyse die klimatische Situation des Stadtgebiets analysiert und entsprechend bewertet. Unterschiedliche klimatische Themenkarten (z.B. Kaltluftabfluss, Gebäudevolumendichte, Vegetationsbedeckung, etc.) bilden die Grundlage für die Erstellung einer Klimafunktionskarte (KFK) nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. In Ergänzung zu der KFK wird als zusätzliches Planungswerkzeug eine Planhinweiskarte (PHK) für den Untersuchungsraum, sowie ein individueller Erläuterungsbericht mit Handlungsempfehlungen erstellt. Mit Hilfe dieser Planungswerkzeuge können klimatische Belange zukünftig in den städtebaulichen und landschaftsplanerischen Planungsprozessen besser berücksichtigt werden, so dass eine zukunftsgerechte und klimaangepasste Stadtentwicklung erleichtert wird.

## 2. Fachliche Grundlagen

### 2.1. Stadtklima

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

Einige dieser Klimamodifikatoren und Klimaeinflussfaktoren unterscheiden sich stadtteilbezogen nur wenig (z.B. Sonneneinstrahlung, Niederschlag), während andere, bspw. bedingt durch das Wärmespeichervermögen von Baustoffen, der Versiegelung des Bodens sowie durch anthropogene Abwärme, etc. zum Teil große Unterschiede aufweisen können. Kleinräumliche Unterschiede sind im Bereich von Gebäuden, Straßenzügen und Grünanlagen zu finden. Tabelle 1 listet einige dieser Beispiele für den städtischen Raum exemplarisch auf.

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

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

### 2.2. Temperatur und die städtische Wärmeinsel

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

Bebauung und die damit einhergehende Bodenversiegelung beeinflusst langfristig den Mittelwert der Lufttemperatur. Eine 10%ige Erhöhung des Versiegelungsgrads in einem Quartier resultiert beispielsweise in einer langfristigen Anhebung des Lufttemperaturmittelwerts um ca. 0,2°C gegenüber der unbebauten Umgebung.

Einzelne Tageswerte (Lufttemperaturminimum und -maximum) bei Strahlungswetterlagen unterliegen einer noch größeren Steigerung (Bründl et al. 1986).

Ergänzend zu der eigentlichen Bebauung spielen auch die Materialeigenschaften (Absorptionsvermögen, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeemissionsvermögen und Verdunstungsfähigkeit) sowie die Kubaturen, die Baumassen und die Bebauungsmorphologie eine in Bezug auf das Überwärmungsrisiko im urbanen Raum wichtige Rolle.

Ein Ergebnis der Wechselwirkungen dieser unterschiedlichen Faktoren und Effekte ist die städtische Wärmeinsel. Sie ist durch eine starke Aufwärmung am Tag und durch eine eingeschränkte Abkühlung in der Nacht geprägt. Durch die akkumulierende Wirkung dieses, für das Stadtklima negativen Effektes, während länger anhaltender Hitzeperioden kann die Intensität der städtischen Hitzeinsel verstärkt werden, so dass die Zahl der hitzevulnerablen Menschen im Stadtgebiet steigt und es so zu einem Anstieg der hitzebedingten gesundheitlichen Risiken kommt.

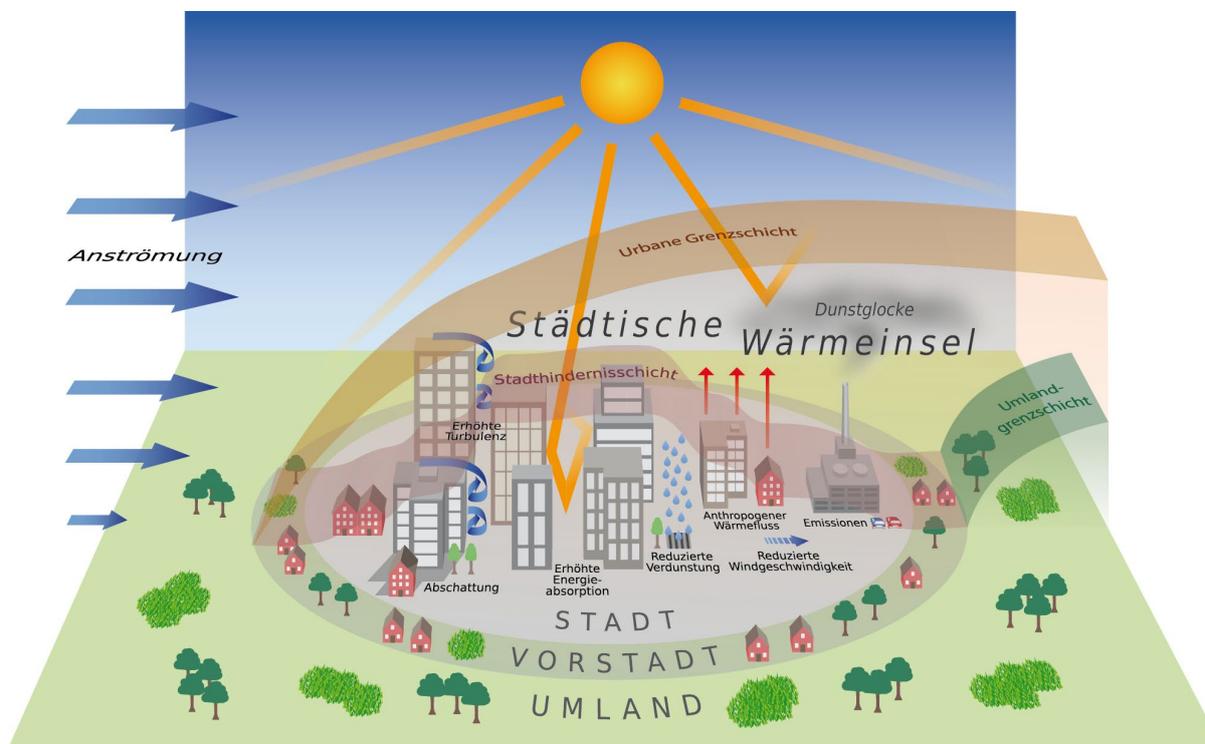


Abbildung 1 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017).

### 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.



## punktueller oder flächiger Grünstrukturen

- Parks, Sportplätze, Friedhöfe etc.



## lineare Grünstrukturen

- Straßenzüge, Flussläufe etc.



## Fassadenbegrünung

- bodengebunden, fassadengebunden



## Dachbegrünung

- extensiv, intensiv

Abbildung 2 Übersicht zu unterschiedlichen urbanen Vegetations- und Grünstrukturen

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 versiegelten Oberflächen. Ferner bewirken Baumbestände eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit (vgl. 2.6), 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 Nikolopoulos (2003) haben die Klimarelevanz für Vegetationsflächen von min. 10 m x 10 m untersucht und nachgewiesen.

## 2.4. Wind und städtischer Luftstrom

Die Unterscheidung zwischen ländlichem und städtischem Gebiet spielt im Hinblick auf den Faktor Wind eine große Rolle. Morphologische (vgl. 2.6 und siehe Abbildung 3) sowie thermische Charakteristika des urbanen Raums führen dort zu einer Veränderung der Windverhältnisse hinsichtlich der Windgeschwindigkeit sowie der Windrichtung.

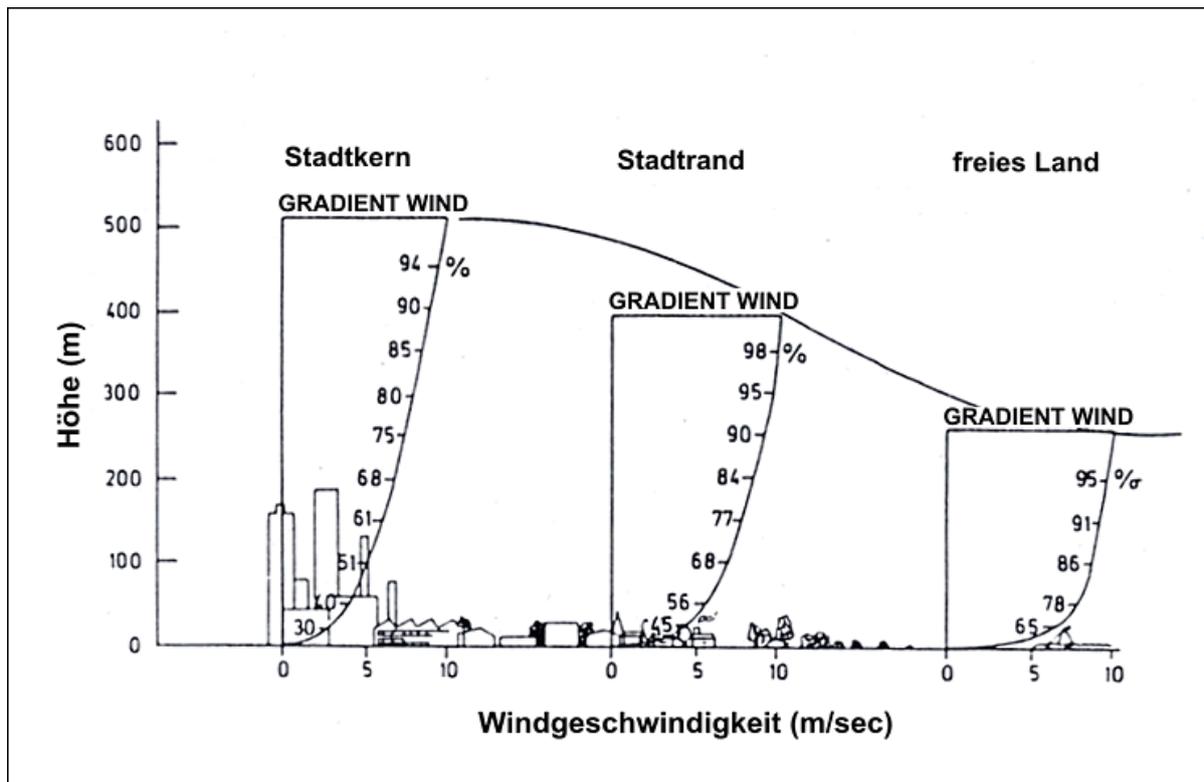


Abbildung 3 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978)

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

Stark durch das vorliegende Relief geprägte Windsysteme (topographisch) sind bspw. Hangwinde sowie Berg- und Talwinde (siehe Abbildung 4). Vor allem bei Städten in Tal- und Kessellagen sind diese Zirkulationssysteme von Bedeutung, da sie die Frischluftzufuhr und den Abluftabtransport (z.B. hinsichtlich Schadstoffe) fördern.

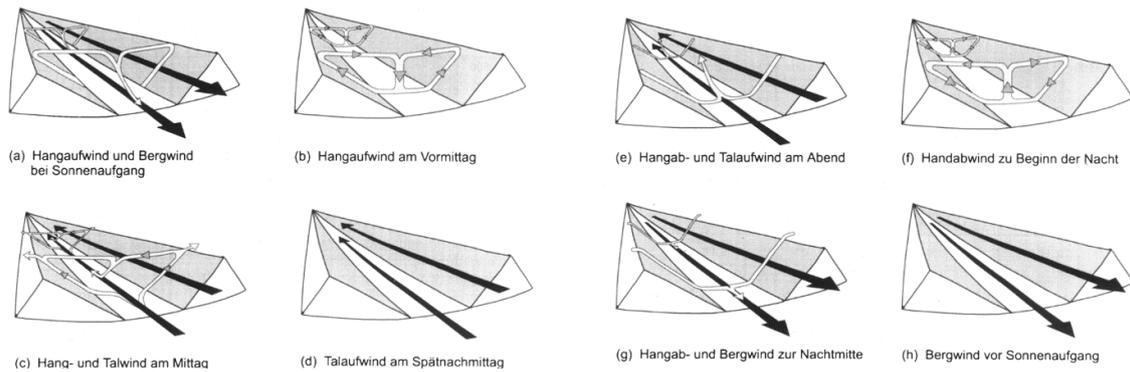


Abbildung 4 Vereinfachte Darstellung der Zirkulation von Hang- sowie Berg- und Talwinden in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cihak 1979).

## 2.5. Flurwind und Kaltluft

Neben den durch das Relief beeinflusste 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 5). Der entstehende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Druckausgleichsströmung).



Abbildung 5 Schematische Darstellung eines Flurwindsystems am Beispiel des Stadt-Umland-Windsystems. Die wärmere "Stadtluft" steigt wegen ihrer geringeren Dichte auf, während die kühlere "Landluft" absinkt. Durch diesen Luftdruckgegensatz entsteht ein Wind vom Land in die Stadt.

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

Auf mikro- und mesoskaliger Ebene (vgl. Abbildung 9, Seite 12) beschreibt die Kaltluftentstehung den nächtlichen Abkühlungsprozess der bodennahen Luftschichten. Die Entstehung der Kaltluft beginnt während des Sonnenuntergangs, bedingt durch die fehlende solare Einstrahlung sowie die gleichzeitige thermische Ausstrahlung der oberen Bodenschicht, und dauert bis in die frühen Morgenstunden an.

Durch die höhere Dichte der erkalteten Luft verhält sie sich ähnlich einer Flüssigkeit und strömt in Abhängigkeit vom Gefälle in tiefere Regionen. Eine signifikante Strömungsdynamik entwickelt sich ab ca. 1° bis 2° Gefälle und wird von der Rauigkeit (vgl. 2.6) der überströmten Bodenschichten (siehe Tabelle 3) beeinflusst.

Das Entstehungsgebiet sowie die Kaltluftproduktionsrate werden von dem vorhandenen Untergrund bestimmt. Hierbei fördern besonders unversiegelte Freiflächen (z.B. Wiesen, Brachen, Grünflächen etc.) mit einer niedrigen Vegetationshöhe die Kaltluftproduktion. Liegen diese Areale in einem reliefierten Gebiet (z.B. unbebaute Hänge), werden die Kaltluftmassen über die topographischen Windsysteme (Hang- und Bergwinde, vgl. Abbildung 4) abgeleitet. Allerdings können Hindernisse, in Abhängigkeit ihrer Ausprägung (Länge, Höhe, Ausrichtung), den Kaltluftabfluss behindern oder auch komplett zum Erliegen bringen (siehe Abbildung 6).

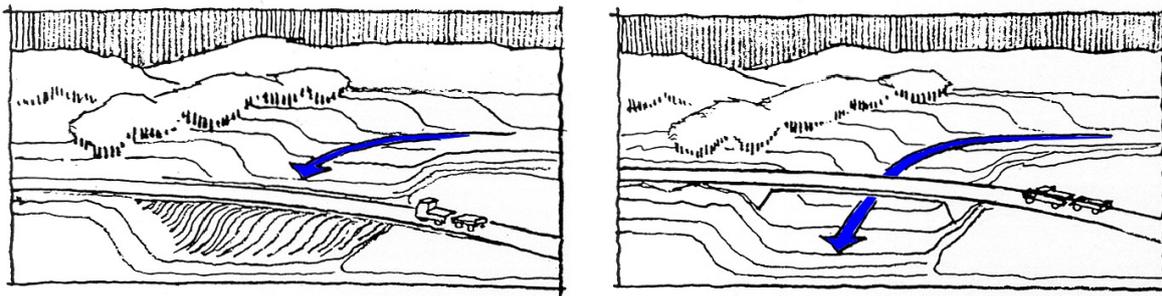


Abbildung 6 Der, den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012).

Fehlendes Gefälle bei diesen Kaltluftentstehungsflächen reduziert die Kaltluftproduktion nicht, limitiert allerdings den Wirkungsbereich durch den fehlenden Kaltluftabfluss. Unter Umständen können die Sogwirkungen vorhandener Flurwinde (vgl. oben) 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 (die Aufheizung am Tag wird durch die Baumkronen verringert) unterstützt, wodurch der Kaltluftabfluss aus dem bodennahen Waldbereich möglich wird. In Abhängigkeit von Gefälle, Dauer und Einzugsgebiet kann eine Kaltluftschicht bis zu einer Höhe von über mehreren Dekametern oder mehr anwachsen.

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

Tabelle 2 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k.A. = keine Angaben).

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

In der Regel handelt es sich bei diesen Luftmassen um weniger stark belastete Luft, weshalb sie auch im Zusammenhang mit dem städtischen Luftaustausch 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 muss die Umgebung bzw. mögliche lufthygienische Störfaktoren bei der Bewertung von potentiellen Frischluftzuflüssen mit einbezogen werden. Der Begriff der Frischluft beschreibt den am Tag durch Photosynthese neu gebildeten Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) 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

## 2.6. Städtische Belüftung – Rauigkeit und Porosität

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

Hinsichtlich der Rauigkeit einer Oberfläche oder eines Terrains sind zwei Parameter von Relevanz. Zum einen die Rauigkeitslänge ( $Z_0$ ) und zum anderen die Nullpunktverschiebung ( $Z_d$ ). Typische Werte beider Rauigkeitsparameter für unterschiedliche Beispiele werden in Tabelle 3 wiedergegeben.  $Z_0$  beschreibt den durch die Oberflächenrauigkeit eines Hindernisses beeinflussten vertikalen Raum über dem Objekt.  $Z_d$  beschreibt den vertikalen Versatz von  $Z_0$  (siehe Abbildung 7). 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 7) wird als Näherung zur Beschreibung von Geschwindigkeitsprofilen verwendet, die durch die Bodenrauigkeit oder die Bebauung in der Windströmung entstehen.

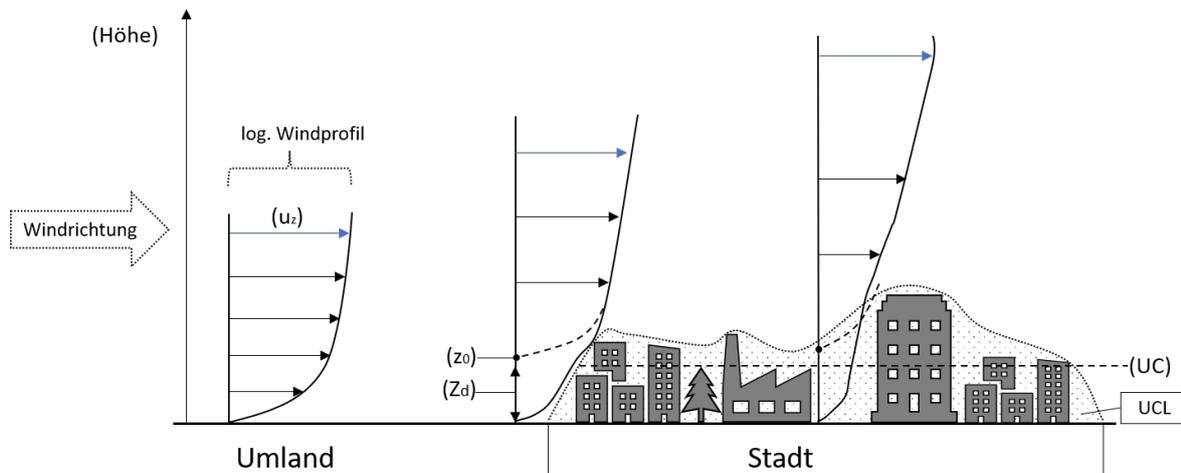


Abbildung 7 Schematische Darstellung der Beeinflussung des log. Windprofils im urbanen Bereich.  $z_0$  beschreibt die Rauigkeitslänge in Metern,  $z_d$  die Nullpunktverschiebung in Metern,  $u_z$  die Windgeschwindigkeit (blauer Pfeil mit gleicher Geschwindigkeit, aber auf unterschiedlicher Höhe = vertikale Streckung des Profils) und den Raum unterhalb der mittleren Gebäudehöhe (UC).

Tabelle 3 Beispiele für  $z_0$  und  $z_d$  für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017)

	Oberfläche   Terrain	Rauigkeitslänge ( $z_0$ )	Nullpunktverschiebung ( $z_d$ )
rural	Eis, geteerte Fahrbahn	0,001 – 0,01mm	--
	Schnee, Wasser	0,1 – 1mm	--
	blanker Boden, geschnittenes Gras*	0,01 – 0,02m	--
	Gras*, Stoppelfeld	0,03 – 0,06m	0,1 – 0,3m
	Ackerland, Pflanzenbestand*	0,05 – 0,15m	0,2 – 0,7m
	Plantagen*, Buschland*	0,4 – 1m	1,3 – 2,5m
	Wald*	0,8 – 2m	9 – 24m
urban	niedrige Höhe und Dichte Häuser, Gärten, Bäume, Warenhäuser	0,3 – 0,8m	2 – 4m
	mittlere Höhe und Dichte Reihenhäuser, Stadtzentren	0,7 – 1,5m	3,5 – 8m
	hoch und hohe Dichte weniger als sechs Stockwerke, Reihen- und Block-Gebäude	0,8 – 2m	7 – 15m
* abhängig von der Windgeschwindigkeit, da Vegetation flexibel ist			

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

Ergänzend zu den dynamischen Faktoren  $Z_0$  und  $Z_d$ , die eine direkte Aussage über die Rauigkeit bzw. den Reibungsverlust treffen (vgl. oben), 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.

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

## 2.7. Luftleitbahnen

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

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

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

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

## 2.8. Strömungsregime

In Abhängigkeit von der Stadtmorphologie können sich unterschiedliche lokale Strömungsregime im innerstädtischen Raum ausbilden (siehe Abbildung 8). 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 4).

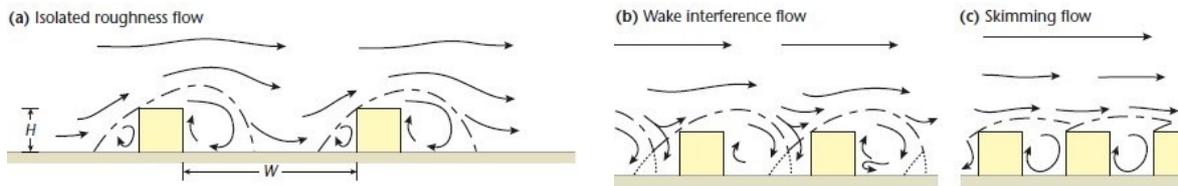


Abbildung 8 Schematische Darstellung unterschiedlicher Strömungsregime (isolierte Rauigkeitsströmung (a), Wirbelüberlagerungsströmung (b) und die abgehobene Strömung (c)) (nach Oke 1988, basierend auf Daten von Hussain und Lee 1980).

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

Höhen-Weiten-Verhältnis	Strömungsregime
kleiner als 0,3 bis 0,5	Isolierte Rauigkeitsströmung (vgl. Abbildung 8 – a)
größer 0,5 und kleiner 0,65	Wirbelüberlagerungsströmung (vgl. Abbildung 8 – b)
größer als 0,65	Abgehobene Strömung (vgl. Abbildung 8 – 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.

### 3. Methodik und Software

#### 3.1. Stadtklimatische Untersuchung

##### 3.1.1. Herleitung

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

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

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

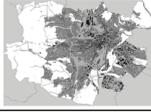
administrativer Bezug	Planungsebene	klimatische Einordnung	klimatische Fragestellung	Auflösung
 Region	Regionalplan > M 1: 100.000	Mesoklima	regionale Luftaustauschprozesse und Klimafunktionen	Rastergröße 100 m
 Stadt	Flächennutzungsplan > M 1: 10.000	Mesoklima	Wärmeineleffekt, Belüftungsstrukturen (Rauhigkeiten)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

Abbildung 9 Klima- und Planungsebenen. Klimatische Einordnung von regionalen und städtischen Planungsebenen (FG UMET Universität Kassel, 2012)

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 (siehe 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 „Hotspots“ herauskristallisieren, so können diese nachfolgend, unter Zuhilfenahme mikroklimatischer, numerischer Simulationen, genauer untersucht werden, um detaillierte Maßnahmen zu erarbeiten.

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

### 3.1.2. 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 unter Einbeziehung ihres Ursprungs und ihrer Abhängigkeiten zugrunde gelegt.

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

### 3.1.3. Ableitung der Planungshinweiskarte

Die Planhinweiskarte (PHK) transformiert die wissenschaftlichen Erkenntnisse der KFK sowie weiterer Analysen, Szenarien und Studien in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Stadtentwicklung. Durch die integrierte Berücksichtigung vieler unterschiedlicher Thematiken können so synergetische, aber

auch konkurrierende Effekte - und die damit verbundenen Maßnahmenempfehlungen - in Bezug auf die kommunale Planung herausgearbeitet werden.

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

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

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

zugewiesen.

### 3.1.4. Technische Umsetzung

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

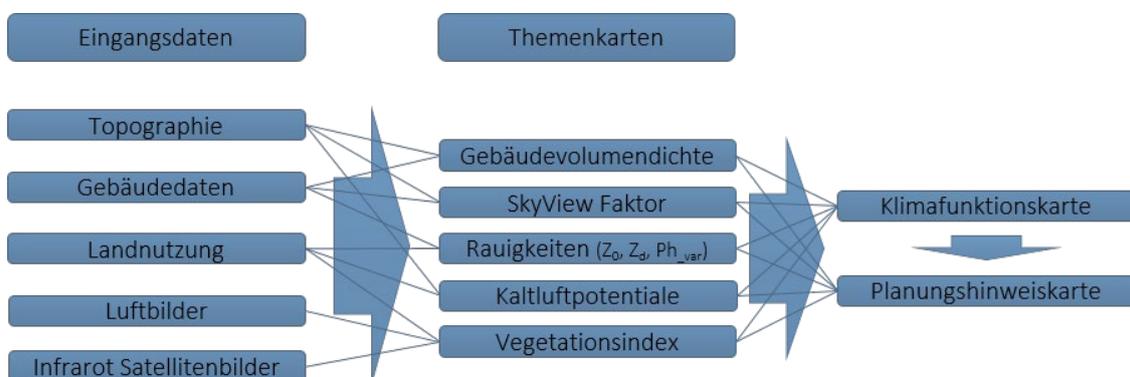


Abbildung 10 Schematische Darstellung der grundsätzlichen Herleitung von KFK und PHK. Die Eingangsdaten bilden diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen ab, die Themenkarten repräsentieren klimarelevante räumliche Ableitungen.

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

innerhalb eines Geoinformationssystems (hier ArcGISPro der Firma Esri).

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, werden die einzelnen Themenkarten (siehe Abbildung 11) mit Hilfe mehrerer und unterschiedlicher Eingangsdatensätzen erstellt. Entgegen den Eingangsdaten, welche diskrete stadt- und landschaftsplanerische Informationen abbilden, repräsentieren die Themenkarten klimarelevante räumliche Ableitungen. Die Entwicklung

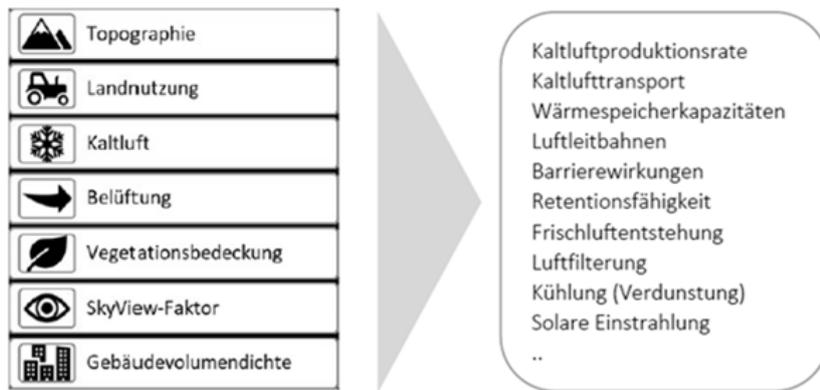


Abbildung 11 Die unterschiedlichen Themenkarten (links) mit deren Hilfe die klimatischen Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können.

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 – so-fern vorhanden – weiterer stadtklimatische Analysen und Untersuchungen in planungsangepasste Aussagen hinsichtlich einer städtebaulichen und zukunftsorientierten (klimaangepassten) Entwicklung des Untersuchungsraums transformiert (siehe Abbildung 12).

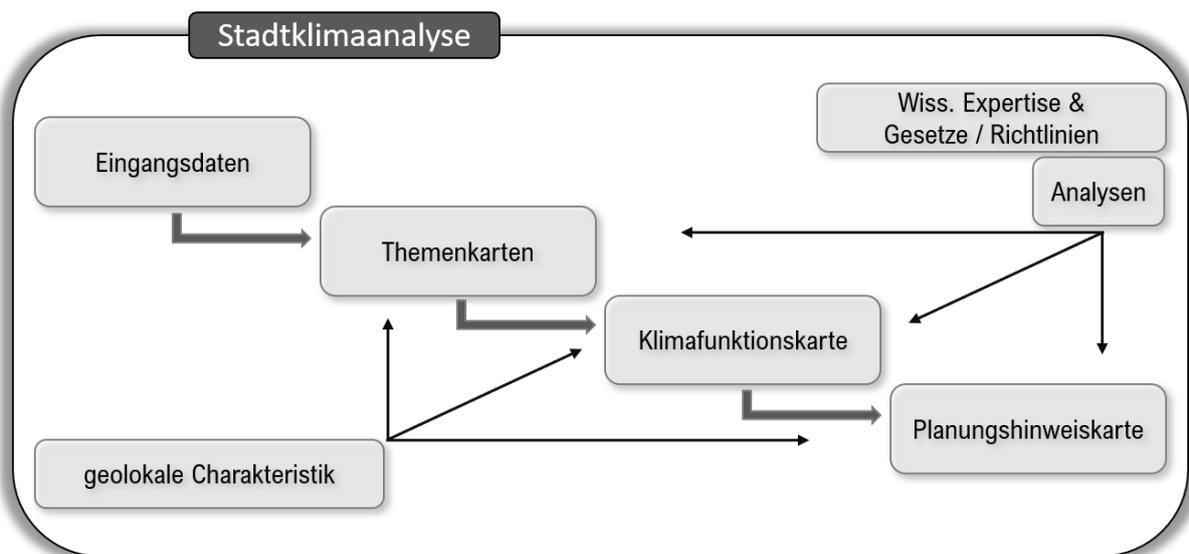


Abbildung 12 Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse

### 3.2. 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.

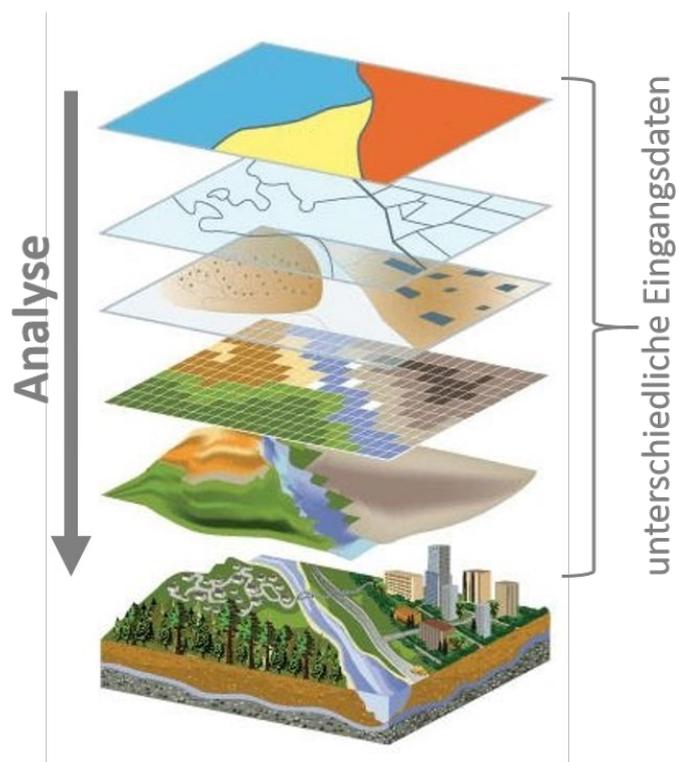


Abbildung 13 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines GIS. Unterschiedlichste Eingangsdaten (Raster- oder Vektordaten) können miteinander verschnitten und analysiert werden, um ein möglichst genaues digitales Abbild der Realität zu schaffen (ESRI 2020, modifiziert Burghardt 2020).

### 3.3. 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 km<sup>2</sup>. 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 Kaltlufthöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten. Der Vergleich von IST- und Planungszuständen wird mit Differenzkarten oder zeitlichen Animationen der Kaltlufthöhe, der Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme visualisiert.“ (DWD 2016)*

### 3.4. Wildfeldsimulation

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. Der Untersuchungsraum

### 4.1. Untersuchungsraum (Lage und Naturraum)

Kempten (Allgäu) ist eine kreisfreie Stadt mit etwa 70.000 Einwohnern. Sie liegt im Allgäu, im bayerischen Regierungsbezirk Schwaben. Kempten ist das Ober-, Schul- und Verwaltungszentrum der umliegenden Wirtschafts-, Urlaubs- und Planungsregion Allgäu und nach Augsburg die zweitgrößte Stadt des Regierungsbezirks. Vororte und nahe gelegene Ortschaften von Kempten sind von Nord über Ost nach West gelegen Lauben, Haldenwang, Wildpoldsried, Betzigau, Durach, Waltenhofen, Buchenberg und Wiggensbach (siehe Abbildung 14).

Die Mittelstadt liegt am Grenzgebiet zu den österreichischen Bundesländern Tirol und Vorarlberg.

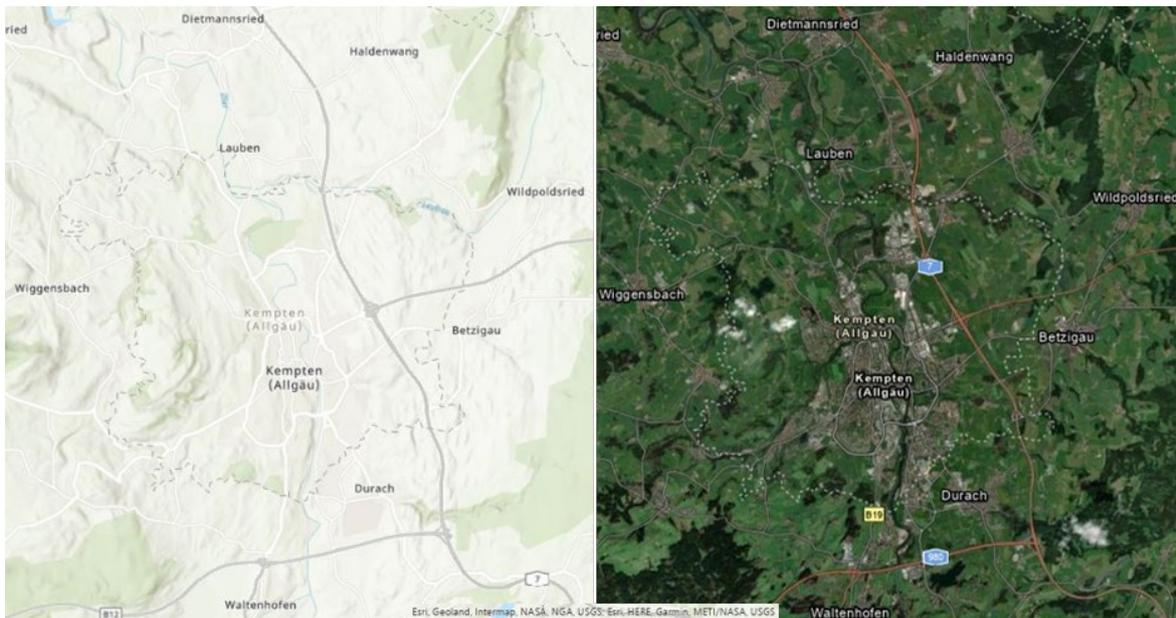


Abbildung 14 Lageübersicht der Stadt Kempten (Allgäu) im Maßstab 1:150.000. Topographische Grundkarte (links) und Satelliten-Hybridkarte (rechts).

Kempten liegt 646 m bis 915 m ü. NHN am Alpennordrand an den Ufern der Iller. Sie ist die zweithöchstgelegene Stadt Deutschlands mit über 50.000 Einwohnern. Die höchste Erhebung der Stadt stellt der Marienberg dar (915 m ü NHN), welcher westlich des Stadtgebiets liegt.

Verschiedene Kuppen und Höhenrücken umgeben die Stadt. Hierzu gehören die Erhebungen des Haubenschlosses (759 m ü NHN), des Reichelsberges, der Halde (700 m ü NHN) in nordsüdlicher Richtung sowie die Erhebungen der Burghalde (690 m ü NHN) und des Lenzfrieder Höhenrückens (762 m ü NHN) in ostwestlichem Verlauf. Im Süden befinden sich die Höhenzüge der Alpenkette.

Entsprechend der naturräumlichen Gliederung Bayerns zählt das gesamte Stadtgebiet zur Naturräumlichen Haupteinheit Iller-Vorberge (035) (Meynen und Schmithüsen 1962), welche große Teile des Oberallgäus einnimmt und zum Vorland nördlich der Alpen zählt.

Innerhalb dieser Haupteinheit können im Stadtgebiet von Kempten folgende naturräumliche Untereinheiten differenziert werden:

- Illertal (durchquert das Stadtgebiet von Süd nach Nord)
- Moränenlandschaften (im Südwesten, Nordwesten und Osten von Kempten)
- Marienberg (solitärstehender Höhenzug westlich des Stadtgebiets) (FNP 2009)

## 4.2. Klimatische Beschreibung des Untersuchungsraums

### 4.2.1. Temperatur & Niederschlag

Durch die alpennahe Lage liegt die Niederschlagsmenge von Kempten (siehe Abbildung 15) im deutschlandweiten Vergleich im oberen Bereich. Nach Auswertungen von 2325 Messstationen mit ihren vieljährigen Mitteln (1981 – 2010) liegt Kempten mit 1261 mm Niederschlag an 2164. Stelle (Minimum Bad Lauchstädt 473 mm, Maximum Balderschwang 2464 mm). (DWD 2020, a)

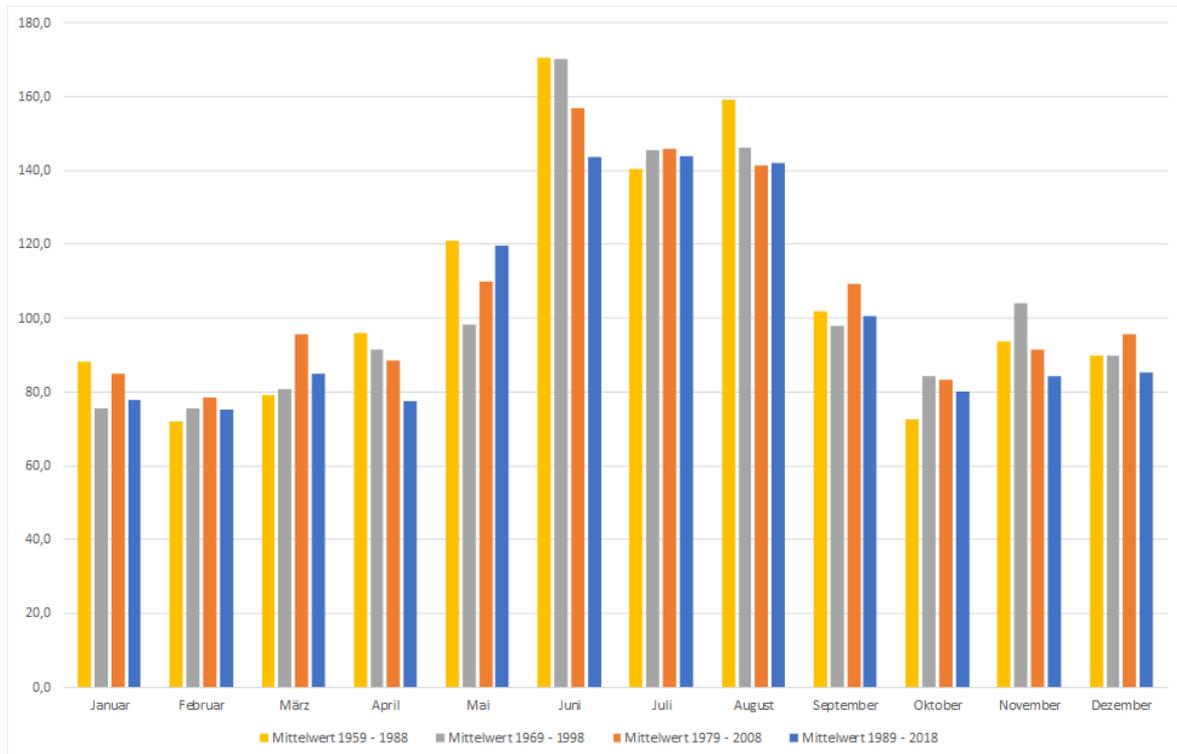


Abbildung 15 30-jährige Mittelwerte für den durchschnittlichen Niederschlag (in mm auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse)

Die jährliche Durchschnittstemperatur beträgt in Kempten im vieljährigen Mittel 7,6 °C (28. bis 31. Stelle<sup>1</sup> im Vergleich von 306 Wetterstationen: 1. Stelle Schneefernerhaus -3,7 °C (Extremstandort) 2. Stelle Carlsfeld 5,3 °C, 306. Stelle Waghäusel-Kirrlach 11 °C). Die geringste Temperatur, die in den Jahren 1952 – 2020 in Kempten gemessen wurde, lag im Januar 1985 bei -29,8 °C, die Höchsttemperatur lag im Juli 1984 bei 35,4 °C (DWD 2020, b).

Die Temperatur-Extrema liegen in ihren Maxima und Minima über die ausgewerteten Jahre 1952 bis 2020 gut verteilt und häufen sich nicht in der jüngeren Geschichte (siehe Tabelle 6). Vergleicht man die jeweiligen 30-jährigen Mittel zwischen den Jahren 1959 bis 2018, sind die Temperaturmaxima, -minima und -mittel insgesamt in den letzten Jahrzehnten in Kempten angestiegen (siehe Abbildung 16 bis Abbildung 18).

<sup>1</sup> mehrere Städte mit der gleichen Temperatur

Tabelle 6 Lufttemperaturen für die Stadt Kempten (DWD 2020, bearbeitet)

Mittel <sup>1</sup> - und Extremwerte <sup>2</sup> [°C]	extrem kalt		normal	extrem warm	
	Min	Datum	Mittel	Max	Datum
<b>Jahresmittel</b>	5,3	1956	7,6	9,5	2018
<b>niedrigstes   höchstes Monatsmittel</b>	-12,8	Feb. 1956	/	20,5	Jul. 2006
<b>absolute Minima   Maxima</b>	-29,8	07.01.1985	/	35,4	11.07.1984

\* Minimum oder Maximum ist mehrfach aufgetreten – nur das letzte Datum wird genannt

<sup>1</sup> Mittelwerte im Zeitraum 01.01.1981 – 31.12.2010

<sup>2</sup> Extrema im Zeitraum 01.01.1952 – 01.01.2020

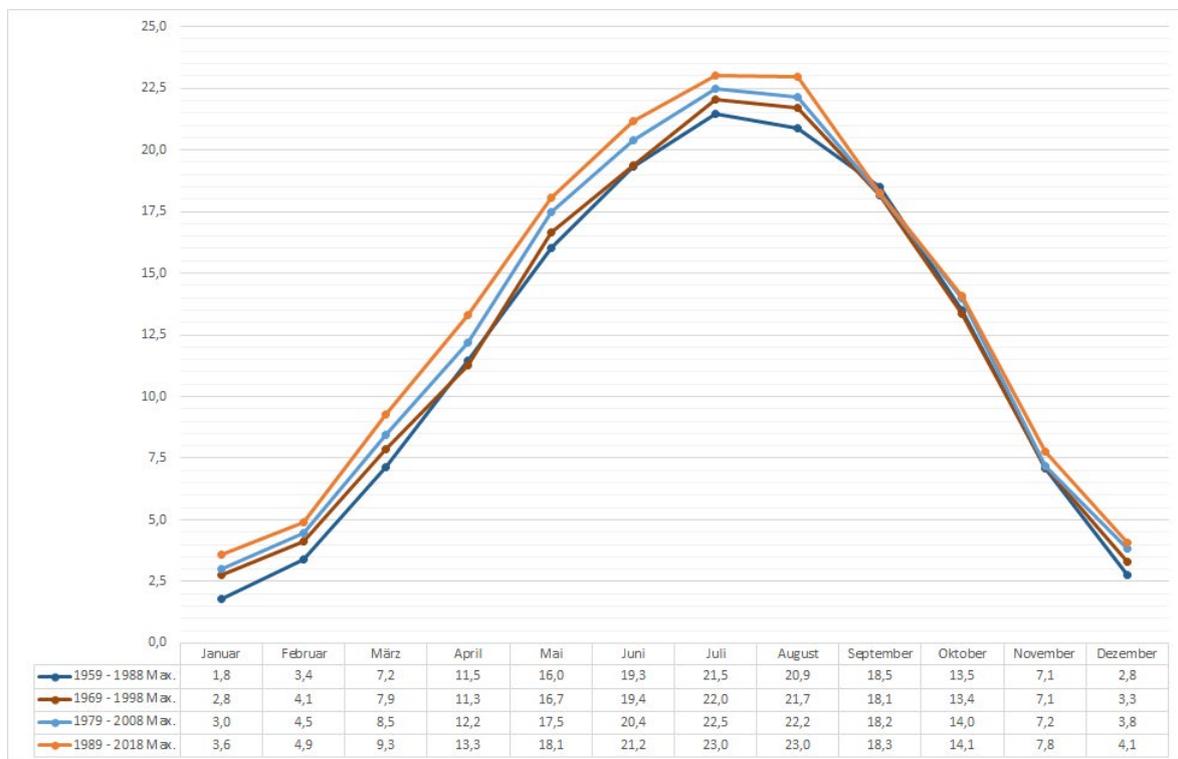


Abbildung 16 30-jährige Mittelwerte für die Temperatur Maxima (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse)



Abbildung 17 30-jährige Mittelwerte für die Temperatur Minima (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse)

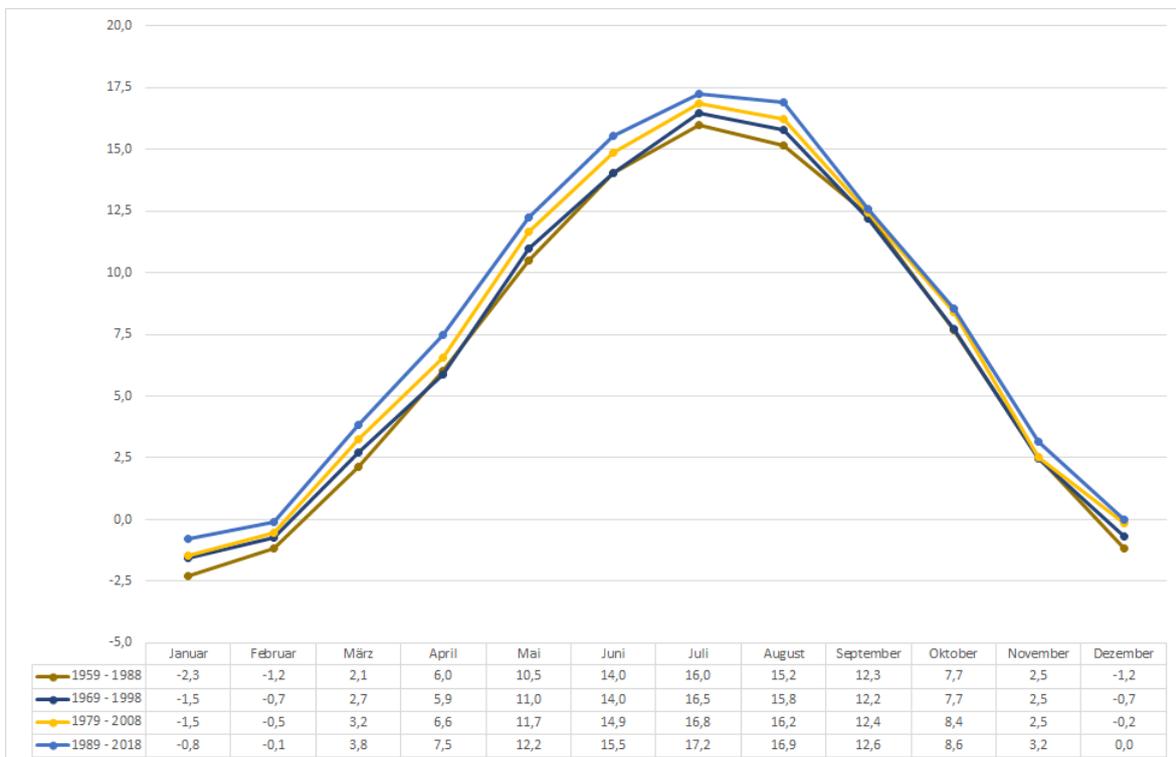


Abbildung 18 30-jährige Mittelwerte für die durchschnittliche Temperatur (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse)

Das Illertal stellt eine wichtige Föhn-gasse aus den Alpen dar. Nicht zuletzt dadurch wird eine im bundesweiten Vergleich hohe Anzahl an Tagen mit Sonneneinstrahlung gemessen. Ausgewertet wurden hier 260 Wetterstationen mit Messung der Sonnenscheindauer im vieljährigen Mittelwert (1981 – 2010): Kempten 255. Stelle mit 1779 Std., 260. Stelle Zugspitze mit 1878 Std., 1. Stelle Ruhpolding mit 1220 Std., 2. Stelle Nienburg mit 1329 Std. (DWD 2020, c).

Die geringste monatliche Sonnenscheindauer wurde im Untersuchungszeitraum (1952 – 2020) im November 1964 mit 24,5 min., die höchste mit 326,1 min. im Juni 1976 gemessen. 1980 wurden über den Jahreslauf insgesamt nur 1522,6 min. Sonnenschein gemessen, es ist das Jahr im Untersuchungszeitraum mit der geringsten Sonnenscheindauer. Dem entgegen wurden 2003 insgesamt 2107,2 min. Sonnenschein gemessen, dies ist das Jahr mit der höchsten Sonnenscheindauer im genannten Untersuchungszeitraum (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Sonnenscheindauer für die Stadt Kempten (DWD 2020, bearbeitet)

Mittel <sup>1</sup> - und Extremwerte <sup>2</sup> [h]	sonnenscheinarm		normal	sonnenscheinreich	
	Min	Datum	Mittel	Max	Datum
<b>Jahressummen</b>	1522,6	1980	1779,0	2107,2	2003
<b>niedrigstes   höchstes Monats-summe</b>	24,5	Nov. 1964	/	326,1	Jun 1976
<sup>1</sup> Mittelwerte im Zeitraum 01.01.1981 – 31.12.2010					
<sup>2</sup> Extrema im Zeitraum 01.01.1952 – 01.01.2020					

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Stadtgebiet von Kempten in einem Bereich mit einer hohen aber noch durchschnittlichen Niederschlagsmenge, einer vergleichbar hohen Anzahl an Sonnenstunden mit jedoch vergleichsweise geringen Temperaturen liegt. Die durchschnittliche Lufttemperatur ist dabei insgesamt in den letzten Jahrzehnten gestiegen.

#### 4.2.2. Windrichtung und Windstärke

Im Stadtgebiet Kempten liegt eine Wetterstation des DWD mit der Stations-ID 2559. Die Station liegt 47.7233 ° geographischer Breite und 10.3348 ° geographischer Länge (siehe Abbildung 19) direkt im urbanen Bereich auf einer Höhe von 705 m über NHN.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden in einer Höhe von 10 m über Grund erfasst. Für die nachfolgenden Auswertungen in den Abbildung 20 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis Abbildung 27 wurden die stündlich erfassten Messwerte der Jahre 1989 bis 2018 als 30-jähriger Bezug analysiert. Die Analyse unterteilt das Jahr in Quartale, bestehend aus Dezember, Januar, Februar (DJF) für die Wintermonate, März, April, Mai (MAM) für die Frühjahrsmonate, Juni, Juli, August (JJA) für die Sommermonate und September, Oktober, November (SON) für die Herbstmonate. Zusätzlich wurden die Datenreihen in die zeitlichen Abschnitte Tag und Nacht untergliedert. Da sich der Sonnenaufgang sowie der Sonnenuntergang im Jahresgang dynamisch verschiebt, wurden je nach Betrachtungsquartal, nachfolgend (siehe Tabelle 8) unterschiedliche Zeiträume zur Definition von Tag und Nacht herangezogen.



Abbildung 19 Standort DWD Station 2559 in Kempten

Tabelle 8 Bezugszeiträume zur Definition der Tag-/Nachtsituation im quartalsbezogenen Jahresgang für die Stadt Kempten

	Tag	Nacht
<b>Winter (DJF)</b>	08:00 Uhr – 17:00 Uhr	17:00 Uhr – 08:00 Uhr
<b>Frühjahr (MAM)</b>	06:00 Uhr – 20:00 Uhr	20:00 Uhr – 06:00 Uhr
<b>Sommer (JJA)</b>	06:00 Uhr – 21:00 Uhr	21:00 Uhr – 06:00 Uhr
<b>Herbst (SON)</b>	08:00 Uhr – 18:00 Uhr	19:00 Uhr – 08:00 Uhr

Als Bezugspunkte wurden jeweils der Sonnenaufgang sowie der Sonnenuntergang für die Stadt Kempten am 15. des jeweils mittleren Quartalsmonat definiert. Hinsichtlich der daraus resultierenden Amplitude zwischen Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang zu Beginn und zum Ende eines Quartals, ist eine gewisse Unschärfe in der exakten Bestimmung der Tag-/Nachtsituation unumgänglich.

### Windrichtung und Windstärke während des Tages im langjährigen Mittel für den Winter (DJF)

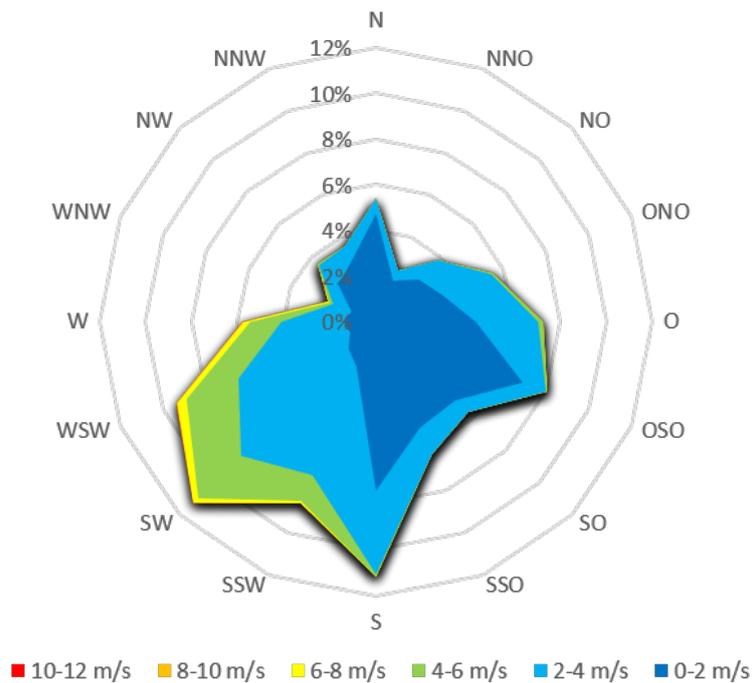


Abbildung 20 Windrichtung und Windstärke während des Tages (8-17 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Wintermonate

### Windrichtung und Windstärke während der Nacht im langjährigen Mittel für den Winter (DJF)

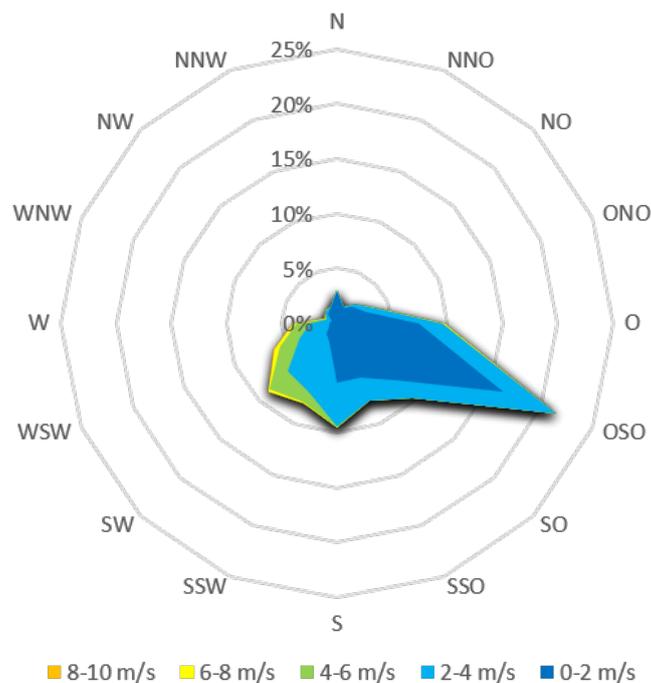


Abbildung 21 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (17-8 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Wintermonate

### Windrichtung und Windstärke während des Tages im langjährigen Mittel für den Frühling (MAM)

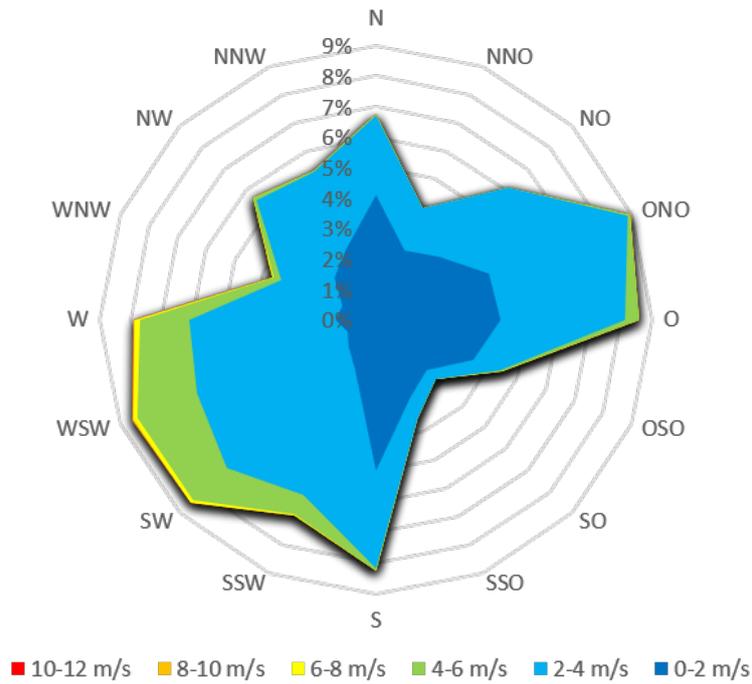


Abbildung 22 Windrichtung und Windstärke während des Tages (6-20 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Frühlingsmonate

### Windrichtung und Windstärke während der Nacht im langjährigen Mittel für den Frühling (MAM)

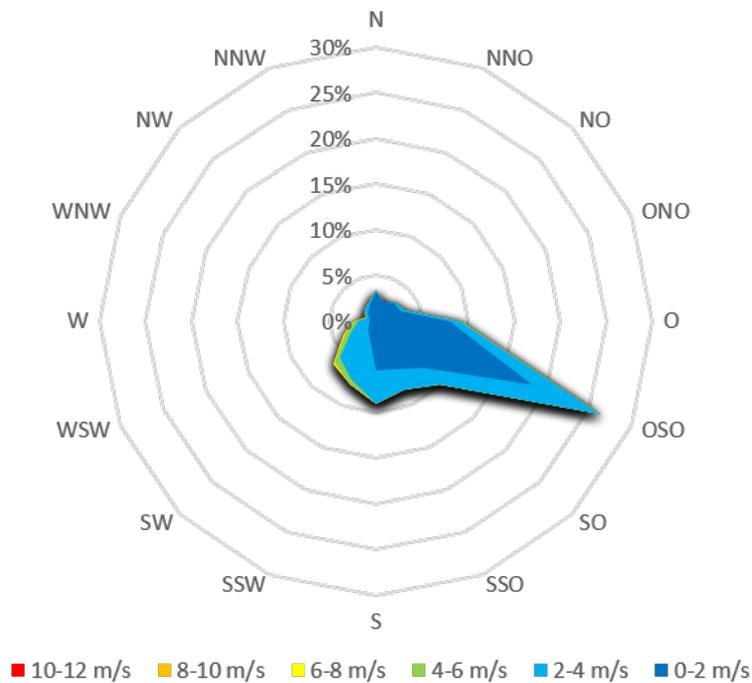


Abbildung 23 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (20-6 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Frühlingsmonate

### Windrichtung und Windstärke während des Tages im langjährigen Mittel für den Sommer (JJA)

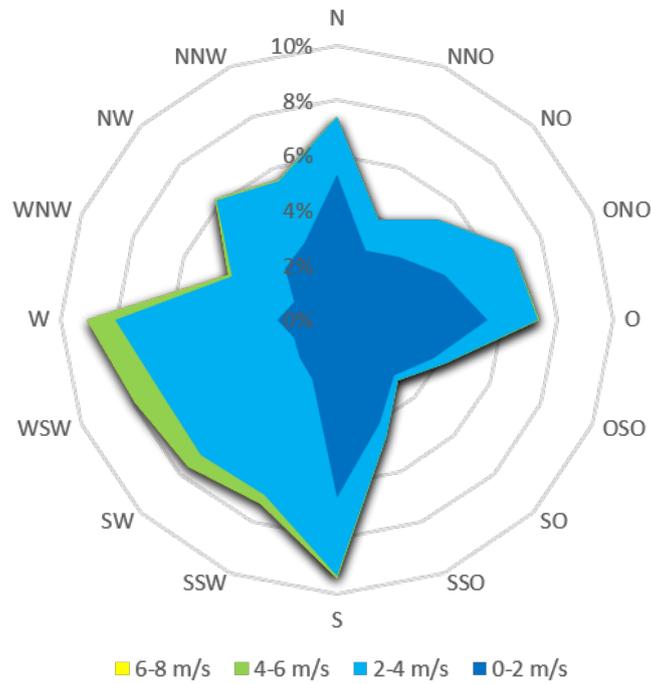


Abbildung 24 Windrichtung und Windstärke während des Tages (6-21 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Sommermonate

### Windrichtung und Windstärke während der Nacht im langjährigen Mittel für den Sommer (JJA)

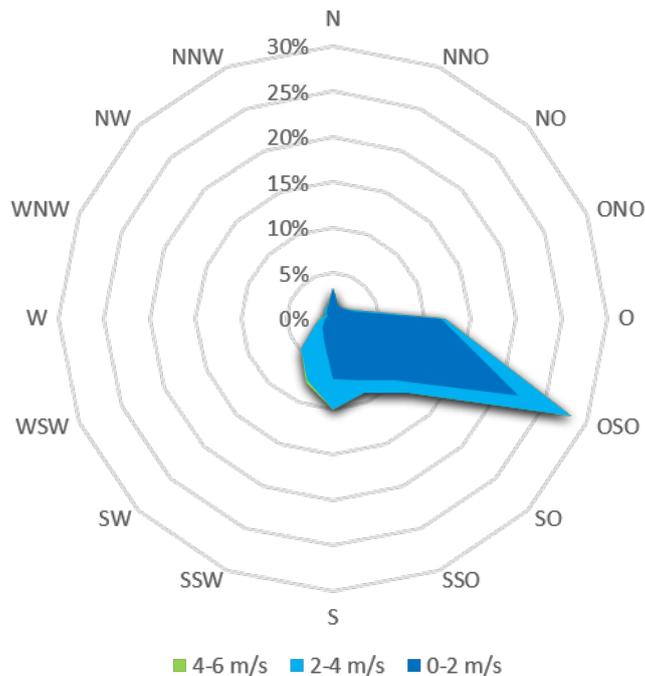


Abbildung 25 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (21-6 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Sommermonate

### Windrichtung und Windstärke während des Tages im langjährigen Mittel für den Herbst (SON)

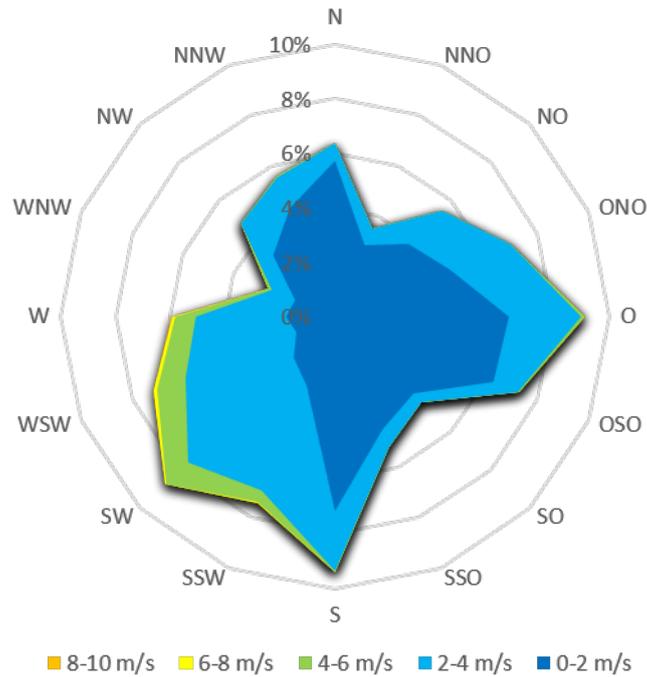


Abbildung 26 Windrichtung und Windstärke während des Tages (8-18 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Herbstmonate

### Windrichtung und Windstärke während der Nacht im langjährigen Mittel für den Herbst (SON)

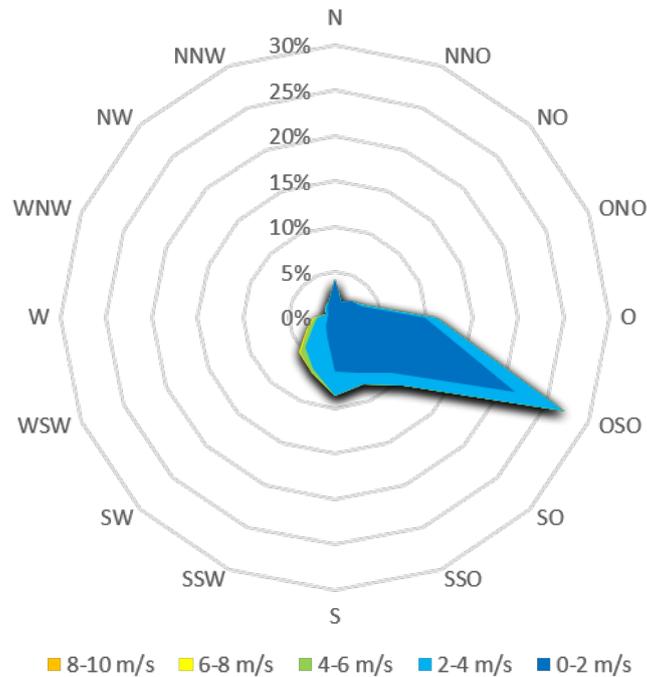


Abbildung 27 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (18-8 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Herbstmonate

In der Gesamtbetrachtung der Jahresquartale (siehe Abbildung 20 bis Abbildung 27) ist eine deutliche Unterscheidung der Windrichtung zwischen der Tag- und der Nachtsituation erkennbar. Während am Tag südliche bis westliche und östliche Komponenten charakterisierend sind, werden die Nachtsituationen über das ganze Jahr hinweg durch eine Ost-Süd-Ost Komponente geprägt, mit Dominanz geringer Windgeschwindigkeiten bis 4 m/s. Dieses nächtliche Erscheinungsbild findet sich auch für den Standort der Messstation in den Ergebnissen der nächtlichen Kaltluftberechnung (siehe Abbildung 36 in Kapitel 5.1.7) wieder.

Die auch während der Tagsituation auftretenden östlichen Komponenten können in dieser Analyse nicht qualifiziert betrachtet werden, da zu vermuten ist, dass diese Anströmungssituationen nach Sonnenuntergang auftreten, da wie bereits einleitend erwähnt für jedes Quartal ein Bezugsdatum für die Definition der Tag- und Nachtsituation herangezogen wurde. Dahin gehend bleibt es wahrscheinlich, dass diese östlichen Komponenten erst nach Sonnenuntergang aufgetreten sind.

Das weitere Muster und die Varianz der Windverteilung innerhalb der einzeln analysierten Quartale zeichnet generell ein Bild von schwachwindgeprägten Situationen für das Stadtgebiet Kempten. Einzig im Winter- und Frühjahrsquartal steigt die Windgeschwindigkeit, bei primär südwestlicher Anströmung, auf bis zu 12 m/s. Da dies jedoch auch in diesen Quartalen nur sehr selten vorkommt, ist eine grafische Darstellung in den Abbildungen nicht ersichtlich.

## 5. Bestandsaufnahme und IST-Analyse

### 5.1. Klimarelevante Themenkarten

Die nachfolgend dargestellten und beschriebenen Themenkarten stellen subsidiäre Elemente im Kontext der Stadtklimaanalyse der Stadt Kempten und der Ableitung der Klimafunktionskarte bzw. der Planungshinweiskarte dar und leisten so einen wichtigen Planungsbeitrag. Mit Hilfe der Themenkarten wird ersichtlich, welche Aspekte / Faktoren für die Klimatopableitung (innerhalb der Klimafunktionskarte) an welcher Stelle von Bedeutung sind. Entsprechend der Einordnung / Zuordnung nach Tabelle 9 können die Themenkarten für die Betrachtung und Folgebetrachtung von klimatischen und planungsbezogenen Fragestellungen herangezogen werden.

Tabelle 9 Übersicht der erstellten Themenkarten und daraus abgeleiteten Anwendungsbeispielen und potentiellen Folgebetrachtungen

Themenkarte	Aspekte / Faktoren Anwendungsbeispiele	Mögliche Folgebetrachtung (beispielhaft)
<b>Vegetationserfassung</b>	Durchgrünung der Stadt bzw. einzelner Stadtteile und Quartiere. Erfassung defizitärer Vegetationsräume	Versiegelungskataster, Gründachkataster, Grünvernetzungsanalyse
<b>Landnutzung</b>	Durchgrünung der unterschiedlichen offiziellen Landnutzungsclassen. Zeigt die aktuelle Landnutzung im Untersuchungsgebiet auf und gibt Hinweise zu Wärmespeicherkapazitäten der unterschiedlichen Oberflächen	In Kombination mit z.B. vertieften Vegetationserfassungen / -analysen sind die Entwicklung von stadttangepassten Handlungsleitfäden z.B. zu durchgrünerten Industriestandorten möglich
<b>Gebäudevolumendichte</b>	Erkennen und Verstehen der Akkumulierung von Gebäudemassen im dreidimensionalen Raum. Identifizierung von defizitären Flächen und Potentialräumen	Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur städtischen Nachverdichtung
<b>SkyView Faktor</b>	Berechnung der horizontalen und vertikalen Offenheit der Erdoberfläche gegenüber dem Himmel Planerische Ableitung des Lichtraumprofils des Straßenraums	Zusätzliche Informations- / Datenquelle bei der detaillierten Betrachtung von hitzegefährdeten (spez. Heat-Trap) Bereichen
<b>Topographisches Einzugsgebiet</b>	Identifizierung von Kaltlufteinzugsgebieten als wichtige Information zum Wirkraum und potentiellen Entwicklungspotentialen. Vorgaben für städtebaulichen Wettbewerbe, B-Pläne etc.	Vertiefende Analyse zum Oberflächenabfluss. Entwicklung einer Starkregenrisikokarte
<b>Kaltluftentstehung &amp;</b>	Identifizierung von	Vertiefende Be- und

<b>-transport</b>	Kaltlufteinzugsgebieten als wichtige Information zum Wirkraum und potentiellen Entwicklungspotentialen. Vorgaben für städtebaulichen Wettbewerbe, B-Pläne etc.	Durchlüftungsanalyse für eine detaillierte geostatistische und numerische Windfeld-Herleitung für das Stadtgebiet
<b>Städtische Rauigkeit</b>	Identifizierung von defizitären Durchlüftungsbereichen. Vorgaben für städtebaulichen Wettbewerbe, B-Pläne etc.	Höhen-Weiten Analyse mit Strömungsregimen

Die Betrachtungsebene (vgl. Tabelle 9) ist auf eine direkte Nutzung der Themenkarten ausgelegt. Das bedeutet, diese exemplarischen Fragestellungen können mit Hilfe der Karten beantwortet werden. Die Folgebetrachtung ist als analytischer Ausblick zu verstehen. Im Ergebnis sind durch die Erarbeitung der Themenkarten Grundlagen mit einem singulären Mehrwert entstanden, auf deren Datenbasis weitere Analysen durchgeführt werden können.

### 5.1.1. Vegetationserfassung

Mit Hilfe der Vegetationserfassung (NDVI-Auswertung) ergibt sich die Möglichkeit einer realistischen Erfassung aller Grünstrukturen auf dem Gebiet der Stadt Kempten, die über die Aufnahme mittels einfacher Landnutzungskartierung (vgl. 5.1.2) hinausgeht. Insbesondere die sonst im Kontext der Landnutzungsklassifizierung nicht verfügbaren Informationen zu bspw. privatem Grün, Solitärgehölzen, Sukzessions- und Ruderalfluren können das klimatische- und das städtebauliche Erscheinungsbild einer Stadt stark beeinflussen. In der Auswertung für die Stadt Kempten wurde diese Analyse für alle „nicht natürlichen“ Flächen in Kombination mit den Landnutzungsclassen „Landwirtschaft“ und „Wald“ des BasisDLM25 durchgeführt (siehe Abbildung 28).

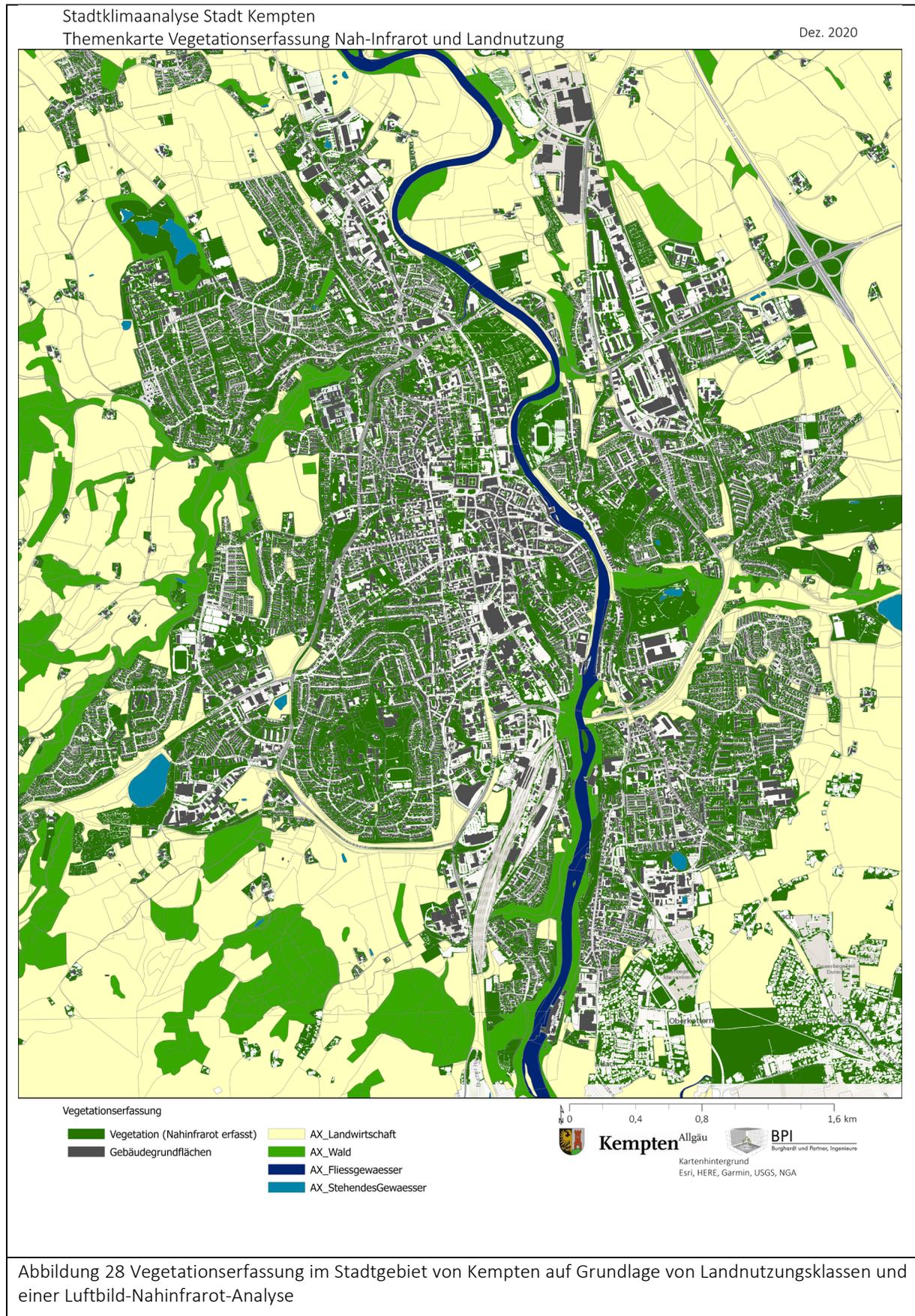
#### Planungsrelevanz:

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

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

Für das Stadtgebiet Kempten zeigt sich insgesamt ein hoher Durchgrünungsanteil. Ein Großteil der Siedlungsflächen, die außerhalb des Stadtkerns liegen, sind stark durchgrünt. Zu den defizitären Bereichen zählen in erster Linie der verdichtete Innenstadtbereich im Zentrum (südöstlich der Residenz), sowie im weiteren Verlauf nach Süden (um den Bereich der Bahnhofsstraße). Ebenfalls geringer durchgrünt sind die an die Residenz angrenzenden Siedlungsräume in nordwestlicher (Sängerstraße / Weiherstraße) sowie südwestlicher (Frühlingstrasse / Bodmannstraße) Richtung.

Bezogen auf die industriellen und gewerblichen Flächen zählen das nördliche Gebiet im Bereich der Memminger Straße / Unterwanger Straße – Oberwanger Straße, die im Süden / Südosten gelegenen Gebiete im Bereich der Max-Scheidhauf-Straße sowie östlich der L309 im Bereich der Linggener Straße und das im Nordosten gelegene Gebiet des Feneparks.



### 5.1.2. Landnutzung

Die Themenkarte der Landnutzung stellt die einfache Klassifizierung der vorkommenden Landnutzung entsprechend des BasisDLM25 Objektartenkatalogs dar. In Hinblick auf die Erstellung der Stadtklimaanalyse der Stadt Kempten wird die Landnutzung zur Bilanzierung der flächendeckenden thermischen Grundbelastung herangezogen. Abbildung 29 zeigt die vorhandene Landnutzung für den Untersuchungsraum. Die statistische Auswertung erfolgt ebenfalls für die Gesamtgemarkung der Stadt Kempten.

In Abbildung 29 sind die alle vorkommenden Landnutzungsklassen entsprechend ihrer thematischen Zugehörigkeit in 10 Landnutzungsgruppen zusammengefasst und mit ihrem flächenbestimmten Anteil am jeweiligen Bezugsraum (Gesamtgemarkung und Stadtgebiet (Untersuchungsraum)) dargestellt.

Das Diagramm (siehe Abbildung 29) zeigt wieviel der Grundflächen des entsprechenden Landnutzungstyps durch Vegetation bedeckt ist. Hierbei wird deutlich, das Industrie- und Gewerbeflächen typischer Weise im Vergleich zu Wohnbauflächen schwächer durchgrünt sind, da hier in den meisten Fällen der verfügbare Freiraum als Lager- oder Stellplatzfläche genutzt wird oder die Flächen im Kontext der Instandhaltungskosten einfach nicht begrünt werden. Gleichzeitig gibt es innerhalb des Siedlungsraums teilweise große Unterschiede in der räumlichen Verteilung und Dichte der vorhandenen Vegetationsstrukturen.

#### Planungsrelevanz:

Die Informationen zur Verteilung der Landnutzungsklassen im Untersuchungsraum sowie auf der Gesamtfläche der Gemarkung Kempten stellt primär eine wichtige Grundlage für die Berechnungsmatrix der Klimafunktionskarte dar. Im Kontext der Planungsrelevanz bleibt festzustellen, dass der dominierende Anteil von landwirtschaftlichen Flächen (in den Außenbereichen und über die Gemarkungsgrenzen hinweg) die für das Stadtgebiet bedeutende hohe nächtliche Kaltluftproduktion (vgl. Kap. 5.1.6) erklärt.

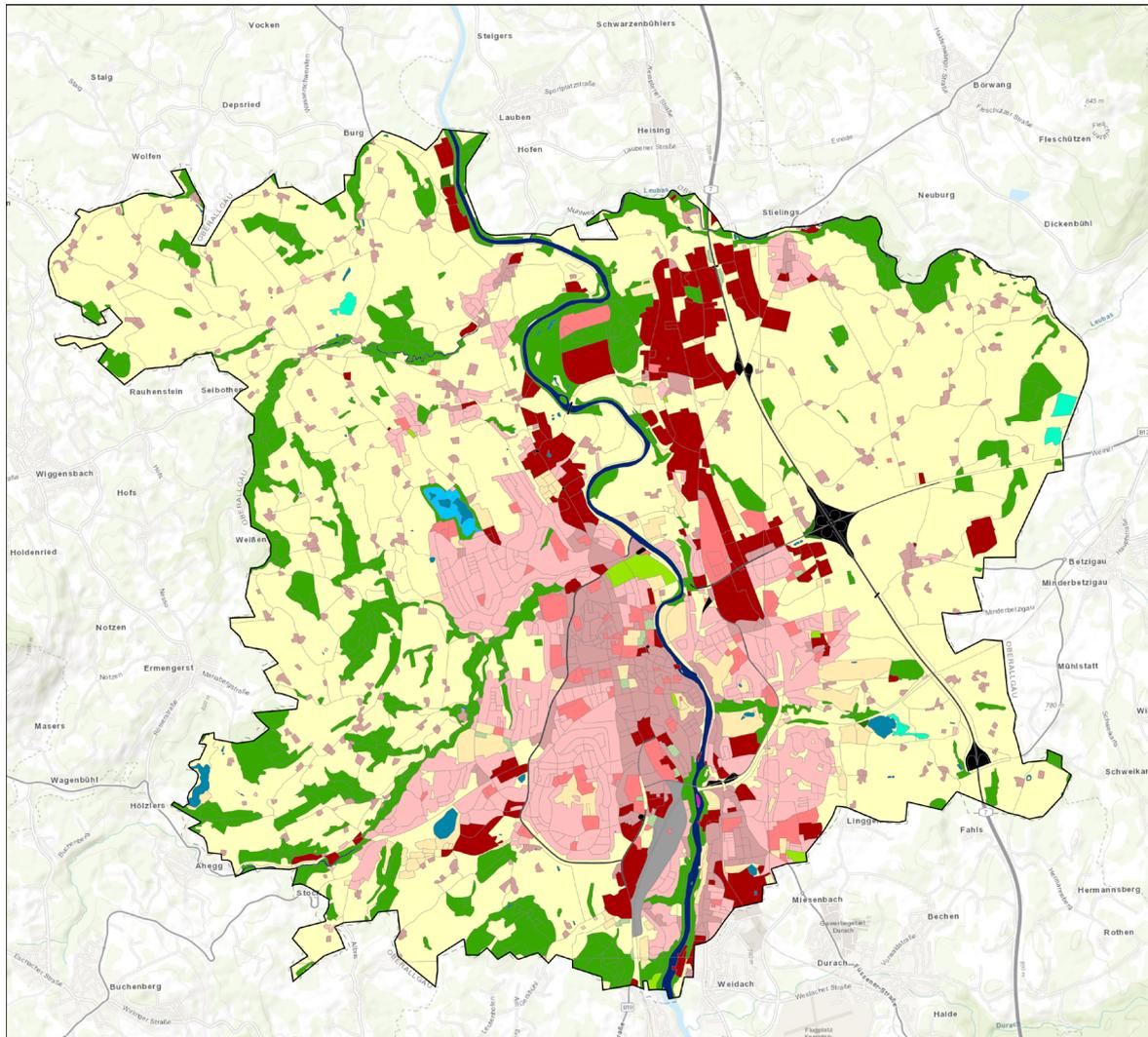
Auf der Gesamtfläche der Gemarkung Kempten dominieren landwirtschaftliche Flächen mit 55.2 % gefolgt von Wald mit 12.6 %. Nach den natürlichen Landnutzungsklassen ist der Untersuchungsraum mit 11,2 % durch Wohnbaufläche geprägt, und liegt damit nur knapp hinter den Waldflächen. Insbesondere das Fehlen von großen zusammenhängenden Frischluftproduzierenden Wäldern, ist im Kontext zukünftiger Stadtentwicklung zu berücksichtigen, da über die Frischluftversorgung der Stadt (in Kombination mit der Durchlüftung) Einfluss auf die Lufthygiene genommen werden kann.

Entsprechende statistische Auswertungen auf Grundlage der reduzierten Landnutzungsklassen zeigen die „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ mit 45,28 % die stärkste Durchgrünung, gefolgt von den „Wohnbauflächen“ mit 34,09 %. Ca. halb so stark durchgrünt sind die „Industrie- und Gewerbeflächen“ mit 17,74 % und abschließend „Flächen gemischter Nutzung“ mit 15,79 %.

Das bedeutet, dass im Minimum ca. 1/3 der eigentlichen Siedlungsflächen mit Vegetation bedeckt sind (es bleibt zu beachten, dass bei Bäumen die Kronenflächen und nicht der Stammraum erfasst wurden). Insbesondere Industrieflächen sind im gesamtstädtischen Durchschnitt geringer durchgrünt. Hier gilt es den Vegetationsanteil zu fördern, um diese meist stark versiegelten Gebiete klimatisch zu entlasten und den Oberflächenabfluss von Regenwasser zu reduzieren.

Stadtklimaanalyse Stadt Kempten  
Themenkarte Landnutzungsverteilung und Vegetationsanteil

Dez. 2020



Vergleich der Flächenanteile der Landnutzungsklassen des BasisDLM25 auf Grundlage der Gemarkung Kempten

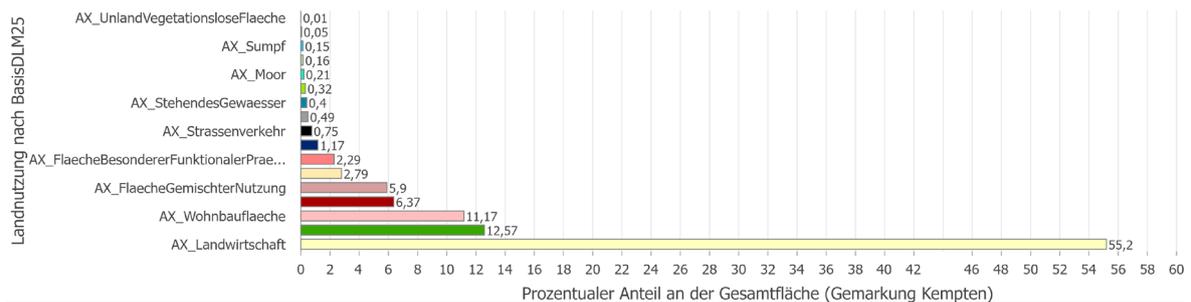


Abbildung 29 Flächengröße der Landnutzungsklassen und deren statistische Durchgrünung (auf Grundlage der Vegetationserfassung, siehe Abbildung 28) im Verwaltungsbereich der Stadt Kempten

### 5.1.3. Gebäudevolumendichte

Entsprechend des physikalischen Grundsatzes der Energieerhaltung wird kurzwellige Sonnenstrahlung beim Auftreffen auf ein Objekt reflektiert und / oder absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Das Objekt wird erwärmt, speichert die Energie und gibt einen Teil dieser aufgenommenen Energie als langwellige Wärmestrahlung an die umgebende Atmosphäre ab. Dieser Prozess unterstützt die Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffekts (vgl. 2.2), da es zu einer verstärkten Speicherung von Energie in der bebauten Substanz, gefolgt von einer zeitlich verzögerten Abgabe (in der Nacht) kommen kann, wodurch sich die nächtliche Abkühlung des städtischen Raumes vermindert.

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

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

#### Planungsrelevanz:

Die Gebäudevolumendichte dient als Indikator für die (zunehmende) bauliche Dichte innerhalb des Stadtgebietes. Die Karte vereint 2-dimensionale Grunddaten mit 3-dimensionalen Höhendaten und berücksichtigt diese im nachbarschaftlich-räumlichen Kontext. Daraus resultiert für die Stadtplanung die Möglichkeit Bereiche zu identifizieren, die akkumulativ durch große Gebäudemassen geprägt sind. Planerisch können diese Informationen genutzt werden, um bspw. Entscheidungsprozesse der städtischen Nachverdichtung qualitativ zu unterstützen. Im Vergleich zu anderen Städten ist die Stadt Kempten von meist lockeren Baumassen geprägt. Der Großteil des Siedlungsraums bewegt sich im Bereich bis  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Insbesondere der äußere Siedlungsbereich liegt meist noch darunter. Im Kontext der defizitären Vegetationsversorgung im Innenstadtbereich (vgl. Abbildung 28) sind auch hier die stärksten Defizite in Form der höchsten Gebäudevolumina vorzufinden (Innenstadtbereich bis ca.  $13,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , sowie an mehreren flächig teils ausgedehnten Bereichen zwischen  $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$  und  $26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ). Eine zusätzliche Nachverdichtung sollte in diesen (zweifach defizitären) Räumen vermieden werden, bzw. stets mit einem nachhaltigen Durchgrünungskonzept verknüpft werden.

#### Vergleichswerte:

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

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

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

Lampertheim Innenstadtbereich: ca.  $11 \text{ m}^3/\text{m}^2$  bis ca.  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2$

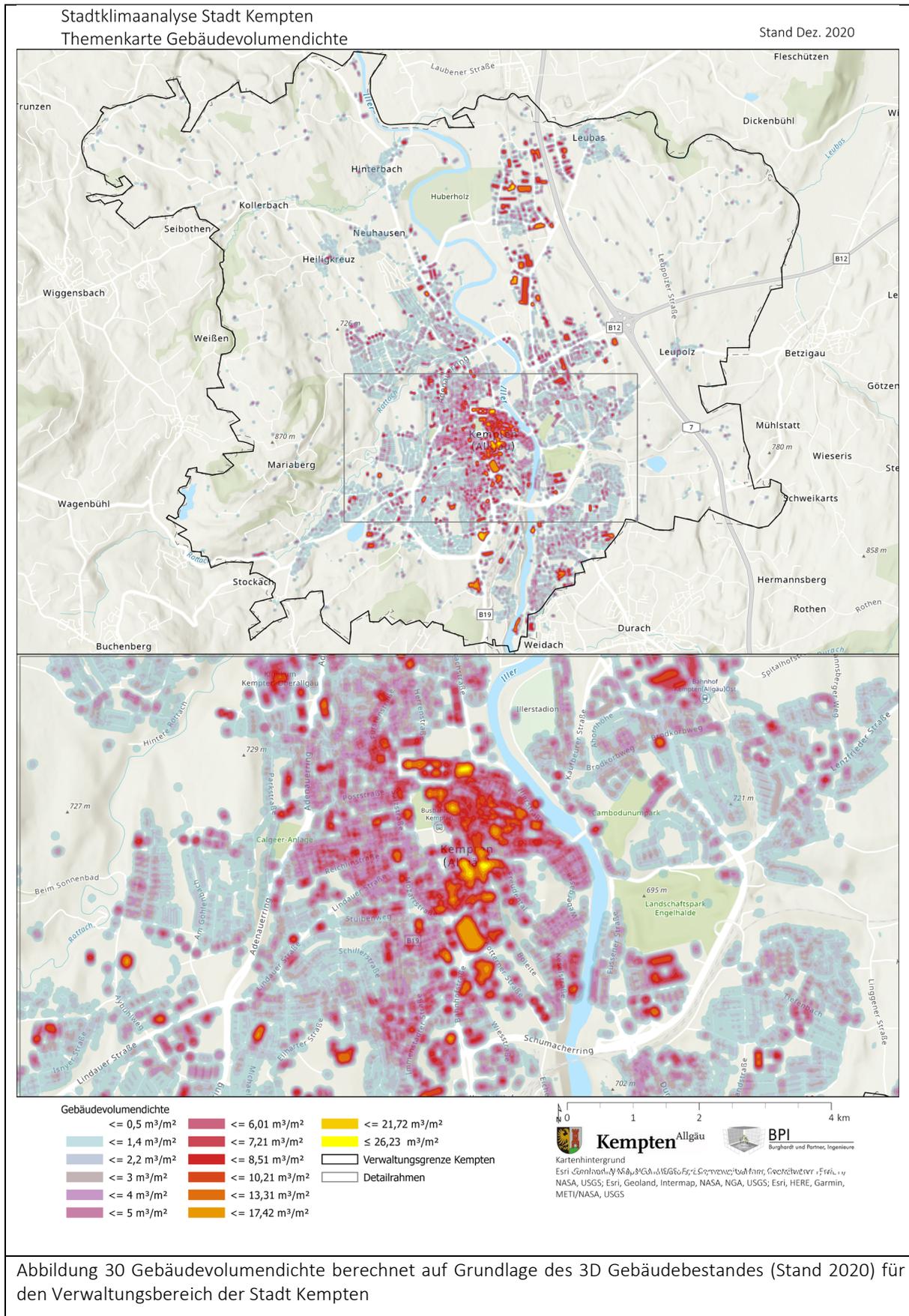


Abbildung 30 Gebäudevolumendichte berechnet auf Grundlage des 3D Gebäudebestandes (Stand 2020) für den Verwaltungsbereich der Stadt Kempten

#### 5.1.4. SkyView Faktor

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

Mit Hilfe des SkyView-Faktors können Rückschlüsse auf die Wärmespeicherung („Heat Trap Effect“) innerhalb von Straßenschluchten gezogen werden. Obwohl bei einem SVF von 1 die solare Exposition bei 100 % liegt, ergibt sich durch

die hohe Offenheit eine geringe Umwandlung der eintreffenden kurzwelligeren solaren Strahlung in langwellige Wärmestrahlung, und durch das Fehlen geeigneter Objekte, eine damit verbundenen geringe Wärmespeicherung. Demensprechend besteht die Gefahr der zusätzlichen Überwärmung unterhalb eines SVF von 0,5. – 0,15. Unterhalb von 0,15 kann es durch die fast gänzlich fehlende solare Einstrahlung zu einer Abkühlung innerhalb der Häuserschlucht kommen. Dieser Effekt ist oft bei kleineren Fußwegen und Gassen zu beobachten, welche meist für den Autoverkehr eine zu geringe Durchgangsbreite bieten.

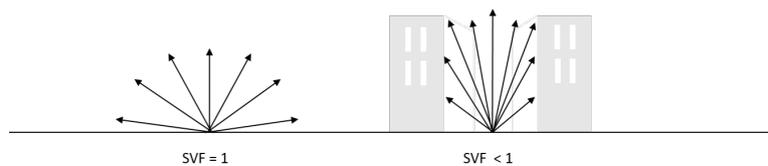


Abbildung 31 Schematische Darstellung der Definition des SkyView Faktors (SVF)

#### Planungsrelevanz:

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

Für den Wärmespeichereffekt gilt:

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

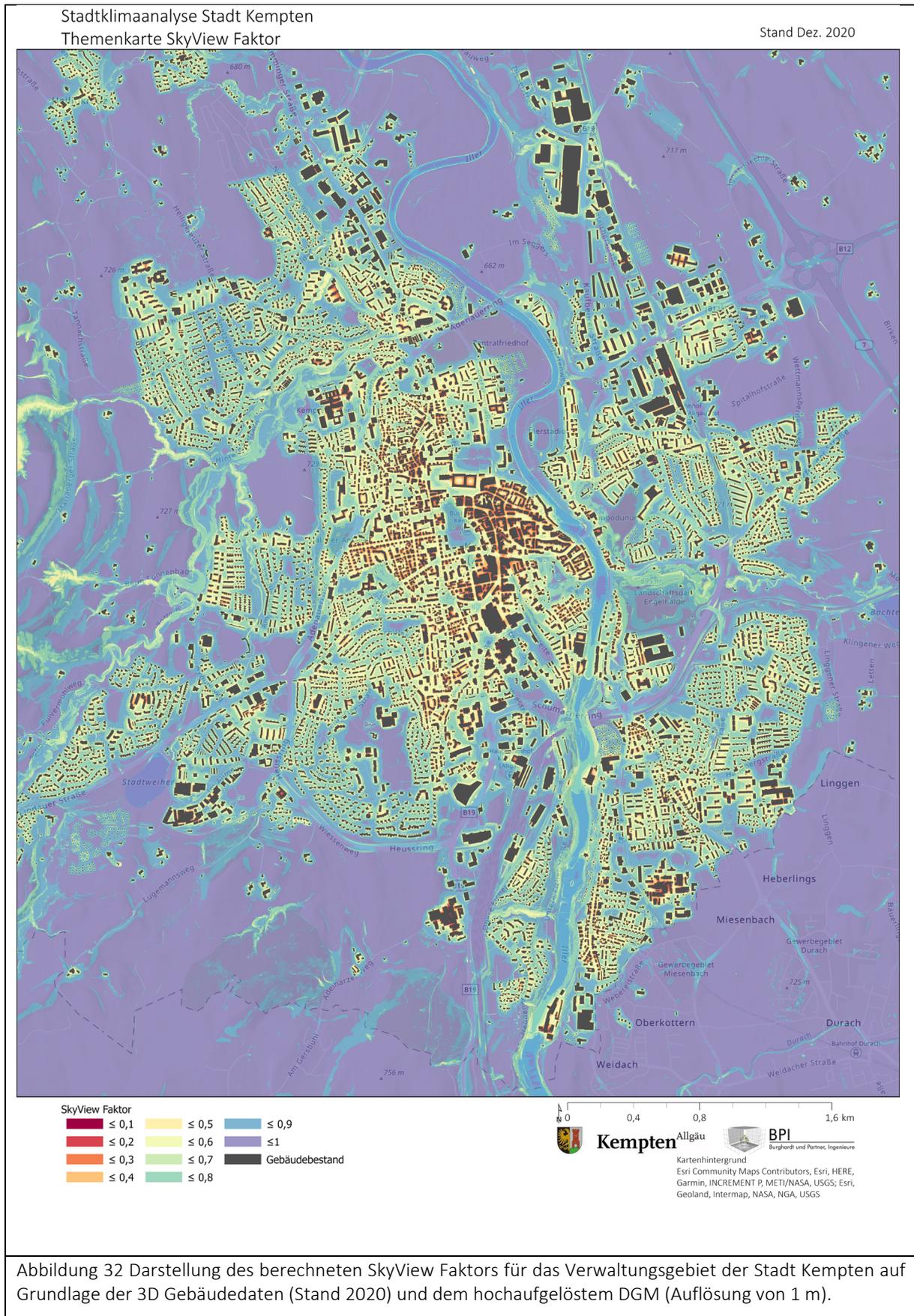
SVF 0,5 – 0,15 >>> erhöhte Wärmespeicherung im Straßenraum (Gefahr der zusätzlichen Überwärmung)

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

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

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

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



### 5.1.5. Topographisches Einzugsgebiet

Die Berechnung des topographischen Einzugsgebietes für die Gemarkung der Stadt Kempten sowie der darin liegenden topographisch voneinander getrennten Einzugsbereiche, basieren auf dem aktuellen digitalen Geländemodell der Stadt Kempten mit einer räumlichen Auflösung von 1 m. Bereiche, die außerhalb der bereitgestellten Daten liegen, wurden mit dem frei verfügbaren Geländemodell der Europäischen Umwelt Agentur ergänzt. Die Daten wurden in ihrer Auflösung verfeinert, und abschließend mit dem Hauptdatensatz verschnitten. Dabei wurden mit Hilfe eines gis basierten Algorithmus Fehler und Übergänge identifiziert und bereinigt.

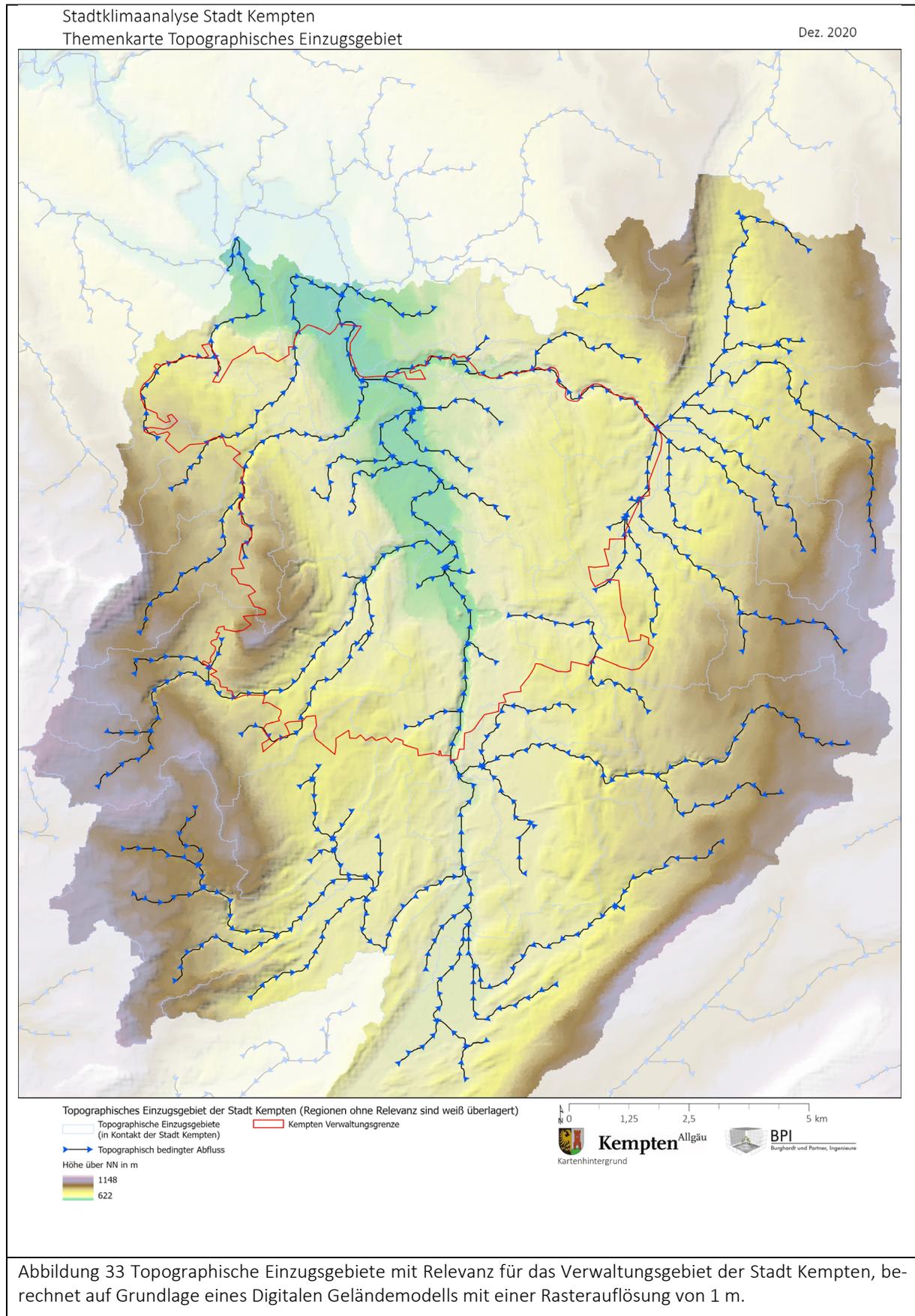
Die eigentliche gis basierte Berechnung analysiert für jede Rasterzelle ihre Höhe, ihr Gefälle sowie die Richtung ihrer Hangneigung. Daraufhin wird ein „Flow Grid“ erstellt, das zum einen, die Fließrichtung und zum anderen den „Inflow“ (wie viele Zellen in die jeweilige Zelle fließen) enthält.

#### Planungsrelevanz:

Die Berechnung des topographischen Einzugsgebietes ist primär für die Betrachtung im Kontext der nächtlichen Kaltluftproduktion sowie des Kaltlufttransport von Bedeutung, da hierüber im Rahmen der Planung qualitative fallbezogene Aussagen zu der potentiellen Beeinflussung durch Bauvorhaben auf ein Kaltlufteinzugsgebiet sowie den damit verknüpften Wirkraum abzuleiten sind.

Für das Gebiet der Stadt Kempten zeigt sich eine erhöhte Relevanz von südlicheren Gebieten, die durch ihre Topographie Einfluss auf das Stadtgebiet haben können. Es zeigt sich jedoch, dass insbesondere große Gebiete südwestlich des Stadtgebietes nicht in direktem funktionalem Kontakt mit dem Stadtgebiet stehen, sondern über die südliche Talsituation mit dem Stadtgebiet verbunden sind. Die weiträumigen topographischen Einzugsgebiete im Nordosten sind für das Kernstadtgebiet von untergeordneter Relevanz, da sie sich entlang der Gemarkungsgrenze erstrecken und erst nördlich des eigentlichen Siedlungsraum mit dem Tal verbunden werden. Alle in Abbildung 33 dem topographischen Einzugsgebiet zugeordneten Bereiche können für die Stadt von Planungsrelevanz sein, da bspw. die nächtliche Kaltluftproduktion der Topographie folgt und somit auch über administrative Gemarkungsgrenzen hinweg wirken kann.

Zusätzlich kann das topographische Einzugsgebiet als Grundlage für eine Starkregenrisiko Abschätzung / Analyse herangezogen werden, da hierrüber der maximale Bezugsraum für das Gesamtstadtgebiet definiert wird. Zugleich ermöglichen die topographisch untergliederten Einzugsgebiete auch stadtteilbezogene Aussagen.



### 5.1.6. Kaltluftentstehung und -transport

Die Berechnung der Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes geschieht innerhalb des DWD Programms Klam\_21 (vgl. 3.3). 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 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 in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellten Kaltfluthöhen wurde für eine Referenzzeitspanne von 8 Stunden nach Sonnenuntergang mit dem DWD Programm Klam\_21 berechnet. Dabei wurden für unterschiedliche Zeiten während der Simulationsnacht Schnitte erzeugt und in Abbildung 34 mit einheitlichem Legendenbezug visualisiert.

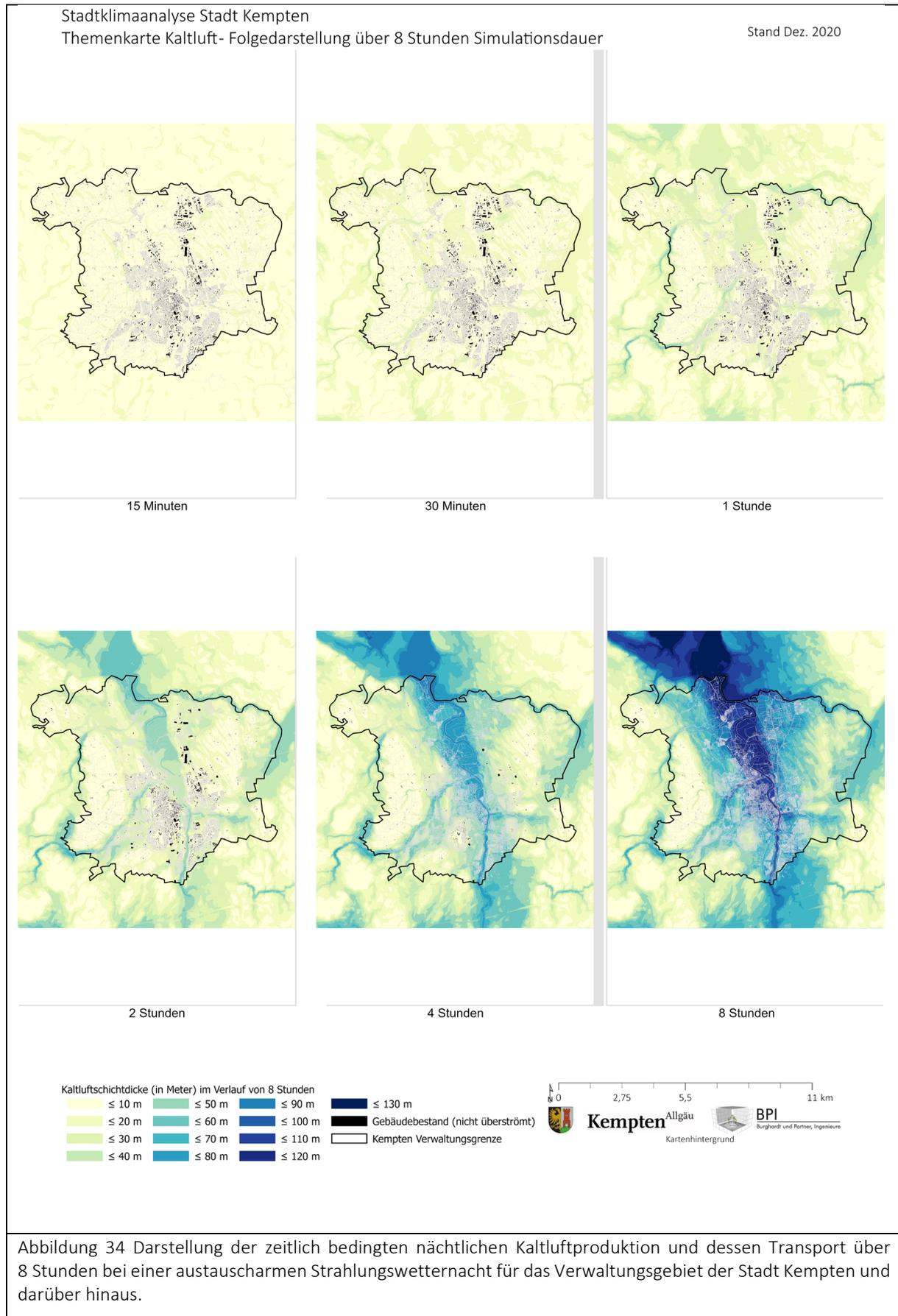
#### **Planungsrelevanz:**

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

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

Da das Gebiet der Gemarkung Kempten und die Umgebung topographisch stark und heterogen geprägt sind, spiegelt sich dies auch in der nächtlichen Kaltluftproduktion sowie der Verteilung im Talraum wider. Mit Hilfe der in Abbildung 34 dargestellten zeitlichen Abfolge, lassen sich Gebäude identifizieren, die von abfließender Kaltluft überströmt bzw. nicht überströmt werden. Entsprechend nimmt in jedem zeitlichen Schnitt die Anzahl der nicht überströmten Gebäude ab. Während 2 Stunden nach Sonnenuntergang noch ein Großteil der Gebäude im Siedlungsraum nicht überströmt sind, sind nach 4 Stunden die Mehrheit der Gebäude bereits überströmt. Insbesondere auf den topographisch höher gelegenen Gebieten verbleiben weiterhin Gebäude, die nicht überströmt werden. In diesem Kontext muss jedoch auch berücksichtigt werden, ob diese Gebiete auch ein erhöhtes Überwärmungsrisiko am Tag besitzen.

Das Strömungsbild in Abbildung 35 verdeutlicht, wie der Kaltluftabfluss radial auf das Stadtgebiet einwirkt. Dabei kann die Kaltluft besonders gut dort in den städtischen Raum eindringen, wo die Bebauung weniger dicht ist, oder die bauliche Anordnung der Gebäude / Siedlungsstrukturen eine Kanalisierung begünstigt.



Stadtklimaanalyse Stadt Kempten  
Themenkarte Kaltluft

Stand Dez. 2020

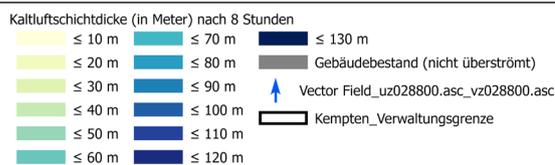
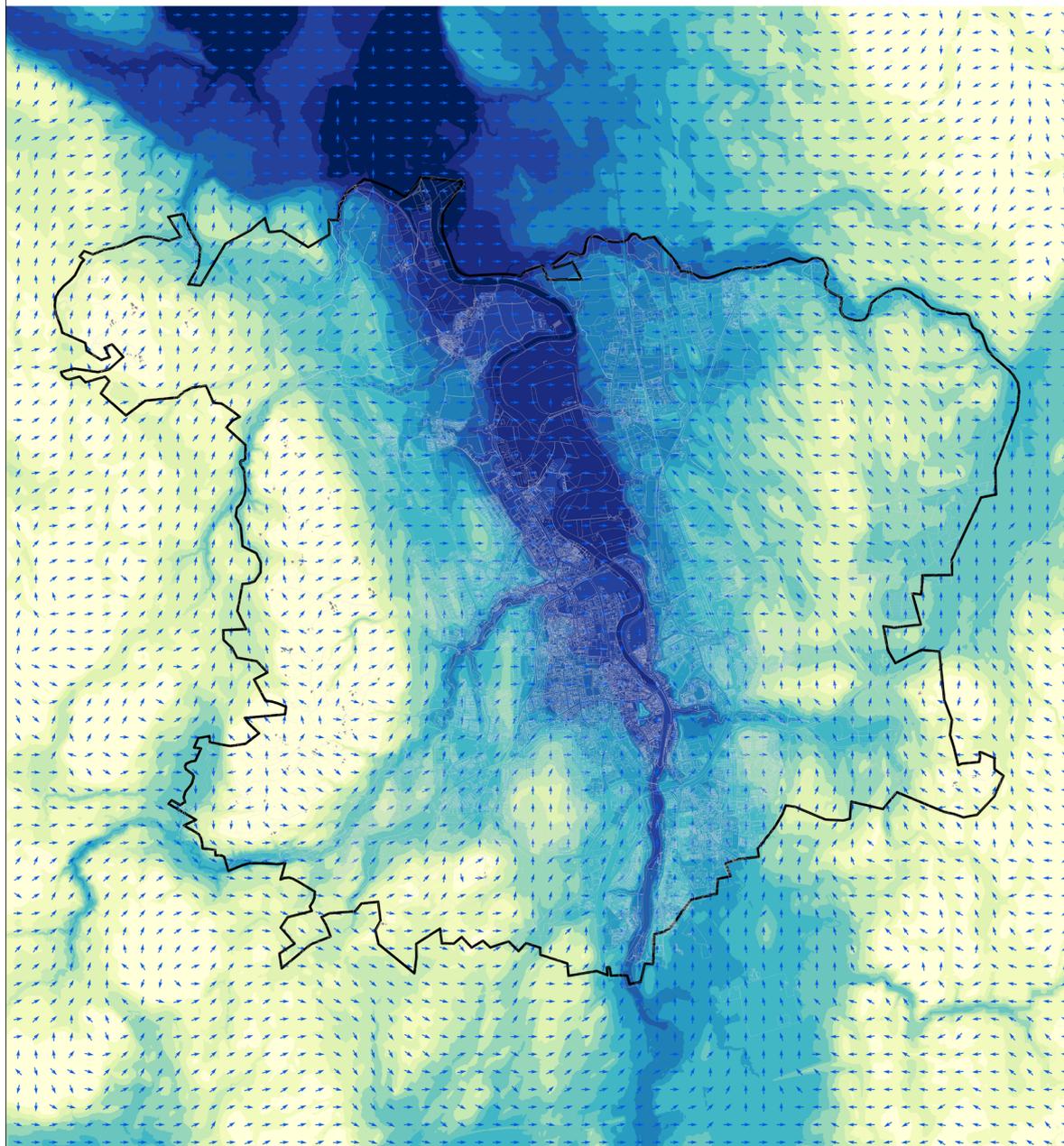


Abbildung 35 Darstellung der Kaltluftschichtdicken sowie des vorherrschenden bodennahen Windfeldes (2 m ü. G.) für den Verwaltungsbereich der Stadt Kempten und darüber hinaus bei einer austauscharmen Strahlungswetternacht nach 8 Stunden.

### 5.1.7. Städtische Durchlüftung

Die Rauigkeitslängen  $Z_0$  werden in Meter angegeben und beziehen sich immer auf ein Patch, welches ein Gebäude bzw. eine Gebäudegruppe von benachbarten Einzelgebäuden oder Gruppen abgrenzt. Gebäudegruppen liegen vor, wenn der Abstand der Gebäude zueinander  $< 3$  m ist. Durch die Relation von Patch zu den darauf befindlichen Gebäuden können für unterschiedliche Windrichtungen die Rauigkeitslängen  $Z_0$  berechnet werden.

Die städtische Porosität beschreibt den Zustand des offenen 3-dimensionalen Raums im Verhältnis zum bebauten Volumen. Die städtische Porosität ( $Ph_{var}$ ) wird parallel zu den Rauigkeitslängen und der Nullpunktverschiebung berechnet und basiert auf dem Ansatz der „Frontal Area“ (vgl. 2.6). Für die Berechnung der Porosität ist die vorherrschende Windrichtung nicht von Relevanz, da hierbei der 3-dimensionale Raum und die in ihm enthaltenen Baumassen untersucht werden.

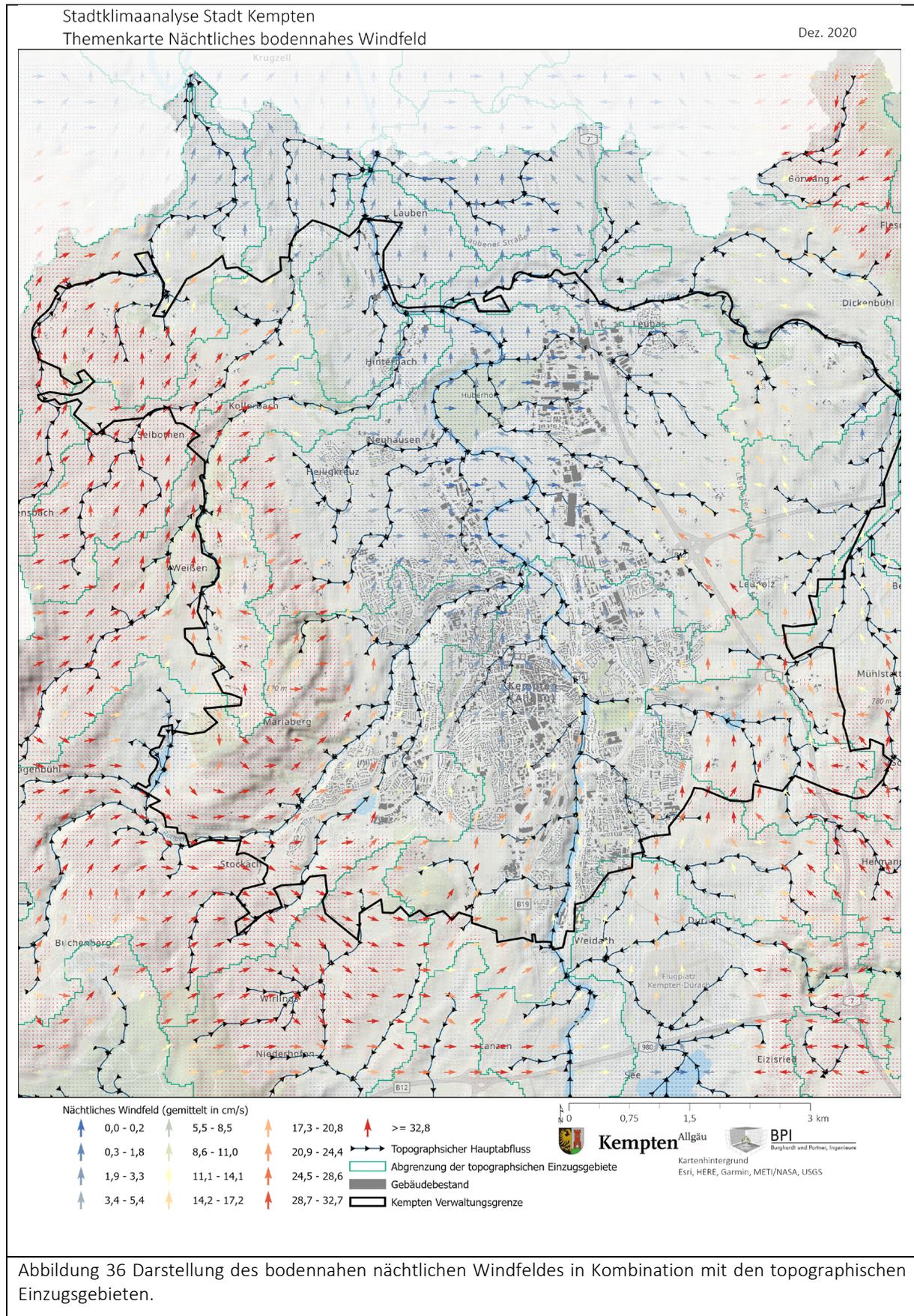
Ergänzend zu den dynamischen Faktoren  $Z_0$  und  $Z_d$ , welche eine direkte Aussage über die Rauigkeit bzw. den Reibungsverlust treffen, zeigt die urbane Porosität ( $Ph_{var}$ ) das Potential einer möglichen Durchlüftung an. Damit ist  $Ph_{var}$  alleinstehend von größerer planerischer Relevanz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

#### Planungsrelevanz:

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

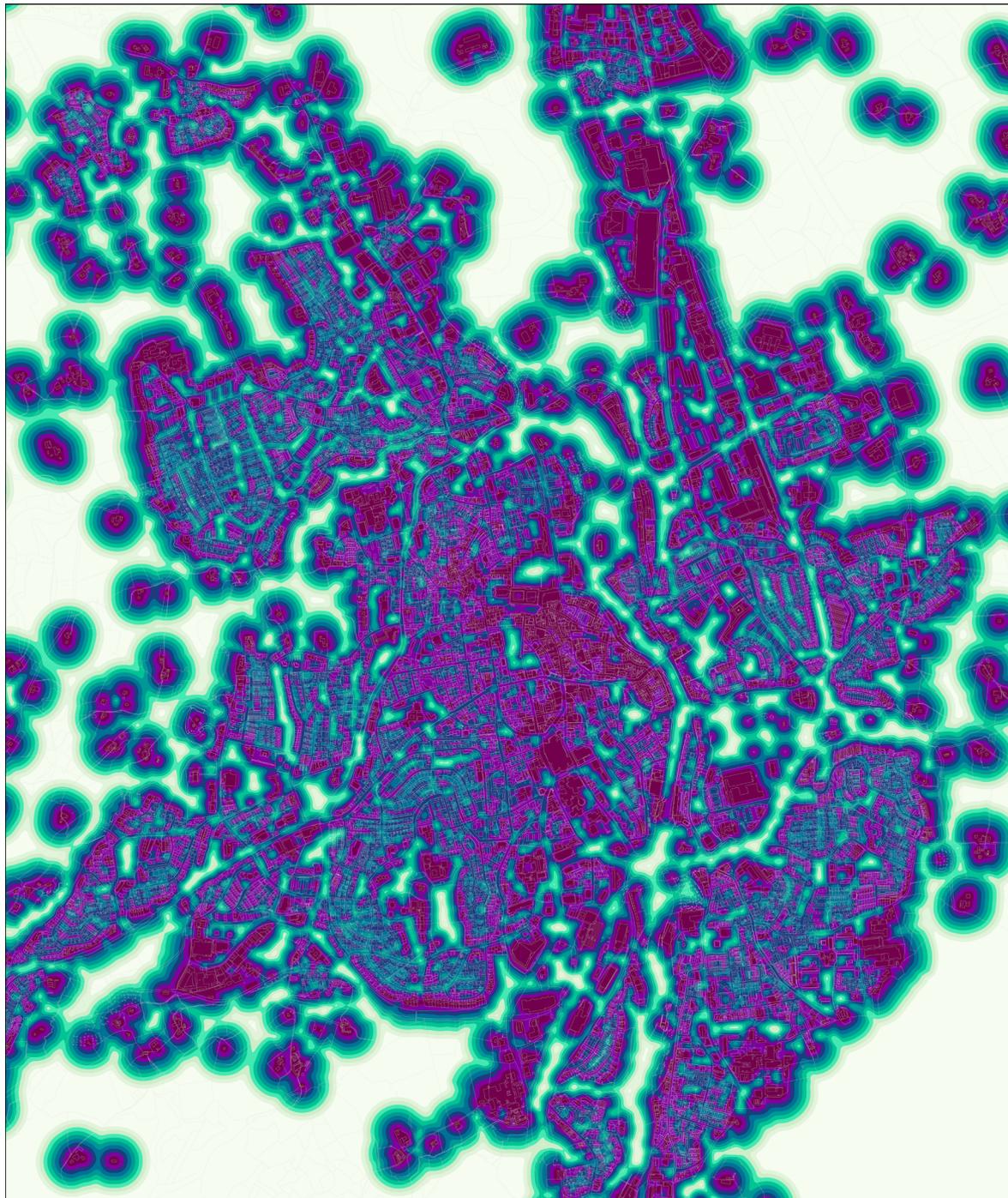
Im Rahmen der Planung ist darauf zu achten, dass sich möglichst viele Flächen geringer Rauigkeit ( $< 1$ ) aneinanderreihen. Ab einer Länge von  $> 750$  m ( $> 1000$  m) mit geringer Rauigkeit kann die lokale Belüftungssituation positiv stark beeinflusst werden (vgl. Unger, 2009 & Matzarakis, 1992).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

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



Stadtklimaanalyse Stadt Kempten  
Themenkarte Städtische Porosität

Dez. 2020



Städtebauliche Porosität	
Dark Purple	<= 10%
Dark Blue	<= 20%
Medium Blue	<= 30%
Light Blue	<= 40%
Teal	<= 50%
Light Green	<= 60%
Medium Green	<= 70%
Light Green	<= 80%
Yellow-Green	<= 90%
Light Yellow	<= 100%



Abbildung 37 Darstellung der städtebaulichen Porosität und der daraus abgeleiteten Durchlüftungspotentiale für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten

## 5.2. Klimafunktionskarte (KFK)

Die Klimafunktionskarte (KFK) 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 6 Klimatopklassen mit unterschiedlichen Klimaeigenschaften assoziiert werden. Jedes Klimatop besitzt zudem eine Beschreibung, welche seine wichtigsten klimatischen Eigenschaften charakterisiert (siehe Tabelle 10).

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.

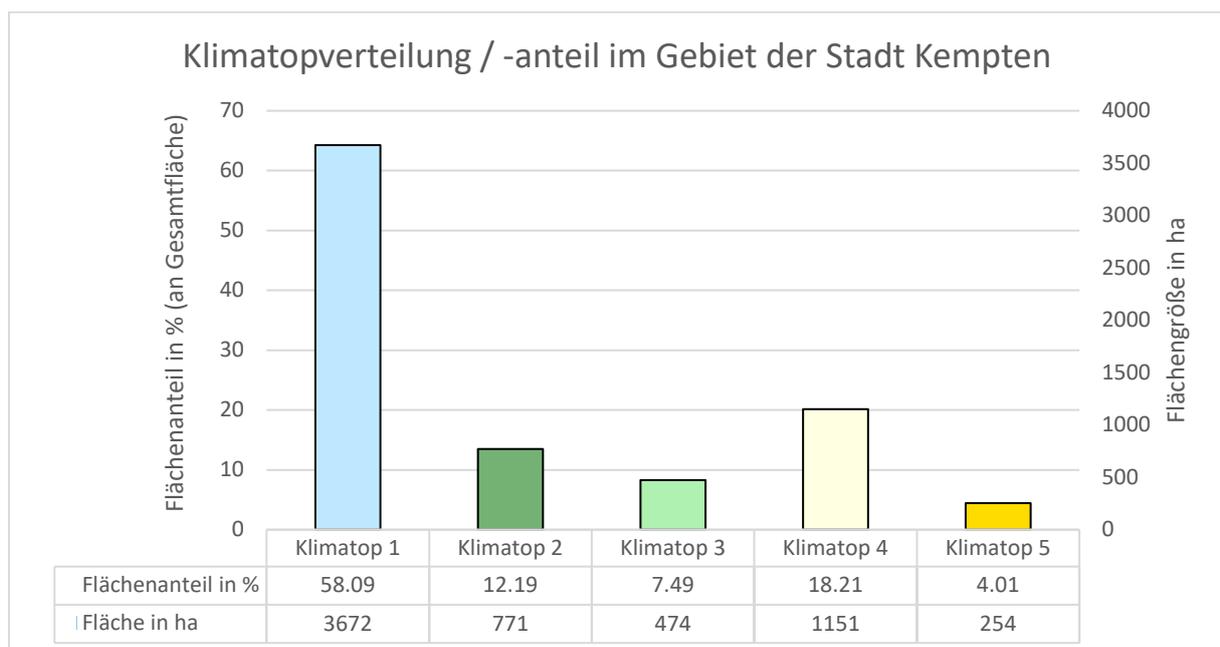


Abbildung 38 Diagramm zur Verteilung / Flächenanteil der vorkommenden Klimatope im Gebiet der Stadt Kempten

### Planungsrelevanz:

Die Klimafunktionskarte der Stadt Kempten zeigt eine typische Klimatopverteilung in Korrelation zur Bebauungs- und Vegetationsstruktur der Stadt. Während die Innenstadt durch eine verdichtete und in der Vegetationsausstattung reduzierte Bebauungsstruktur geprägt ist, sind die äußeren Siedlungsbereiche meist stark durchgrünt und offener gestaltet, wodurch das Überwärmungsrisiko in diesen Gebieten sinkt. Hervorzuheben ist, dass im Siedlungsraum das Klimatop „Starke Überwärmung“ nicht vorhanden ist. Obwohl der Innenstadtbereich

geringer durchgrünt ist, sind nicht ausreichend Baumassen vorhanden, die die Entstehung dieses Klimatops begünstigen. Dennoch muss der innerstädtische Bereich zukünftig im städtebaulichen Kontext mit Bedacht entwickelt werden, da großflächig bereits das Klimatop der „Moderaten Überwärmung“ für diesen Bereich charakteristisch ist. Insbesondere der südlich der Innenstadt gelegene Siedlungsraum, in dem sich die Klimatope „Moderate Überwärmung“ und „Überwärmungspotential“ abwechseln, stellt einen wichtigen städtebaulichen Entwicklungsbaustein dar, um die thermische Belastungssituation im Innenstadtbereich zu verbessern. Außerhalb des direkten Siedlungsraums schließen großflächige Kaltluftentstehungsgebiete an. Die in der Klimafunktionskarte dargestellten Pfeile stellen nur eine vereinfachte Darstellung sowie die Fokussierung auf die für den urbanen Raum wichtigsten Bereiche dar. Entsprechend der dominierenden regionalen Anströmung am Tag aus südlichen und südwestlichen Richtungen, stellen zum einen größere Ausfallstraßen wie der „Adenauerring“ sowie die „Lindauer Straße“, aber auch die Bahntrasse östlich der Iller oder aber der urbane Grünzug entlang der „Boleite“ für die Stadt wichtige Durchlüftungsbahnen dar. Die für das Stadtgebiet relevante Luftleitbahn erstreckt sich aus südlicher Richtung entlang der Iller, unterstützt in hohem Maße die städtische Durchlüftung, insbesondere auch durch die geringe Oberflächenrauigkeit des Gewässers während austauscharmer Wetterlagen.

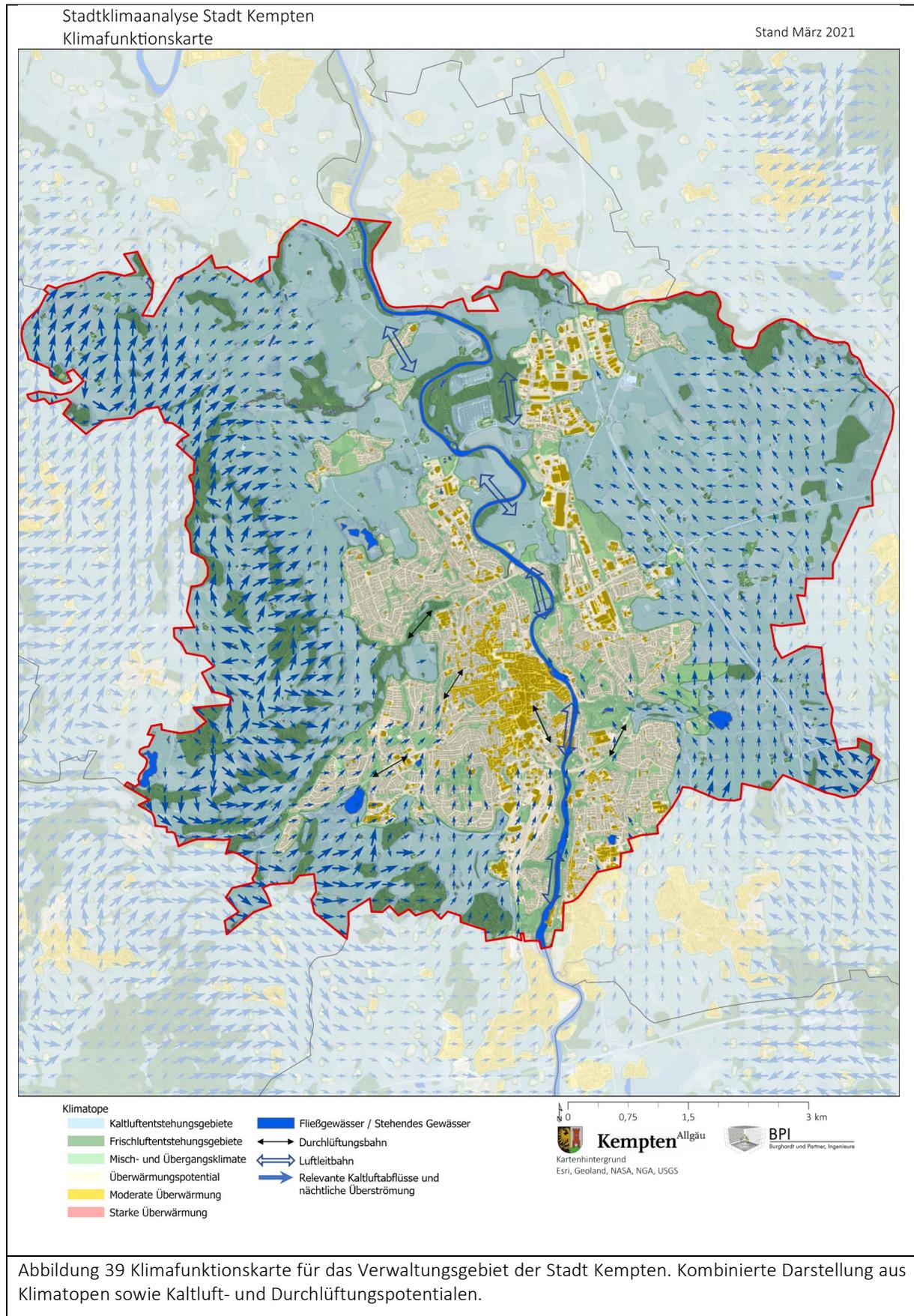
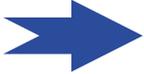


Tabelle 10 Beschreibung der Klimatope der Klimafunktionskarte

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

Tabelle 11 Beschreibung der Durchlüftungsaspekte

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

## 6. Stadt- und Landschaftsplanerische Analysen

### 6.1. Vulnerabilitätsanalyse

Daten zur demographischen Verteilung der vorkommenden Altersstrukturen innerhalb eines Untersuchungsraums können wichtige Planungs- und Entscheidungsgrundlagen darstellen. Insbesondere im klimatischen Kontext ist die hitzebedingte Vulnerabilität (Verletzlichkeit) maßgeblich abhängig vom Alter der Bevölkerung. 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 wurde die aktuellen Daten (Stand 2020) des Einwohnermeldeamtes ausgewertet (Anmerkung: Alle personenbezogenen Daten wurden in der Analyse und in den Ergebniskarten sowie Datenbanken dahingehend generalisiert, dass keine lagegenaue Verortung einzelner Personen mehr möglich ist). Das Ergebnis (Abbildung 40 und Abbildung 41) der Analyse beschreibt den Untersuchungsraum der Stadt Kempten mit Hilfe einer „Heat-Map“. Diese zeigt die Dichte (Grad der räumlichen Agglomeration) unterschiedlicher Altersgruppen (Altersstrukturen) im räumlichen Kontext.

Abbildung 40 beschreibt die Verteilung der Altersklassen bis 4 Jahre, bis 6 Jahre, bis 12 Jahre, bis 60 Jahre, bis 70 Jahre und über 70 Jahre inklusive der absoluten Zahlen in Personen entsprechend diesen Altersklassen. In der Altersklasse bis 4 Jahre tritt eine Häufung im nordwestlichen, im mittleren sowie im südöstlichen Stadtbereich auf. Innerhalb der beiden darauffolgenden Altersklassen bis 6 Jahre sowie bis 12 Jahre findet die Konzentration primär in den städtischen Randbereichen statt. Hierbei sind, wie bereits in der Altersklasse bis 4 Jahre, der nordwestliche sowie der südöstliche Siedlungsraum besonders präsent. Die große Klasse der 12- bis 60-Jährigen (41.151 Personen) ist zum Großteil homogen auf den Stadtkern verteilt (diese Gruppe setzt sich aus den Altersklassen mit der geringsten hitzebedingten Vulnerabilität zusammen). In den Altersklassen 60 bis 70 Jahre sowie über 70 Jahre stellt sich die Wohnsituation wieder deutlich heterogener dar. Hier gibt es in beiden Altersklassen Häufungen in den südöstlichen und zentralen Siedlungsgebieten. In der Altersklasse zwischen 65 und 70 Jahren kommen zusätzlich je ein Spot im Nordosten und im Nordwesten hinzu.

In Abbildung 41 sind zusätzlich sensible Nutzungsstrukturen hinterlegt, die im Detail nochmals in Abbildung 43 visualisiert und verortet sind. Dabei wurden innerhalb der Darstellung der Altersklassen immer die passenden (primär relevanten) sensiblen Nutzungsstrukturen ausgewählt und dargestellt. Aufbauend auf der vorliegenden demographischen-räumlichen Verteilungsanalyse lassen sich Stadtteilentwicklungsszenarien erarbeiten sowie Räume identifizieren die z.B. bei prophylaktischen Hitzepräventionsmaßnahmen ein besonderes Augenmerk bedürfen. Ebenso lassen sich auf dieser Grundlage Erreichbarkeitsanalysen auf (unter Voraussetzung unterschiedlicher Mobilitätsarten) durchführen. So wurde dies exemplarisch in Kapitel 6.2 für die Einzugsgebiete bzw. die fußläufige Erreichbarkeit der im Stadtgebiet vorhandenen Kindertagesstätten sowie der vorhandenen Grundschulen durchgeführt (Kapazitätsfaktoren der Einrichtungen wurden hierbei nicht berücksichtigt).

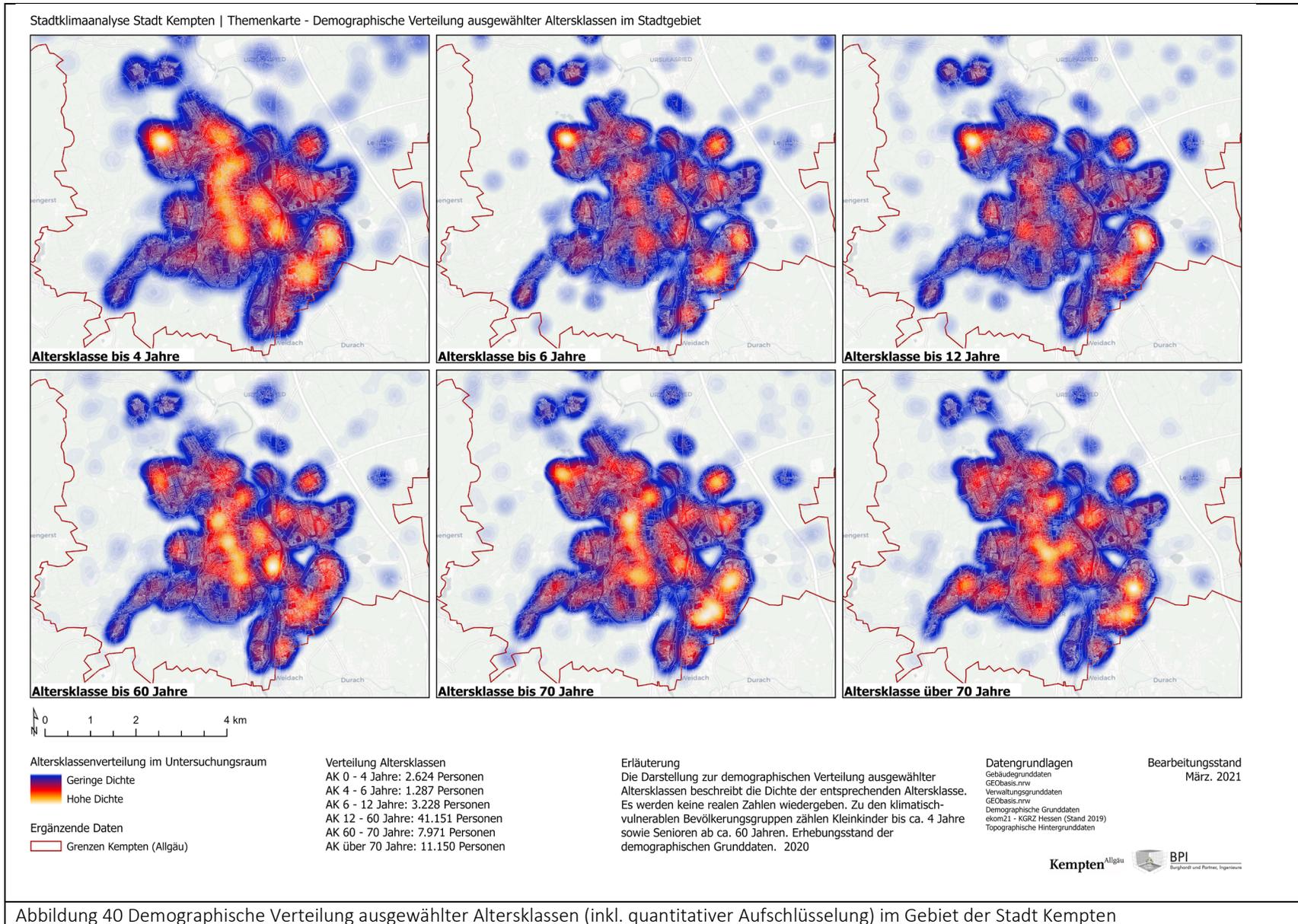


Abbildung 40 Demographische Verteilung ausgewählter Altersklassen (inkl. quantitativer Aufschlüsselung) im Gebiet der Stadt Kempten

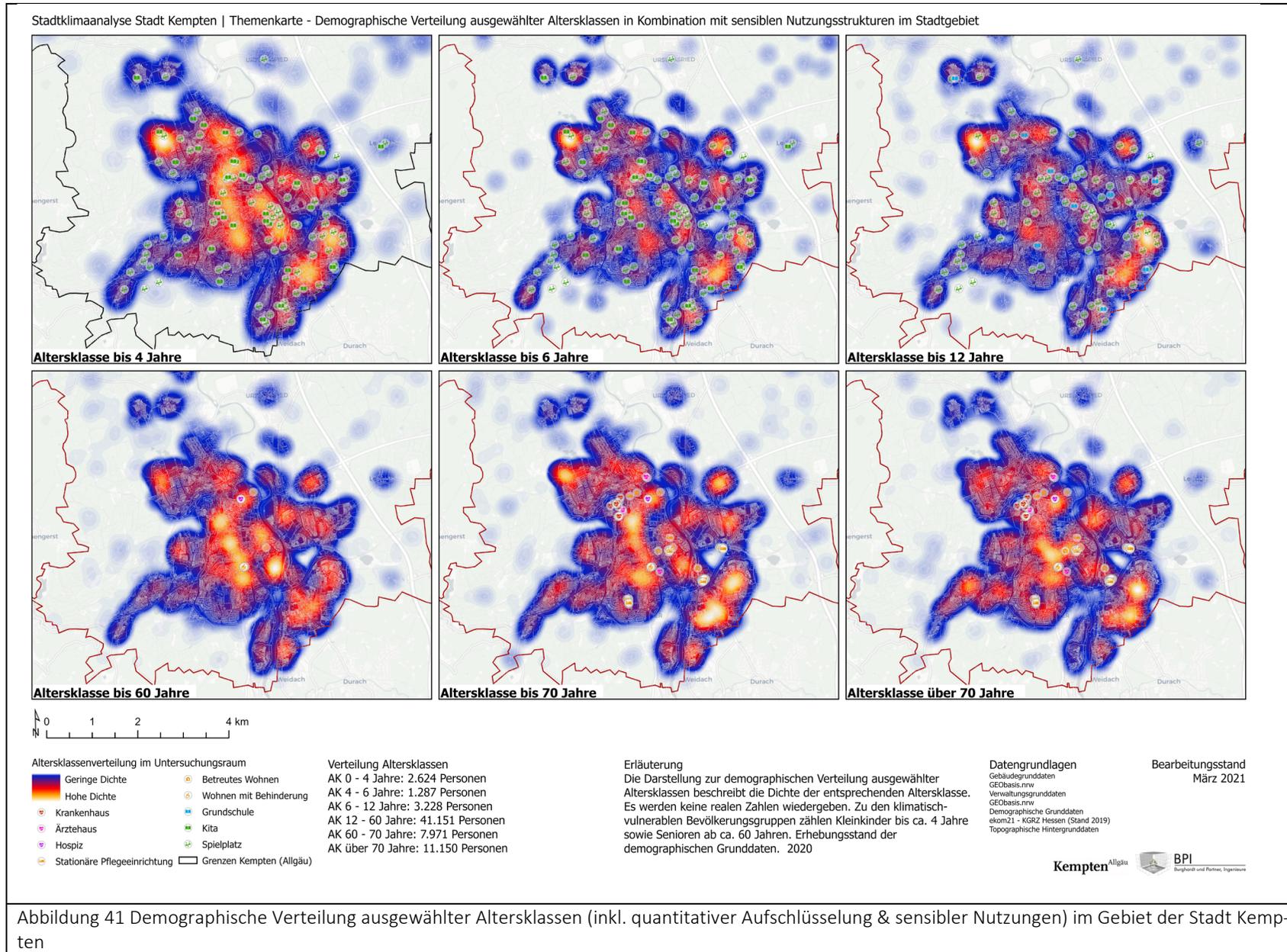


Abbildung 41 Demographische Verteilung ausgewählter Altersklassen (inkl. quantitativer Aufschlüsselung & sensibler Nutzungen) im Gebiet der Stadt Kempten

Die flächige und anteilige Klimatopverteilung im Gebiet der Stadt Kempten (Abbildung 38), spiegelt ein typisches Erscheinungsbild vor dem Hintergrund der Stadtgröße und ihrer Einbettung in die freie Landschaft wider.

Die für die Analyse der Altersstrukturen verwendeten Daten stammen aus dem Jahr 2020 und sind lagegenau verfügbar. Um zu ermitteln wie viele Personen einer bestimmten Altersklasse, statistisch betrachtet, in den bioklimatischen Belastungsklimatopen „Überwärmungspotential“ und „Moderate Überwärmung“ leben, wurden Altersklassen zusammengefasst, wobei die Altersklassen 0 bis 4 Jahre und über 70 Jahre als besonders vulnerabel gegenüber Hitze gelten, gefolgt von den Altersklassen 4 bis 6 Jahre und 60 bis > 70 Jahre. Mit diesen Informationen konnte abschließend eine Verschneidung der Verteilung der Altersstrukturen mit den Klimatopklassen der Klimafunktionskarte durchgeführt werden, um die Anzahl der potentiell betroffenen Personen zu erhalten.

Die Analyse in Abbildung 42 zeigt die Betroffenheit bzw. Exposition der potentiell vulnerablen Altersklassen gegenüber den in der Klimafunktionskarte definierten Klimatopen. Für eine bessere Lesbarkeit ist die X-Achse bis zu einer Personenzahl von 10.000 dargestellt. Für die Altersklassen 12 bis 60 Jahre sind die absoluten Zahlen gegen Ende der X-Achse eingetragen und mit einem Pfeil versehen. Die Analyse beschreibt, dass der Großteil der Bevölkerung innerhalb des stadttypischen „Überwärmungspotential“ lebt. In der Betrachtung aller Altersklassen zeigt sich, dass zwischen ca. 68,5 % und 76,3 % im Klimatop des „Überwärmungspotentials“ und ca. 17,1 % bis ca. 22,4 % im Klimatop der „Moderaten Überwärmung“ leben.

Ausgenommen der großen und altersstrukturbezogen heterogenen Klasse der 12- bis 60-Jährigen, leben Menschen der Altersklasse 0 bis 4 Jahre zu 23,7 %, Menschen der Altersklasse > 70 Jahre zu 22,4 % und Menschen der Altersklasse 60 bis 70 Jahre zu 21,9 % im Klimatop des „Moderaten Überwärmungspotentials“ (Klimatop 5). Vor diesem Hintergrund können zukünftig Präventionsmaßnahmen (z.B. Aufklärungskampagnen bei Ärzten) in Betracht gezogen werden. Während die Altersklasse der 4- bis 6-Jährigen ebenfalls im Klimatop 5 mit 20,4 % knapp über 1/5 liegt, stellt die Altersklasse der 6- bis 12-Jährigen mit 17,1 % im Klimatop 5 den geringsten Anteil dar.

### Verteilung der Altersklassen innerhalb der vorhandenen Klimatope

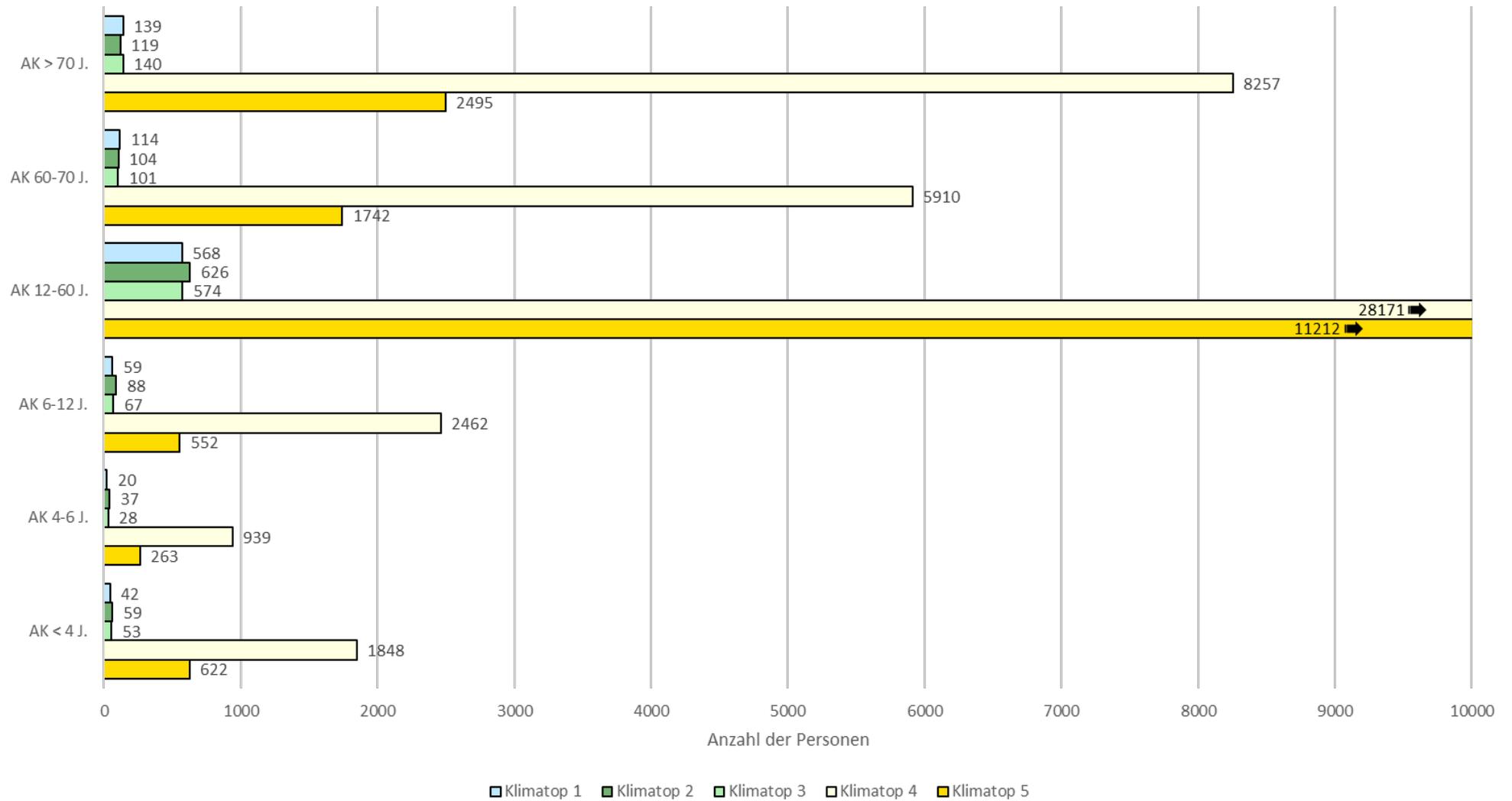
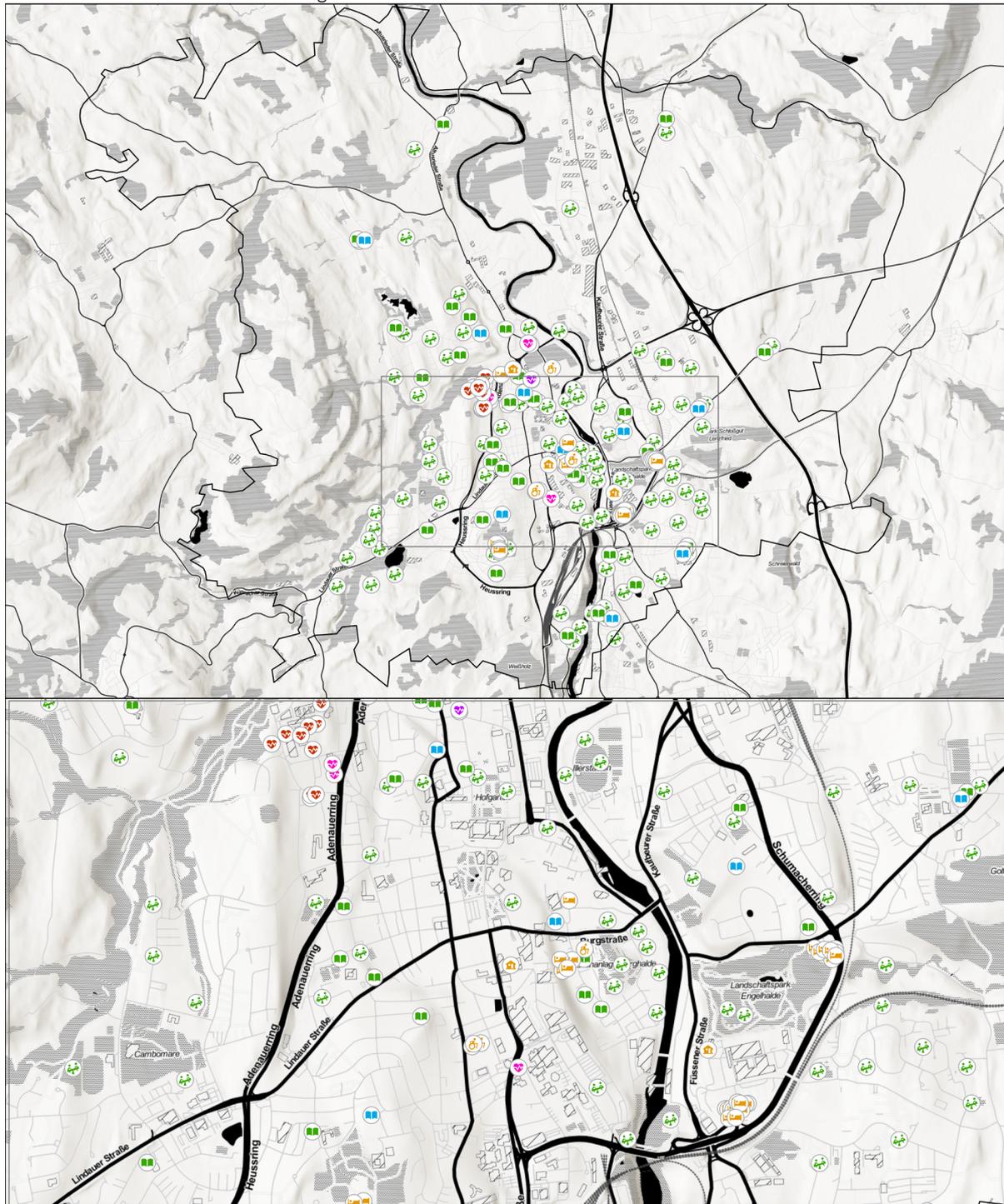


Abbildung 42 Diagramm zur demographischen Verteilung unterschiedlicher Altersklassen innerhalb der Klimatopzuordnungen im Gebiet der Stadt Kempten

Stadtklimaanalyse Stadt Kempten  
Themenkarte Sensible Nutzungen

Stand März 2021



- |                              |                        |                           |
|------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Krankenhaus                  | Wohnen mit Behinderung | Verwaltungsgrenze Kempten |
| Ärztehaus                    | Grundschule            | Detailrahmen              |
| Hospiz                       | Kita                   |                           |
| Stationäre Pflegeeinrichtung | Spielplatz             |                           |
| Betreutes Wohnen             |                        |                           |

0 1 2 4 km

**Kempten** Allgäu  
Kartenhintergrund  
Esri, Geoland, NASA, NGA, USGS; Esri, Geoland, Intermap, NASA, NGA, USGS

**BPI**  
Burghardt und Partner, Ingenieure

Abbildung 43 Verortung sensibler Nutzungsstrukturen im Gebiet der Stadt Kempten

## 6.2. Erreichbarkeitsanalyse

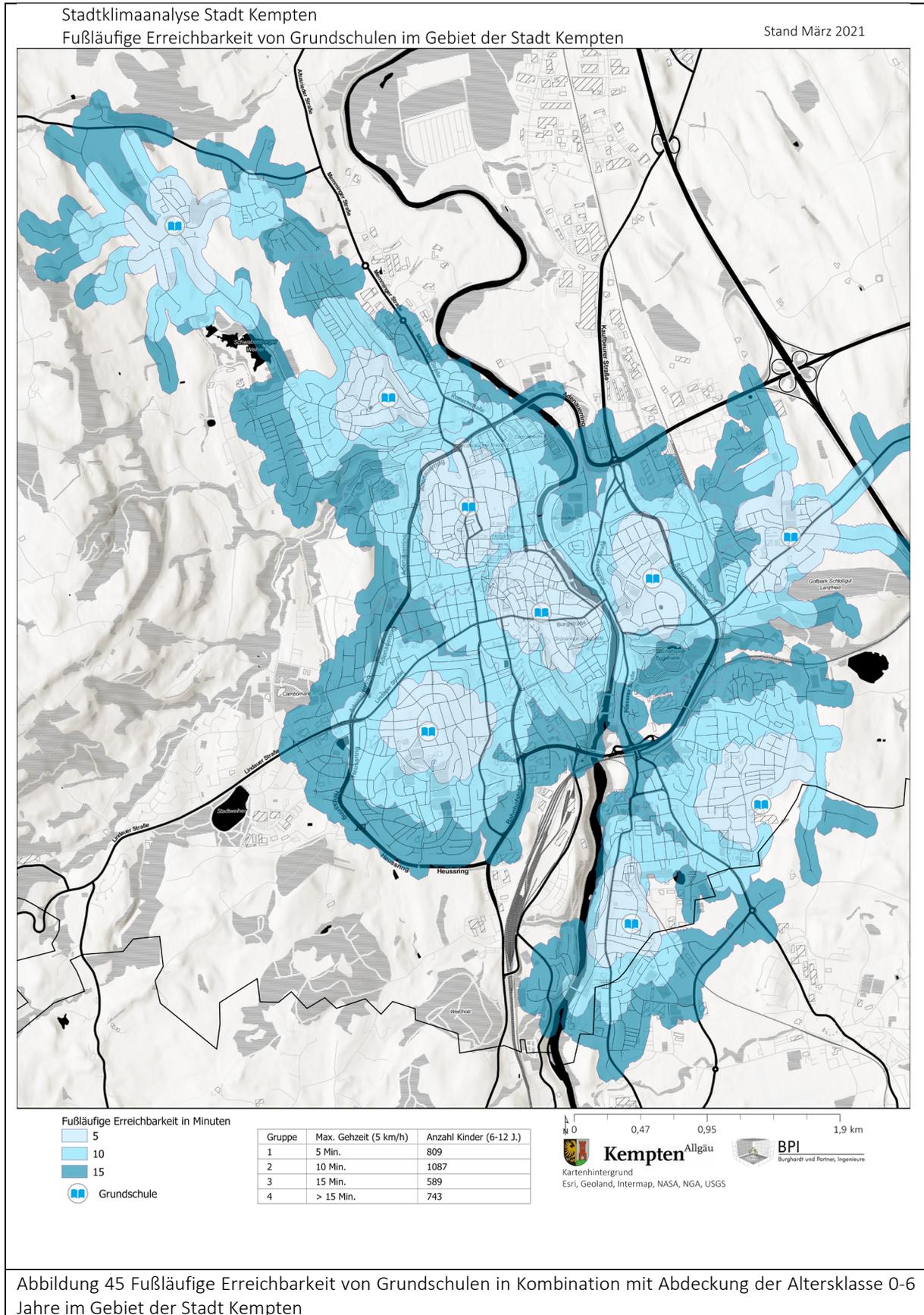
Die Analyse der fußläufigen Erreichbarkeit basiert auf dem Straßen- und Wegenetz der Stadt Kempten, auf dessen Grundlage eine flächendeckende Routinganalyse durchgeführt wurde. Als Zielpunkte wurden entsprechend des jeweiligen Fokus (Kita = Abbildung 44; Grundschulen = Abbildung 45) der Standort auf Grundlage der zur Verfügung gestellten sensiblen Nutzungsstrukturen definiert.

Für die Analyse wurde eine Gehgeschwindigkeit von 5,0 km/h angenommen, was normalen (zügigen) Gehen entspricht. Vor dem Hintergrund vorhandener Mobilitätshindernisse (z.B. Ampeln, Straßenkreuzungen, etc.) wäre auch eine geringere Gehgeschwindigkeit denkbar. Die Erreichbarkeit wurde für die Zeitmarken bis 5 Minuten, bis 10 Minuten und bis 15 Minuten fußläufiger Entfernung berechnet. Auf Grundlage der Einzugsgebiete wurde anschließend die Anzahl der Personen der relevanten Altersklassen bestimmt, die innerhalb dieser Einzugsbereiche leben. Hierbei bleibt zu beachten, dass keinerlei Kapazitätsangaben für die Einrichtungen in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Damit besteht die Möglichkeit, dass sich Personen in dem fußläufigen Einzugsbereich einer Einrichtung befinden, die sie aus Kapazitätsgründen jedoch nicht aufnehmen konnte. Dennoch zeigen Analysen der fußläufigen Erreichbarkeit der Kindertagesstätten (Abbildung 44) und der Grundschulen (Abbildung 45) klare Tendenzen und vermitteln so ein gutes erstes Gesamtbild der Versorgungslage im Gebiet der Stadt Kempten.

Die Analyse der fußläufigen Erreichbarkeit der Kindertagesstätten (Abbildung 44) zeigt eine hohe Standortdichte im Stadtgebiet. Bei 3.911 Kindern im Alter < 6 Jahre liegt die fußläufige Erreichbarkeit in der Klasse bis 5 Minuten bei 63,6 %, gefolgt von der Klasse bis 10 Minuten bei 23,4 %. Im Bereich einer fußläufigen Erreichbarkeit zwischen 10 und 15 Minuten liegt der Anteil nur noch bei 8,4 %. Abschließend liegt nur ein kleiner Anteil der Altersklasse 0 bis 6 Jahre mit 4,6 % außerhalb der 15 Minuten fußläufigen Erreichbarkeit.

Bei der Erreichbarkeitsanalyse zu den im Stadtgebiet verteilten Grundschulen (Abbildung 45), differiert das Verteilungsergebnis zu der vorangegangenen Analyse der Kindertagesstätten. Innerhalb der fußläufigen Erreichbarkeit bis 5 Minuten befinden sich 25,1 % der Personen der Altersklasse 6 bis 12 Jahre. Insgesamt umfasst diese Altersklasse 3.228 Personen. Die größte Abdeckung findet sich mit 33,7 % in der Klasse zwischen 5 und 10 Minuten Gehzeit. Die Randbereiche der Einzugsgebiete (10 bis 15 Minuten) decken 18,2 % der Altersklasse ab. Außerhalb der 15-minütigen fußläufigen Erreichbarkeit liegen mit 23 % knapp  $\frac{1}{4}$  der gesamten Altersklasse der 6- bis 12-jährigen.





### 6.3. Analyse des Straßenraums

Auf Grundlage des vorliegenden Straßen- und Wegenetzes der Stadt Kempten ist eine räumliche Analyse der Breite des Straßenraums durchgeführt worden. Dabei beträgt die räumliche Rasterauflösung 0,5 m. Die in Abbildung 46 dargestellten Ergebnisse beschreiben jeweils die Distanz zur Straßenraummitte vom Rand her berechnet. Die Gesamtbreite des Straßenraums ist dementsprechend die doppelte Entfernung vom Straßenraumrand zur Straßenraummitte. Dieses Vorgehen, mit Unterteilung des Straßenraums in „rechts“ und „links“ hat den Vorteil, dass insbesondere Straßenräume mit nicht-parallel verlaufenden Straßenraumrändern individuell erfasst und räumlich dargestellt werden können. Dadurch wird auch der reale Straßenraummittelpunkt erfasst, welcher per se bspw. nicht mit der Fahrbahnachse übereinstimmen muss. Da die Darstellung in einer Karte, aufgrund des hohen Detailgrades bei einer gleichzeitig großen Ausdehnung über das gesamte Gebiet der Stadt Kempten kaum möglich ist, soll diese (Abbildung 46) nur als generelle Übersicht dienen. Primär sollte der Datensatz im kommunalen GIS bereitgestellt werden, so dass eine maßstabslose Betrachtung aller, bzw. einzelner Straßenzüge im Detail möglich ist.

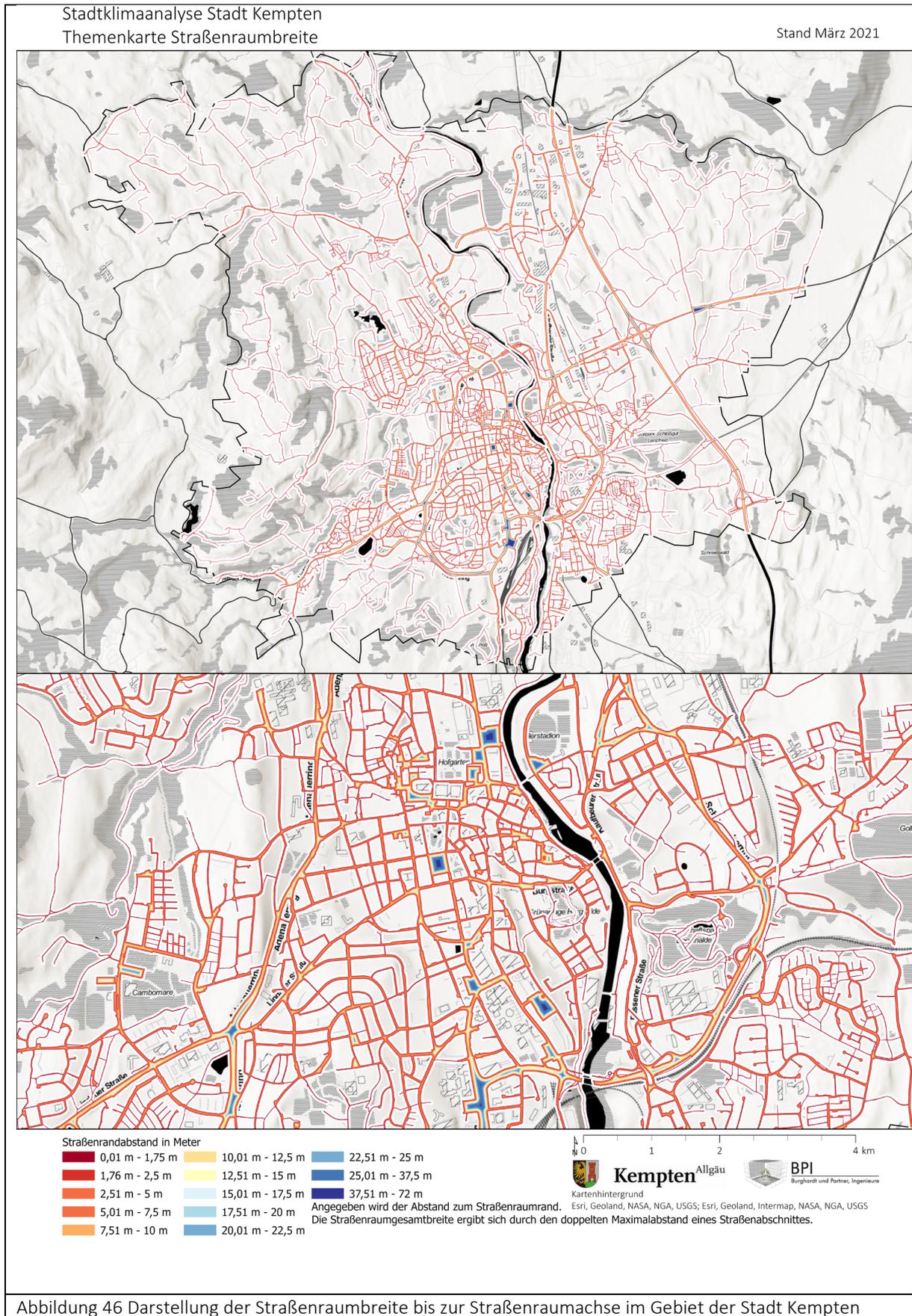


Abbildung 46 Darstellung der Straßenraumbreite bis zur Straßenraumachse im Gebiet der Stadt Kempten

## 7. Klimaprojektionen

Für die nachfolgenden Kapitel 7.1 bis Kapitel 7.3 liegt die Urheberschaft beim DWD.

### 7.1. 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.

### 7.2. Szenarien

Jedes Szenarium beschreibt eine mögliche Zukunft der globalen Wirtschaft und die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen (siehe Tabelle 12). 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 unseres Klimas durchführen zu können.

Tabelle 12 Beschreibung der RCP-Szenarien

Szenarien-Name	Verantwortliche Modelliergruppe (IAM)	Szenarien-Entwicklung
RCP8.5	Message (A)	Über 1370 ppm CO <sub>2</sub> -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau.
RCP6.0	AIM (JAP)	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 CO <sub>2</sub> -Äquivalent, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300.
RCP4.5	MiniCAM (USA)	Moderate Entwicklung. Anstieg des CO <sub>2</sub> -Äquivalent bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau.
RCP2.6	IMAGE (NL)	"Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm <sup>-2</sup> 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.

### 7.3. 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 und simuliert, beispielsweise in Modellen der Atmosphäre, der Ozeane, der Kryosphäre (Eis- und Schneemodellen), der Vegetation, usw. Diese Teilsystem-Modelle sind miteinander vernetzt und bilden so das Gesamtmodell des Klimas.

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

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

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. Die Auswirkungen eines wesentlich dichteren Gitternetzes werden an folgenden Abbildungen deutlich:

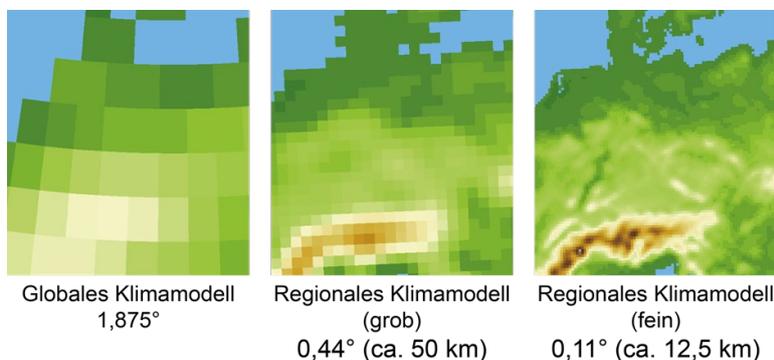


Abbildung 47 Unterschiede der Gitterpunktgrößen zwischen globalen und regionalen Klimamodellen (Quelle: DWD)

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.*

#### **7.4. Auswertung der Klimawandelszenarien RCP4.5 und RCP8.5 mit unterschiedlichen Klimaparameter für die Stadt Kempten**

Um einen Vergleich der Szenarien RCP4.5 (moderates Szenario) und RCP8.5 (Szenario aktueller Trend) zu anderen Städten bezüglich der klimatischen Verhältnisse zu erlangen, wurden neben Kempten auch die Stadt München als Großstadt mit ähnlicher geographischer Lage hinsichtlich der Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, Tagesmaximumlufttemperatur und Tagesminimumlufttemperatur in den Sommermonaten (meteorologischer Sommer 01.06. – 31.08.) Juni, Juli und August betrachtet. Es wurden die langjährigen Mittel in den Zeiträumen 2031-2060 und 2071-2100, also die Mitte und das Ende des 21. Jahrhunderts, herangezogen. Die Darstellung in den Abbildung 48 bis Abbildung 51 beruht auf dem jeweils 10-jährigen Mittel zum Zeitpunkt 2050 und 2100.

Die herangezogenen Daten haben eine Auflösung von 12 km – 12,5 km und entsprechen einem feinen regionalen Klimamodell. Dies ist die höchste verfügbare Auflösung in Bayern (Stand 2021). Dadurch ergeben sich verschiedene Unsicherheiten und Unschärfen, jedoch sind klare Tendenzen absehbar.

Die reine Einwohnerzahl der Städte Kempten und München ist nicht allein ausschlaggebend für die prognostizierten klimatischen Veränderungen. Einflussfaktoren wie Wind, Topographie, Lage, bauliche Strukturen, etc. spielen eine Rolle. In der Realität werden sich, durch die Einflussfaktoren der Stadt selbst, die Veränderungen in den bebauten Gebieten stärker verändern als in den ländlichen Gebieten, da aufgrund der bereits genannten Bebauung beispielsweise eine Durchlüftung des urbanen Raums reduziert wird und durch die Versiegelung der Oberflächen mit unterschiedlichen Materialien (Asphalt, Pflaster...) die Temperaturen dort steigen werden.

##### **7.4.1. Erfassung, Aufbereitung und Analyse der für die Region Kempten prognostizierten Klimaveränderungen im Vergleich zu München**

Auf Grundlage der prognostizierten Klimaveränderungen für die Region der Stadt Kempten werden die klimatischen Indikatoren Temperatur, Niederschlag, Tagesmaximumlufttemperatur und Tagesminimumlufttemperatur betrachtet. Ziel ist es, anschauliche und verständliche Aussagen zu den zu erwartenden genannten Veränderungen zu treffen und diese in den heutigen klimatischen Kontext und das heutige klimatische Verständnis zu setzen.

Um einen Vergleich zu anderen Regionen zu schaffen wird München als Vergleichsstandort in den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt. Per se ist festzustellen, dass in München „schlechtere“ Rahmenbedingungen (Startbedingungen) vorherrschen als in der Region Kempten. Dies ist unter anderem auf den hochverdichteten Raum der Region München zurückzuführen.

Während im Rahmen des RCP4.5 Szenarios die Auswirkungen des Klimawandels für beide Städte von ähnlicher Intensität sind (vgl. Abbildung 48 bis Abbildung 51), und hier eine nahezu parallele Entwicklung erkennbar ist, gewinnt die klimatische Verschlechterung der Stadt Kempten im RCP8.5 Szenario gegenüber der Stadt München, bezogen auf den Tagesdurchschnitt der Lufttemperatur und den Durchschnitt des Tagesmaximums der Lufttemperatur, leicht an Intensität.

Dieser Trend wird auch im Vergleich des Tagesminimums der Lufttemperatur (Abbildung 50) deutlich und ist dort am stärksten ausgeprägt. Insbesondere die nächtliche Abkühlung des urbanen und ruralen Raums ist für die Verminderung der thermischen Belastungssituation einer Region von Bedeutung, da die Schlafphase vom menschlichen Körper als Regenerationsphase genutzt wird. Durch die zunehmend schlechtere Abkühlung in der Nacht kann so die thermische Gesamtbelastung für den Menschen steigen.

Die Veränderungen im Niederschlagsvorkommen (Abbildung 51) im Monatsmittel für die Sommermonate zeigt einen weiter Rückgang bis 2100, auch wenn die Szenarien teils einen leichten Anstieg der Niederschlagsmengen bis 2050 erwarten, führt der aktuelle Trend zunehmend zu trockeneren Sommern bei gleichzeitig höheren Niederschlägen in den Wintermonaten.

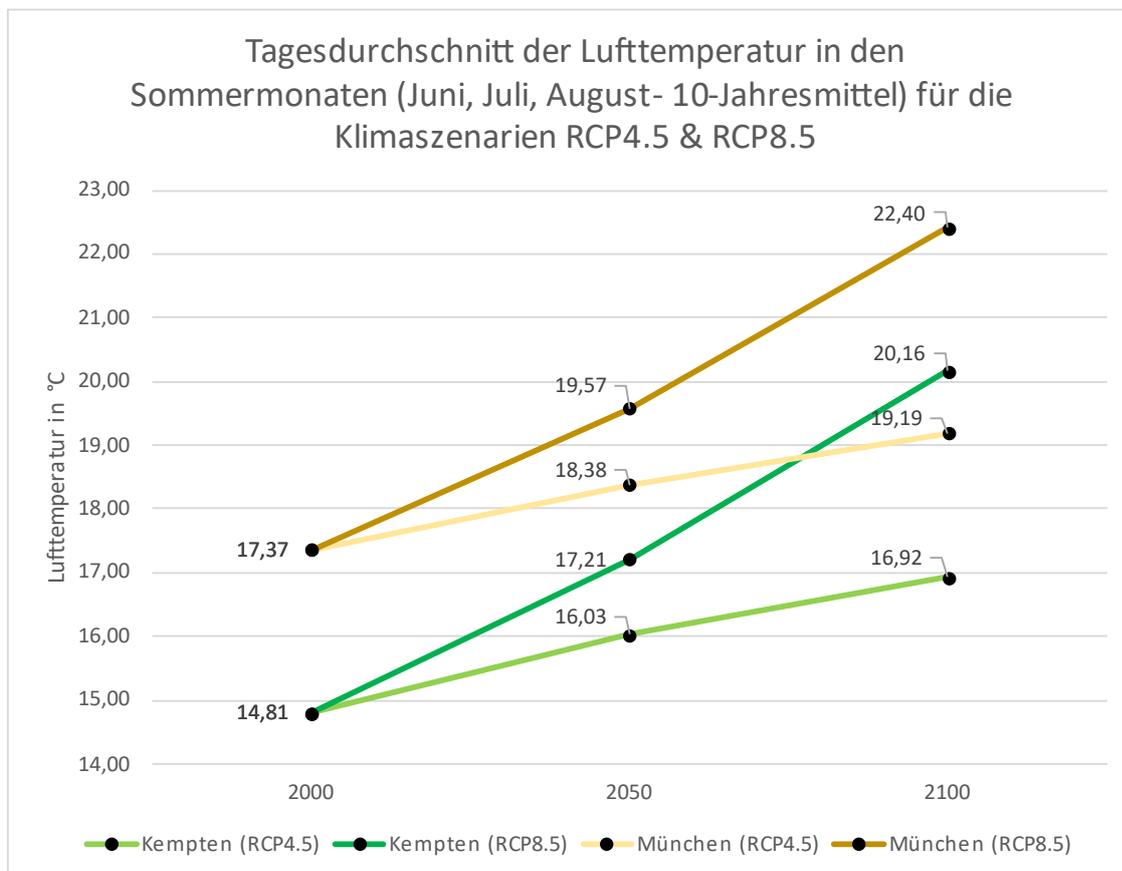


Abbildung 48 Diagramm der Tagesdurchschnittstemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

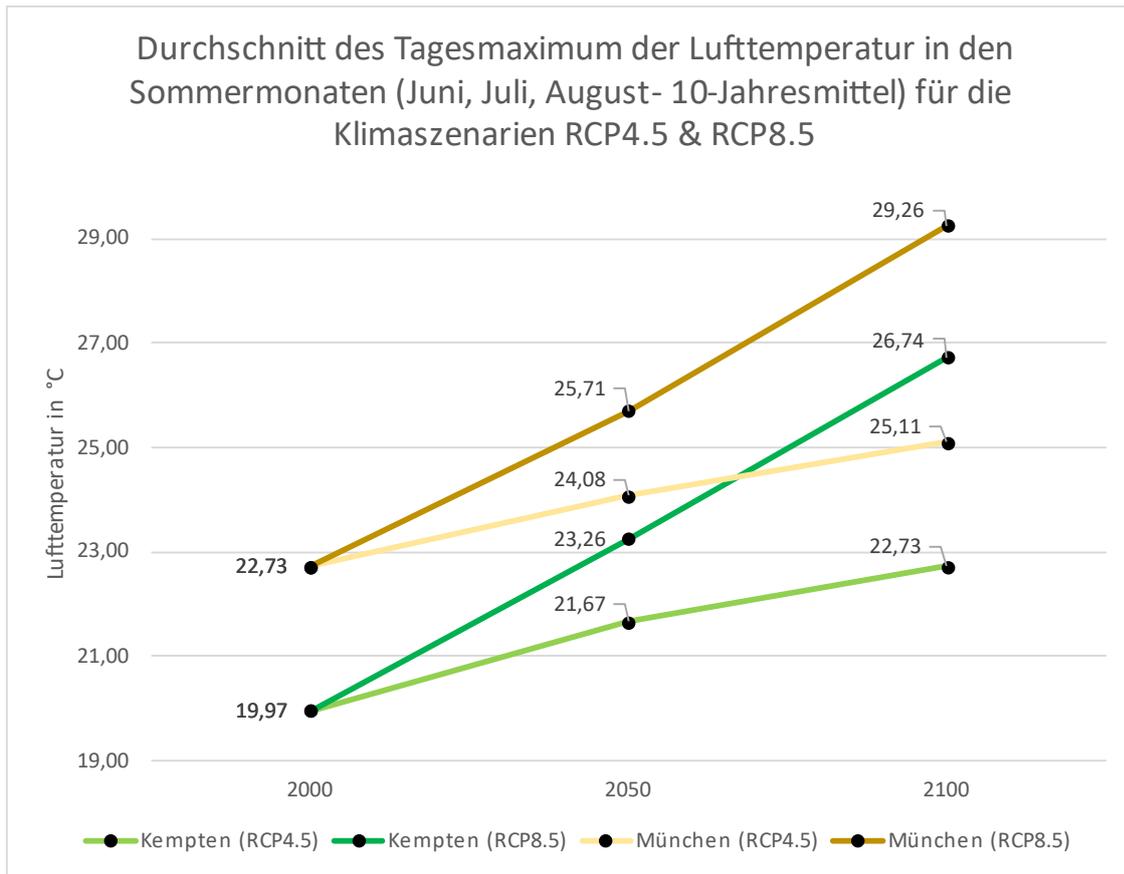


Abbildung 49 Diagramm des durchschnittlichen Tagesmaximum der Lufttemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

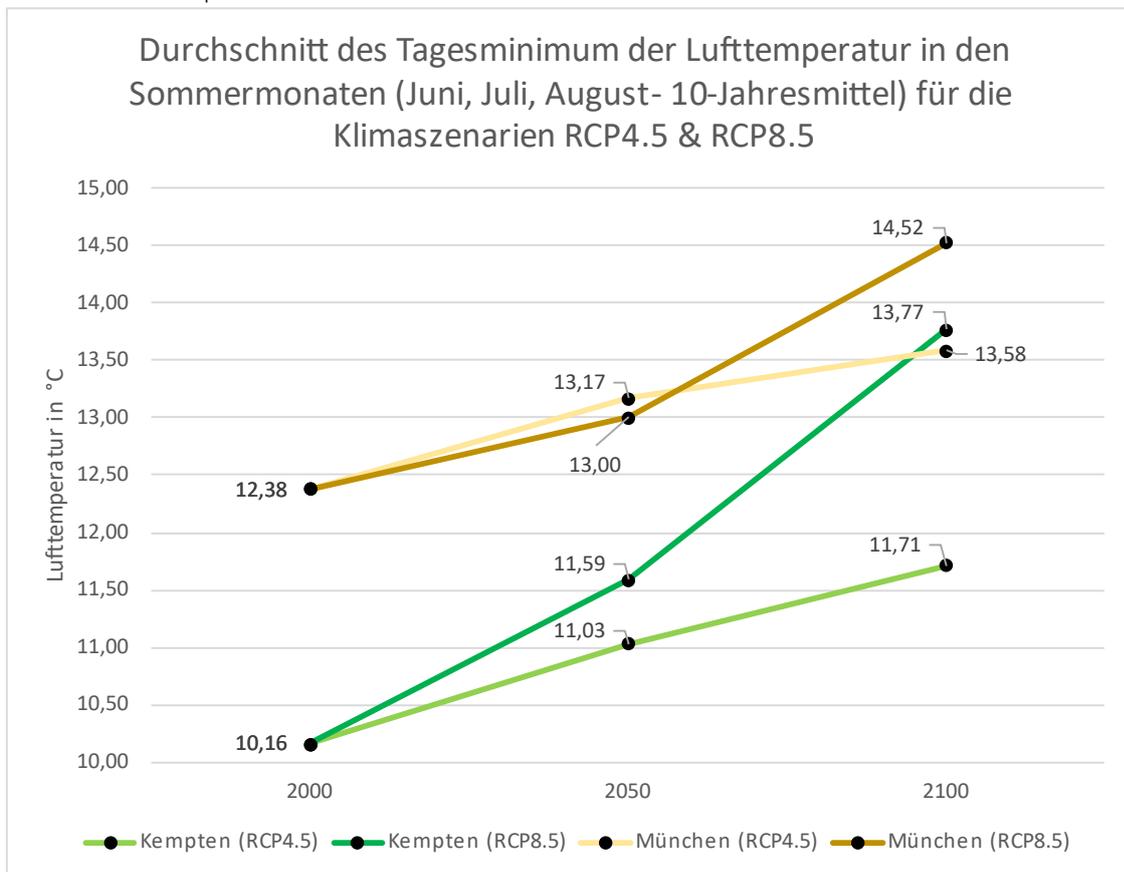


Abbildung 50 Diagramm des durchschnittlichen Tagesminimum der Lufttemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

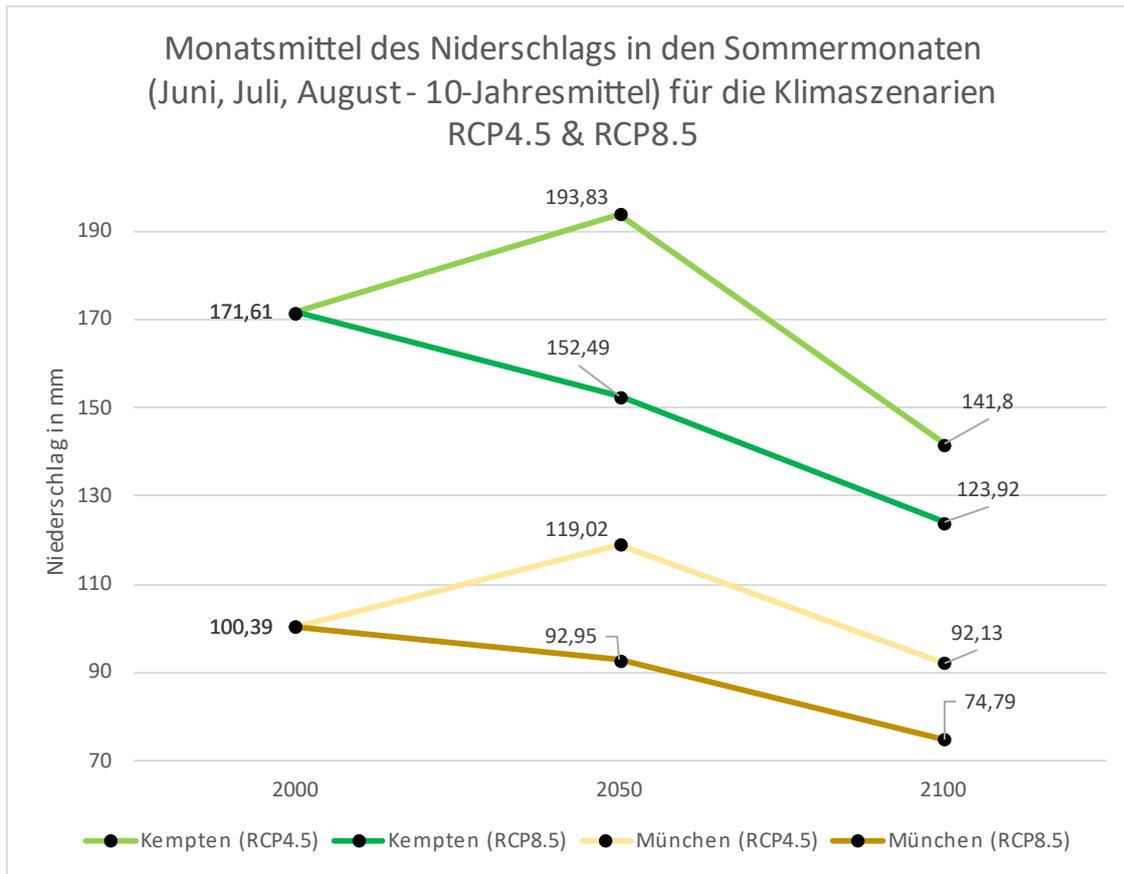


Abbildung 51 Diagramm zum Monatsmittel des Niederschlags in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

## 8. Planung

### 8.1. Planhinweiskarte (PHK)

Die nachfolgende Beschreibung der Planhinweiskarte sowie der Bewertungsklassen basiert auf der VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 und ist aus dieser übernommen.

Die flächenhaften Ausweisungen der Planungshinweise beziehen sich einerseits auf Beurteilungen in drei Stufen für bestehende Freiflächen, die auch als lokalklimatische Ausgleichsräume aufgefasst werden. Andererseits beziehen sich die Beurteilungen in vier Stufen auf bebaute Flächen, die auch als lokalklimatische Lasträume bezeichnet werden. Ergänzt werden sie durch die linienhaften Ausweisungen für stark frequentierte Hauptverkehrsstraßen als bodennahe Emittenten. Die Stufen der Ausweisungen der Planungshinweise werden nachfolgend beschrieben

#### 8.1.1. Ausgleichsräume/Grün- und Freiflächen

##### **Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung**

Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit direktem Bezug zum Siedlungsraum, wie innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems liegen. Diese Gruppe umfasst des Weiteren nicht bebaute Täler, insbesondere deren Talsohlen und Geländeeinschnitte, in denen Kaltluftabfluss auftritt. Diese Gebiete sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt. Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen aus klimatisch-lufthygienischen Gründen für den Ballungsraum von großer Wichtigkeit. Die genannten Flächentypen sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet: Bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern. Sollten trotz klimatischer Bedenken in solchen Gebieten Planungen in Erwägung gezogen werden, sind dafür klimatisch-lufthygienische Sondergutachten notwendig.

##### **Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung**

Die auf diesen Freiflächen entstehende Kalt- und Frischluft fließt entweder nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete oder es liegt nur eine geringe Kaltluftproduktion aufgrund der Ausstattung (Schotterflächen, Deponieoberflächen usw.) vor. Sie sind mit geringerer Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet. Auf derartigen Flächen ist aus klimatischer Sicht eine maßvolle Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, möglich. Klimatisch bedeutsame lokale Gegebenheiten wie Talsohlen, Schneisen, Bachläufe usw. sind jedoch bei der Planung zu berücksichtigen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen, die Schaffung von Dach- und Fassadenbegrünungen und möglichst geringe Gebäudehöhen sowie windoffene Gebäudeanordnungen zu empfehlen. Bei Planungen von Baumaßnahmen in diesen ausgewiesenen Flächen ist eine Beurteilung eines klimatisch-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Schaffung von Grün- und Ventilationschneisen von Vorteil.

##### **Ausgleichsraum mit geringer Bedeutung**

Diese Flächen haben klimatisch betrachtet nur einen geringen Einfluss auf Siedlungsgebiete, da sie aufgrund ihrer Lage und Exposition von Siedlungen abgewandt

oder für die Kalt- und Frischluftproduktion relativ unbedeutend sind. Dazu zählen auch Bereiche innerhalb eines ausgedehnten Klimapotentials, das nicht in unmittelbarer Verbindung zu einem Ballungsgebiet liegt. Dort sind teilweise bauliche Eingriffe mit nur geringen klimatischen Veränderungen verbunden, das heißt, sie sind relativ stabil gegenüber begrenzten nutzungsändernden Eingriffen. Diese Flächenausweisungen treffen insbesondere auf Kuppenlagen zu, in denen eine gute Durchlüftung und eine geringe Neigung zur Wärmeinselbildung gegeben sind. Allerdings wirken sich solche Lagen ungünstig auf den winterlichen Heizbedarf aus. Dasselbe gilt für großflächige, schwach relieffierte und gut durchlüftete Gebiete, die nicht in unmittelbarer Nähe zu dichten Siedlungsbereichen liegen. Aus klimatischer Sicht sind in diesen ausgewiesenen Flächen selbst größere Bauwerke wie Hochhäuser oder Gewerbebetriebe möglich. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass eine Durchlüftung entsprechend der Hauptwindrichtung erhalten wird. Zudem ist das schon vorhandene Emissionsaufkommen zu beachten, sodass in der Nähe von Gewerbestandorten und stark frequentierten Verkehrswegen keine empfindlichen Nutzungen geplant werden sollten.

### **8.1.2. Bebaute Flächen/Lasträume**

#### **Bebaute Flächen mit geringer klimarelevanter Funktion**

Dies sind bereits bebaute Gebiete mit geringen klimatischen Funktionen, die aufgrund ihrer Lage keine hohen thermisch-lufthygienischen Belastungen aufweisen und benachbarte Siedlungsbereiche nicht wesentlich beeinträchtigen. Ihnen ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen und Bebauungsverdichtung zuzuschreiben. Dabei handelt es sich um bebaute, gut durchlüftete Kuppenlagen oder um bebaute Gebiete, deren thermisch-lufthygienische Emissionen nicht zu Verschlechterungen in nahegelegenen Siedlungsbereichen führen. Bei einer zusätzlichen Verdichtung ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Auswirkung zu erwarten. Allerdings ist darauf zu achten, dass bestehende Belüftungsmöglichkeiten erhalten werden und zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen. Durch Dach- und Fassadenbegrünung und Beibehaltung von Grünflächen kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden.

#### **Bebaute Flächen mit klimarelevanter Funktion**

Hierbei handelt es sich um bebaute Gebiete, die aufgrund ihrer Lage und ihrer Bebauungsart klimarelevante Funktionen übernehmen. Darunter fallen z. B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen oder Siedlungsränder, die nachts entsprechend abkühlen und relativ windoffen sind, oder gut durchlüftete verdichtete Siedlungsbereiche (z. B. Kuppenlagen). Diese Gebiete führen weder zu intensiver thermisch-lufthygienischer Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustauschs und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Damit sind z. B. Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken gemeint, wobei die in diesem Gebiet vorhandene Dimension der Bebauung beibehalten werden sollte. Solche relativ geringfügigen und der Umgebung angemessenen Nutzungsänderungen ziehen keine wesentlichen klimatisch-lufthygienischen Änderungen nach sich. Allerdings ist bei Planungen von Baumaßnahmen in diesen ausgewiesenen Flächen eine Beurteilung von einem klimatisch-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Erhaltung und Schaffung von Grün- und Ventilationsschneisen von Vorteil. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.

### **Bebaute Flächen mit bedeutender klimarelevanter Funktion**

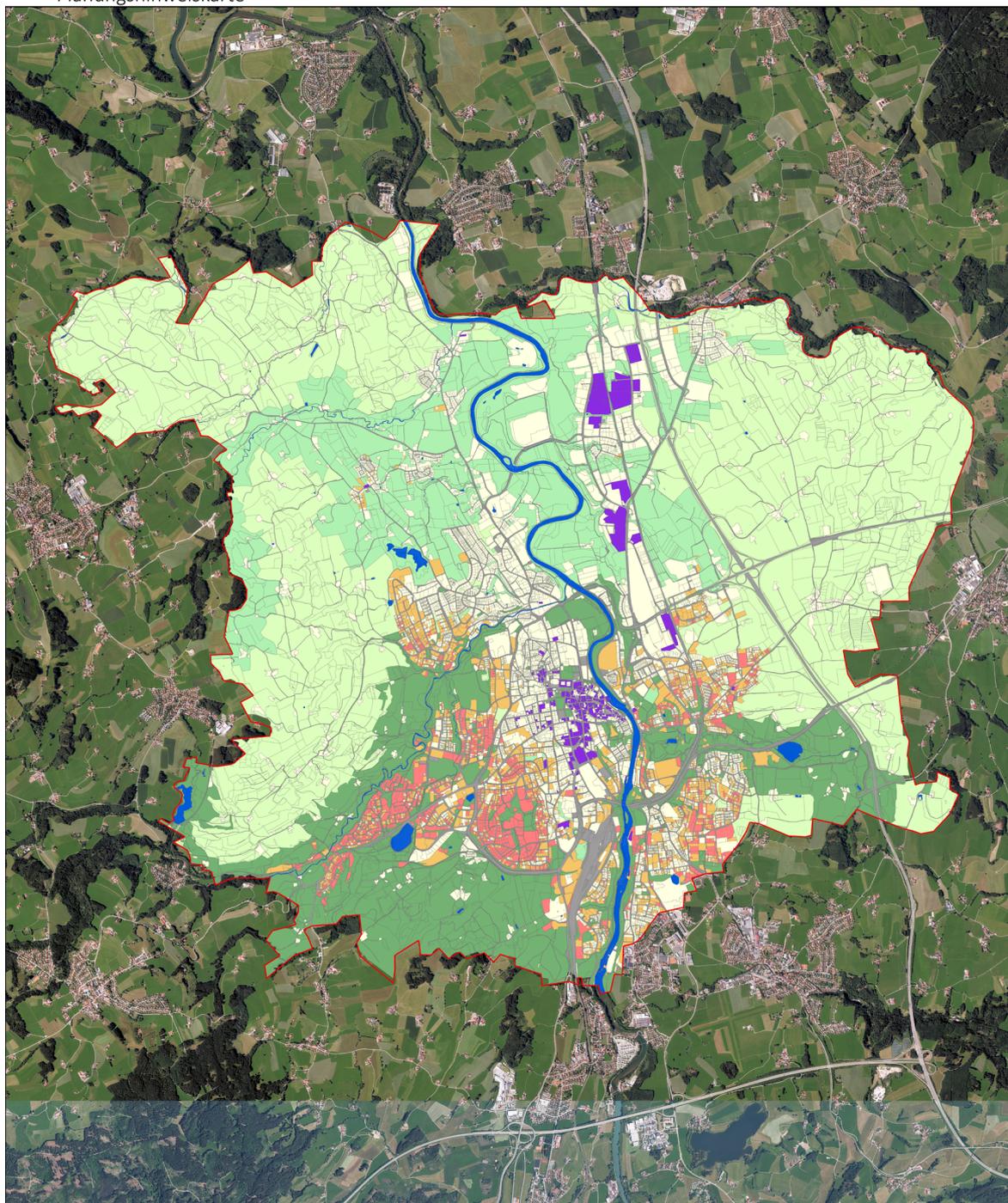
Diese ausgewiesenen bebauten Bereiche übernehmen für sich und angrenzende Siedlungen bedeutende klimarelevante Funktionen, wobei Art und Dimension der vorhandenen Bebauung sehr unterschiedlich sein können. Locker bebaute, gut durchgrünte Gebiete mit geringen Gebäudehöhen ermöglichen am Siedlungsrand einen nahezu ungestörten Luftaustausch, der auch lokale Windsysteme beinhaltet. Das trifft insbesondere auf Hanglagen zu, an deren Fuß sich bebaute Gebiete befinden, wobei diese Hanglagen auch zu Kaltluftbildung und Kaltluftabfluss beitragen. Die genannten Gebiete weisen allesamt eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Weitere Bau- und Versiegelungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Gebiete wird eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Betonung oder Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen. Bei nutzungsändernden Planungen in diesen ausgewiesenen Flächen sind klimatisch-lufthygienische Gutachten notwendig.

### **Bebaute Flächen mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen**

Diese Ausweisung umfasst vornehmlich verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind. Zudem zählen dazu auch diejenigen bebauten Bereiche, in denen der Luftaustausch maßgeblich durch Bauwerke behindert ist. Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig. Als Aufwertungs- oder Sanierungsmaßnahmen kommen Erhöhung des Vegetationsanteils, Verringerung des Versiegelungsgrads und Verringerung des Emissionsaufkommens, insbesondere der Verkehrsemissionen, infrage. Zudem wird eine Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen empfohlen; damit ist auch die Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke verbunden. Ferner sollte darauf geachtet werden, dass zur Begrünung nur solche Pflanzenarten verwendet werden, die keine oder nur in geringen Mengen biogene Kohlenwasserstoffe freisetzen, die eine Ozonproduktion begünstigen.

Stadtklimaanalyse Stadt Kempten  
Planungshinweiskarte

Stand April 2021



Planungshinweiskarte / Bioklimatische Belastungskarte  
Siedlungsflächen

- Bebautes Gebiet mit geringer Belastung und geringer Klimarelevanter Funktion
- Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion
- Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion
- Bebautes Gebiet mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen

Grün- und Freiflächen

- Ausgleichsraum hoher Bedeutung
- Ausgleichsraum mittlerer Bedeutung
- Ausgleichsraum geringer Bedeutung

Verkehrs- und Gewässerflächen

- Gewässer
- Verkehr

0 0.75 1.5 3 km

 **Kempten** Allgäu  
Kartenhintergrund  
Esri, Geoland, NASA, NGA, USGS, Esri, HERE, Garmin, METI/NASA, USGS

 **BPI**  
Burghardt und Partner, Ingenieure

Abbildung 52 Planungshinweiskarte für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten auf Grundlage der Klimafunktionskarte sowie der geostatistischen Auswertung der erstellten Themenkarten.

## 8.2. Maßnahmensteckbriefe

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

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

Planungsempfehlungen (speziell für die im nächsten Kapitel beschriebenen Detailbetrachtungen), basierend auf der durchgeführten stadtklimatischen Untersuchung für die Stadt Kempten, werden in Form von erklärenden Maßnahmensteckbriefen und unterteilt in die vier Themenbereiche

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

nachfolgend dargestellt.

In Hinblick auf die zu erwartende Klimaerwärmung mit dem Fokus auf Stadtgebiete wurden für den städtischen Raum von Kempten Maßnahmensteckbriefe erarbeitet, die als unterstützende Erläuterung für die Planhinweiskarte (vgl. Abbildung 52) dienen, aber auch gleichzeitig unterschiedlichste Optionen für zukunftsorientierte Klimaanpassungsmaßnahmen im Stadtgebiet von Kempten darstellen.

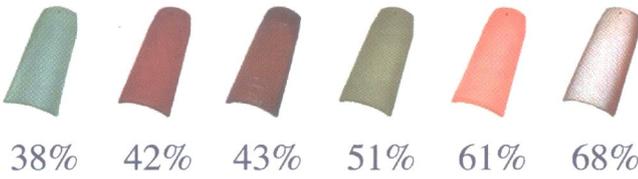
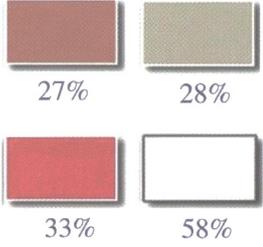
Tabelle 13 Übersicht über die im Folgenden eingehend beschriebenen Maßnahmenvorschläge. Die Spalte „Referenz-Bezeichnung“ gibt für jede Maßnahme eine individuelle Kennung wider, auf die sich im Kapitel 8.3 (Detailbetrachtungen) bezogen wird. Die Spalte „Referenz-Bereiche“ gibt die Detailbetrachtung (Kapitel 8.3) an, für die die Maßnahme vorgeschlagen wird.

Referenz-Bezeichnung	Bezeichnung	Referenz-Bereiche
<i>Objektmodifikationen</i>		
M 1	Materialvorgaben	
M 2	Dachbegrünung	
M 3	Fassadenbegrünung	
<i>Belüftung und Durchlüftung</i>		
M 4	Belüftungssicherung bei Neubaugebieten	
M 5	Sicherung von Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebieten (in Hanglagen) sowie Luftleitbahnen	
<i>Aufenthaltsqualität</i>		
M 6	Temporäre Verschattung	
M 7	Trinkbrunnen	
<i>Grünvernetzung und Entsiegelung</i>		
M 8	Straßenbegleitgrün	
M 9	Sicherung und Schaffung von Grünflächen	
M 10	Entsiegelung und Schaffung von Retentionsflächen	

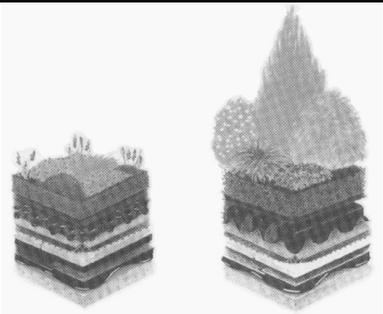
Tabelle 14 Kurzbeschreibung der in den Maßnahmensteckbriefen verwendeten Symbole

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

### 8.2.1. Objektmodifikationen

M 1		Materialvorgaben				
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern):						
<p><b>Dachabdeckung</b></p> <p>Die klassische und heute immer noch meistgenutzte Art der Dachabdeckung ist die Verwendung von gebrannten Dachziegeln oder Dachpfannen. Als Elemente aus gebranntem Ton, zählen diese zu den natürlichen Baumaterialien, wodurch die Wärmeleitfähigkeit (Watt pro Meter mal Kelvin) beschreibt, im moderaten Bereich liegt. In Kombination mit unterschiedlichen Oberflächenfarben lässt sich der potentielle energetische Gesamteintrag zusätzlich reduzieren. Wird die Reflexionseigenschaft der verwendeten Materialien erhöht, verringert sich automatisch die vom Dach absorbierte Menge an Energie.</p>						
		 <p>Abbildung 53: Solare Reflexionseigenschaften in Prozent (%) von klassisch gebrannten Dachziegeln mit unterschiedlicher Farbgebung (Gartland 2008).</p>				
<p><b>Dachbeschichtungen</b></p> <p>Die nachträgliche Beschichtung von Dachfläche bietet eine Alternative, um bestehende Dachabdeckungen klimatisch und energetisch aufzuwerten. Die Englischen Begriffe „Cool Roofs“ und „White Coating“ beschreiben den Überzug einer bestehenden Dachfläche mit einem speziellen Elastomer, das einen sehr niedrigen U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) aufweist. In Kombination mit einer hohen Albedo durch die weiße Farbe lässt sich so die thermische Belastung besonders bei großflächigen Dächern stark reduzieren. Durch die Möglichkeit, fast jede Art von Dachabdeckung (Metall, Ton, Bitumen, u.a.) mit einem „White Coating“ zu versehen, bietet sich die Anwendung insbesondere für Industrieanlagen an, welche oftmals mit leichttragenden Metalldächern versehen sind und i.d.R. zusätzliche schwere Dachlasten (z.B. durch Dachbegrünung) nicht tragen dürfen.</p>						
		 <p>Abbildung 54: Solare Reflexionseigenschaften von Metall mit unterschiedlichen Deckfarben (Gartland 2008).</p>		 <p>Abbildung 55: Nachträgliches „White Coating“ eines Metalldachs mit einer Elastomer-Beschichtung</p>		
+		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der thermischen Belastung</li> <li>- Reduzierung der Energiespeicherung / Wärmespeicherung</li> </ul>				
⚠		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Denkmalschutz</li> </ul>				
📌		Festlegung im Bebauungsplan / im Städtebaulichen Vertrag				
🔧		++ / +++	⌚	+	➡	++

M 2	Dachbegrünung	
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 4, 7		
<p>Funktionelle Dachbegrünungen stellen heute eine gute Möglichkeit dar, die Überwärmung des Gebäudes über die Dachflächen zu reduzieren. Zudem ermöglichen Gründächer über die Bereitstellung zusätzliche Retentionsflächen die Schaffung von temporären Puffern für die Aufnahme von Regenwasser. Sie sind in der Lage bis zu 70% (abhängig von der Art der Begrünung) des Niederschlags aufzunehmen, zurückzuhalten und ihn zeitverzögert durch Verdampfung wieder abzugeben. Auf diese Weise wird zum einen die oft trockene Stadtluft zumindest im lokalen Umfeld befeuchtet und zum anderen die Stadtentwässerung erheblich entlastet (Rüngeler 1998). Ähnlich wie die Fassadenbegrünung hat das Gründach eine isolierende und ausgleichende Funktion bezüglich des Wärme- und Energietransfers von der Außenseite zur Innenseite des Gebäudes. Grundsätzlich wird zwischen dem extensiven und dem intensiven Gründach unterschieden.</p>		
<p>Für das <b>extensive Gründach</b> ist eine geringe Vegetationshöhe von bis zu 10 cm charakteristisch. Gewöhnlich sind diese Systeme nicht begehbar, durch ihre geringe Substratauflage und Vegetationsmasse können sie jedoch auch auf Flächen mit einer Dachneigung bis zu 30 Grad angebracht werden.</p>		
Tabelle 15: Beispiele für Arten, die für eine extensive Gründachbepflanzung geeignet sind		
Wiss. Name	Deut. Name	Blühfarbe
<i>Allium schoenoprasum</i>	Schnittlauch	rosa
<i>Dianthus deltoides</i>	Heidenelke	rot
<i>Origanum vulgare</i>	Majoran	purpurn (hell)
<i>Prunella vulgaris</i>	Prunelle	blau-violett
<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf	rot
<i>Sedum album</i>	Weißer Mauerpfeffer	weiß
<i>Sedum reflexum</i>	Trippmadame	gelb
<i>Thymus pulegioides</i>	Feldthymian	purpurn
<p>Das <b>intensive Gründach</b> ähnelt viel mehr einem kompletten Garten auf Dachniveau. Oft finden sich auf diesen Gründächern hohe Gräser, Stauden oder geeignete Bäume. Um genügend Wurzelraum zur Verfügung zu stellen, muss die Substratauflage entsprechend mächtig ausgeprägt sein. Im Aufbau beider Systeme kann es zu kleineren Unterschieden kommen, die grundsätzliche funktionelle Anordnung der einzelnen Schichten ist jedoch identisch. Bedingt durch den zu erzielenden Aufwuchs besteht der größte Unterschied in der Stärke der verwendeten Substratschichten. Beim Entwurf von Neubauten lässt sich die für ein Gründach zusätzlich benötigte Tragkraft vorab berücksichtigen. Im Gegensatz dazu müssen im Bestand die Statik und Tragkraft jedes Gebäudes einzeln auf das zusätzliche Gewicht geprüft und ggf. nachgerüstet werden. In einem gewissen Umfang sind Parallelnutzungen mit Photovoltaik oder Solarthermie möglich. Um die sehr guten gebäudeklimatischen Eigenschaften eines Gründaches zu gewährleisten, muss eine ausreichende Wasserversorgung garantiert werden. Insbesondere während länger andauernder Hitzewellen besteht die Gefahr, dass ein Gründach austrocknet und die vorhandene Vegetation verdorrt. Passiert dies, hebt sich die positive klimatische Wirkung auf.</p>		

Parameter	intensiv	extensiv	
Aufbauhöhe	ca. 25 cm	ca. 10 cm	
Gewicht (trocken)	100-200 kg/m <sup>2</sup>	25-150 kg/m <sup>2</sup>	
Gewicht (nass)	220-420 kg/m <sup>2</sup>	85-270 kg/m <sup>2</sup>	
<p>Tabelle 16: Gewichts- und Massenvergleich zwischen intensiven und extensiven Gründach (nach Gartland 2008)</p>			<p>Abbildung 56: Dachbegrünung im Schichtaufbau (links extensiv, rechts intensiv) (American Hydrotech 2000)</p>
<p>Der Wirkungsbereich eines einzelnen Gründaches ist lokal beschränkt (im Normalfall auf das Gebäude). Inwieweit eine flächendeckende Ausstattung eines ganzen Stadtquartiers mit Dachbegrünung stadtklimatisch messbare Verbesserungen nach sich zieht, ist bis heute noch nicht eingehend untersucht, jedoch ist induktiv von einem positiven stadtklimatischen Effekt auszugehen.</p>			
<p>Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen werden beispielsweise in der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie (2018), Pflege und Wartung von begrünten Dächern (2002) und Leitfaden Gebäude Begrünung Energie (2014) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.</p>			
		<p>Abbildung 57 Extensives Gründach auf einem ehemaligen Parkdeck in Kassel (2019)</p>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minderung der Temperaturextreme</li> <li>- Wärmedämmung (Winter)</li> <li>- Kühlung und Isolierung (Sommer)</li> <li>- Unterstützung des Luftfeuchtigkeitshaushalts</li> <li>- Retentionsfläche</li> <li>- verzögerte Wasserabgabe</li> </ul>		
⚠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Denkmalschutz</li> <li>- Eignung der Bausubstanz</li> <li>- Tragkraft und Statik</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wasserversorgung</li> <li>- Brandschutz</li> <li>- Dachneigung</li> <li>- Pflanzenauswahl</li> </ul>				
	<p>Dachbegrünungen können in zukünftigen Bebauungsplänen oder bei Änderungen von Bebauungsplänen rechtsverbindlich festgesetzt werden. Wie jede andere Festsetzung darf auch diese nur nach gerechter Abwägung aller berührten Belange (z.B. Brandschutz etc.) getroffen werden.</p> <p><u>Beispiel:</u> „Flachdächer (0-15 Grad) sind mindestens mit einem Anteil von 60 % der Dachfläche (ausgenommen Flächen für technische Aufbauten) bei einer Substratschicht von mindestens 8 cm mit Gräsern und Wildkräutern zu bepflanzen und zu unterhalten. Begründete Ausnahmen z.B. zur Gewinnung von Solarenergie sind zugelassen.“</p>				
	<p>++ / +++</p>		<p>++</p>		<p>++</p>

M 3	Fassadenbegrünung	
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 4		
<p>Fassadenbegrünung hat in Deutschland, insbesondere im Bereich der Industriegebäude, eine lange Tradition. Die „natürliche“ jahreszeitliche Isolierung durch Vegetation kann zu einem ausgeglichen homogenen Energiefluss zwischen Gebäudeinnenseite und Gebäudeaußenseiten beitragen. Insbesondere ältere Gebäude (z.B. Backsteingebäude) lassen sich durch eine nachträgliche Fassadenbegrünung effizient „dämmen“. Bei den Grünfassaden muss zwischen der bodengebundenen Begrünung und der fassadengebundenen Begrünung unterschieden werden. Zusätzlich kann eine gesunde Grünfassade einen Beitrag zur Lufthygiene leisten. Untersuchungen zur Filterwirkung hinsichtlich Schwermetalle bei Grünfassaden haben, insbesondere im bodennahen Raum, eine hohe Filterwirkung nachgewiesen (Thoennessen 2002). Für Gebiete mit hoher Gebäudedichte und starkem Verkehrsaufkommen, wo außerdem Straßenbäume nicht möglich oder nicht sinnvoll sind (z.B. Reduktion Belüftungspotential), kann die Fassadenbegrünung gerade im belebten Niveau der Straße zu einer Reduktion der Luftschadstoffbelastung beitragen.</p> <p>Die <b>bodengebundene Begrünung</b> einer Fassade setzt eine direkte Verbindung zum Erdreich oder einen /mehrere Pflanzbehälter voraus, in dem die Pflanzen wurzeln können. Für diese Art der Begrünung sind stark rankende Pflanzen notwendig. Klassisch finden unterschiedliche Arten des Efeus oder des Weins Verwendung.</p>		
Tabelle 17: Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung		
Pflanzenart	Charakteristika	Höhe in 4 Jahren
Chinesischer Blauregen <i>Wisteria sinensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schnell wachsend</li> <li>- sehr guter Wuchs über die gesamte Höhe</li> <li>- starke Befestigungen nötig</li> </ul>	10m
Kolomikta Strahlengriffel <i>Actinidia kolomikta</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- langsam wachsend</li> <li>- empfindlich bei Trockenheit</li> </ul>	3m
Große Trompetenblume <i>Campsis tagliabuana</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moderat wachsend bei geschütztem Stand</li> <li>- attraktive Blüten</li> </ul>	4-5m
Waldrebe <i>Clematis paniculata</i> <i>Clematis orientalis</i> <i>Clematis tangutica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- langsam wachsend</li> <li>- empfindlich bei Insekten</li> <li>- professionelle Pflege</li> </ul>	3m
Kletter Hortensie <i>Hydrangea petiolaris</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- langsam wachsend</li> <li>- attraktive Pflanze</li> <li>- professionelle Pflege</li> </ul>	3m
Rostrote Weinrebe <i>Vitis coignetiae</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- langsam wachsend</li> <li>- attraktive Früchte</li> <li>- Führungselemente für den Stamm</li> </ul>	3m
Hedera helix	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ausladend</li> <li>- giftig</li> </ul>	5m
Parthenocissus quinquefolia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Halt durch Haftscheiben</li> <li>- Haupttriebe können 10 cm Durchmesser erreichen</li> <li>- schnell wachsend</li> </ul>	6m
Parthenocissus tricuspidata "Veitchii"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haftplättchen</li> <li>- anspruchslos &amp; pflegeleicht</li> </ul>	4m

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



Abbildung 58: Fassadengebundene Begrünung als Teil der Fassade des „La Caixa Forum“ in Madrid (2016).

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

+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wärmedämmung (Luftpolster)</li> <li>- Kühlung (Verdunstung und Absorption und Reflexion von Strahlung)</li> <li>- Feuchteproduktion (Verdunstung)</li> <li>- Fassadenschutz (Temperatur-, UV-, Starkregenbeanspruchung)</li> <li>- Verringerung Wärmeverlust (Windfang, bei Änderung der Strahlungsverhältnisse)</li> <li>- Filterwirkung (Luftschadstoffe und Stäube)</li> </ul>				
⚠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Denkmalschutz</li> <li>- Eignung der Bausubstanz</li> <li>- Fassadenausrichtung</li> <li>- Pflanzenauswahl</li> <li>- Wasserversorgung</li> <li>- Hohe Pflege- und Instandhaltungskosten</li> </ul>				
📌	<p>Fassadenbegrünungen können in zukünftigen Bebauungsplänen oder bei Änderungen von Bebauungsplänen rechtsverbindlich festgesetzt werden. Wie jede andere Festsetzung darf auch diese nur nach gerechter Abwägung aller berührten Belange getroffen werden.</p> <p><u>Beispiel:</u> „Ein Drittel der Fassadenfläche ist zu begrünen. Technisch begründete Ausnahmen können zugelassen werden.“</p>				
🏠	++ / +++	⌚	+ / ++	➡	++

### 8.2.2. Belüftung und Durchlüftung

M 4	Belüftungssicherung bei Neubaugebieten
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1, 11	
<p>Eine dichte oder zu dichte Bebauung kann zu einer schlechten Durchlüftungssituation und der Speicherung von Wärme in den Baumaterialien führen.</p> <p>Während bei bereits stark verdichteten Stadtteilen eine klimagerechte Nachverdichtung nur in einem vergleichsweise engen Handlungsrahmen möglich ist, bieten sich für Neubauplanungen eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten und Maßnahmeninstrumenten.</p> <p>Zur Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung der Siedlungsstruktur können bauleitplanerische Festsetzungen, wie z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maß der baulichen Nutzung,</li> <li>- Baulinien,</li> <li>- Baugrenzen,</li> <li>- Bauweise,</li> <li>- Mindestmaß der Grundstücke und</li> <li>- kleinräumig wirksame Frischluftschneiden</li> </ul> <p>herangezogen werden. Die Festsetzungen müssen für jedes Siedlungsareal in individueller Abstimmung mit den lokalen klimatischen Bedingungen (z.B. Anströmung etc.) erarbeitet werden.</p>	
<p>Abbildung 59: Beispiel für den Effekt von unterschiedlich hohen städtischen Randbebauungen (VM BW 2012)</p>	<p>Abbildung 60: Schematisierte Strömungsveränderungen durch Gebäudeanordnungen (Dütz und Martin 1982)</p>
<p>Neubaugebiete am Stadtrand dürfen keinen abriegelnden Bebauungsgürtel bilden. Vielmehr soll dort die Bebauung in aufgelockerter Form erfolgen, so dass auch bei schwachen Luftströmungen ein Durchlüften der Stadt von außen nach innen möglich ist.</p> <p>Besonders bei Städten in Kessellagen spielt die Art und der Umfang einer potenziellen Hangbebauung eine große Rolle, sofern sie nicht komplett vermieden werden kann.</p>	

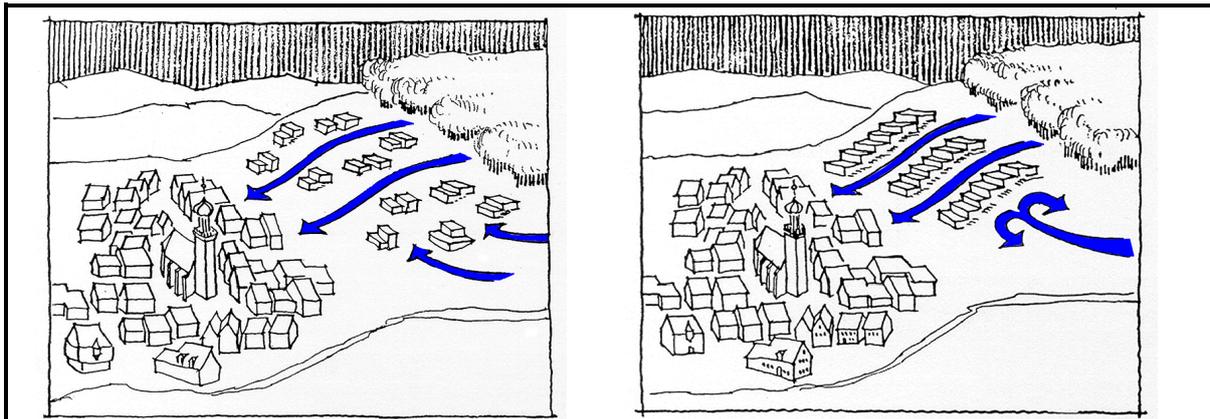


Abbildung 61: Beispiel für eine durchlässige Hangbebauung (VM BW 2012)

Abbildung 62: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012)

+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frischluftversorgung</li> <li>- Belüftung und Durchlüftung (Luftschadstoffe und Stäube)</li> <li>- Reduktion der thermischen Belastung</li> </ul>				
!	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Konflikt Maximalgewinn – reduzierte Gebäudezahl</li> <li>- Konflikt Attraktivitätsverlust durch Festlegungen</li> </ul>				
📌	<p>Nach § 1a (5) BauGB ist bei der Aufstellung der Bauleitpläne den Erfordernissen des Klimaschutzes Rechnung zu tragen. Bauvorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes müssen den getroffenen Festsetzungen nach § 9 BauGB entsprechen. Das Maß der baulichen Nutzung ist durch die Grundflächenzahl und die Höhe der Anlagen gemäß §16 BauNVO festzusetzen.</p> <p><u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden:          ..die Bauweise, die überbaubaren und die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen.. (§9 (1) – 2. BauGB);          ..vom Bauordnungsrecht abweichende Maße der Tiefe der Abstandsflächen. (§9 (1) – 2a. BauGB) oder          ..für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke Mindestmaße.. (§9 (1) – 3. BauGB)“</p>				
🏠	++ / +++	⌚	+	➡	+ / +++ / +++

M 5	<b>Sicherung von Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebieten (in Hanglagen) sowie Luftleitbahnen</b>				
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1 – 3, 5,8 - 10					
<p>Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker) mit geringem Gehölzbestand, auf denen sich insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungsbedingungen die Oberfläche und somit auch die darüberliegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen. Frischluftentstehungsgebiete sind emissionsarme Kaltluftentstehungsgebiete, die oftmals durch einen hohen Grünanteil mit einhergehender lufthygienischer Filterfunktion gekennzeichnet sind (beispielsweise Wälder, dichtere Parkanlagen und Streuobstbereiche).</p> <p>In städtischen Wärmeinseln können bereits ohne Effekte des Klimawandels bis zu 10°C höhere Temperaturen herrschen als im Umland. Zur städtischen Temperierung und zum Schutz vor Hitzestress ist die Flächenfreihaltung im Umland in Zukunft damit noch entscheidender. Ziel dieser Maßnahme ist sowohl die ordnungspolitische Vorrangstellung als auch zusätzliche Erweiterung von Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebieten auf land-, forstwirtschaftlichen, und sonstigen zielführenden Flächen außerhalb von Städten zu erreichen, damit diese kühlenden Funktionen in Zukunft unter erwärmten Bedingungen garantiert werden können.</p> <p>Klimaschutz und Klimaanpassung zählen über die Aufgabe „Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter“ zu den allgemeinen Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege gemäß § 1 Bundesnaturschutzgesetz. Nach § 1 Abs. 3 Nr. 4 sind Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen. Dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen.</p> <p>Anpassungseffekte und Verbesserungen der Lufthygiene können bei der Umsetzung dieser Maßnahme sowohl Städten als auch Flächen und Siedlungen im Umland zugutekommen. Die Bedeutung der städtischen Temperierung, Kühlung, und Durchlüftung dient auch dem Bevölkerungsschutz vor Hitzestress, welcher schon jetzt spürbar zugenommen hat, und in Zukunft noch entscheidender sein wird.</p>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sicherung von klimatischen Ausgleichspotentialen für entfernte Flächen</li> <li>- Frischluftversorgung</li> <li>- Lufthygienische Filterfunktion</li> </ul>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Flächenkonkurrenz durch Nachverdichtung und Stadtentwicklung</li> </ul>				
	<p>Größere Flächen, deren Freihaltung erforderlich ist können als Grünflächen, Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung oder als von Bebauung freizuhaltende Flächen (mit Nutzung – z.B. Kleingärten) in den Bebauungsplan (nach §9(1) BauGB) aufgenommen werden.</p> <p>In der Begründung des FNP (§5(5) BauGB) bzw. der Begründung des B-Plans (§9 (8) BauGB) ist auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung einzugehen.</p> <p><u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden:</p> <p>..die öffentliche und private Grünflächen.. (§9 (1) – 15. BauGB);</p> <p>..die Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung (§9 (1) – 10. BauGB);</p> <p>..die Flächen für die Landwirtschaft (§9 (1) – 18.a) BauGB“</p>				
	++		++		+ / ++ / +++

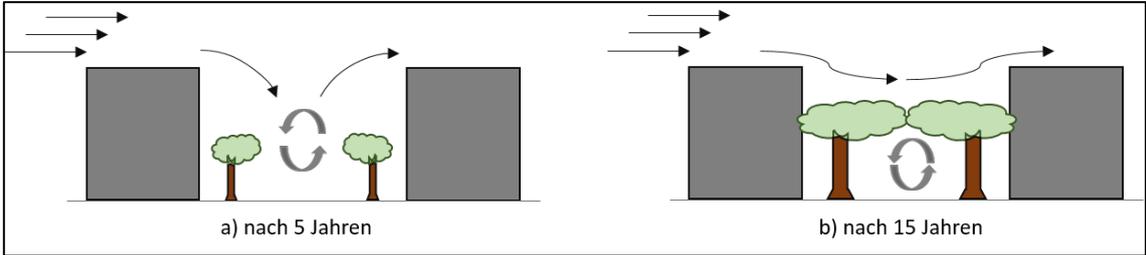
### 8.2.3. Aufenthaltsqualität

M 6	Temporäre Verschattung
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1, 7	
<p>Historisch gewachsene Stadtkerne sind oft durch einen geringen Vegetationsanteil und hohem Versiegelungsgrad geprägt. Fehlender frei nutzbarer Straßenraum führt oft dazu, dass kleinklimatisch aufwertende Maßnahmen, wie z.B. das Einsetzen von Solitärgehölzen nicht möglich sind. Ebenso wird der vertikale Raum auch oft durch das Oberleitungsnetz des ÖPNV beansprucht, wodurch das Einbringen von zusätzlichen Vegetationsstrukturen zusätzlich erschwert wird.</p>	
	
<p>Abbildung 63: Beispiel für temporäre Verschattungsmaßnahmen aus Textilstoffen während der Sommermonate in Málaga (Spanien). Im Winter und Frühjahr werden die Verschattungselemente wieder entfernt, so dass während dieser Zeit die Besonnung des Straßenzugs nicht behindert wird (2016).</p>	
<p>Die Verwendung von temporären Verschattungsmaßnahmen (siehe Abbildung 63) kann hier eine effektive Methode zur Reduzierung der thermischen Belastung in den Sommermonaten darstellen.</p>	
<p>Die Auswirkungen flächiger textiler Verschattungsmaßnahmen auf Dachniveau auf mikroklimatischer Ebene und auf lokale Belüftungsverhältnisse sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgiebig untersucht worden. Dementsprechend muss Material, Form, Höhenniveau an die lokalen Gegebenheiten individuell angepasst werden. Gleichzeitig besteht so die Möglichkeit, den Sonnen- und Schattenverlauf im Maßnahmenraum als stadtplanerisches Gestaltungselement zu nutzen.</p>	
	
<p>Abbildung 64: Temporäre Verschattungsmaßnahmen (Sonnensegel) im Außenbereich (Spanien 2019)</p>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der thermischen Belastung</li> <li>- Reduktion der solaren Einstrahlung</li> </ul>

	- Verbesserung der PET-Werte (Physiological Equivalent Temperature)				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatbesitz</li> <li>- Denkmalschutz</li> <li>- Eignung der Bausubstanz</li> <li>- Tragkraft und Statik</li> <li>- Brandschutz</li> <li>- konkurrierende Nutzung des Raums</li> </ul>				
	Initiative der Stadt unter Berücksichtigung aller betroffenen Belange. Beispiel: Planung und Umsetzung im Zuge einer öffentlichen Veranstaltung (z.B. Stadtfest)				
	+		+		+ / ++ / +++

<b>M 7</b>		<b>Trinkbrunnen</b>				
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1, 7						
<p>Häufiger werdende Hitzeereignisse steigern die Belastung für die Bevölkerung. In urbanen Räumen wird dies noch durch den urbanen Hitzeinseleffekt verstärkt. Die Schaffung neuer Trinkbrunnen als eine leicht zugängliche Trinkwasserversorgung bei Hitze kann hier Erleichterung schaffen.</p> <p>Die Bereitstellung von Trinkwasser im öffentlichen Raum kann unter den Vorgaben des prognostizierten Klimawandels als Aufgabe der Gesundheitsvorsorge verstanden werden. Hier von würden ebenfalls besonders die empfindlichen Bevölkerungsgruppen (Kinder, alte Menschen) profitieren.</p> <p>Die Installation von Trinkbrunnen im Stadtgebiet wertet den öffentlich Raum, insbesondere in den Sommermonaten, auf. Trinkwasserbrunnen sind nicht nur eine Serviceleistung an Einwohner und Touristen, sie dienen auch der Gesundheitsförderung und können zudem ein Gestaltungselement im öffentlichen Raum darstellen sowie als Vernetzungselement z.B. entlang einer ausgewiesenen Stadtpaziergangsroute für Touristen oder entlang von Radwegen.</p>						
						
		Abbildung 65: Unterschiedliche öffentliche Trinkwasserbrunnen (rechts barrierefrei) in Spanien (2019)				
+		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum</li> <li>- Gesundheitsvorsorge (Hitzestress) für gefährdete Bevölkerungsgruppen</li> <li>- Serviceleistung an Bevölkerung und Tourismus</li> </ul>				
⚠		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einhaltung Trinkwasserqualität (Hygiene, Beprobung, Desinfektion)</li> <li>- Sommer- und Winterbetrieb (Frostschutz, Außerbetriebnahme bzw. Abbau über Winter)</li> <li>- Hoher Wartungs- und Instandhaltungsaufwand</li> </ul>				
📌		Einbindung in den Grünordnungsplan. Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan				
🪙		++/+++	⌚	+	➡	+ / +++ / +++

### 8.2.4. Grünvernetzung und Entsiegelung

M 8	Straßenbegleitgrün
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1, 2, 8	
<p>Der Einsatz von straßenbegleitendem Grün, speziell Straßenbäumen, ist eine Möglichkeit, der potentiellen Überhitzung von nichtbegrüntem Straßenzügen entgegenzuwirken und eine Verbesserung des thermischen Komforts für den Menschen im Außenbereich zu erzielen.</p> <p>Die thermische Entlastungsfunktion von Straßenbegleitgrün wurde im Rahmen einer Studie für die Stadt Nürnberg belegt (Schätz 2012).</p> <p>Im Straßenraum und auf Parkplätzen erzielen großkronige hochstämmige Bäume über ihre Schattenwirkung die besten Kühleffekte. Die erzielbaren thermischen Entlastungseffekte sind über die Verdunstungskälte zudem von der Baumgröße, der Baumart und der Bladdichte, aber auch von der Windrichtung abhängig. Bei der Wahl des Standorts ist insbesondere die Ausrichtung der Straße im Hinblick auf Sonnenstand und Schattenverlauf relevant.</p> <p>Obwohl Straßenbäume in ihrer Anwendung und ihrem Nutzen sehr facettenreich sind, muss darauf geachtet werden, negative Effekte zu vermeiden. Durch die Wahl des falschen Standortes in Kombination mit der falschen Baumart, kann es beispielsweise nach mehreren Jahren Wachstum zu einer Verschlechterung der Luftqualität im Straßenraum kommen (siehe Abbildung 66). Das über Jahre gewachsene Kronendach führt zu einer vertikalen Trennung der Luftschichten, wodurch der vertikale Luftaustausch verhindert wird. Trotz der weiterhin bestehenden Filterwirkung der Vegetation kann es so zu einer Schadstoffakkumulation im bodennahen Bereich kommen.</p>  <p>Abbildung 66: Schematische Darstellung einer möglichen Verschlechterung der Belüftung durch Straßenbegleitgrün. Bei der linken Darstellung liegt kein Kronenschluss der Straßenbäume vor, wodurch die Durchmischung der vertikalen Luftschichten nicht behindert wird. Der Kronenschluss der Bäume (rechts) separiert die unterschiedlichen vertikalen Luftschichten und verhindert so deren Durchmischung.</p> <p>Zur standortgerechten und klimaangepassten Auswahl der Straßenbäume empfiehlt sich die Einbeziehung der GALK-Straßenbaumliste. Die Liste enthält Informationen zur Wuchshöhe, Kronenbreite, Lichtdurchlässigkeit, Lichtbedarf, Verwendbarkeit als Straßenbaum sowie ergänzende Bemerkungen zu einer Vielzahl von Baumarten. Hinzu kommen Ergebnisse und Empfehlungen aus zwei Straßenbaumtests die ab Mitte der 90er Jahre seitens der GALK e.V. im Hinblick auf die Eignung ausgewählter Baumarten als Straßenbäume unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen durchgeführt wurden.</p> <p>Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von Straßenbäumen werden beispielsweise in den FLL-Regelwerken Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 1 (2015), Teil 2 (2010) und dem Leitfaden für funktionsgerechte Gehölzpflanzung (1999) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.</p>	

+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kühlung (Verdunstung und Absorption und Reflexion von Strahlung)</li> <li>- Feuchteproduktion (Verdunstung)</li> <li>- Filterwirkung (Luftschadstoffe und Stäube)</li> </ul>				
⚠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konkurrenz zum Straßenraum</li> <li>- Konkurrenz zu Parkplätzen</li> <li>- Konkurrenz zu Versorgungsleitungen</li> <li>- Pflege- und Sicherungsaufwand (Wasserversorgung besonders bei Neupflanzungen)</li> <li>- Behinderung der Belüftung</li> </ul>				
📌	<p>Einbindung in den Grünordnungsplan. Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan (z.B. Emissionsschutzbelange oder Festsetzung von Anpflanzungen und Pflanzbindung §9(1) 25. BauGB)</p>				
🪙	++ / +++	⌚	++/+++	➡	+

M 9		Sicherung und Schaffung von Grünflächen				
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1 – 4, 6 -8						
<p>Urbane Vegetation spielt vor allem durch Verdunstung und Verhinderung von Bodenversiegelung eine wichtige Rolle. Sie bestimmt aber auch die urbane Struktur auf Basis derer sozialen und ästhetischen Funktion und definiert dadurch die Identität der Stadt und die Lebensqualität der Bewohner. Dabei gibt es punktuelle Grünstrukturen wie Parks und Friedhöfe und lineare Elemente wie begrünte Straßen oder Flussläufe. Urbanes Grün erfüllt verschiedene Funktionen, die das städtische Klima und die Lufthygiene positiv zu beeinflussen.</p> <p>Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verursachen und andererseits bei hohem Baumanteil tagsüber thermisch ausgleichend wirken. Innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv; zudem fördern Vegetationsflächen am Siedlungsrand den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen ein hohes klimatisch-lufthygienisches Regenerationspotential dar. Insbesondere bei vorhandenem räumlichem Bezug zum Siedlungsraum sind sie für den Luftaustausch sehr wichtig.</p> <p>Multifunktionale Grünflächen stellen eine Hybrid-Maßnahme dar. Die Hauptnutzung besteht als Grünfläche, während sie im Fall eines Starkregenereignisses kontrolliert geflutet werden können und das Niederschlagswasser temporär zurückgehalten wird.</p>						
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokal-klimatische Ausgleichsfunktion</li> <li>- Zusätzliche Retentionsflächen</li> <li>- Lufthygienische Filterfunktion</li> </ul>					
⚠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flächenkonkurrenz</li> <li>- Instandhaltungskosten</li> </ul>					
📌	<p>Landschaftspläne (LP) und Grünordnungspläne (GOP) umfassen eine Bestandsaufnahme der natürlichen Gegebenheiten sowie der Nutzungsansprüche an das Gebiet. Sie dienen zur Verwirklichung der Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege im Rahmen der Bauleitplanung (Lapro auf Ebene des LEP; LRP auf Ebene des RP).</p> <p>Darstellungen im LP oder im GOP können in Bebauungspläne aufgenommen und durch entsprechende Festsetzungen rechtsverbindlich werden.</p> <p><u>Beispiel:</u> „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden: ...die öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, ..., Spielplätze (§9 (1) – 15. BauGB)“</p>					
🗄	++/+++	⌚	++/+++	➡	+/++	



Abbildung 67: "Bewässerungssäcke", die die kontinuierliche Bewässerung von Neuanpflanzungen während längerer Trockenphasen sichern (Kassel 2019)

M 10	Entsiegelung und Schaffung von Retentionsflächen				
Besondere Relevanz für die Detailbetrachtungen (Bereichs-Nummern): 1, 8					
<p>Die Entsiegelung in Kombination mit der Ausweitung grüner Strukturen und grüner Flächen können das Stadtklima positiv beeinflussen. Der Erhalt von Freiflächen sowie die Entsiegelung befestigter Flächen sind sinnvolle Maßnahmen, um Niederschlagswasser direkt vor Ort versickern zu lassen. Zum einen wird durch den dezentralen Rückhalt des Wassers im Boden das Kanalnetz bei Starkregenereignissen entlastet und somit die Überlastungsgefahr für technische Anlagen (beispielsweise Kläranlagen) verringert und zum anderen wird die natürliche Funktion des Bodens unterstützt und Wasser dort gespeichert, so dass es auch in Trockenperioden noch einige Zeit für die Pflanzen zur Verfügung steht. Ein kommunales Entsiegelungskonzept stellt eine geeignete Planungsgrundlage für die Durchführung solcher Maßnahmen dar (Kemper, Riechel, Schuller 2011).</p> <p>Die Entsiegelung und Begrünung z.B. von Innenhöfen tragen zur Verbesserung des Mikroklimas und der Aufenthaltsqualität im unmittelbaren Umfeld bei. Im mesoklimatischen Bereich können kleinflächige Entsiegelungsmaßnahmen durch einen kumulativen Effekt positive Auswirkungen hinsichtlich Wasserrückhaltung und Lufthygiene haben.</p> <p>Das Leitbild der kompakten (europäischen) Stadt und die gerade in den bereits stark verdichteten Quartieren notwendige Beschränkung weiterer Bodenversiegelung bzw. die gebotene Entsiegelung führen in Einzelfällen zu Zielkonflikten, welche nur im konkreten Fall vor Ort gelöst werden können. Hier bedarf es lokaler detaillierter Entscheidungshilfen, um bestehende Brachflächen entweder primär einer Nachverdichtung oder einer Steigerung des Vegetationsgrades zuzuführen. (BMVBS 2011)</p> <p>Nach § 179 BauGB kann eine Gemeinde den Eigentümer verpflichten, dauerhaft nicht mehr genutzte Flächen zu entsiegeln, wenn dies der Umsetzung des Bebauungsplans dient. Eine entsprechende Regelung bedarf jedoch der Einzelfallbetrachtung. Sie ist zudem in aller Regel mit Entschädigungsansprüchen verbunden. Bei zahlreichen privilegierten Vorhaben im Außenbereich greift die Rückbauverpflichtung nach § 35 Abs. 5 BauGB. Eine Förderung von Rückbau und Entsiegelungsmaßnahmen ist im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen nach § 171a-d BauGB möglich. (Kemper, Riechel, Schuller 2011)</p> <p>Anforderungen an die Planung, Ausführung und Pflege von entsiegelten Flächen werden beispielsweise in der FLL-Empfehlung zur Versickerung und Wasserrückhaltung (2005) und der Richtlinie Begrünbare Flächenbefestigungen (2018) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) beschrieben.</p>					
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zusätzliche Retentionsflächen</li> <li>- Reduzierung der Wärmebelastung</li> <li>- Verbesserung der Lufthygiene</li> </ul>				
⚠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatflächen</li> <li>- Nutzungskonkurrenz</li> <li>- Bei Überstauung der Flächen keine oder eingeschränkte Nutzung möglich</li> </ul>				
📌	<p>Einbindung in den Grünordnungsplan.          Weiterführende Übertragung in den Bebauungsplan          Regelungen zum Versiegelungsgrad in Stellplatzsatzung durch Festsetzungen im Bebauungsplan (auch bei Großanlagen, Einkaufszentren usw.) sowie durch Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 179 BauGB)          Städtebauliche Pflanz-, Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 178 BauGB)</p>				
🪙	++ / +++	⌚	+ / ++	➡	+ / ++

### 8.3. Detailbetrachtungen

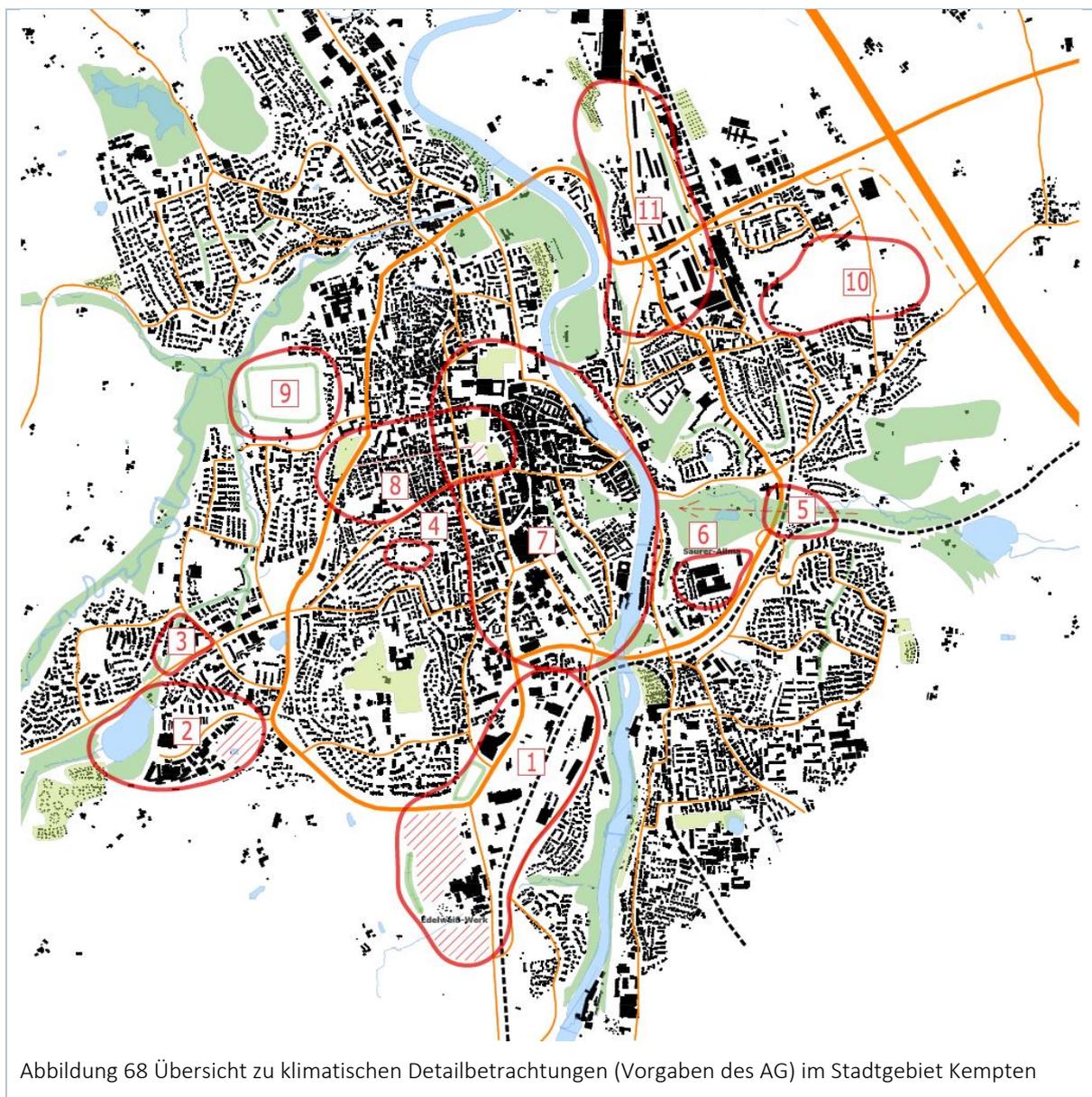


Abbildung 68 Übersicht zu klimatischen Detailbetrachtungen (Vorgaben des AG) im Stadtgebiet Kempten

Tabelle 18 Tabellarische Übersicht der Areale für die klimatischen Detailbetrachtungen

Bereich	Bezeichnung
1	Südlicher Stadteingang – Bahnhofsareal
2	Stadtweiher – Steufzgen
3	Rofu – Göhlenbach
4	Öffentliche Grünfläche an der Schillerstrasse
5	Bachtelbachtal
6	Saurer-Allma-Gelände
7	Innenstadt
8	Bodmanstraße – Stadtpark
9	Reichelsberg
10	Versuchsflächen MUVA
11	ARI-Kaserne und Berliner Platz

Tabelle 19 Übersicht und Erläuterung der bei den Steckbriefen der Detailbetrachtungen verwendeten Piktogramme

Piktogramm	Bedeutung
	Be- und Durchlüftung sicherstellen
	Grünstrukturen schaffen
	Grünstrukturen vernetzen
	Hitzegefährdeter Bereich
	Verschattung schaffen
	Kaltluftentstehungsgebiet sichern
	Gebäudegeschosszahlen definieren

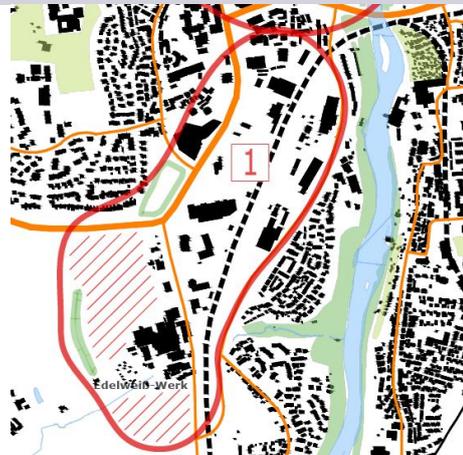
## Bereich 1

### Südlicher Stadteingang - Bahnofsareal

#### Vorlage Stadt Kempten

„Für den Bereich um das Käsewerk Edelweiß ist als eine von mehreren Varianten eine bauliche Entwicklung angedacht (s. schraffierter Bereich). Eine weitere städtebauliche Zielsetzung könnte eine bauliche Nachverdichtung im Bereich zwischen Edelweiß und des Bahnhofs sein – mit überwiegend gewerblicher Nutzung. Zudem soll der Bahnhofvorplatz neugestaltet werden (mehr Grün?). Welche Folgen hätte dies klimatisch auf die nähere Umgebung? Worauf ist zu achten?“

#### Gebietsausschnitt



#### Klimatische Beurteilung BPI

Die Vorhabensfläche befindet sich am südlichen Siedlungsrandbereich und ist im besonderen Maße für die Durchlüftung und die nächtliche Kaltluftversorgung von Bedeutung. Die aktuell vorhandene Offenheit aufgrund einer geringen Bebauung und die Bahntrasse wirken sich positiv auf die stadtklimatische Situation aus. Eine Nachverdichtung in diesem Bereich sollte äußerst sensibel vorgenommen werden. Sollten in diesen Bereichen starke Barrierewirkungen entstehen, hat dies negative Auswirkungen auf den in nördlicher Richtung anschließenden Siedlungsraum und kann die Belüftung des städtischen Raums empfindlich stören.

Insbesondere der auf der Vorhabensfläche schraffierte Bereich stellt einen wichtigen Übergangsbereich zwischen dem urbanen und dem ruralen Raum dar, den es zu schützen gilt. Als Alternative zur Erweiterung des Käsewerks, ist eine Erweiterung entlang des „Adelharzer Weg“ oder südlich des „Parkplatz Edelweiß“ auf der Offenlandfläche entlang der „Oberstdorfer Straße“ vorzuschlagen. Der Bahnhofvorplatz ist eine im hohen Maße versiegelte Parkplatzfläche ohne nennenswerte Verschattungselemente, wodurch sich die Fläche bei direkter Sonneneinstrahlung stark erwärmen kann. Eine Neugestaltung des Platzes kann lokalklimatisch positive Effekte erzielen, dabei ist jedoch die Nutzungsstruktur (Parkplatz, Transitraum oder Aufenthaltsraum) sowie auch die Nutzungsauslastung bei einem Begrünungskonzept zu berücksichtigen. Zur Reduzierung der Überwärmung der PKW-Stellflächen ist eine Beschattung durch Bäume möglich, wobei ein möglichst großflächiger

#### Auszug klimatische Themenkarten



Schattenwurf erzielt werden sollte, damit sich die Maßnahme positiv auf den lokalklimatischen Raum auswirken kann.

Klimatische Beurteilung BPI (kurz)	Referenz Maßnahmensteckbriefe
 Käsewerk	 Bahnhofsvorplatz M 4 bis M 10

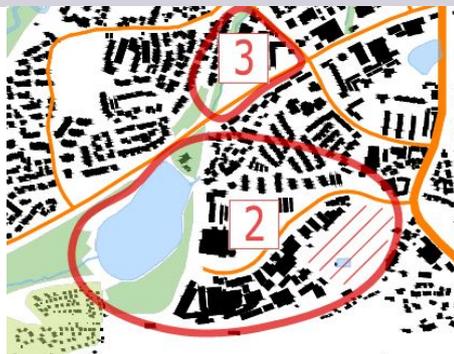
Bereich 2

Stadtweiher – Steufzgen

Vorlage Stadt Kempten

„Ein stadtentwicklungspolitischer Ansatz wäre hier langfristig betrachtet eine Auslagerung der bislang dort vertorten gewerblichen Nutzung (Eisengießerei, großflächiger Einzelhandel etc.) hin zu einer Mischnutzung mit überwiegendem Wohnen (Erweiterung s. Schraffur). Was für (positive?) Auswirkungen hätte dies für die Nachbarschaft in klimatischer Hinsicht? Wo müssten ggf. Achsen für Kaltluftströme freigehalten werden?“

Gebietsausschnitt



Klimatische Beurteilung BPI

Die Vorhabensfläche entlang der „Im Allmey“ ist aktuell durch einen sehr hohen Versiegelungsgrad geprägt. Unter anderem hierdurch wird in der Klimafunktionskarte hier auch des Klimatop der „Moderaten Überwärmung“ gebildet. Eine städtebauliche Umplanung ist in diesem Kontext als eine klimatische Potentialentwicklung zu verstehen. Entsprechend kann auch die schraffierte Fläche für die Stadtentwicklung genutzt werden. Es ist jedoch wichtig das auf diesen Flächen eine Ausrichtung der Baustruktur in nordöstlicher bzw. in südwestlicher Richtung stattfindet, und diese mit einem Grünvernetzungs-konzept ergänzt wird. Sollte die Möglichkeit bestehen, wird empfohlen den, vornehmlich gewerblich genutzten, Bereich zwischen „Im Allmey“ und dem „Aybühlweg“ in die Gesamtkonzeption einer städtebaulichen Entwicklung zu integrieren, um hier eine Verbindung zu dem in nördlicher Richtung offeneren Bebauungsbereich zu schaffen, was sich positiv auf die Grünvernetzung sowie die Durchlüftung des Siedlungsraums auswirken kann.

Auszug klimatische Themenkarten



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)



Referenz Maßnahmensteckbriefe

M 5, M 8, M 9

Bereich 3

Rofu – Göhlenbach

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

„Ein privater Investor möchte das derzeit gewerblich genutzte und auch teilweise unbebaute Gelände für Wohnnutzung weiterentwickeln. Es liegt direkt am dort vorbeifließenden Göhlenbach, der vom südwestlich gelegenen Stadtweiher kommt. Hier wäre es interessant zu wissen, ob und in welchem Ausmaß ein Kaltluftkorridor vorliegt und wie breit dieser Korridor sein muss, um negative Auswirkungen für die Nachbarschaft zu vermeiden?“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Die Vorhabensfläche ist in ihrer klimatischen Bedeutung als sensibel einzustufen. Das bedeutet, dass die Offenlandfläche eine ausreichende Größe hat, um nachts wirksam Kaltluft zu produzieren. Gleichzeitig stellt die Offenlandfläche den Bestandteil einer Achse aus südwestlicher in nordöstlicher Richtung dar. Eine Bebauung dieser Fläche kann sich negativ auf diese Durchlüftungsbahn auswirken. Gleichzeitig muss jedoch bedacht werden, dass der potentiell betroffene Siedlungsraum klimatisch unproblematisch ist und zudem (noch) nahe des Außenraums liegt. Vor diesem Hintergrund ist eine städtebauliche Entwicklung dieser Fläche möglich, sofern der Investor ein Grünflächenkonzept vorhält, das im Kern die Offenheit und den hohen Vegetationsanteil der Vorhabensfläche unterstützt. Denkbar wäre z.B. die Ausweitung des Grünzugs nach Osten (auf einen Teilbereich der landwirtschaftlichen Fläche, und insofern möglichst auch auf den nördlichen Bereich der Vorhabensfläche) sowie die Sicherung der an die Vorhabensfläche in südwestlicher Richtung anschließenden Grünfläche entlang der Lindauer Straße. Im Gegenzug könnten die aktuellen Gewerbeflächen sowie der verbleibende Teil der landwirtschaftlichen Fläche städtebaulich entwickelt werden.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 5, M 9

Bereich 4

Öffentliche Grünfläche an der Schillerstraße

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

„Welche Bedeutung hat diese Grünfläche für das Mikroklima in der Umgebung? In welchem Ausmaß dürfte das Areal zumindest teilweise bebaut werden, ohne dass signifikante Nachteile für die Nachbarschaft entstehen?“



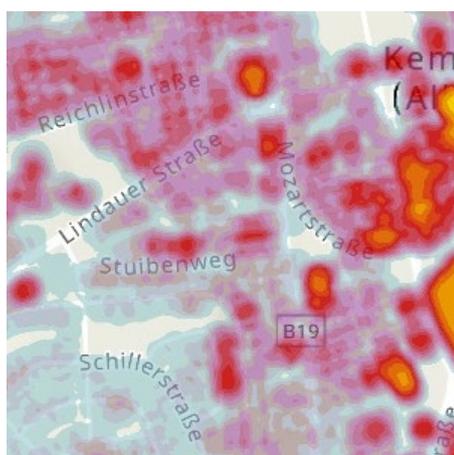
Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Die Vorhabensfläche liegt in einem Siedlungsbereich mit einem hohen Durchgrünungsanteil, welcher maßgeblich durch private Grünstrukturen entstanden ist. Entsprechend ist die mikro- bzw. lokalklimatische Bedeutung dieser Fläche erhöht. Durch die Freiflächen in Kombination mit den westlich angrenzenden Grünstrukturen entsteht ein „Misch- und Übergangsklimatop“. Aus klimatischer Sicht ist eine städtebauliche Entwicklung dieser Fläche unter Berücksichtigung der Aspekte Durchgrünung, Geschosszahlen und Versiegelung möglich.



Die Bebauung sollte sich an der direkten Nachbarschaft in Höhe und Volumen orientieren. Auch sollten oberirdische versiegelte Parkplatzflächen oder Garagen vermieden werden, z.B. durch Tiefgaragen, um hierdurch mehr Freiraum für eine intensive Durchgrünung sicherzustellen. Sollten Flachdachplanungen angedacht sein, so sind diese mit einem klimaangepassten Gründach auszustatten, was bedeutet: Substratdicke von mind. 20cm und hochwachsende Gräser, Stauden, etc. um eine hohe Eigenverschattung auf der Dachfläche zu generieren, um so das Substrat zusätzlich vor dem Austrocknen zu schützen.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 2, M 3, M 9

Bereich 5

Bachtelbachtal

Vorlage Stadt Kempten

„Hier versperrt ein großer aufgeschütteter Damm (für den Ring und die Bahnlinie) das Bachtelbachtal. Was würde passieren (insbesondere für die Innenstadt), wenn man diesen Damm zurückbauen und durch Brückenbauwerke ersetzen würde?“

Gebietsausschnitt

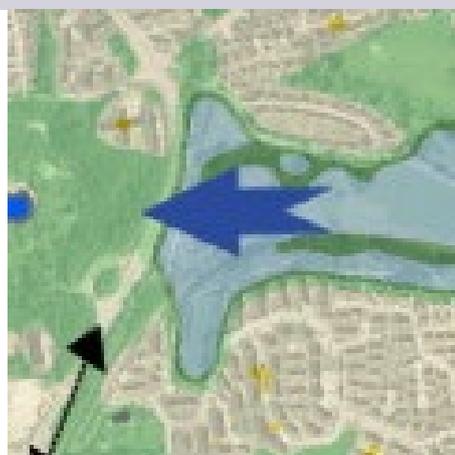


Klimatische Beurteilung BPI

Die Barrierewirkung der Dammsituation ist in den Berechnungen zur nächtlichen Kaltluft und der Durchlüftung deutlich erkennbar. Insbesondere in den ersten Nachstunden ist die Barrierewirkung für den Kaltlufttransport am stärksten. Mit voranschreiten der Nacht staut sich in diesem Bereich viel Kaltluft auf der östlichen Dammsseite auf, bis dieser schlussendlich überströmt wird.

Eine Verminderung bzw. Aufhebung dieser Barrierewirkung würde sich für die nächtliche Kaltluftversorgung der Stadt sowie der städtischen Durchlüftung positiv auswirken und hätte einen entsprechenden klimatisch positiven Effekt.

Auszug klimatische Themenkarten



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)



Referenz Maßnahmensteckbriefe

M 5

Bereich 6

Saurer-Allma-Gelände

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

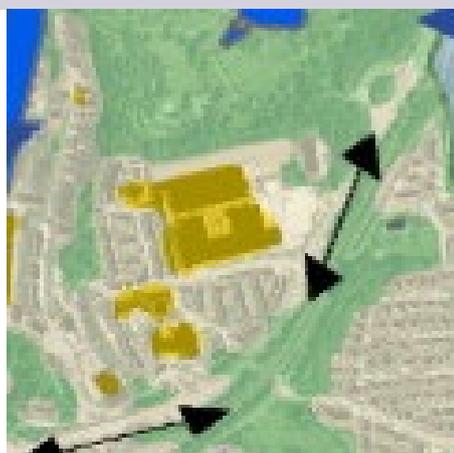
„Diese zuletzt gewerblich genutzte Konversionsfläche soll künftig verdichtetem Wohnungsbau dienen. Mit Ausnahme eines Wiesenstreifens an der Nordseite ist das Areal vollständig versiegelt. Interessant wäre es hier in Erfahrung zu bringen, ob sich durch die Nutzungsänderung positive Effekte für die Umgebung und für das Gebiet selbst einstellen könnte (angenommene GRZ 0,4, GFZ 1,2-1,7 – je nach Geschossigkeit).“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Bei der Vorhabensfläche „Saurer-Allma-Gelände“ handelt es um eine klimatische Potentialfläche, bei der ein Stadtentwicklungsprozess klimatisch positive Effekte haben kann. Entsprechend der Lage kann die Vorhabensfläche städtebaulich gut entwickelt werden. Eine Freihaltung von mehr als 50 % der Grundflächen ist positiv zu bewerten. Der so verbleibende Freiraum einer „lockeren“ Bebauung sollte größtenteils als Vegetationsfläche verbleiben. Versiegelte PKW-Stellflächen sollten vermieden werden. Bei Tiefgaragen, die sich nicht direkt unter den geplanten Bauwerken befinden, ist darauf zu achten, dass die Statik dieser einer ausreichend mächtigen Substratdicke standhalten, so dass auch adulten Bäumen ausreichend Wurzelraum zur Verfügung steht. Unter diesen Voraussetzungen sind auch mehrgeschossige Gebäudeensembles klimaangepasst realisierbar.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 9

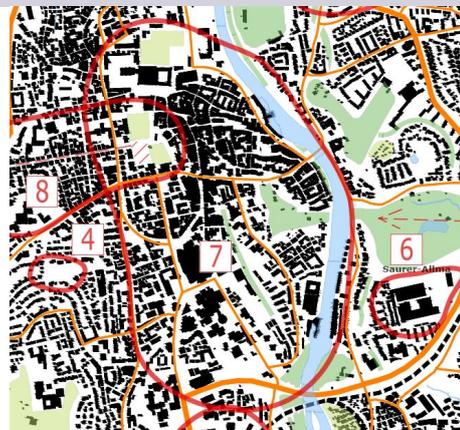
## Bereich 7

## Innenstadt

## Vorlage Stadt Kempten

## Gebietsausschnitt

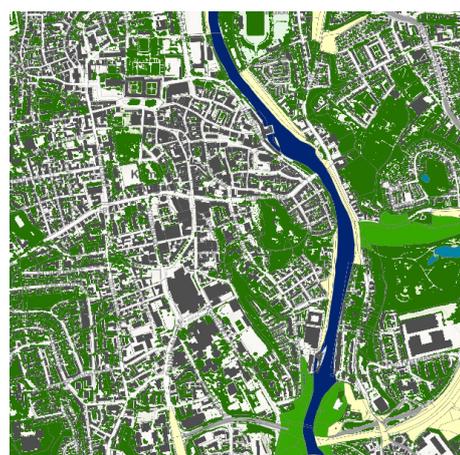
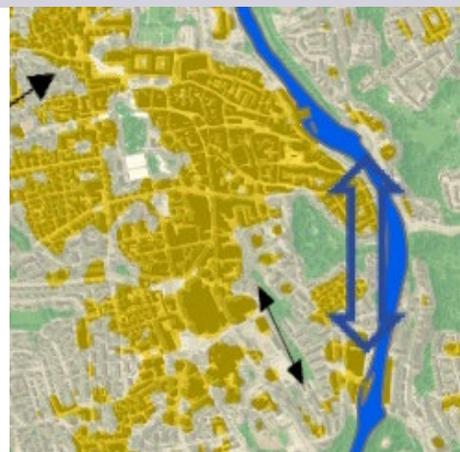
„Hier sehen wir den Bereich, wo wohl am meisten Handlungsbedarf hinsichtlich Stadtklima besteht. Welche Maßnahmen sind für eine Verbesserung nötig?“



## Klimatische Beurteilung BPI

## Auszug klimatische Themenkarten

Das Gebiet der Innenstadt zeigt sich in der Klimafunktionskarte als der Bereich mit dem stärksten Überwärmungsrisiko. Auf Grundlage der unterschiedlichen klimatischen Themenkarten lassen sich zum einen der defizitäre Vegetationsanteil sowie die, im Verhältnis zum umliegenden Siedlungsraum, hohe Gebäudevolumendichte als direkte klimatische Schwachstellen identifizieren. Erschwerend kommt hinzu, dass die Offenheit (vgl. SkyView Faktor Abbildung 32) zwischen den Gebäudekomplexen sehr niedrig ist, und so die sommerliche Wärme verstärkt in den Gebäudewischenräumen verbleibt. Im Bereich der Altstadt lässt sich strukturell schlechter mit der Einbringung zusätzlicher Vegetation arbeiten. Um dennoch die thermische Belastung zu reduzieren, bieten sich in diesem Raum temporäre Textil- /Kunstfaser Verschattungssysteme an, die auf Dachniveau zwischen den Gebäuden verspannt werden können. Durch die Semitransparenz und die textile Durchlässigkeit können so halbverschattete Straßenzüge geschaffen werden, die eine Aufheizung des bodennahen Straßenraums verringern. Auch „aktives“ Wasser kann auf Plätzen der Altstadt zum thermischen Wohlbefinden beitragen. Hierbei steht jedoch die Interaktion / das Spiel mit dem Wasser im Fokus, da nur durch den direkten Kontakt des Wassers mit der Haut eine kühlende Wirkung erzielt werden kann. Stehende, flache Wasserflächen sind klimatisch kontraproduktiv und sind zu vermeiden. Der Bereich südlich der Altstadt verfügt über einige breitere Straßenzüge (z.B. Bahnhofstr., Königsstr., Kottener Str.) die durch ihre Ausrichtung die Durchlüftung des Siedlungsraums begünstigen, dennoch ist die hohe Versiegelung und das hohe Gebäudevolumen prägend. Die vereinzelt im Bestand vorhandene Gründächer sind meist sehr extensiv geprägt. Auf



Grundlage der Nahinfrarotanalyse lässt sich erkennen, dass die Vitalität der Dachvegetation sehr schlecht ist, und so kein positiver klimatischer Effekt erzeugt wird. Hier wäre eine mögliche Strategie die bestehenden Gründächer aufzuwerten und klimaangepasst zu sanieren. Ergänzend sollten weitere Gründächer geschaffen und die Versiegelung der nicht Verkehrsflächen reduziert werden.

#### Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

#### Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 2, M 6, M 7, (M9)

**Bereich 8**

**Bodmanstraße – Stadtpark**

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

„Hier soll ein Bereich der Innenstadt näher untersucht werden. Am westlichen Ende die Grünfläche des Calgeerparks, dann die gerade Trasse der in Ost-West-Richtung verlaufenden Bodmanstraße, die in den Bereich des Stadtparks endet. Welche positiven Auswirkungen hat dabei eine Gestaltung der bislang nicht begrünter Bodmanstraße mit Bäumen? Das gleiche gilt auch für die Stellplatzfläche auf dem Königsplatz (schraffierter Bereich).“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Die im Vorhabensraum gelegene „Bodmanstraße“ gehört entsprechend der Klimafunktionskarte zum moderaten Überwärmungsklimatop. Eine Aufwertung des Straßenzuges kann die thermische Belastung reduzieren. Bedingt durch die leicht südwestlich / nordöstliche Ausrichtung der Straße sollte auch bei Baumbestand mit möglichem Kronenschluß der Straßenraum ausreichend belüftet sein, um eine Schadstoffakkumulation im bodennahem Straßenraum zu vermeiden. Durch eine Grünvernetzung entlang der „Bodmanstraße“ kann zudem die Biodiversität bzw. die Lebensraumvernetzung gefördert werden.



Da es sich bei den PKW-Stellflächen auf dem Königsplatz „nur“ um eine versiegelte Fläche ohne Bauvolumen handelt, kann sich die Fläche am Tag zwar stark aufheizen, im Gegensatz zu den umliegenden Gebäuden, ist jedoch nur wenig Masse vorhanden, um die nächtliche Auskühlung zu verzögern. Eine Aufwertung des Königsplatzes mit „dichtem“ Baumbestand ist dennoch zu empfehlen, so dass in Zusammenhang mit dem Stadtpark eine ca. 3 ha große innerstädtische klimatische Ausgleichsfläche entstehen würde, die durch den begrünter Straßenzug der „Bodmanstraße“ mit dem äußeren Siedlungsraum verknüpft wird.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 5, M 8 – M 10

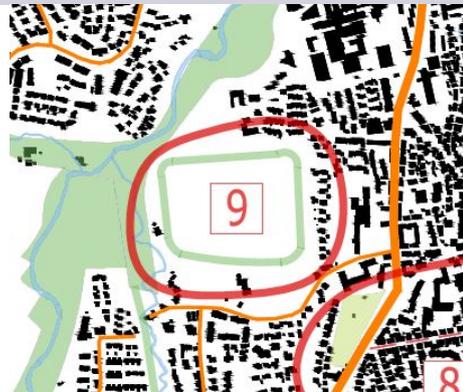
Bereich 9

Reichelsberg

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

„Bislang weist der FNP dort überwiegend eine Grünfläche aus – und soll grundsätzlich auch so bleiben. Dennoch wäre es für uns interessant, welche Auswirkungen für das lokale Stadtklima bei einer Überbauung der Fläche bedeuten würde (bei einer angenommenen Bebauung mit zwei- bis dreigeschossigen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern. GRZ 0,3, GFZ bis zu 1,2).“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Eine Überbauung der Vorhabensfläche wird aus klimatischer Sicht nicht empfohlen, da sich hier ein größerer Mündungsbereich des westlichen und südwestlichen Kaltluftabfluss befindet, der das Illertal und damit auch das Stadtgebiet mit nächtlicher Kaltluft versorgt. Zudem wirkt die Offenlandfläche unterstützen auf die Durchlüftungsbahn entlang des Grünzugs des „Rottach“, den es ebenfalls zu erhalten gilt.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 5

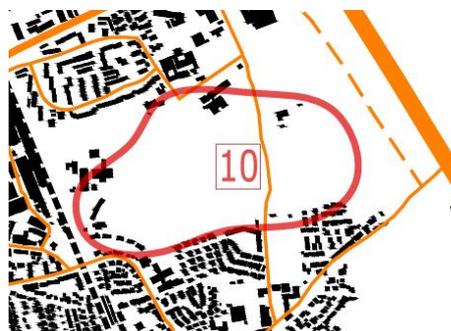
**Bereich 10**

**Versuchsflächen MUVA**

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

„Das betroffene Areal wird derzeit als landwirtschaftliche Versuchsfläche durch den Milchwirtschaftlichen Verein genutzt und soll es auch künftig bleiben. Daher ist diese Betrachtung eher als visionäre, langfristig angelegte Aufgabe zu sehen. Dennoch soll simuliert werden, was für Auswirkungen eine Überbauung der Flächen mit einem Wohngebiet im westlichen Teil und einem Gewerbegebiet im östlichen Abschnitt (Richtung Autobahn) zu erwarten sind. Angenommene Baudichten gemäß Obergrenze der Baunutzungsverordnung (§ 17 BauNVO).“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Die Vorhabenfläche besitzt aufgrund ihrer Größe von >20 ha sowie dem direkten Anschluss zum Außenraum eine nicht unerhebliche Bedeutung für die nächtliche Kaltluftentstehung und des Transportes in den westlich angrenzenden stark versiegelten und teils moderat überwärmten Siedlungsraum. Von einer städtebaulichen Entwicklung dieser Fläche sollte Abstand genommen werden, da diese Zugangsfläche für die Kaltluftversorgung des Siedlungsraums östlich der Iller sowie des eigentlichen Illertals, und damit auch für den Kernbereich der Stadt Kempten von Bedeutung ist.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 10

**Bereich 11**

**ARI-Kaserne und Berliner Platz**

Vorlage Stadt Kempten

Gebietsausschnitt

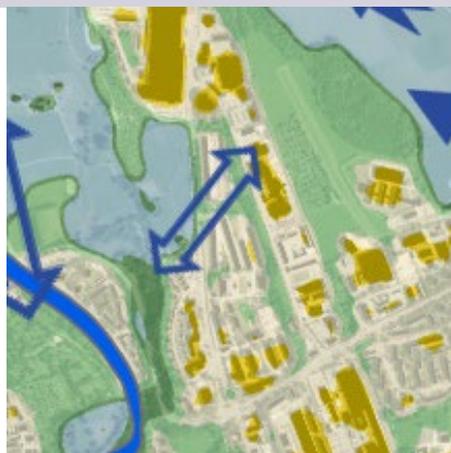
„Das zuletzt militärisch genutzte Gelände der ARI-Kaserne wird einer neuen Nutzung zugeführt (Gewerbe, öffentliche Einrichtungen), dazu soll die Umgebung des Berliner Platzes städtebaulich neu geordnet werden. Der bestehende große Knotenpunkt soll umgebaut und flächenmäßig verkleinert werden, ohne an Leistungsfähigkeit einzubüßen. Auf den neu gewonnenen Flächen könnte man sich eine mehrgeschossige Bebauung vorstellen, die sich in Richtung Westen den Hang hinunter entwickeln könnte. Angenommene Baudichte orientiert an die BauNVO (für Gewerbegebiet GRZ 0,8, GFZ 2,4, MI GRZ 0,6, GFZ 1,2).“



Klimatische Beurteilung BPI

Auszug klimatische Themenkarten

Da sich die Vorhabensfläche „ARI-Kaserne und Berliner Platz“ im nordöstlichen Bereich des Stadtgebietes befindet, und damit (vom Wirkraum her betrachtet), hinter der Kernstadt liegt, die im Kontext der Durchlüftung primär durch die südwestlichen, südlichen Richtungen beeinflusst wird, ist eine städtebauliche Entwicklung in diesem Bereich generell als unkritisch zu bewerten. Um die Funktionsfähigkeit der Iller Luftleitbahn nicht negativ zu beeinflussen, ist eine Bebauung der Iller Talsituation möglichst zu vermeiden und auch der Erhalt der „Keckwiese“ wird empfohlen.



Klimatische Beurteilung BPI (kurz)

Referenz Maßnahmensteckbriefe



M 10, M 11

## 9. Zusammenfassung

Die vorliegende stadtklimatische Untersuchung der Stadt Kempten im Allgäu stellt eine wichtige Grundlage für eine klimaangepasste und damit auch zukunftsfähige Stadtentwicklung dar.

Die Untersuchung hatte zum Ziel, das grundlegende Verständnis von klimatischen Zusammenhängen im städtischen und ländlichen Raum zu fördern und die klimatische Gesamtsituation der Stadt Kempten darzustellen. Die klimatische Beschreibung der Stadt sowie des näheren Umlandes geschieht mit Hilfe der Klimafunktionskarte, die es ermöglicht, die klimatische Charakteristik der Stadt in 6 Klassen (5 im Stadtgebiet vorkommend), den sogenannten Klimatopen, abzubilden. Dadurch erhalten Leserinnen und Leser das Grundverständnis der klimatischen Zusammenhänge. Die Stadtklimaanalyse besitzt einen hohem Detailgrad, so dass ein umfassendes stadtklimatisches Gesamtbild der Stadt und des Umlandes entsteht.

Im Zuge der Berechnung der Klimafunktionskarte werden mehrere unterschiedliche Themenkarten generiert, die zwei Funktionen übernehmen. Zum einen sind sie grundlegender Bestandteil der Berechnungsmatrix der Klimafunktionskarte, zum anderen stellen sie eine wichtige planerische Handreichung für die Stadt- und Landschaftsplanung der Stadt dar. Ein Schwerpunkt des planerischen Mehrwerts der Untersuchung liegt eben in diesen einzelnen klimatischen und darüber hinaus gehenden demographischen sowie stadt- und landschaftsplanerischen Themenkarten. Sie ermöglichen den Planerinnen und Planern die klimatische Beschreibung bzw. Einteilung des urbanen und ruralen Raums nachzuvollziehen. So können, ggf. auch ohne klimatische Fachexpertise, die Ursachen von klimatisch defizitären Räumen erfasst und planerisch berücksichtigt werden. Zudem sind, aufgrund der hohen räumlichen Auflösung, auch Detailbetrachtungen innerhalb der vorhandenen Themenkarten möglich.

Die Themenkarte der Landnutzung ist eine Zusammenfassung und Abstrahierung der vorhandene Landnutzungstypologien (des umfangreichen ATKIS Basis-DLM) und ermöglicht die vorherrschenden Nutzungen, entsprechend ihrer klimatischen Relevanz, gebündelt darzustellen. So kann, dezidiert nach Untersuchungsraum (Stadtgebiet) und Gesamtgemarkung der Stadt Kempten, eine statistische Betrachtung Aufschluss über die typische Landnutzungsverteilung geben. Bedingt durch die Einbettung des Stadtgebietes in den ruralen Raum dominieren Offenlandflächen mit 55,2 % der Gesamtfläche der Gemarkung Kempten sowie Wälder mit 12,57 %.

Jedoch lassen sich bei der Klassifizierung des Raums nach Landnutzungsklassen keine Aussagen über die tatsächliche Durchgrünung der Stadt treffen. Um konkrete räumliche abgrenzbare Aussagen treffen zu können, wurden mit Hilfe von Nah-Infrarot Luftbildaufnahmen alle vorhandenen Grünstrukturen in der Themenkarte der Vegetationserfassung kartiert. So werden neben straßenbegleitenden Solitärgehölzen und Kleinstgrünflächen auch alle privaten (nicht öffentlichen) Vegetationsflächen erfasst. Daraus ergibt sich für die Planung ein erheblicher Mehrwert, da somit ein realistisches Gesamtbild der Vegetationsbedeckung der Stadt möglich ist. Eine entsprechende statistische Auswertung des Untersuchungsraums, auf Grundlage der vereinfachten Landnutzungsklassen, zeigt einen mittelstarken Durchgrünungsanteil der Siedlungsflächen von durchschnittlich 34,09 %. Das bedeutet, dass etwas mehr als 1/3 der Siedlungsflächen im Untersuchungsraum mit Vegetation bedeckt sind (es bleibt zu beachten, dass bei Bäumen die Kronenflächen und nicht der Stammraum erfasst wurden). Insbesondere Industrieflächen sind im gesamtstädtischen Durchschnitt mit 17,74 % unterdurchschnittlich stark durchgrünt. Hier gilt es die Durchgrünung zu fördern, um diese meist stark versiegelten Gebiete klimatisch zu entlasten und den Oberflächenabfluss von Regenwasser zu reduzieren.

Vor diesem Hintergrund kann auch die Themenkarte zum topographischen Einzugsgebiet der Stadt Kempten herangezogen werden. In weiteren Untersuchungen können diese Analyseergebnisse bspw. dazu genutzt werden, Aufschluss über die Retentionsfähigkeit (Aufnahme und Rückhaltung von Regen über den offenen unversiegelten Boden) oder Abflussrichtungen von Oberflächenwasser zu geben. Die Ergebnisse der Analyse des topographischen Einzugsgebietes haben gezeigt, dass der eigentliche urbane Raum primär durch südlichere Gebiete beeinflusst wird, die zudem auch über die administrativen Grenzen der Stadt Kempten hinausreichen. Gleichzeitig sind große Gebiete (im Norden, Osten und Westen) für den eigentlichen Stadtraum von untergeordneter Bedeutung, was sich auch in der Themenkarte zur nächtlichen Kaltluftproduktion und des Kaltlufttransportes deutlich zeigt. Die Kaltluftversorgung sowie die städtische Rauigkeit (Durchlüftung) gehören zu den dynamischen klimatischen Einflussfaktoren. Im Zuge der Analyse zur Kaltluftentstehung und des Kaltlufttransportes wurde die nächtliche Kaltluftproduktion auf der Gesamtfläche der für die Stadt Kempten relevanten (oder teils relevanten) topographischen Einzugsgebiete berechnet. Die Ergebnisse zeigen eine typische Tallage der Stadt mit einem erweiternten Abfluss in nördlicher Richtung, wodurch, wie bereits erwähnt, auch für die Kaltluftentstehung und Versorgung des urbanen Raums der südlichere Raum des Stadtgebietes (und darüber hinaus) von Bedeutung ist.

Die Themenkarten der Gebäudevolumendichte sowie des SkyView Faktors beschreiben zwei planerisch bedeutsame stadtmorphologische Einflussfaktoren. Die Gebäudevolumendichte beschreibt im 3-dimensionalen Raum die Gebäudemassen unter Berücksichtigung der umgebenden baulichen Dichte. Im Maximum liegt die Gebäudevolumendichte über  $26.23 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Hierbei handelt es sich jedoch um punktuelle Erscheinungen. Die verbleibenden Bereiche starker baulicher Prägung, wie bspw. der Innenstadtbereich oder Teile der im Stadtgebiet nordöstlich liegenden Industrie- und Gewerbeflächen erreichen Werte zwischen  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$  und  $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Im Vergleich zu anderen Städten (Frankfurt Bahnhofsviertel: ca.  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$  bis ca.  $250 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , Würzburg Altstadt: ca.  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2$  bis  $150 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ) ist die Stadt Kempten durch lockere Baumassen geprägt, was auch zu dem Ausbleiben des Klimatops „Starke Überwärmung“ beiträgt. Der SkyView Faktor beschreibt als zweite stadtmorphologische Einflussgröße die vertikale Offenheit und bietet in der Planung die Möglichkeit, das Überwärmungsrisiko innerhalb der Straßen(schluchten) abzuleiten. Problematische Bereiche mit einem SkyView Faktor von weniger als 0,5 sind großflächig selten, jedoch besonders im Kernbereich der Stadt vorzufinden. In weiteren Untersuchungen kann diese Analyse dazu genutzt werden, um Aussagen bspw. zur Helligkeit im Straßenraum zu treffen.

Wie bereits zu Beginn geschrieben, beschreibt die Klimafunktionskarte die Synergie aller klimatischen Themenkarten, um den Untersuchungsraum in sechs Klimatopklassen zu unterteilen. Dabei stehen die letzten drei Klimatope für ein erhöhtes Überwärmungspotential, und gelten dadurch als Risikobereiche für hitzevulnerable (hitzesensible/verwundbare) Gesellschaftsgruppen. Zu diesen Gruppen gehören insbesondere Kleinkinder sowie Senioren. In Abhängigkeit der sozialen Rahmenbedingungen kann die Anfälligkeit gegenüber Hitze/Überwärmung innerhalb dieser Gruppen variieren. Um ein Abbild des aktuellen demographischen Zustandes in Bezug auf die Überwärmungsklimatope zu generieren, wurde für das Stadtgebiet eine räumlich-statistische Auswertungen (Heat-Map) bezüglich der vorkommenden Altersstrukturen durchgeführt und in den Kontext der dortigen Überwärmungsklimatopen gebracht. So konnten, auf Grundlage der demographischen Daten und den Informationen zu sensiblen Nutzungsstrukturen, Räume im Stadtgebiet identifiziert werden, die für das Auftreten bestimmter Altersstrukturen charakteristisch sind. Gleichzeitig wurde ermittelt, wie viele Personen der Risikogruppen einem besonderen gesundheitlichen Risiko bei bspw. längeren Hitzeperioden ausgesetzt sind.

Auf Grund der demographischen Verteilung sowie der stadtklimatischen Situation leben in Kempten die meisten Personen der Risikogruppen in dem geringsten der drei Überwärmungsklimatope (Klimatop 4 „Überwärmungspotential“). Bei Personen, die im nächsthöheren Überwärmungsklimatop (Klimatop 5 „Moderate Überwärmung“) leben, steigt das gesundheitliche Risiko bei auftretenden Hitzewellen stärker an. Hier können Präventionsmaßnahmen angestoßen werden, um bei längeren Hitzeperioden die Anzahl der Betroffenen zu reduzieren. Weiterführende Untersuchungen zu den demographischen Veränderungen innerhalb des Stadtgebietes können Aufschluss darüber geben, welche städtischen Räume sich voraussichtlichen wie gesellschaftlich weiterentwickeln.

Die aus der Klimafunktionskarte abgeleitete Verortung von Planhinweisen bzw. die Detailbetrachtung von Planungsräumen der Stadt verweist auf entsprechende Maßnahmensteckbriefe, welche als Planungsinstrument dienen können. Die Maßnahmensteckbriefe sind in vier Klassen eingeteilt (Objektmodifikation, Belüftung/Durchlüftung, Aufenthaltsqualität und Grünvernetzung und Entsiegelung). Inhaltlich finden sich in diesen einzelnen Steckbriefen jeweils eine Beschreibung der Maßnahme selbst und deren klimatische Wirkung, Herausforderungen bei der Umsetzung und Planungs- und Festsetzungsgrundlagen. Auch werden Hinweise auf die zu erwartenden Kosten und die Dauer der Umsetzungs- und Durchführungszeit gegeben. Durch einen Verweis auf einzelne städtische Bereiche können die Maßnahmen für eine zielgerichtetere Umsetzung verortet werden. Alle formulierten Maßnahmen können aber auch im gesamten Stadtgebiet Anwendung finden und sind nur bedingt ortsgebunden. Vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels sind die aktuellen Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 regional für die Stadt Kempten ausgewertet worden, um so den Trend der zu erwartenden Veränderungen in den Bereichen der Temperatur und des Niederschlags für die Mitte und das Ende dieses Jahrhunderts darzustellen. Ergänzend zur stadtklimatischen Analyse wurden, auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten, Analysen zur fußläufigen Erreichbarkeit von Kindertagesstätten und Grundschulen, sowie eine Berechnung zur Breite des Straßenraums aller Straßen im Stadtgebiet durchgeführt.

Grundsätzlich ist für die Stadt Kempten eine günstige stadtklimatische Situation festzustellen. Obwohl es mehrere Bereiche innerhalb des Stadtgebietes gibt, die ein „moderates Überwärmungspotential“ aufweisen, und mit denen dementsprechend sensibel in der zukünftigen Stadtplanung umzugehen ist, wird die Stadt durch im südlichen Bereich vorhandene rurale Kaltluftentstehungsgebiete oder die vorhandenen Luftleitbahnen entlang der Iller positiv beeinflusst. Zusätzlich funktionieren die linearen und offenen Strukturen als Durchlüftungsbahnen, die in Kombination mit den in mehreren Bereichen offen gestalteten Siedlungsrändern den lokalen Luftaustausch unterstützen.

## 10. Anlagen

### 10.1. Glossar

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

Heißer Tag	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30$ °C beträgt (früher auch Tropentag).
Hitzewelle	eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
Immission*	Einwirkung von unmittelbar oder mittelbar durch menschliche Tätigkeit verursachte Emissionen auf die Umwelt. Zu den Immissionen gehören vorwiegend Luftverunreinigungen, Geräusche, Gerüche, Erschütterungen, Licht, Strahlen und Wärme.
Klimafaktoren	(auch klimatologische Wirkungsfaktoren) sind Faktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Luftfeuchte usw.) und damit das Klima eines Ortes beeinflussen.
Kaltluftabfluss	der nächtliche Abfluss von örtlich gebildeter Kaltluft, dabei wird genügend Gefälle vorausgesetzt - trifft insbesondere an unbewaldeten und unbebauten Hängen auf.
Kaltluftfluss	die in windschwachen, klaren Nächten hangabwärts strömende kalte Luft. Sie sammelt sich am Erdboden und ist dann schwerer als die wärmere Luft der Umgebung. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft hängt von der Hangneigung, der Bodenrauigkeit und der Größe des Kaltlufteinzugsgebietes, das heißt, von der Größe des Gebietes, in dem Kaltluft produziert wird ab.
Kaltluftstau	die abriegelnde Wirkung eines Hindernisses auf einen Kaltluftfluss. Die Kaltluft kann sich sowohl vor orografischen Hindernissen (z.B. Hügelrücken) als auch vor künstlichen Hindernissen (z.B. Bauwerke, Dämme) stauen.
Klimamodell*	mathematisches Gleichungssystem welches das Klima bzw. dessen Änderungen simuliert. Als Variablen dienen physikalische und chemische Beziehungen.
Klimaprojektion	Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde unter Nutzung von Klimamodellen. Sind in der Lage alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre des Planeten, zu beschreiben. Mit ihnen können die beobachteten Änderungen des Klimas in der Erdgeschichte analysiert und nachvollzogen werden.
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 Jahressgänge 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 $\geq 25$ °C beträgt
Spektrale Signatur* <sup>S</sup>	für eine Oberfläche typisches Verhältnis der Messwerte in mehreren Spektralbereichen, mit denen Unterschiede in der Reflexionscharakteristik verschiedener Oberflächen erfasst werden können
Städtische Wärmeinsel* <sup>L</sup>	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* <sup>S</sup>	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 $\geq 20$ °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* <sup>L</sup>	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.
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](http://www.dwd.de/lexikon) oder [www.wetterlexikon.eu](http://www.wetterlexikon.eu)).

\* Wetter-Lexikon von [wetter.net](http://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>)

\*<sup>L</sup> Environmental Sciences Europe – Kuttler 2011 (<http://www.enveurope.com>)

\*5 Spektrum – Lexikon der Geowissenschaften  
([www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften](http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften))

## 10.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017).....	3
Abbildung 2 Übersicht zu unterschiedlichen urbanen Vegetations- und Grünstrukturen .....	4
Abbildung 3 Vertikales Windprofil über dem Stadtkern, dem Stadtrand dem freien Land (Robel et al., 1978).....	5
Abbildung 4 Vereinfachte Darstellung der Zirkulation von Hang- sowie Berg- und Talwinden in Abhängigkeit zur Tageszeit (Liljequist und Cehak 1979).....	6
Abbildung 5 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.....	6
Abbildung 6 Der, den Kaltluftabfluss querenden Damm mit Straße (links) wird zum Hindernis und blockiert bzw. staut den Kaltluftstrom auf. Die den Kaltluftabfluss querende Brücke mit Straße (rechts) bremst bzw. staut den Kaltluftstrom nicht (VM BW 2012). .....	7
Abbildung 7 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). .....	9
Abbildung 8 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 9 Klima- und Planungsebenen. Klimatische Einordnung von regionalen und städtischen Planungsebenen (FG UMET Universität Kassel, 2012) .....	12
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.....	15
Abbildung 11 Die unterschiedlichen Themenkarten (links) mit deren Hilfe die klimatischen Informationen (rechts) für den Untersuchungsraum dargestellt werden können. ....	16
Abbildung 12 Prinzipieller Ablauf des Prozesses zur Erstellung einer Stadtklimaanalyse.. <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
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 (ESRI 2020, modifiziert Burghardt 2020). .....	17
Abbildung 14 Lageübersicht der Stadt Kempten (Allgäu) im Maßstab 1:150.000. Topographische Grundkarte (links) und Satelliten-Hybridkarte (rechts). .....	19
Abbildung 15 30-jährige Mittelwerte für den durchschnittlichen Niederschlag (in mm auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse) .....	20
Abbildung 16 30-jährige Mittelwerte für die Temperatur Maxima (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse) .....	21
Abbildung 17 30-jährige Mittelwerte für die Temperatur Minima (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse) .....	22

Abbildung 18 30-jährige Mittelwerte für die durchschnittliche Temperatur (in °C auf der y-Achse) der Stadt Kempten (Allgäu), aufgetragen gegen den Jahresverlauf in Monaten (x-Achse) .....	22
Abbildung 19 Standort DWD Station 2559 in Kempten .....	24
Abbildung 20 Windrichtung und Windstärke während des Tages (8-17 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Wintermonate .....	25
Abbildung 21 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (17-8 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Wintermonate .....	25
Abbildung 22 Windrichtung und Windstärke während des Tages (6-20 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Frühlingsmonate .....	26
Abbildung 23 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (20-6 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Frühlingsmonate .....	26
Abbildung 24 Windrichtung und Windstärke während des Tages (6-21 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Sommermonate .....	27
Abbildung 25 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (21-6 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Sommermonate .....	27
Abbildung 26 Windrichtung und Windstärke während des Tages (8-18 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Herbstmonate .....	28
Abbildung 27 Windrichtung und Windstärke während der Nacht (18-8 Uhr) im langjährigen Mittel (1989-2018) für die Herbstmonate .....	28
Abbildung 28 Vegetationserfassung im Stadtgebiet von Kempten auf Grundlage von Landnutzungsklassen und einer Luftbild-Nahinfrarot-Analyse .....	33
Abbildung 29 Flächengröße der Landnutzungsklassen und deren statistische Durchgrünung (auf Grundlage der Vegetationserfassung, siehe Abbildung 28) im Verwaltungsbereich der Stadt Kempten .....	35
Abbildung 30 Gebäudevolumendichte berechnet auf Grundlage des 3D Gebäudebestandes (Stand 2020) für den Verwaltungsbereich der Stadt Kempten .....	37
Abbildung 31 Schematische Darstellung der Definition des SkyView Faktors (SVF) .....	38
Abbildung 32 Darstellung des berechneten SkyView Faktors für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten auf Grundlage der 3D Gebäudedaten (Stand 2020) und dem hochaufgelöstem DGM (Auflösung von 1 m). .....	39
Abbildung 33 Topographische Einzugsgebiete mit Relevanz für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten, berechnet auf Grundlage eines Digitalen Geländemodells mit einer Rasterauflösung von 1 m. ....	41
Abbildung 34 Darstellung der zeitlich bedingten nächtlichen Kaltluftproduktion und dessen Transport über 8 Stunden bei einer austauscharmen Strahlungswetternacht für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten und darüber hinaus. ....	43
Abbildung 35 Darstellung der Kaltluftschichtdicken sowie des vorherrschenden bodennahen Windfeldes (2 m ü. G.) für den Verwaltungsbereich der Stadt Kempten und darüber hinaus bei einer austauscharmen Strahlungswetternacht nach 8 Stunden .....	44
Abbildung 36 Darstellung des bodennahen nächtlichen Windfeldes in Kombination mit den topographischen Einzugsgebieten. ....	46
Abbildung 37 Darstellung der städtebaulichen Porosität und der daraus abgeleiteten Durchlüftungspotentiale für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten .....	47
Abbildung 38 Diagramm zur Verteilung / Flächenanteil der vorkommenden Klimatope im Gebiet der Stadt Kempten .....	48
Abbildung 39 Klimafunktionskarte für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten. Kombinierte Darstellung aus Klimatopen sowie Kaltluft- und Durchlüftungspotentialen .....	50

Abbildung 40 Demographische Verteilung ausgewählter Altersklassen (inkl. quantitativer Aufschlüsselung) im Gebiet der Stadt Kempten .....	53
Abbildung 41 Demographische Verteilung ausgewählter Altersklassen (inkl. quantitativer Aufschlüsselung & sensibler Nutzungen) im Gebiet der Stadt Kempten.....	54
Abbildung 42 Diagramm zur demographischen Verteilung unterschiedlicher Altersklassen innerhalb der Klimatopzuordnungen im Gebiet der Stadt Kempten .....	56
Abbildung 43 Verortung sensibler Nutzungsstrukturen im Gebiet der Stadt Kempten .....	57
Abbildung 44 Fußläufige Erreichbarkeit von Kitas in Kombination mit Abdeckung der Altersklasse 0-6 Jahre im Gebiet der Stadt Kempten.....	59
Abbildung 45 Fußläufige Erreichbarkeit von Grundschulen in Kombination mit Abdeckung der Altersklasse 0-6 Jahre im Gebiet der Stadt Kempten.....	60
Abbildung 46 Darstellung der Straßenraumbreite bis zur Straßenraumachse im Gebiet der Stadt Kempten .....	62
Abbildung 47 Unterschiede der Gitterpunktgrößen zwischen globalen und regionalen Klimamodellen (Quelle: DWD).....	64
Abbildung 48 Diagramm der Tagesdurchschnittstemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5.....	66
Abbildung 49 Diagramm des durchschnittlichen Tagesmaximum der Lufttemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 .....	67
Abbildung 50 Diagramm des durchschnittlichen Tagesminimum der Lufttemperatur in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 .....	67
Abbildung 51 Diagramm zum Monatsmittel des Niederschlags in den Sommermonaten (JJA) für die Städte Kempten und München im Fokus der Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5.....	68
Abbildung 52 Planungshinweiskarte für das Verwaltungsgebiet der Stadt Kempten auf Grundlage der Klimafunktionskarte sowie der geostatistischen Auswertung der erstellten Themenkarten. ....	72
Abbildung 53: Solare Reflexionseigenschaften in Prozent (%) von klassisch gebrannten Dachziegeln mit unterschiedlicher Farbgebung (Gartland 2008). ....	75
Abbildung 54: Solare Reflexionseigenschaften von Metall mit unterschiedlichen Deckfarben (Gartland 2008).....	75
Abbildung 55: Nachträgliches „White Coating“ eines Metaldachs mit einer Elastomer-Beschichtung .....	75
Abbildung 56: Dachbegrünung im Schichtaufbau (links extensiv, rechts intensiv) (American Hydrotech 2000).....	77
Abbildung 57 Extensives Gründach auf einem ehemaligen Parkdeck in Kassel (2019) .....	77
Abbildung 58: Fassadengebundene Begrünung als Teil der Fassade des „La Caixa Forum“ in Madrid (2016).....	80
Abbildung 59: Beispiel für den Effekt von unterschiedlich hohen städtischen Randbebauungen (VM BW 2012) .....	81
Abbildung 60: Schematisierte Strömungsveränderungen durch Gebäudeanordnungen (Dütz und Martin 1982).....	81
Abbildung 61: Beispiel für eine durchlässige Hangbebauung (VM BW 2012) .....	82
Abbildung 62: Beispiel für eine Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung (VM BW 2012) .....	82
Abbildung 63: Beispiel für temporäre Verschattungsmaßnahmen aus Textilstoffen während der Sommermonate in Málaga (Spanien). Im Winter und Frühjahr werden die	

Verschattungselemente wieder entfernt, so dass während dieser Zeit die Besonnung des Straßenzugs nicht behindert wird (2016). .....	84
Abbildung 64: Temporäre Verschattungsmaßnahmen (Sonnensegel) im Außenbereich (Spanien 2019).....	84
Abbildung 65: Unterschiedliche öffentliche Trinkwasserbrunnen (rechts barrierefrei) in Spanien (2019) .....	86
Abbildung 66: Schematische Darstellung einer möglichen Verschlechterung der Belüftung durch Straßenbegleitgrün. Bei der linken Darstellung liegt kein Kronenschluss der Straßenbäume vor, wodurch die Durchmischung der vertikalen Luftschichten nicht behindert wird. Der Kronenschluss der Bäume (rechts) separiert die unterschiedlichen vertikalen Luftschichten und verhindert so deren Durchmischung. ....	87
Abbildung 67: "Bewässerungssäcke", die die kontinuierliche Bewässerung von Neuanpflanzungen während längerer Trockenphasen sichern (Kassel 2019).....	89
Abbildung 68 Übersicht zu klimatischen Detailbetrachtungen (Vorgaben des AG) im Stadtgebiet Kempten .....	91

### 10.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkung (rechte Spalte) im städtischen Raum. ....	2
Tabelle 2 Zusammenstellung verschiedener Kaltluftentstehungsraten aus unterschiedlichen Studien in Abhängigkeit zur Art des Untergrunds (k.A. = keine Angaben).....	8
Tabelle 3 Beispiele für $Z_0$ und $Z_d$ für unterschiedlichen Oberflächen (nach Oke 2017).....	9
Tabelle 4 Zuordnung unterschiedlicher Höhen-Weiten-Verhältnisse zu den entsprechenden Strömungsregimen. ....	11
Tabelle 5 Übersicht über die vier grundlegenden Aspekte und deren Ursprung bzw. ihren Abhängigkeiten, die zur Bewertung der Klimafunktionen herangezogen werden. ....	14
Tabelle 6 Lufttemperaturen für die Stadt Kempten (DWD 2020, bearbeitet) .....	21
Tabelle 7 Sonnenscheindauer für die Stadt Kempten (DWD 2020, bearbeitet) .....	23
Tabelle 8 Bezugszeiträume zur Definition der Tag-/Nachtsituation im quartalsbezogenen Jahresgang für die Stadt Kempten .....	24
Tabelle 9 Übersicht der erstellten Themenkarten und daraus abgeleiteten Anwendungsbeispielen und potentiellen Folgebetrachtungen.....	30
Tabelle 10 Beschreibung der Klimatope der Klimafunktionskarte.....	51
Tabelle 11 Beschreibung der Durchlüftungsaspekte .....	51
Tabelle 12 Beschreibung der RCP-Szenarien .....	63
Tabelle 13 Übersicht über die im Folgenden eingehend beschriebenen Maßnahmenvorschläge. Die Spalte „Referenz-Bezeichnung“ gibt für jede Maßnahme eine individuelle Kennung wider, auf die sich im Kapitel 8.3 (Detailbetrachtungen) bezogen wird. Die Spalte „Referenz-Bereiche“ gibt die Detailbetrachtung (Kapitel 8.3) an, für die die Maßnahme vorgeschlagen wird. ....	74
Tabelle 14 Kurzbeschreibung der in den Maßnahmensteckbriefen verwendeten Symbole ....	74
Tabelle 15: Beispiele für Arten, die für eine extensive Gründachbepflanzung geeignet sind ..	76
Tabelle 16: Gewichts- und Massenvergleich zwischen intensiven und extensiven Gründach (nach Gartland 2008).....	77
Tabelle 17: Beispiele von geeigneten Kletterpflanzen für bodengebundene Begrünung .....	79
Tabelle 18 Tabellarische Übersicht der Areale für die klimatischen Detailbetrachtungen.....	91
Tabelle 19 Übersicht und Erläuterung der bei den Steckbriefen der Detailbetrachtungen verwendeten Piktogramme .....	92

## 10.4. Datenverzeichnis

Daten	Quelle	Stand	Anmerkung
<b>City GML Stadtgebiet Kempten</b>	Stadt Kempten Stadtplanungsamt	2021	EPSG: 25832
<b>Digitales Basis-Land- schaftsmodell (Basis- DLM) Stadtgebiet Kempten</b>	Landesamt für Digitali- sierung, Breitband und Vermessung www.lbv.bayern.de	Grundaktualität 30.06.2019 Spitzenaktualität 31.01.2020	Bezug TK25-Blätter: - Kempten - Wildpoldsried - Buchenberg  Fläche: 63,22 km <sup>2</sup> ETRS89 UTM32 Genauigkeit besser ± 3 m
<b>Digitales Geländemo- dell (DGM) Stadtgebiet Kempten</b>	Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung www.adbv-immen- stadt.de	Los Kempten 2006 Los Legau 2009 Los Ottobeuren 2007 Los Nesselwang 2015	DGM-Gitter 1 m Fläche: 63,31 km <sup>2</sup> EPSG: 25832 Höhenbezugssystem: Genauigkeit besser ± 0,2 m
<b>Digitales Geländemo- dell (DGM) Umgebung Kempten</b>	Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung www.adbv-immen- stadt.de	Los Kempten 2006 Los Legau 2009 Los Ottobeuren 2007 Los Nesselwang 2015	DGM-Gitter 5 m Fläche: 105,23 km <sup>2</sup> EPSG: 25832 Höhenbezugssystem: GCG2016 Genauigkeit besser ± 0,3 m
<b>Digitale Orthophotos (DOP) Stadtgebiet Kempten</b>	Stadt Kempten Stadtplanungsamt	2020	Auflösung 0,2 m EPSG: 25832
<b>Flächennutzungsplan (FNP) mit integriertem Landschaftsplan (LP) Stadtgebiet Kempten</b>	Stadt Kempten Stadtplanungsamt	18.06.2009 Letzte Aktualisierung 05.12.2018	Georeferenziertes PNG Maßstab: 1:10000

## 10.5. Literaturverzeichnis

AMERICAN HYDROTECH 2000, The Garden Roof Planning Guide, Chicago

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

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](http://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/stadtpl/projekt\\_waermeinseln/projekt\\_waermeinseln\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html) Abruf: 09/2017
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) 2020, Klimadaten Deutschland, Online-Quelle URL: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html>; jsessionid=AB88DA4FDAD2D2F58A70C8C8DA25B2F5.live11054?nn=560208, Abruf: 10/2020 und (2020, a) [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder\\_8110\\_fest\\_html.html?view=naPublication&nn=16102](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_fest_html.html?view=naPublication&nn=16102), Abruf 10/2020 (2020, b) [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp\\_8110\\_fest\\_html.html?view=naPublication](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_8110_fest_html.html?view=naPublication), Abruf 10/2020 (2020, c) [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne\\_8110\\_fest\\_html.html?view=naPublication&nn=16102](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne_8110_fest_html.html?view=naPublication&nn=16102), Abruf 10/2020
- DÜTZ M., MÄRTIN H. 1982, Energie und Stadtplanung, Berlin
- ESRI ARCGIS BLOG, Analytics – How to perform spatial analysis (modifiziert), Online-Quelle URL: [www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/how-to-perform-spatial-analysis](http://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/how-to-perform-spatial-analysis) Abruf: 11/2020
- FG UMET (UMWELTMETEOROLOGIE) UNIVERSITÄT KASSEL, Quelle URL: [www.uni-kassel.de/fb06/fachgebiete/landschaftsarchitektur-und-planung/umweltmeteorologie/startseite.html](http://www.uni-kassel.de/fb06/fachgebiete/landschaftsarchitektur-und-planung/umweltmeteorologie/startseite.html), Abruf: 05/2012
- FNP 2009, Flächennutzungsplan mit integriertem Landschaftsplan der Stadt Kempten (Allgäu) - Stadtplanungsamt, M 1:10.000, Stand 05.12.2018, Online-Quelle URL: [https://kempten.de/stadtkempten/img/61\\_FNP\\_\\_2019.pdf](https://kempten.de/stadtkempten/img/61_FNP__2019.pdf), Abruf: 09/2020
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Dachbegrünungsrichtlinie - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen, 6. Ausgabe
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2002, Hinweise zur Pflege und Wartung von begrünten Dächern, 1. Ausgabe
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen, 3. Ausgabe
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2015, Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2014, Leitfaden Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen (Forschungsbericht)

- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2015, Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2010, Empfehlungen für Baumpflanzungen - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 1999, Leitfaden für die Planung, Ausführung und Pflege von funktionsgerechten Gehölzpflanzungen im besiedelten Bereich
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2005, Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen
- FRANK, W. 1975, Raumklima und thermische Behaglichkeit: Literaturlauswertung, In: Berichte aus der Bauforschung, Bd. 104, Berlin
- GARTLAND L. 2008, Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas in the UK and USA in 2008. Earthscan, London
- GEONET 2002, GIS-basierte Aufbereitung der Modellergebnisse zur Kaltluftsimulation für die Nutzung im Rahmen der Landes- und Regionalplanung in Thüringen; Abschlussbericht
- GEONET 2011, MORO Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel Leitfaden „Klimaökologie“, Baden-Baden
- GROSS G. 1987, Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate: A numerical study; In: Boundary-Layer Meteorology; 28 (4); S. 315-337
- HUPFER P. UND KUTTLER W. (Hrsg.) 1998, Witterung und Klima, Vieweg + Teubner Verlag
- HUSSAIN M. UND LEE B.E. 1980, A wind tunnel study of the mean pressure forces acting on large groups of low-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.6, Iss.3-4, p 207-225
- KATZSCHNER L. UND THORSSON S. 2009, Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design, The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan
- KEMPER T., RIECHEL R., SCHULLER T. 2011, Kommunen im Klimawandel- -Wege zur Anpassung, Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (klamis), TU Darmstadt, Institut IWAR
- KING E. 1973, Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten; Berichte des Deutschen Wetterdienstes 130; 17
- KUTTLER W. 2011, Climate change in urban areas – part 1, Effects Environmental Sciences Europe 23
- LANUV 2018, Fachbericht 86 – Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
- LILJEQUIST G.H. UND CEHAK K. 1979, Allgemeine Meteorologie, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig
- LOHMEYER, A. 2008, Klimafunktions- und Klimaplanungskarten, In: Lohmeyer Aktuell, Bd. 20, Karlsruhe
- MATZARAKIS A., RÖCKEL R., RICHTER C.-J., HÖFL. H.-C., STEINICKE W., STREIFENER 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 Zentralausschusses für Deutsche Landeskunde, Online-Quelle URL: <http://geographie.giersbeck.de/karten/187.pdf> (Blatt 187/193) und <http://geographie.giersbeck.de/karten/188.pdf> (Blatt 188/194), Abruf 07/2020
- NG E. UND REN C. 2015, The Urban Climatic Map, Routledge, London & New York
- OKE, T.R. 1987, Boundary Layer Climates. 2nd Edition, Methuen Publishers, Lagos
- OKE, T.R. 1988, Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings 1, 103-113
- OKE, T.R. 2006, Towards better scientific communication in urban climate, In: Theoretical and Applied Climatology 84 (1), 179-190
- OKE, T.R. (Hrsg.) 2017, Urban Climates, Cambridge University Press
- ROBEL F., HOFFMANN U., RIEKERT A., 1978, Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie, Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart
- RÜNGELER S. 1998, Die Funktion von Dachbegrünungen in urbanen Wasserkreisläufen, Diplomarbeit, Technische Universität Berlin
- SCHÄTZ K. 2012, Computergestützte Simulation der thermischen Effekte von Baumpflanzungen, Bachelorarbeit, Technische Universität München
- THOENNESSEN M. 2002, Elementdynamik in fassadenbegrünendem Wilden Wein, Kölner Geograph. Arbeiten, Heft 78:1–110
- UNGER, J. UND GÁL, T. 2009, Detection of ventilation paths using high resolution roughness parameter mapping in large urban areas. Building and Environment 44, 198-206
- 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