

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 22-4500.2/190

# Vulnerabilitätsanalyse „Hitzestress und menschliche Gesundheit“ am Beispiel der Stadt Reutlingen

von **agl** Hartz • Saad • Wendl | Landschafts-, Stadt- und Raumplanung

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Februar 2020

**KLIMOPASS**

– **Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg** –

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b>	Dr. Kai Höpker
<b>KLIMOPASS</b>	Dr. Ellinor von der Forst Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel E-Mail: <a href="mailto:klimopass@lubw.bwl.de">klimopass@lubw.bwl.de</a>
<b>FINANZIERUNG</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg – Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS) Stadt Reutlingen: Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt
<b>BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT</b>	Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt/Stabstelle Umweltschutz, Stadt Reutlingen, Marktplatz 22, 72764 Reutlingen (www.reutlingen.de)  <b>agl</b> Hartz • Saad • Wendl   Landschafts-, Stadt- und Raumplanung Großherzog-Friedrich-Str. 16-18, 66111 Saarbrücken (www.agl-online.de) <u>Bearbeitung:</u> Andrea Hartz, Sascha Saad, Christine Schaal-Lehr, Beate Manderla, Eva Langenbahn, Eva Lichtenberger, Annika Bastian, Stephanie Bächle Für den Baustein „Simulation des Innenraumklimas“: Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott
<b>BEZUG</b>	<a href="https://pd.lubw.de/10081">https://pd.lubw.de/10081</a>
<b>STAND</b>	Februar 2020, Internetausgabe

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im vorliegenden Bericht auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen in der Regel verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten für beiderlei Geschlecht.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG	9
2 ARBEITSPROGRAMM UND VORGEHENSWEISE	10
3 ÜBERSICHT ZU DEN KLIMAFOLGEN IN DER STADT REUTLINGEN	12
3.1 Klimasignale	12
3.1.1 Jahresmitteltemperatur	13
3.1.2 Sommertage	14
3.1.3 Tropennächte	15
3.1.4 Hitzeperiode	16
3.1.5 Vegetationsperiode	17
3.1.6 Starkniederschlag: Tage mit Starkniederschlag und Niederschlagsmengen aus Starkniederschlag	17
3.1.7 Trockenheit: Tage ohne Niederschlag und Trockenperioden	19
3.1.8 Fazit zu Klimasignalen	20
3.2 Klimafolgen	20
4 THERMISCHE BELASTUNGEN IN DER STADT REUTLINGEN	22
4.1 Status-quo-Darstellung der bioklimatischen Belastung auf Grundlage stadtklimatischer Analysen	22
4.2 Differenzierte Wärmebelastung auf Basis der Stadtstruktur	27
5 VULNERABILITÄTSANALYSE FÜR DIE STADT REUTLINGEN	32
5.1 Vorgehensweise und Methodik	32
5.2 Verwendete Klimasignale	41
5.3 Sensitivitätsindikatoren und Betroffenheit	43
5.3.1 Demografie und Bevölkerung	43
5.3.1.1 Bevölkerungsdichte	44
5.3.1.2 Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der Kinder bis sechs Jahre	47
5.3.1.3 Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen	50
5.3.1.4 Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen	53
5.3.2 Anzahl der Beschäftigten (Arbeitsplatz)	56
5.3.3 Sensitivitätsindikatoren und Betroffenheiten – sensitive Einrichtungen	59
5.4 Anpassungsfähigkeit – Zusatzinformationen für die Maßnahmenentwicklung	62

5.5	Zwischenfazit	65
6	SIMULATION DES INNENRAUMKLIMAS	65
6.1	Simulation des Innenraumklimas	65
6.1.1	Wetterdaten und Stadtklima	65
6.1.2	BERÜCKSICHTIGUNG DER SIEDLUNGSSTRUKTUR	68
6.1.3	Simulation der Wohngebäude	69
6.1.4	Simulation des Bürogebäudes	74
6.1.5	Simulation des Pflegeheims	75
6.1.6	Anzahl von Hitzewarntagen	77
6.1.7	Zusammenfassung	77
6.2	Verortung der Wohngebäudesimulation für das Stadtgebiet von Reutlingen	78
6.3	Diskussion und Zusammenfassung	83
7	ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG	84
7.1	Zukünftige Entwicklung des Stadtklimas	84
7.2	Zukünftige Entwicklung der Siedlungsfläche und der demografischen Faktoren	85
8	BEFRAGUNG ZUM UMGANG MIT THERMISCHER BELASTUNG IN DER ALTENPFLEGE	89
8.1	Vorgehensweise	90
8.2	Befragung des Gesundheitsamts	90
8.3	Befragung von institutionellen Akteuren der Altenpflegeeinrichtungen	93
8.4	Befragung von Bewohnern der Altenpflegeeinrichtungen	97
9	ÜBERTRAGBARKEIT DER ERGEBNISSE	99
10	AUSBLICK	102
11	QUELLENVERZEICHNIS	103

# Zusammenfassung

Die Modellstudie legt einen Schwerpunkt auf die Analyse der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) des Schutzguts menschliche Gesundheit in Bezug auf thermische Belastung. Direkte Auswirkungen von Hitze und Hitzewellen betreffen Gefahren für die Gesundheit (Erkrankung) sowie für Leib und Leben. Dabei zeigen sich Unterschiede zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen, die spezifische Anfälligkeiten gegenüber Belastungen aufweisen. Die Vulnerabilitätsstudie fokussiert sich auf die Betrachtung der Verwundbarkeit von Risikogruppen bei hohen Außentemperaturen sowie einer hohen Wärmebelastung von Innenräumen. Hierzu wurde eine Simulation des Innenraumklimas durchgeführt und die verwundbaren Gebiete in der Stadt Reutlingen wurden verortet. Darüber hinaus wurde der Umgang mit thermischer Belastung in der (stationären) Altenpflege beleuchtet. Schließlich tragen auch Hinweise zu medizinisch-pflegerischen und organisatorischen Maßnahmen in Altenpflegeeinrichtungen dazu bei, die Verwundbarkeit von Älteren oder gar hochaltrigen Menschen zu mindern.

In der Untersuchung wurde nicht nur die Gesamtstadt Reutlingen betrachtet, sondern auch eine kleinräumige Betrachtung auf Quartiers- und Objektebene vorgenommen. Die räumliche Differenzierung sollte helfen, Unterschiede in der Verwundbarkeit gegenüber thermischer Belastung aufzuzeigen, die stadtstrukturell begründet werden können. Die Ergebnisse liefern eine planerische Grundlage, um zielgerichtete, zielgruppenspezifische und priorisierte Anpassungserfordernisse und daraus abzuleitende Maßnahmen zu entwickeln. Letzteres ist jedoch nicht Gegenstand der Studie.

Die Stadt Reutlingen (rund 115.000 Einwohner, 87 km<sup>2</sup> Größe) liegt am Fuß der Schwäbischen Alb. Ihre topografische Lage ist durch den Übergang von der Schwäbischen Alb zum Neckartal geprägt. Lokalklimatisch für die Stadt wirksam ist der Höhenunterschied von etwa 580 m zwischen den Höhenzügen der Alb (Roßberg) und dem Neckartal. Die vorliegende gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Dröscher 2017) bildet die wesentliche Grundlage zur Beurteilung der bioklimatischen Belastungssituation in der Stadt Reutlingen: Mit Blick auf das Thema Hitzebelastung wurde u. a. eine Klimatopkarte nach VDI 3787 Blatt 1 erstellt, die im Wesentlichen auf Flächennutzungen gründet.

Das Vulnerabilitätskonzept des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) beschreibt Verwundbarkeit als eine Funktion von Klimasignal, Sensitivität, Klimawirkung und Anpassungskapazität. Für die Vulnerabilitätsstudie in Reutlingen wurde dieser Ansatz operationalisiert und Indikatoren für die beschriebenen Systemelemente aus der Literatur wurden recherchiert. Bezogen auf das Klimasignal bzw. die Exposition eignen sich am besten Bioklimaindizes wie PMV, PET, UTCI sowie die Lufttemperatur. Aber auch andere Datengrundlagen wie eine räumliche Verteilung von Kenntagen, Klimatopen oder bewertete Planungshinweiskategorien (Wirkräume Siedlungsflächen, sehr günstige bis sehr ungünstige bioklimatische Belastung) sind nutzbar. Für Hitzewellen gibt es bislang keine einheitliche Definition. Meist werden aufeinanderfolgende Tage mit Überschreitung bestimmter Temperaturschwellen oder Bioklimaindizes verwendet.

Die Operationalisierung der Empfindlichkeit bzw. Sensitivität konzentriert sich in der vorliegenden Studie auf die menschliche Gesundheit. Es werden nur direkte Auswirkungen von Hitze und Hitzewellen mit Gefahren für die Gesundheit betrachtet. Indirekte Beeinträchtigungen der Gesundheit durch das vermehrte Auftreten von Allergenen und Infektionskrankheiten, die ebenfalls durch die klimawandelbedingten Temperaturveränderungen mit beeinflusst werden, sind dagegen nicht Gegenstand der Studie. Mortalitäts- und Morbiditätsstudien

(Wasem/Richter/Schillo 2019; Mengmeng et al 2015) geben Hinweise für die Klimafolgen bei der Allgemeinbevölkerung sowie bei empfindlichen Risikogruppen. Neben anderen zählen insbesondere Säuglinge und Kinder sowie ältere Menschen über 65 Jahre, stärker noch die über 75-Jährigen und Personen mit Vorerkrankungen (z. B. Indikator Pflegestufe) zu den Risikogruppen. Im häuslichen Umfeld wird die Gefährdung noch verstärkt, wenn Risikogruppen mit nicht ausreichender Bewältigungskompetenz alleine leben (Singlehaushalte) und Hilfestellung benötigen.

Als dritter Faktor zur Bestimmung der Vulnerabilität ist die Anpassungsfähigkeit zu betrachten. Anpassungsfähigkeit zielt auf die Erhöhung der Widerstandskraft der Bevölkerung gegenüber einer Gefährdung und so auf eine Erhöhung der Resilienz von Stadtgesellschaft. Zahlreiche Faktoren können die Anpassungsfähigkeit gegenüber thermischer Belastung verbessern. Dazu zählen im Grunde alle Maßnahmen, die einer Reduktion der thermischen Belastung dienen, insbesondere stadt- und bauplanerische Maßnahmen (z. B. Begrenzung der Baumassen, Verringerung der Versiegelung, Sicherung der Durchlüftung, Erhöhung der Albedo), Freiraum- und landschaftsplanerische Maßnahmen (z. B. Erhöhung der Verschattung und des Grünvolumens), gebäudebezogene Maßnahmen (z. B. Wärmedämmung und Sonnenschutz, Gebäudekühlung) oder auch verhaltensbezogene Maßnahmen (z. B. Bevölkerung aufklären und beraten, kontrollierte Flüssigkeitszufuhr und Kühlung gewährleisten, Präventionsmaßnahmen im sozialmedizinischen Umfeld umsetzen, Hitzeaktionspläne installieren). Auch individuelle Adaptionsstrategien wie ausreichendes Trinken, eine angepasste Bekleidung oder angemessene körperliche Betätigung erhöhen die Anpassungsfähigkeit.

Da diese Maßnahmen in der Zukunft liegen und ihre Realisierung unsicher bleibt, lässt sich die Anpassungsfähigkeit als Systemkomponente der Verwundbarkeit für eine Status quo-Analyse nur schwer operationalisieren. Deshalb wird sie im Rahmen der vorliegenden Vulnerabilitätsstudie nicht berücksichtigt, und somit eher die Betroffenheit des Schutzguts als Funktion von Gefährdung und Sensitivität ermittelt. Die Anpassungsfähigkeit ist Gegenstand von Handlungskonzept und Maßnahmenplanung.

Für die Umsetzung in der Stadt Reutlingen wurde auf verfügbare Indikatoren zurückgegriffen. Im Gegensatz zu regionalen Daten auf Kreisebene waren kleinräumig nicht alle Indikatoren vorhanden oder aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht zugänglich. Für das Klimasignal bzw. die Exposition wurden in Reutlingen die Klimatope der gesamtstädtischen Klimaanalyse herangezogen. Ausgehend von den Ergebnissen der Klimauuntersuchung wurde eine Karte zur räumlich stärker differenzierten Wärmebelastung erstellt. Sie beschreibt die Exposition gegenüber dem Klimasignal für thermische Belastung und berücksichtigt sowohl Bebauungsdichte als auch Kaltlufteinflüsse. Für die Erstellung der Karte wurde eine Siedlungsstrukturtypologie erarbeitet und die Strukturtypen in der Stadt Reutlingen erhoben. Diese Typologie differenziert die Siedlungsbereiche nach der vorherrschenden Bauweise, Geschossigkeit, Nutzungsart und Funktionalität.

Als Sensitivitätsindikatoren dienten folgende Indikatoren, die auf Baublockebene dargestellt werden konnten:

- Bevölkerungsdichte
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der Kinder bis sechs Jahre
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen in Singlehaushalten
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen in Singlehaushalten
- Anzahl der Beschäftigten
- sensitive Einrichtungen (u. a. Kindergärten, Schulen, Einrichtungen der Altenpflege, Krankenhäuser)

Aus der Verknüpfung der Klimasignale mit den Sensitivitätsindikatoren ergibt sich die Verwundbarkeit (Betroffenheit) für die Allgemeinbevölkerung und die Risikogruppen.

Ein innovativer Ansatz der Studie liegt in der Simulation des Innenraumklimas sowie einer Übertragung dieser Ergebnisse auf die Bebauungsstruktur in der Gesamtstadt. Da sich ein Großteil der Bevölkerung den weitaus größten Teil des Tages, d. h. ca. 16 bis 18 Stunden, in Innenräumen aufhält (nächtlicher Schlaf, Arbeit am Tage), bedeutet die Simulation des Innenraumklimas einen entsprechenden Mehrwert bei der Beurteilung der Verwundbarkeit gegenüber der sonst üblichen Außenraumbelastung.

Die physiologische Wärmebelastung in Wohngebäuden ist stark von der Bausubstanz und der städtischen Lage abhängig. Auf Basis meteorologischer Eingangsdaten, der geografischen Lage sowie Temperaturmessfahrten wurde anhand exemplarischer Wohngebäudetypen die Innenraumtemperatur in einem vereinfachten Verfahren modelliert. Ausgehend von der „Deutschen Gebäudetypologie“ des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU 2005) wurden fünf repräsentative Wohngebäude der Baualtersklassen der 1920er-, der 1950er-, der 1970er-, der 1990er-Jahre sowie 1990plus (mit sehr gutem sommerlichem Wärmeschutz in Passivhausbauweise) in unterschiedlicher Exposition und Lage in der Stadt (Umland, Stadtrand, Stadtmitte und Innenstadt) für die Temperaturberechnung herangezogen. Berechnet wurde die Überschreitungshäufigkeit der Lufttemperatur von 26°C als Maß für die physiologische Wärmebelastung (Zahl der Überhitzungsstunden). Darüber hinaus berücksichtigen die Überhitzungsgrad- bzw. Übertemperaturgradstunden auch die Stärke der Überschreitung. Dabei ist zu beachten, dass die Überhitzungsgradstunden einen Summenparameter darstellen, der die Aufheizung der Gebäude nicht an einem Tag, sondern über die Sommerperiode eines Kalenderjahres (gemessen an Überhitzungsgradstunden) reflektiert. Dies unterscheidet die Modellierung des Innenraumklimas erheblich von der Modellierung der Außentemperaturen, da diese die Wärmebelastung bzw. das Bioklima an einen einzigen Tag exemplarisch simulieren.

Im Ergebnis zeigen sich die Unterschiede in einer Spannbreite von 543 Überhitzungsgradstunden im Umland bei 1990plus-Häusern bis zu 3.862 Überhitzungsgradstunden bei Gebäuden der 1970er-Jahre in der Innenstadt. Allgemein kann festgehalten werden, dass

- nach Norden orientierte Räume kühler sind als Räume, die nach Süden, Osten oder Westen orientiert sind. In nach Süden, Osten oder Westen orientierten Räumen unterscheidet sich zwar der Tagesverlauf der Raumtemperatur, die Überschreitungshäufigkeit ist aber nahezu gleich.
- Im Umland liegt in Gebäuden der 1950er-Jahre und Niedrigenergiegebäuden mit sehr gutem Sonnenschutz die Überschreitungshäufigkeit im Innenraum unter der Überschreitungshäufigkeit im Außenraum.
- In den städtischen Lagen sind nicht nur die mittleren Raumtemperaturen deutlich höher als im Umland; hier liegt auch die Überschreitungshäufigkeit im Innenraum in jedem Gebäude über der Überschreitungshäufigkeit im Außenraum. Dies ist in erster Linie auf die fehlende nächtliche Abkühlung zurückzuführen. Am Stadtrand liegt die mittlere Raumtemperatur im Sommer rund 1 K höher als im Umland und steigt um weitere 0,5 K vom Stadtrand über die Stadtmitte bis zur Innenstadt. In der Innenstadt sind – bei sonst gleichen Randbedingungen – also durchschnittlich rund 2 K höhere Raumtemperaturen zu erwarten.
- In innerstädtischen Lagen ist die Überschreitungshäufigkeit in Gebäuden der 1970er und 1990er-Jahre am stärksten. Gegenüber Gebäuden aus den 1950er-Jahren beträgt die mittlere Temperaturdifferenz etwa 1,5 K.

Neben den Wohngebäuden wurden exemplarisch auch ein Bürogebäude sowie ein Pflegeheim simuliert. Unterschiede ergeben sich dort durch andere Wärmegewinne, die aus der Anwesenheit von Personen im Gebäude, deren Nutzerverhalten oder der Büroausstattung resultieren. In Bürogebäuden steht die Bewertung der Arbeitsplatzqualität bzw. die Einhaltung der Vorgaben des Arbeitsschutzes (insbesondere Arbeitsschutzrichtlinie ASR 3.5) im Vordergrund. Akzeptable Raumtemperaturen im Sommer sind selbst im Umland und vor allem in städtischen Lagen und bei hoher technischer Ausstattung nur mit einem entsprechenden Kühlkonzept zu erreichen.

Im Unterschied zu den Wohn- und Bürogebäuden wurde in Pflegeheimen während der Schönwetterperioden das Nutzerverhalten entsprechend einem Dienstplan (in Anlehnung an die Hinweise für Pflegekräfte, Heimleitungen und Hausärzte) mit eingerechnet. Dabei sind die Fenster zwischen 21 Uhr und 7 Uhr komplett geöffnet und der Sonnenschutz immer komplett geschlossen. Im Ergebnis führt dies in Reutlingen dazu, dass nur in der Innenstadt die Überhitzungsgradstunden den Anforderungswert nach DIN 4108-2 für Wohngebäude überschreiten.

Erstmalig wurde für die Wohngebäude eine gesamtstädtische Verortung der thermischen Belastung des Innenraumklimas modelliert. Hierzu wurde eine Zuordnung der Wohngebäudetypen nach IWU (2005) vorgenommen. Da eine Vollerhebung der Gebäude für das Stadtgebiet zu aufwendig war, wurde das Gebäudealter auf Baublockebene über die Auswertung von Google-Maps-Bildern, über Bebauungspläne der Stadt Reutlingen und eine Baualtersklassenkarte des Stadtvermessungsamts aus dem Jahr 1995 erhoben. Gebäudesanierungen konnten dabei nicht berücksichtigt werden und bilden eine Unsicherheit im Modell ab. Darauf aufbauend erfolgte eine Typisierung für das Stadtgebiet auf Baublockebene. Dabei wurde der jeweilige Anteil einer Baualtersklasse an den Wohngebäuden pro Baublock abgeschätzt. Über den Indikator der Überhitzungsgradstunden wurde eine Verortung der Wärmebelastung für die Wohngebäude modelliert. Daraus ergeben sich deutliche Unterschiede in der Wärmebelastung im Vergleich zu den Umgebungstemperaturen. Teilweise sind Quartiere auch in Außenbereichen hoch belastet, die vergleichsweise geringe Belastungen durch die Umgebungstemperatur aufweisen. Dies erklärt sich durch die Gebäudeaufheizung über mehrere Tage hinweg. Hierdurch verändert sich die Vulnerabilität: Viele Quartiere mit einem hohen und sehr hohen Anteil an über 75-Jährigen sowie mit über 75-Jährigen in Singlehaushalten liegen nunmehr in Bereichen hoher und sehr hoher Wärmebelastung.

Die Befragung zum Umgang mit thermischer Belastung in der Altenpflege zielte schließlich auf die Erfassung der Anpassungsoptionen in der Altenpflege ab. Neben stadtplanerischen und baulichen Maßnahmen spielten Verhaltensvorsorge, pflegerische Maßnahmen und Maßnahmen zur Beeinflussung der Exposition eine wichtige Rolle. Mit der Befragung des Kreisgesundheitsamts, der Träger von Altenpflegeeinrichtungen und der Bewohner in Reutlingen wurden Grundlagen erkundet, um entsprechende Maßnahmen zur Reduktion der Hitzefolgen ableiten zu können.

Im Rahmen der Modellstudie konnten innovative methodische Ansätze zur Darstellung der thermischen Belastung der Bevölkerung unter Berücksichtigung des Innenraumklimas erprobt werden. Gleichzeitig schafft sie wichtige Grundlagen für eine effektive Klimaanpassung in der Stadt Reutlingen.



# 1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Modellstudie legt einen Schwerpunkt auf die Analyse der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) des Schutzguts menschliche Gesundheit in Bezug auf thermische Belastung. Direkte Auswirkungen von Hitze und Hitzewellen betreffen Gefahren für die Gesundheit (Erkrankung) sowie für Leib und Leben (LGA 2013; Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK) 2017; adelphi/prc/EURAC 2015; BBK 2013; Kuttler 2018; Laschewski/Endler 2014). Dabei zeigen sich auch Unterschiede zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen, die unterschiedlich anfällig gegenüber der Belastung sind (Augustin et al. 2017; Eis et al. 2010; UBA/RKI 2013). Darüber hinausgehende indirekte Beeinträchtigungen der Gesundheit durch das vermehrte Auftreten von Allergenen und Infektionskrankheiten, die ebenfalls durch die klimawandelbedingten Temperaturveränderungen mit beeinflusst werden, sind dagegen nicht Gegenstand der Studie.

Ein weiterer Fokus resultiert aus der Betrachtungsebene: Nicht nur die Gesamtstadt Reutlingen, sondern eine kleinräumige Betrachtung auf Quartiers- und Objektebene steht im Mittelpunkt der Studie. Die Differenzierung soll helfen, räumliche Unterschiede in der Verwundbarkeit gegenüber thermischer Belastung aufzuzeigen. Diese bilden die planerische Grundlage, zielgerichtete, zielgruppenspezifische und priorisierte Anpassungserfordernisse und daraus abzuleitende Maßnahmen zu entwickeln.

Die Verwundbarkeitsanalyse ist Bestandteil eines umfassenden Klimaanpassungsprogramms der Stadt Reutlingen, das aus drei Modulen besteht: (1) einer Klimaanalyse, (2) einer Vulnerabilitätsanalyse sowie (3) einem Maßnahmenprogramm für verschiedene Handlungsbereiche. Ein Maßnahmenprogramm ist nicht Teil der Verwundbarkeitsanalyse und des KLIMOPASS-Projekts, da dieses in einem separaten Modul beauftragt werden soll.

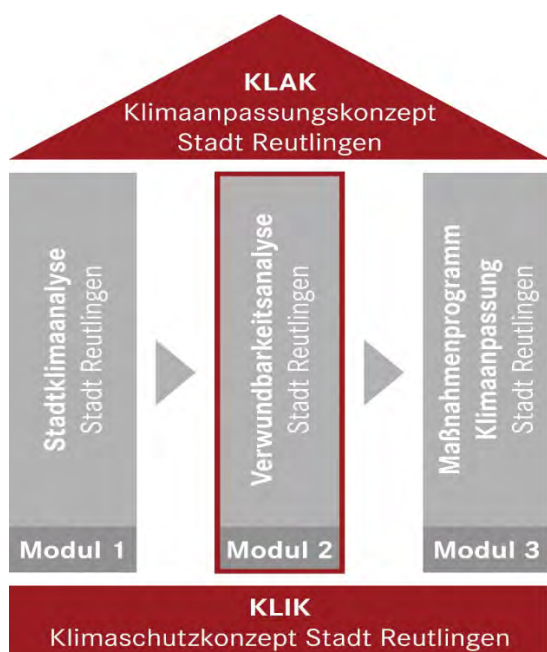


Abbildung 1.1: KLIK – KLAKE – Reutlingen  
(Quelle: agl 2020, Grundlage: Stadt Reutlingen)

## 2 Arbeitsprogramm und Vorgehensweise

Die quartiers- und objektbezogene Verwundbarkeitsanalyse für das Schutzgut menschliche Gesundheit gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte, die wie folgt beschrieben durchgeführt wurden:

1. **Screening der Klimafolgen für einzelne Schutzgüter in Reutlingen im Überblick:** Dieser Arbeitsschritt diente dazu, die wesentlichen Klimafolgen für Reutlingen anhand vorhandener Literatur zu recherchieren. Im vorliegenden Bericht nimmt dieser Aspekt eine untergeordnete Rolle ein. Das Screening verweist jedoch auf den Umstand, dass thermische Belastung nur einen unter mehreren klimawandelbeeinflussten Belastungsfaktoren darstellt. Multigefahren und daraus resultierende Belastungen können die Verwundbarkeit der Gesellschaft und spezifischer Zielgruppen erhöhen.
2. **Gesamtstädtische Hitzebelastung in der Stadt Reutlingen – Status-quo-Darstellung der bioklimatischen Belastung auf Grundlage stadtklimatischer Analysen:** Im Rahmen dieses Arbeitsschritts wurden die Informationen der Klimaanalyse des Ingenieurbüros Dr. Dröscher für die Vulnerabilitätsanalyse ausgewertet (Dröscher 2017). Die Angaben zum aktuellen Stadtklima dienten dabei zur Ermittlung der verfügbaren Parameter als Indikatoren für die thermische Belastung. Szenarien zur Entwicklung des Klimas waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Daher erfolgte eine Abschätzung der zukünftigen thermischen Belastung anhand von Daten aus der Literatur. Es konnte jedoch keine räumliche Differenzierung der Informationen für die Stadt Reutlingen erfolgen.
3. **Konzeption einer Vulnerabilitätsanalyse „Hitzestress und menschliche Gesundheit“ anhand physischer, humanmedizinischer und sozio-ökologischer Faktoren:** Ziele dieses Arbeitsschritts waren die Entwicklung eines Vulnerabilitätsmodells und die Ableitung von Indikatoren für die einzelnen Parameter Klimasignal/Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität (vgl. u.a. Minnich 2010). Die Operationalisierung der Indikatoren erfolgte mithilfe von Daten
  - der Stadtentwicklung bzw. Bauleitplanung (Stadtplanungsamt),
  - zu den Schutzgütern (Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt) sowie
  - zu sozioökonomischen Faktoren (Sozialämter, Statistische Ämter, Stadt Reutlingen, Landratsamt Reutlingen).

Dabei ging es zunächst um die Entwicklung eines übertragbaren Konzepts mit Minimal- und Maximalanforderungen. Die Verfügbarkeit von relevanten Informationen, insbesondere für eine räumliche Bestimmung der Vulnerabilität, hängt entscheidend von den Ressourcen und Kompetenzen des Planungsträgers sowie den datenschutzrechtlichen Anforderungen ab. Der entwickelte Ansatz der Vulnerabilitätsanalyse trägt den zur Verfügung stehenden Ressourcen Rechnung und ist gleichzeitig offen für Erweiterungen. Mindestanforderungen und weitergehende Anforderungen zur Bestimmung der Vulnerabilitätsparameter bieten dabei die Möglichkeit für eine ressourcenorientierte Anwendung in unterschiedlichen Kommunen. Darauf aufbauend wurde ein für die Stadt Reutlingen passendes Konzept entwickelt. Hierzu wurden die in Reutlingen verfügbaren Daten für die Vulnerabilitätsanalyse operationalisiert. Die Ermittlung der Indikatoren erfolgte getrennt für die Parameter Klimasignal, Sensitivität, Klimawirkungen und Anpassungskapazität.

4. **Durchführung der Vulnerabilitätsanalyse:** In diesem Arbeitsschritt erfolgt die Umsetzung des Konzepts der Vulnerabilitätsanalyse. Dabei wurde zunächst die Vulnerabilität gegenüber Hitzestress unter Status-quo-Bedingungen erfasst, gemäß den Bewertungsvorschriften der Vulnerabilitätskonzeption verarbeitet und über ein Geographisches Informationssystem (GIS) verräumlicht. Zur Einschätzung der zukünftigen thermischen Belastung wurden Trendaussagen für die Stadt Reutlingen formuliert. Hinsichtlich des demografischen Wandels und des Landnutzungswandels wurden sowohl Bevölkerungsprognosedaten ausgewertet als auch konkrete Entwicklungsabsichten der Stadtentwicklung aus avisierten Planverfahren sowie aus dem FNP-Vorentwurf der Stadt abgeleitet.
5. **Schwerpunkt thermische Belastung in Innenräumen:** Die bioklimatische Belastung ist nicht nur für den Außenbereich, sondern auch im Innenbereich von Gebäuden und innerhalb einzelner Wohnungen eine wichtige Größe. In diesem Arbeitsschritt wird daher die thermische Belastung von Innenräumen für die Ist-Situation in der Stadt Reutlingen über eine Modellierung ermittelt. Die Simulation wurde exemplarisch für typische Wohn- und Bürogebäude sowie Senioren- bzw. Pflegeheime in unterschiedlich wärmebelasteten Lagen im Stadtgebiet durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Verortung der Wohngebäudesimulation für das Stadtgebiet mithilfe weiterer Grundlagendaten und die Verarbeitung über ein GIS, was eine Verräumlichung der Innenraumsimulation im Stadtgebiet ermöglicht.
6. **Befragung zur thermischen Belastung in Altenheimen und Altenpflegeeinrichtungen:** Bei der thermischen Belastung spielen unterschiedliche Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. Ein Großteil der Menschen über 65 Jahre lebt zu Hause in der eigenen Wohnung, alleine oder im Haushalt mit anderen Mitbewohnern. Teilweise wird diese Personengruppe ambulant durch Pflegedienste versorgt. Ein weiterer Teil lebt in Altenheimen oder Altenpflegeeinrichtungen. Während bei der Befragung der Träger sowohl bauliche und verhaltensbezogene Maßnahmen als auch organisatorische Aspekte wie die Nutzung von Hitzewarndiensten sowie Planungsabsichten im Vordergrund standen, zielte die Befragung der Bewohner vor allem auf die psychosozialen Aspekte des Hitzeempfindens und der Hitzebewältigung. Dabei sollte die Wahrnehmung und Bewertung der thermischen Belastung und den Umgang mit Hitzestress erkundet werden. Die Befragung hatte dabei weniger einen repräsentativen als vielmehr einen exemplarischen Charakter, um die jeweiligen Rahmenbedingungen zu veranschaulichen und Handlungsbedarfe zu erkunden. Die Befragung erfolgte in Form von Interviews (Bewohner von Altenpflegeeinrichtungen, Gesundheitsamt) oder auf schriftlicher Basis (Träger der Altenpflegeeinrichtungen).

Das Projekt wurde durch einen Projektbeirat fachlich begleitet. Als externe Beiratsmitglieder waren vertreten: Prof. Dr. Jürgen Baumüller (Honorarprofessor für Klimatologie am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie an der Universität Stuttgart), Prof. Dr. Eckhard Hammer (Professor für Soziale Gerontologie, Sozialmanagement & Beratung und Erwachsenenbildung an der Evangelischen Hochschule Ludwigsburg) und Dr. Ellinor von der Forst (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg). Seitens der Stadt Reutlingen begleiteten Reinhard Braxmaier, Kathrin Reichenecker und Barbara Fischer das Gremium.

# 3 Übersicht zu den Klimafolgen in der Stadt Reutlingen

Die Klimasignale sowie die Auswirkungen des erwarteten Klimawandels auf einzelne Schutzgüter in der Stadt Reutlingen wurden mittels einer Literatur- und Internetrecherche in einem Screening zusammengestellt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Betrachtung der steigenden thermischen Belastung. Die Ergebnisse sind hier in einer Übersicht zusammengefasst.

## 3.1 KLIMASIGNALE

Zur Beschreibung der Klimasignale, deren Veränderungen sowie der räumlich differenzierten Folgewirkungen standen aktuelle Datengrundlagen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), des Deutschen Wetterdienstes (DWD 12.09.2017) sowie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) e.V. zur Verfügung. Daneben existieren weitere Studien und Gutachten, welche die Zusammenhänge zwischen Hitzestress und menschlicher Gesundheit thematisieren. Auch hier bietet das Internetportal der LUBW aktuelle vertiefende Grundlagen als Informationsquelle an.

In einem ersten Analyseschritt wurden die Daten der LUBW zu relevanten Klimasignalen und deren zukünftig zu erwartenden Veränderungen für die Stadt Reutlingen ausgewertet. Die Betrachtung erfolgte auf Basis der von der LUBW für Baden-Württemberg modellierten Klimaszenarien (LUBW 15.06.2018). In die Berechnungen der LUBW floss ein Ensemble aus 29 Klimaprojektionen ein; im Ergebnis liegen Karten zu 28 Klimaparametern in einem 25 km x 25 km-Raster vor. Betrachtet wurden der Status quo (1971–2000) sowie jeweils drei Szenarien für die nahe (2021–2050) und ferne Zukunft (2071–2100) für das 15., 50. und 85. Perzentil. Die Perzentil-Darstellungen fußten auf 24 Klimaprojektionen für die nahe und 15 Klimaprojektionen für die ferne Zukunft.

Für das Screening der Klimafolgen für einzelne Schutzgüter in Reutlingen wurden 18 ausgewählte und mit der LUBW abgestimmte Klimasignale für Reutlingen analysiert. Dabei lag der Fokus auf dem 15. und 85. Perzentil, um die Spannbreite der zukünftigen Entwicklungen aufzuzeigen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurde die Gemarkungsgrenze der Stadt Reutlingen auf die Karten der LUBW projiziert.

Um die Klimaveränderungen für Reutlingen konkreter abschätzen zu können, extrahierte die LUBW spezifische Eingangswerte und Modellierungsergebnisse für die jeweiligen Klimasignale und stellte sie zur Verfügung. Dabei liegt Reutlingen inmitten des verwendeten Datenpunkts im 25 km x 25 km-Raster, sodass die Werte jeweils für das gesamte Stadtgebiet gelten. Die Eingangsdaten für den Referenzzeitraum (1971–2000) werden bei den Modellierungen bereits nach Perzentilen differenziert.

In einem zweiten Schritt wurden die Aussagen der LUBW mit dem auf der Website KlimafolgenOnline (PIK 25.07.2018) veröffentlichten Kartenwerk zum neueren RCP-Szenario 8.5 verglichen. Auf Basis des regionalen Klimamodells Statistical Analog Resampling Scheme, kurz STARS, liefert dieses Gemeinschaftsprodukt des PIK und der WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH Modellrechnungen, welche die Treiber anthropogener Treibhausgasemissionen abbilden und in Szenarien zukünftiger Emissionen an Treibhausgasen und daraus resultierender Strahlungsantriebe umsetzen. Ziel dieses zweiten Schritts war es,

die auf Grundlage älterer SRES-Szenarien erstellten Kartenwerke der LUBW vor dem Hintergrund neuerer Klimamodellierungen zu ergänzen. Dies war jedoch nicht für alle Indikatoren möglich. Insgesamt wurden zur Analyse der Klimawandelbetroffenheit der Stadt Reutlingen folgende Klimasignale betrachtet:

- Jahresmitteltemperatur
- Heizgradtage
- Frosttage, Eistage, Kühlgradtage
- Sommertage, Tropentage, Tropennächte
- Hitzeperiode
- Vegetationsbeginn, Vegetationsperiode
- Niederschlag: Jahresniederschlagssummen sowie Niederschlag nach hydrologischen Jahreszeiten
- Starkniederschlag: Tage mit Starkniederschlag und Niederschlagsmengen aus Starkniederschlag
- Trockenheit: Tage ohne Niederschlag und Trockenperioden
- klimatische Wasserbilanz

Die erwarteten Änderungen der oben genannten Klimasignale in Reutlingen wurden im Bericht zum Klimascreeing vom 14. September 2018 ausführlich dargelegt. Im Folgenden werden die Erläuterungen aus dem Klimascreeing für einzelne, für die thermische Belastung besonders relevante Klimasignale wiedergegeben.

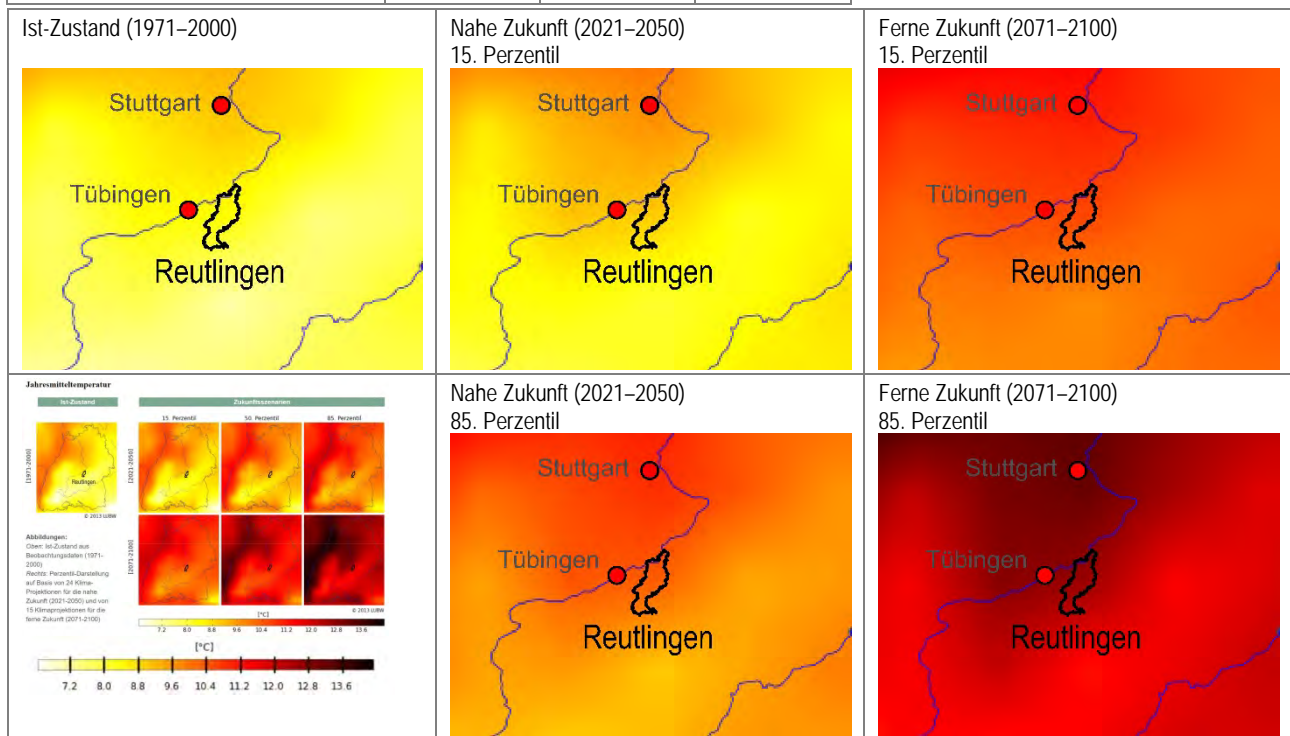
### 3.1.1 JAHRESMITTELTEMPERATUR

Als Jahresmitteltemperatur wird das Jahresmittel der Lufttemperatur bezeichnet. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der zwölf Monatsmittel; die Mitteltemperatur wird in Grad Celsius angegeben (PIK 25.07.2018). In der Referenzperiode (1971–2000) lagen die jährlichen Mitteltemperaturen in Reutlingen zwischen 7,8°C und 8,8°C (LUBW 15.06.2018). Laut KlimafolgenOnline (PIK 25.07.2018) betrug die Mitteltemperatur im Zeitraum 1981–2010 in Reutlingen 7,4°C und lag damit um 1,8°C unter dem Bundesdurchschnitt von 9,2°C. 2017 lag die Jahresmitteltemperatur in Deutschland laut Umweltbundesamt (UBA 26.07.2018) bei 9,6°C.

Die Modellierungen der LUBW legen für ganz Baden-Württemberg einen kontinuierlichen Temperaturanstieg bis in die ferne Zukunft nahe. Dabei ist zu erwarten, dass die ohnehin bereits wärmeren Lagen, insbesondere die Region Stuttgart und der Kraichgau, auch weiterhin höhere Temperaturen verzeichnen werden. In den kühleren Lagen Baden-Württembergs, vor allem im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb, muss ebenfalls mit einem Anstieg der Jahresmitteltemperaturen gerechnet werden, wenngleich die Werte hier auch weiterhin unter dem Landesdurchschnitt liegen werden.

Die Modellierungen der LUBW zeigen für die Stadt Reutlingen bis in die ferne Zukunft einen kontinuierlichen Anstieg der Jahresmitteltemperaturen: Für das 15. Perzentil wird ein Anstieg von 7,8°C auf 9°C bzw. 10,6°C, für das 85. Perzentil von 8,8°C auf 10,4°C bzw. 12,6°C vorausgesagt. Damit gehen die Modellierungen davon aus, dass sich bis zum Ende des Jahrhunderts die Jahresmitteltemperatur in Reutlingen um rund 3°C bis 4°C erwärmen wird. Auch das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018) legt einen stetigen Anstieg der Jahresmitteltemperaturen im Landkreis Reutlingen nahe: von 7,1°C in der Referenzperiode (1971–2000) auf 8,6°C bzw. 10,9°C (Perioden 2021–2050 bzw. 2071–2100).

Jahresmitteltemperatur [°C]	1971–2000	2021–2050	2071–2100
15. Perzentil	7,8	9	10,6
85. Perzentil	8,8	10,4	12,6



**Abbildung 3.1** Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)

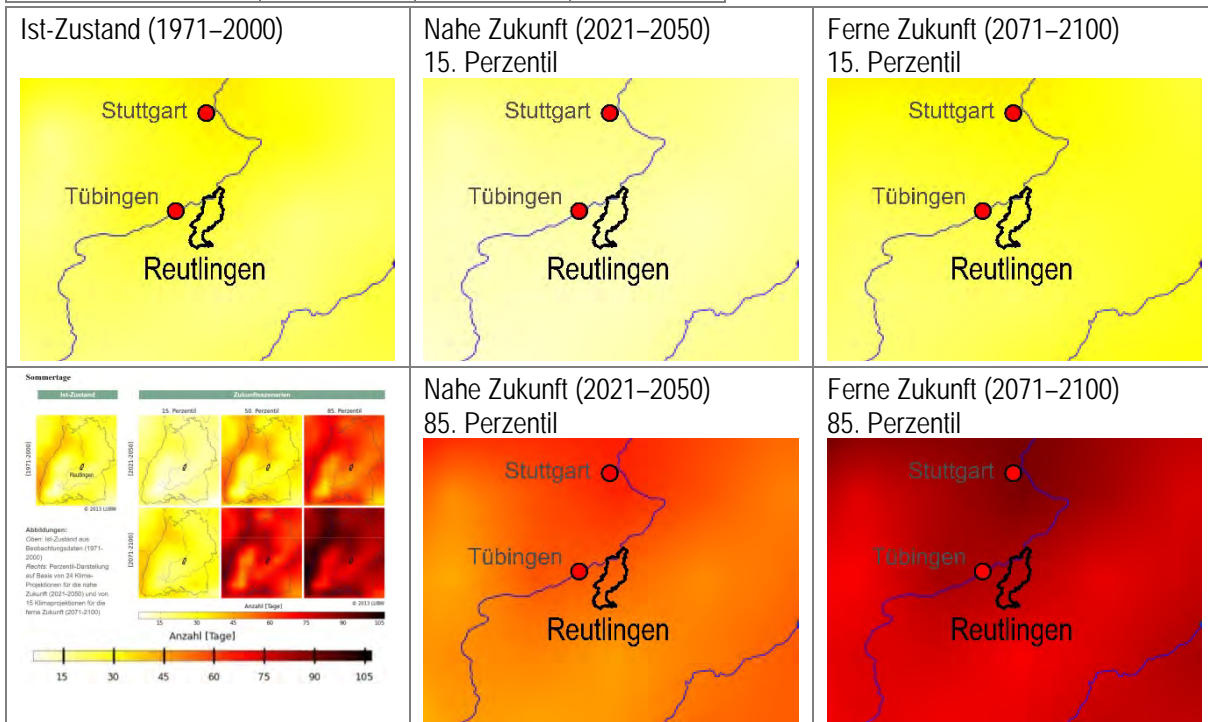
### 3.1.2 SOMMERTAGE

Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur mindestens 25°C beträgt (DWD 25.07.2018). Für Baden-Württemberg lassen die Modellierungen der LUBW flächendeckend einen erheblichen Anstieg der Anzahl an Sommertagen erwarten. Von besonders hohen Werten sind dabei die Rheinebene, der Kraichgau sowie die Tallagen um Stuttgart betroffen. Vergleichsweise wenige Sommertage treten in den Höhenlagen des Schwarzwalds und der Schwäbischen Alb auf (LUBW 15.06.2018).

In der Stadt Reutlingen wurden im Referenzzeitraum (1971–2000) zwischen 11,4 Sommertage (15. Perzentil) und 41,6 Sommertage (85. Perzentil) verzeichnet. Der erwartete Anstieg der Jahresmitteltemperatur lässt auch auf einen Anstieg der Sommertage schließen: Für die nahe Zukunft (2021–2050) zeigen die Berechnungen eine Erhöhung auf 16 bzw. 55 Tage, für die ferne Zukunft (2071–2100) auf 26 bzw. 81 Tage (jeweils 15. bzw. 85. Perzentil, Werte gerundet, LUBW 15.06.2018). Bis zum Ende des Jahrhunderts muss folglich mit einer Verdopplung der Anzahl an Sommertagen in Reutlingen gerechnet werden.

Diese Aussage stützt auch das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018), das für den Landkreis Reutlingen für die benannten Vergleichszeiträume einen Anstieg von 18,5 auf 32,7 Sommertage zur Mitte des Jahrhunderts bis auf 58,4 Sommertage zum Ende des Jahrhunderts nahelegt. Wenn auch mit vergleichsweise geringeren Werten – hier fallen die Kommunen auf der Albhochfläche ins Gewicht – ist hier von einer Verdreifachung der Anzahl an Sommertagen auszugehen.

Anzahl Sommertage	1971–2000	2021–2050	2071–2100
15. Perzentil	11,4	15,7	25,8
85. Perzentil	41,6	55,3	81



**Abbildung 3.2: Entwicklung der Sommertage in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)**

### 3.1.3 TROPENNÄCHTE

In einer Tropennacht beträgt das Temperaturminimum 20°C (DWD 25.07.2018). Tropennächte treten in der Regel im Zuge von länger anhaltenden Hitzewellen auf, die dazu führen, dass sich die Temperaturen auch nachts nicht mehr absenken. Die Stadt Reutlingen war bislang – anders als beispielsweise die Stadt Stuttgart, in der 2017 an der Messstation Schwabenzentrum zehn Tropennächte verzeichnet worden waren (Amt für Umweltschutz Stuttgart 05.11.2019) – vergleichsweise selten von Tropennächten betroffen: Im Referenzzeitraum 1971–2000 wurden bis zu 3,6 Nächte verzeichnet. Während sich wie bei den Tropentagen für die nahe und ferne Zukunft im 15. Perzentil lediglich geringfügige Veränderungen zum Referenzzeitraum ergeben, muss beim 85. Perzentil mit bis zu 8,6 Tropennächten (nahe Zukunft) bzw. 21,6 Tropennächten bis zum Ende des Jahrhunderts gerechnet werden. KlimafolgenOnline (PIK 25.07.2018) liefert zu Tropennächten bislang keine Berechnungen.

Anzahl Tropennächte	1971–2000	2021–2050	2071–2100
15. Perzentil	0	0,1	1
85. Perzentil	3,6	8,6	21,6



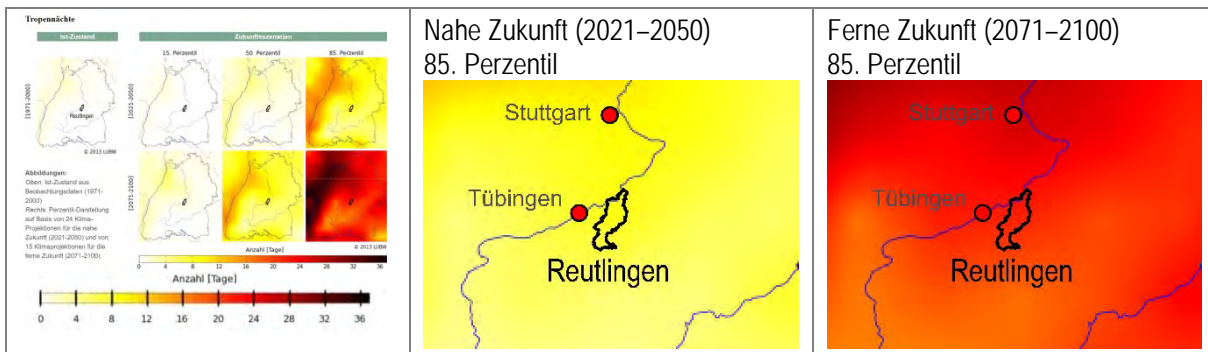


Abbildung 3.3: Entwicklung der Tropennächte in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)

### 3.1.4 HITZEPERIODE

Für den Begriff der Hitzeperiode gibt es keine allgemeingültige Definition. Die LUBW definiert eine Hitzeperiode „als mindestens drei zusammenhängende Tage mit einer Tagesmaximum-Temperatur von mindestens 30°C und einer Tagesminimum-Temperatur von mindestens 18°C“ (LUBW 26.09.2019). Für Baden-Württemberg wird flächendeckend erwartet, dass Hitzeperioden zukünftig häufiger auftreten werden – gerade entlang des Rheins, im Kraichgau und im Raum Stuttgart (LUBW 15.06.2018). Auch für Reutlingen legen die Projektionen nahe, dass die Häufigkeit von Hitzeperioden zunehmen wird: Im 15. Perzentil gehen die Berechnungen von einem Anstieg von 0,5 Hitzeperioden (Referenzzeitraum) auf 1,6 Hitzeperioden (ferne Zukunft) aus; dies bedeutet im Vergleich zum Status quo eine Verdreifachung. Betrachtet man das 85. Perzentil, entwickelt sich die Häufigkeit von Hitzeperioden in Reutlingen bis zum Ende des Jahrhunderts von 2,1 (Status quo) auf 4,7. Das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018) zeigt Berechnungen für die „Andauer heißer Tage“ als „längste Periode aufeinanderfolgender Tage, an denen das Maximum der Lufttemperatur mehr als 30°C beträgt“ (PIK 25.07.2018). Für Reutlingen bedeutet das Szenario einen Anstieg der Andauer heißer Tage von 0,8 (1971–2000) auf 1,0 (2021–2050) bzw. 2,0 (2071–2100).

Hitzeperioden	1971–2000	2021–2050	2071–2100
15. Perzentil	0,5	1,1	1,6
85. Perzentil	2,1	3,2	4,7

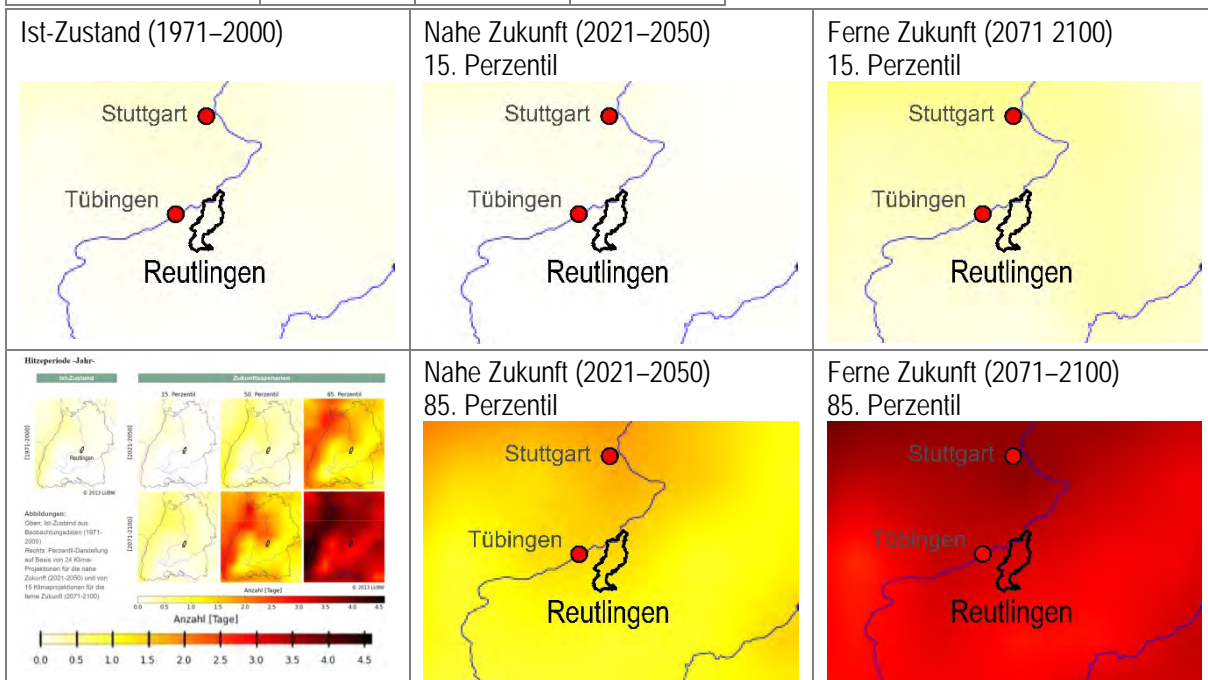


Abbildung 3.4: Entwicklung von Hitzeperioden in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)



### 3.1.5 VEGETATIONSPERIODE

Die Vegetationsperiode beschreibt den Zeitraum eines Jahres, „in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind, d. h. wachsen, blühen und fruchten. Als Beginn der Wachstumszeit wird im Allgemeinen der Abschnitt des Jahres definiert, in dem das Tagesmittel der Lufttemperatur mindestens 5° Celsius (für verschiedene Pflanzen auch 10°C) beträgt“ (LUBW 26.09.2019).

Die Modellierungen der LUBW lassen für Baden-Württemberg insgesamt eine eher moderate Verlängerung der Vegetationsperiode um nur wenige Tage erwarten. Auch für Reutlingen zeigen sich lediglich moderate Anstiege: Beim 15. Perzentil ist zunächst von einer Verlängerung der Vegetationsperiode bis zur Mitte des Jahrhunderts auszugehen (173,3 Tage); in der fernen Zukunft gleicht sich die Dauer dem Status quo wieder nahezu an (170,5 Tage). Das 85. Perzentil geht von einer konstanten, aber sehr moderaten Verlängerung der Vegetationsperiode aus – bis zum Ende des Jahrhunderts um 3,6 Tage (LUBW 15.06.2018). Das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018) liefert derzeit keine Angaben zur Vegetationsperiode.

Vegetationsperiode [Anzahl Tage]	1971–2000	2021–2050	2071–2100
15. Perzentil	170,1	173,3	170,5
85. Perzentil	177,8	179,5	181,4

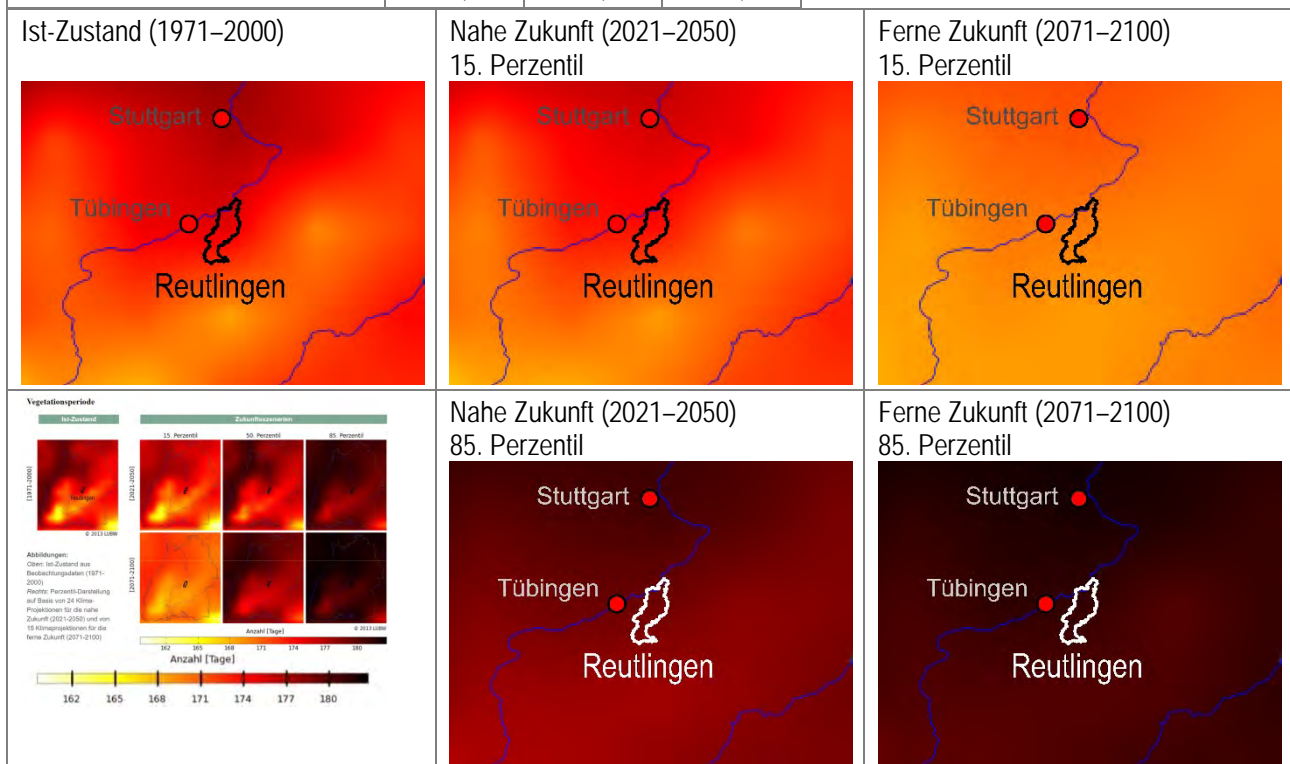


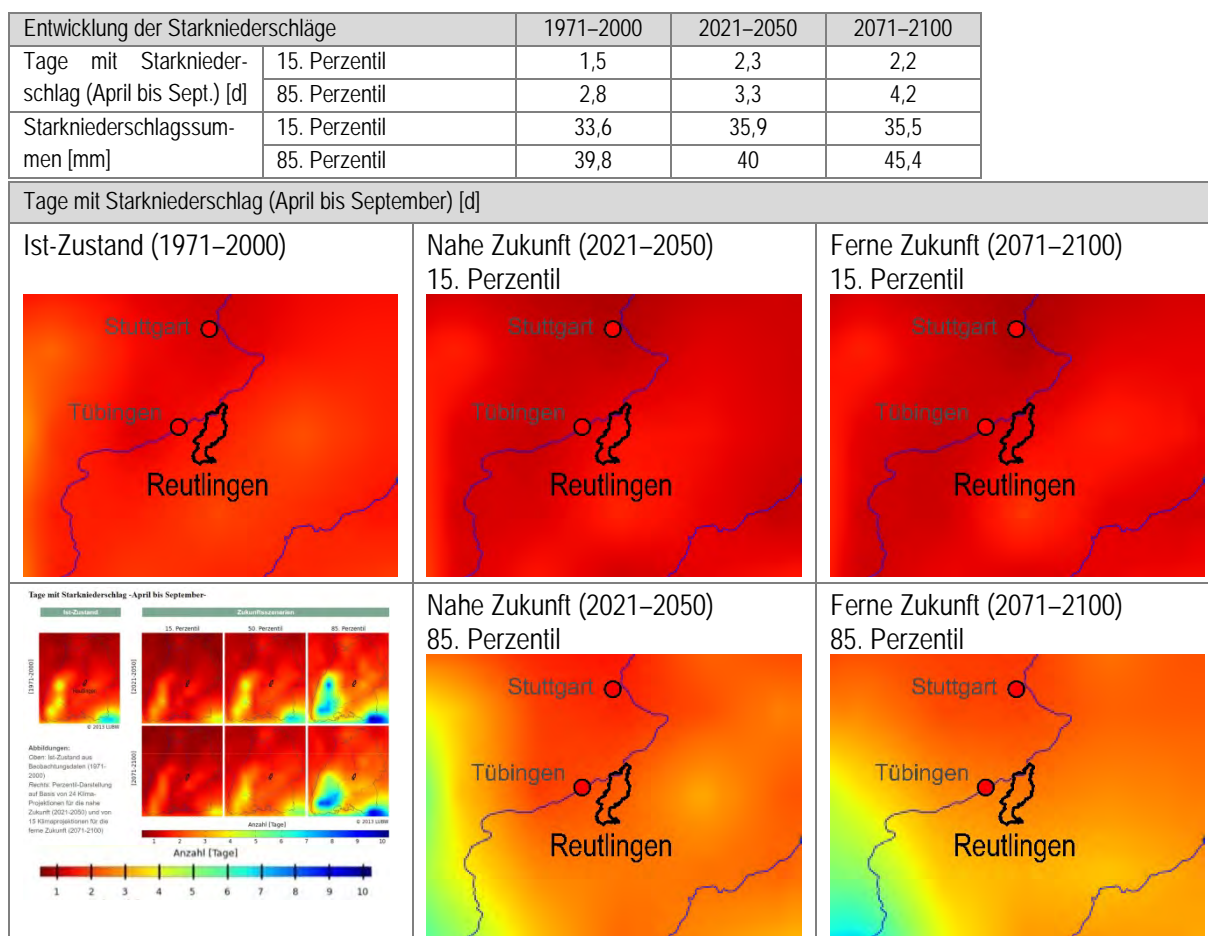
Abbildung 3.5: Entwicklung von Vegetationsperioden in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)

### 3.1.6 STARKNIEDERSCHLAG: TAGE MIT STARKNIEDERSCHLAG UND NIEDERSCHLAGSMENGEN AUS STARKNIEDERSCHLAG

Starkniederschlag bedeutet, dass große Niederschlagsmengen in einer bestimmten Zeiteinheit fallen. Der DWD warnt lokal vor Starkregen, wenn die gemessenen Regenfälle die Schwellenwerte von 15 l/m<sup>2</sup> bis 25 l/m<sup>2</sup> in einer Stunde oder 20 l/m<sup>2</sup> bis 35 l/m<sup>2</sup> in sechs Stunden überschreiten (DWD 25.07.2018). Bei den Modellierungen der LUBW werden die Tage mit Starkniederschlag in den wärmeren Monaten April bis September erfasst; Starkniederschlagsereignisse in den niederschlagsreichen Wintermonaten gehen somit nicht in die Betrachtung ein. Die Kartenwerke der LUBW zeigen, dass Reutlingen – wie weite Teile des Landesgebiets – im Referenzzeitraum (1971–2000) in den Monaten April bis September eher selten von Starkregenereignissen

betroffen war; im südlichen Schwarzwald und den Ausläufern des Allgäus am Bodensee wurden teils deutlich häufiger Starkregenereignisse erfasst. Die Modellierungen für die nahe und ferne Zukunft verdeutlichen, dass sich gerade diese Regionen auf eine Zunahme dieser Extremereignisse einstellen müssen, während für Reutlingen nur moderate Zuwächse erwartet werden: Beim 15. Perzentil ergibt sich bis zum Ende des Jahrhunderts ein Anstieg von 1,5 Tagen auf 2,2 Tage, beim 85. Perzentil von 2,8 Tagen auf 4,2 Tage. Auch die Summe der im Zuge dieser Extremereignisse gefallenen Niederschläge folgt diesen Entwicklungen: Die Niederschlagsmenge steigt in den benannten Zeiträumen beim 15. Perzentil zunächst von 33,6 mm auf 35,9 mm und sinkt dann wieder auf 35,5 mm. Beim 85. Perzentil zeigt sich ein sehr moderater Anstieg von 39,8 mm auf 40 mm und weiter auf 45,4 mm (LUBW 15.06.2018).

Das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018) stellt für Baden-Württemberg im Status quo eine vergleichbare räumliche Verteilung der Starkniederschlagsereignisse dar, wobei die erfassten Werte deutlich über denen der LUBW liegen. Dies liegt insbesondere darin begründet, dass hier die Tage mit Starkregenereignissen im gesamten Kalenderjahr betrachtet werden. Für Reutlingen ergeben sich aus dem RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme) kaum Veränderungen in der Starkniederschlagsgefährdung: Von 27,1 Tagen mit Starkniederschlag in der Referenzperiode (1971–2000) legen die Berechnungen zunächst einen Anstieg auf 27,4 Tage (2021–2050) und bis zum Ende des Jahrhunderts (Periode 2071–2100) einen Rückgang auf 26 Tage nahe. Eine differenzierte Betrachtung für die wärmeren Monate oder die Summe an Starkniederschlägen erfolgt an dieser Stelle nicht.



**Abbildung 3.6: Entwicklung der Starkniederschläge in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)**

### 3.1.7 TROCKENHEIT: TAGE OHNE NIEDERSCHLAG UND TROCKENPERIODEN

Die Modellierung der LUBW zu den Tagen ohne Niederschlag verdeutlichen, dass Reutlingen – wie weite Teile des Bundeslands – im Landesdurchschnitt liegt (LUBW 15.06.2018). Die niederschlagsreichen Regionen Schwarzwald und Allgäu weisen hingegen deutlich weniger, die Hohenloher Ebene oder der Kraichgau demgegenüber deutlich mehr Tage ohne Niederschlag auf. Für Reutlingen ist nach den Berechnungen der LUBW davon auszugehen, dass sich die Tage ohne Niederschlag gerade in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts reduzieren werden: Während sich in der nahen Zukunft sowohl beim 15. als auch beim 85. Perzentil zunächst nahezu keine Veränderungen zum Status quo ergeben werden (Reduzierung von 159,9 Tagen um 0,1 auf 159,8 Tage beim 15. Perzentil, Erhöhung von 234 Tagen um 1,7 auf 235,7 Tage beim 85. Perzentil), werden die Tage ohne Niederschlag bis zum Ende des Jahrhunderts auf 157,7 Tage (15. Perzentil) bzw. beim 85. Perzentil um gut 10 % (24,5 Tage) auf 209,5 Tage ohne Niederschlag sinken. (LUBW 15.06.2018)

Die LUBW stellt darüber hinaus Berechnungen zur Entwicklung der Anzahl an Trockenperioden an. Als Trockenperiode definiert die LUBW „zusammenhängende Zeiträume [...], bei denen pro Tag unter 1 mm Niederschlag fällt“ (LUBW 26.09.2019). Die Modellierungen stellen zu diesem Parameter nahezu keine Veränderungen dar – bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die Anzahl der Trockenperioden beim 15. Perzentil um 0,1 auf 1,3 Tage, beim 85. Perzentil um 0,3 auf 3,3 Tage (LUBW 15.06.2018).

Das RCP-Szenario 8.5 (mittlere Temperaturzunahme, PIK 25.07.2018) weicht in seinen Aussagen in Bezug auf die Tage ohne Niederschlag deutlich ab und geht – einhergehend mit einem erwarteten Niederschlagsrückgang (s. o.) – von zukünftig deutlich mehr Tagen ohne Niederschlag aus. Verglichen mit 175,1 Tagen ohne Niederschlag in der Referenzperiode (1971–2000) gehen die Modellierungen von einem Anstieg auf 189,3 Tage (Periode 2021–2050) bzw. 202,9 Tage (Periode 2071–2100) aus. Die Andauer von Tagen ohne Niederschlag sinkt zunächst von 14,9 (1971–2000) auf 13,0 (2021–2050) und steigt zum Ende des Jahrhunderts wieder auf 14,0 (2071–2100).

Entwicklung der Tage ohne Niederschlag und der Trockenperioden		1971–2000	2021–2050	2071–2100
Tage ohne Niederschlag [d]	15. Perzentil	159,9	159,8	157,7
	85. Perzentil	234	235,7	209,5
Anzahl Trockenperioden	15. Perzentil	1,4	1,3	1,3
	85. Perzentil	3,6	4	3,3

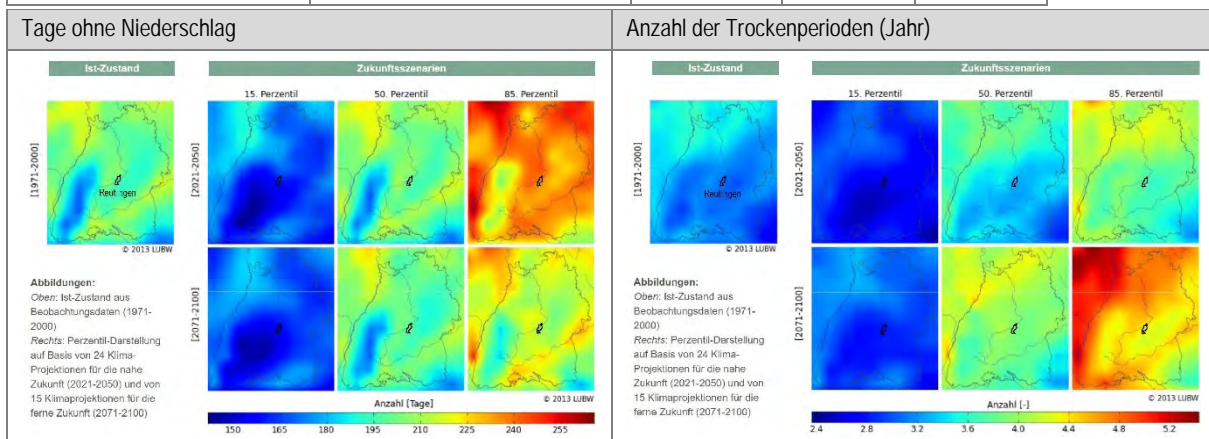


Abbildung 3.7: Entwicklung der Tage ohne Niederschlag in Reutlingen (Quelle: LUBW 15.06.2018)

### 3.1.8 FAZIT ZU KLIMASIGNALLEN

Im Ergebnis bestätigt das Klimascreening für das Themenfeld Hitzestress und menschliche Gesundheit (Sommertage, Heiße Tage, Tropennächte, Hitzeperiode) die erwarteten erheblichen Veränderungen für die nahe Zukunft bis 2050 und die ferne Zukunft bis 2100.

Die Klimamodellierungen der LUBW wie auch des PIK lassen für die Stadt Reutlingen auf einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperaturen schließen. Damit verbinden sich ein teils signifikanter Rückgang an Frost- und Eistagen wie auch ein Anstieg an Sommertagen sowie insbesondere an Tropentagen und Tropennächten. Das Klimascreening bestätigt somit die Notwendigkeit, sich nicht zuletzt vor dem Hintergrund der topografischen und baulichen Situation Reutlingens mit der zunehmenden Hitzebelastung in der Stadt auseinanderzusetzen und Strategien zum Thema Hitzestress und menschliche Gesundheit zu entwickeln.

In Bezug auf das Thema Niederschläge ist tendenziell eher von einem Rückgang auszugehen: Während die Modellierungen der LUBW einen Korridor zwischen eher gleichbleibendem bzw. leicht ansteigendem Niederschlag (15. Perzentil) und deutlicher Niederschlagserrhöhung (85. Perzentil) aufspannen, legt das neuere RCP-Szenario 8.5 für den Landkreis Reutlingen einen moderaten Rückgang der jährlichen Niederschlagssummen nahe und bleibt damit noch unter dem 15. Perzentil der LUBW-Modellierung. Verbunden mit der erwarteten Klimaerwärmung sind damit teils deutliche Verluste in der klimatischen Wasserbilanz zu erwarten.

## 3.2 KLIMAFOLGEN

Die Folgen des Klimawandels für Reutlingen und damit der steigenden thermischen Belastung werden anhand des Monitoringberichts zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg der LUBW (UM/LUBW 2017) beschrieben. Dazu wurden die Indikator-Factsheets (UM 2015) zu 43 abgestimmten Indikatoren in den neun Handlungsfeldern (siehe Tabelle 3.1) der Anpassungsstrategie des Landes in tabellarischer Form ausgewertet.

Handlungsfeld und Indikator		Relevanz für Reutlingen:	■ relevant
<b>Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft</b>			
I-FW-1	Gefährdete Fichtenbestände		■
I-FW-2	Holzzuwachs		■
I-FW-3	Schadholzaufkommen nach Schadensursachen		■
I-FW-4	Befall durch Borkenkäfer		■
I-FW-5	Waldbrandgefährdung und Waldbrand		■
R-FW-1	Mischbestände		■
R-FW-2	Förderung und Finanzierung des Waldumbaus		■
R-FW-3	Anpassungsspezifische Aus- und Fortbildung		■
R-FW-4	Zweckgebundene Rücklagen zum Risikomanagement		■
<b>Handlungsfeld Landwirtschaft</b>			
I-LW-1	Blüte von Winterraps		■
I-LW-2	Ertragsschwankungen		■
I-LW-3	Qualität von Ernteprodukten		■
I-LW-4	Schaderregerbefall		■
R-LW-1	Anbau wärmeliebender Ackerkulturen		■
R-LW-2	Anbau wärmeliebender Sorten		■
<b>Handlungsfeld Boden</b>			
I-BO-1	Bodenwasservorrat		■
I-BO-2	Regenwurmfauna		■
<b>Handlungsfeld Naturschutz und Biodiversität</b>			
I-NA-1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten		■

Handlungsfeld und Indikator		Relevanz für Reutlingen:	■ relevant
I-NA-2	Ausbreitung wärmeliebender Insektenarten		■
I-NA-3	Flechten als Klimawandelindikatoren		■
<b>Handlungsfeld Wasserhaushalt</b>			
I-WH-1	Grundwasserstand und Quellschüttung		■
I-WH-2	Hochwasser		■
I-WH-3	Niedrigwasser		■
I-WH-4	Sauerstoffgehalt im Bodensee		■
R-WH-1	Gewässerstruktur		■
R-WH-2	Investitionen in den Hochwasserschutz		■
<b>Handlungsfeld Tourismus</b>			
I-TO-1	Tage mit Touristenklima		■
I-TO-2	Saisonalität von Übernachtungen		■
I-TO-3	Schneedecke für den Wintersport		
I-TO-4	Übernachtungen in Wintersportorten		
<b>Handlungsfeld Gesundheit</b>			
I-GE-1	Hitzebelastung		■
I-GE-2*	Ambrosiavorkommen		■
I-GE-3	Überträger von Krankheitserregern		■
<b>Handlungsfeld Stadt- und Raumplanung</b>			
I-SR-1	Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel		■
I-SR-2	Elementarschäden an Gebäuden		■
I-SR-3	Wärmebelastung in Städten		■
I-SR-4	Kühlgradtage		■
R-SR-1	Anteil der Erholungsfläche an der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Großstädten		■
R-SR-2	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche		■
<b>Handlungsfeld Wirtschaft und Energiewirtschaft</b>			
I-WE-1	Schiffbarkeit von Binnenschiffahrtsstraßen		
I-WE-2	Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung		■
I-WE-3	Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung		■
R-WE-1	Wasserbedarf in der Wirtschaft		■

**Tabelle 3.1: Übersicht zu den Handlungsfeldern und Indikatoren für Klimafolgen**  
(Quelle: agl auf Basis des LUBW 24.09.2019)

Nahezu alle beschriebenen Klimafolgen sind auch für die Stadt Reutlingen relevant. Eine besondere Rolle spielen jedoch Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Stürme und Starkregenereignisse, da diese zu massiven Schäden führen. Ihr Auftreten ist ubiquitär und daher auch in Reutlingen möglich. Die Hagelschäden und das Starkregenereignis von 2013 belasteten den städtischen Haushalt mit über 16 Mio. Euro (Stadt Reutlingen, Bezugsdrucksache 13/005/53). Für die Versicherung war der Hagelsturm vom 27. und 28. Juli 2013 (mit Schäden in Baden-Württemberg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt) angesichts der versicherten Schäden das weltweit teuerste Ereignis im Jahr 2013 sowie das teuerste Schadensereignis bis dato in Deutschland (Münchener Rückversicherungsgesellschaft 2014).

# 4 Thermische Belastungen in der Stadt Reutlingen

Die Stadt Reutlingen (rund 115.000 Einwohner, 87 km<sup>2</sup> Größe) liegt am Fuß der Schwäbischen Alb. Die Lage ist durch den topografischen Übergang von der Schwäbischen Alb zum Neckartal geprägt. Lokalklimatisch für die Stadt wirksam ist der Höhenunterschied von etwa 580 m zwischen den Höhenzügen der Alb (Roßberg) und dem Neckartal. Mit 10,3°C liegt die Jahresmitteltemperatur (1995–2015) um 2,3°C über dem Temperaturmittel für Deutschland (Dröscher 2017). Auch im Vergleich zu den Klimastationen Stuttgart/Echterdingen und Metzingen besitzt Reutlingen eine höhere Durchschnittstemperatur, was mit einer Ausprägung der städtischen Wärmeinsel, aber auch mit der windgeschützten Lage der Messstation (Reutlingen Pomologie) begründet wird (Dröscher 2017).

Die gesamtstädtische Klimaanalyse (Dröscher 2017) bildet die wesentliche Grundlage zur Beurteilung der bioklimatischen Belastungssituation in der Stadt Reutlingen: Zur Erfassung der Hitzebelastung wurde eine Klimatopkarte nach VDI 3787 Blatt 1 erstellt, die im Wesentlichen auf Flächennutzungen gründet. Teilräumlich erfolgte für einige Bereiche der Innenstadt eine Berechnung des Predicted Mean Vote (PMV) mit ENVI-Met für die Zeitpunkte 16 Uhr und 22 Uhr eines Sommertags (25. Juni). Flächendeckende Aussagen lagen hierzu jedoch nicht vor. Zudem wurde mit KLAM 21 eine Modellierung der Kaltluftbildung und des Kaltluftabflusses vorgenommen. Aus diesen Informationen konnten eine Klimaanalysekarte und eine Planungshinweiskarte abgeleitet werden. Letztere beinhaltet auch Aussagen zur lufthygienischen Situation in Reutlingen.

Für die Vulnerabilitätsanalyse wurden diese Datengrundlagen zur Ermittlung der verfügbaren Parameter für die thermische Belastung im Status quo ausgewertet. Eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der thermischen Belastung konnte nur anhand von Daten aus der Literatur vorgenommen werden, da Szenarien zur Entwicklung des Klimawandels nicht Gegenstand der Klimaanalyse waren.

## 4.1 STATUS-QUO-DARSTELLUNG DER BIOKLIMATISCHEN BELASTUNG AUF GRUNDLAGE STADTKLIMATISCHER ANALYSEN

Für die Staus-quo-Darstellung der bioklimatischen Belastung wurden die Klimaanalyse und dabei insbesondere die Klimaanalysekarte sowie die Planungshinweiskarte hinsichtlich der für die Vulnerabilitätsanalyse relevanten Aussagen ausgewertet. Die Exposition der Bevölkerung gegenüber dem Klimasignal im Status quo kann – bezogen auf eine autochthone sommerliche Wetterlage – durch die Analyse abgebildet werden. Aufgrund der Pfortenlage ist die Kernstadt häufiger von überregionalen Luftbewegungen unbeeinflusst, sodass lokale Windsysteme eine vergleichsweise große Rolle spielen (Dröscher 2017): Die Dynamik des klimatischen Geschehens wird somit erheblich durch die Kaltluftbildung und den topografisch bedingten Kaltluftabfluss beeinflusst. Flächenhaft an den Hängen abfließende Kaltluft dringt dabei in Abhängigkeit von der Hangneigung und der Bebauungsdichte in den Siedlungskörper ein und erbringt in den Abendstunden sowie der ersten Nachthälfte einen Abkühlungseffekt der betroffenen Ortslagen. In der zweiten Nachthälfte (Maximum um 2 Uhr nachts) überlagert ein übergeordneter, mindestens 30 m bis 40 m mächtiger Kaltluftstrom von der Alb kommend das gesamte Stadtgebiet. Der erwärmte Siedlungskörper wird über Dachniveau überströmt, sodass hier an der Kontaktfläche ein Wärmeaustausch und damit eine langsame Abkühlung stattfinden.

Die bioklimatische Belastung – angezeigt durch den PMV-Wert – zeigt für die entsprechende Simulationsausschnitte im Stadtgebiet sehr kleinräumige Unterschiede und, entsprechend der Tag- bzw. Nachtsituation, große Unterschiede der Ausprägung des PMV-Werts auf. Auch die Oberflächentemperaturen ergeben ein ähnliches kleinräumiges Muster.

Bei der flächendeckenden Klimaanalysekarte nach VDI 3787 Blatt 1 wurden Klimatope ausgewiesen, welche die mikroklimatischen Ausprägungen in den nach Flächennutzungen abgegrenzten Einheiten zeigen und die durch Messungen validiert wurden. Neben den Freiflächenklimatopen wurden Siedlungsklimatope differenziert: das Vorstadt-, Stadtrand-, Stadt-, Innenstadt- sowie das Gewerbe- und Industrieklimatop. Zudem abgebildet ist das strömungsdynamische Geschehen mit Kaltluftabflüssen (Hangabwinde), Kaltluftströmen (Bergwind), Luftleitbahnen, Kaltluftproduktionsflächen und Kaltluftseen. Auch die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsbereiche (Hangabflüsse) ist dargestellt.

#### Auszug aus der gesamtstädtischen Klimaanalyse (Dröschner 2017:110 f.):

##### Kernstadt

Die Kernstadt von Reutlingen im Zentrum des Stadtgebietes ist von städtischen Klimatopen (Wohnen, Gewerbe, Industrie) geprägt. Je nach Belastung sind die einzelnen Bereiche der Stadt nach Vorstadt-Klimatop, Stadtrand-Klimatop, Stadt-Klimatop und Innenstadt-Klimatop ausdifferenziert.

Das Vorstadt-Klimatop findet sich insbesondere an den Hängen des Georgenberges des Scheibengipfels bzw. der Achalm, am südlichen Ortsrand von Betzingen Richtung Breitenbachtal sowie am Ortsrand von Sondelfingen Richtung Metzingen. In diesen Bereichen wirken sich die Gunst der Siedlungsrandlage mit der Nähe zu kalt- bzw. frischluftliefernden Bereichen sowie die lockere durchgrünte Siedlungsstruktur positiv auf den thermischen Tagesgang aus. In diesen Bereichen dringt zusätzlich Kaltluft in geringen Höhen teilweise mehrere 100 m in den Siedlungsraum ein. Ähnliches gilt für viele Teilbereiche der Stadtteile wie bspw. Gönningen, Bronnweiler und Orschel-Hagen. In ersteren wirkt sich die Höhenlage relativ zum übrigen Stadtgebiet zusätzlich positiv aus.

In den Wohngebieten Hohbuch, Lerchenbuckel und Ringelbach sind Stadtrand- bzw. Stadt-Klimatop-Signaturen vergeben. Hier wirken sich die dichtere Bebauung (Hohbuch, Schafstall) sowie die zunehmende Entfernung zum Siedlungsrand (Ringelbach mit zunehmender Innenstadtnähe) tendenziell negativ aus. Insbesondere im Bereich Lerchenbuckel ist keine zuströmende Kaltluft zu verzeichnen. Gleichwohl wirkt sich die Lage im Relief auf die Anströmbarkeit bei allochthonen, d.h. durch großräumige Luftdruckunterschiede geprägte, Wetterlagen positiv aus. Der Bereich der Gustav-Schwab-Straße kann bei Kaltluftabflüssen als Leitbahn für Kaltluftströme in Richtung Betzingen wirken. In ausgeprägten Kaltluftnächten sind dort ein Rückstau und die Bildung eines Kaltluftsees möglich.

Im Bereich Ringelbach/Katzensteg wirkt sich trotz der relativ dichten Bebauung die Siedlungsrandlage durch den Anschluss an Kaltluftliefergebiete wie Gaisbühl, Markwasen und Georgenberg positiv aus, so dass Kaltluft relativ weit in den Siedlungskörper eindringen kann.

Die höchsten thermischen und lufthygienischen Belastungen treten in der Innenstadt auf, weswegen der Bereich zwischen Betzenriedstraße und Karlstraße bzw. zwischen Lederstraße/Am Echazufer und Bismarckstraße dem Innenstadt-Klimatop zugeordnet ist. Hier wirken sich eine hohe Verkehrsbelastung, die dichte Bebauung, der z.T. sehr hohe Versiegelungsgrad, eine verhältnismäßig schlechte Durchlüftung, die Entfernung zu Bereichen mit Hangabwinden, das Fehlen unbelasteter Durchlüftungsbahnen und die allgemein ungünstige Tiefenlage im Relief negativ aus, so dass ein ausgeprägter Wärmeineffekt auftritt und erhebliche lufthygienische Belastungen auftreten können.

Auch wenn die Bebauung in den Innenstadtklimatopen im Wesentlichen von dem Kaltluftstrom aus dem Arbach- bzw. Echaztal nur überströmt wird, profitiert sie von dem - bei ausgeprägten Strahlungswetterlagen - ca. 1 - 3 Stunden nach Sonnenuntergang einsetzenden mächtigen Kaltluftstrom, der die städtische Bebauung überstreicht und durch vertikale Durchmischung in der bodennahen Reibungsschicht für Abkühlung sorgt. Bei mehreren Tagen andauernden austauscharmen Wetterlagen – wie z.B. im Spätwinter – kann der Effekt der vertikalen Durchmischung jedoch ausbleiben, so dass eine Anreicherung von Luftschadstoffen die Folge sein kann.

Dabei ist der Teilstrom aus dem Echaztal wegen talaufwärts liegender Siedlungs- und Verkehrsbereiche bereits lufthygienisch vorbelastet [...], verbessert jedoch aufgrund der Durchlüftung die Ausbreitungsbedingungen für bodennah emittierte Luftschadstoffe in der Innenstadt. Bei mehreren Tagen andauernden Hochdrucklagen im Winter ist diese Funktion jedoch stark eingeschränkt. Der Teilstrom aus dem Arbachtal kann dagegen als lufthygienisch und thermisch gering belastet gelten. Insgesamt ist der Kaltluftstrom aus dem Arbach- bzw. Echaztal für Klima und Lufthygiene in weiten Teilen der Kernstadt von Reutlingen von überragender Bedeutung und muss unbedingt erhalten bleiben. Beeinträchtigungen im Zu- und Abstrom sind zu vermeiden.

Die Belastung des Innenstadtraumes drückt sich in verhältnismäßig hohen Lufttemperaturen [...], sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten und einer außerordentlich hohen Schadstoffbelastung, wie an der LUBW-Station „Lederstraße“ am Rand des Klimatops

ersichtlich, aus. Der östliche Teil der Innenstadt (etwa ab der Bismarckstraße) profitiert den thermischen Ausgleich betreffend von der Nähe zu den Hängen des Scheibengipfels und der Achalm. Über entsprechend orientierte Straßenzüge (z.B. Burgstraße) oder Grünanlagen (z.B. Stadtpark und Planie) kann Kalt- bzw. Frischluft verhältnismäßig weit in den Siedlungsraum eindringen.

Nördlich der Bundesstraße B 28 schließen sich großflächig Industrie- bzw. Gewerbe-Klimatop an den Innenstadtbereich an (Voller Brunnen, In Laisen, Tübinger Straße). Hier bildet sich – wie auch im Innenstadt-Klimatop – ein ausgeprägter Wärmeinseleffekt aufgrund einer flächendeckenden Bebauung bzw. eines sehr hohen Versiegelungsgrades aus, der erst spät in der Nacht abgebaut werden kann [...]. Insbesondere im östlichen Bereich des Industrie- und Gewerbegebietes „In Laisen“ wirkt ein Kaltluft-Teilstrom aus dem Bereich „Burgholz“ in die Bebauung hinein (der andere Teil dieses Kaltluftstromes wirkt in die Wohnbereiche von Sondelfingen). Aufgrund fehlender Wohnbebauung im Bereich „In Laisen“ ist jedoch die Belastung nur eingeschränkt immissionsseitig wirksam.

Der südliche Teil von „In Laisen“ sowie der Bereich „Voller Brunnen“ mit Möbel- und Baumärkten sind ebenfalls thermisch belastet und besitzen keinen direkten Anschluss an flache, in die Bebauung hineinreichende Kaltluftströme. Das zwischen den Bereichen liegende Gleisfeld der Bahn wirkt jedoch durch seine große Breite und die Ausrichtung in etwa parallel zu den Hauptwindrichtungen als Durchlüftungsbahn sowie Kaltluftleitbahn für Kaltluft aus dem Bereich „Storlach“.

Im Bereich „Tübinger Straße“ wirkt sich bereits der Kaltluftstrom aus dem Breitenbachtal mildernd auf die thermischen Verhältnisse aus. Zusätzlich liegt dieser Bereich bereits früh in der Nacht im Rückstaubereich der in Richtung Neckartal abfließenden Kaltluft aus dem Breitenbachtal. Die geringe Durchlüftung ist dann mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen für bodennahe Luftschadstoffemissionen verbunden. Im Winter sind vermehrt Nebel- und Inversionslagen möglich. Die Wohngebiete nördlich der Industrie- und Gewerbegebiete in Betzingen und Sondelfingen, in den Bereichen „Römerschanze“, „Storlach“ und „Voller Brunnen“ sind je nach Dichte der Bebauung, Versiegelungsgrad und Anschluss an Kaltluftabflüsse aus dem Freiland-Klimatop dem Stadt- bzw. dem Stadtrand-Klimatop zugeordnet.

#### **Stadtteile (ohne Kernstadt)**

In den nicht an die Kernstadt angeschlossenen Stadtteilen sind vorwiegend Vorstadt- bzw. Stadtrand-Klimatop – in dichter bebauten Ortskernen auch kleinflächig Stadt-Klimatop – als Einheiten vergeben. Hier wirken sich insbesondere Dichte der Bebauung, Lage relativ zu Kaltluftströmen und Durchlüftungsbahnen sowie die generelle Lage im Relief aus.

Gönningen profitiert bei sommerlicher Wärmebelastung z.B. stark von der Höhenlage und zufließender Kaltluft, während Stadtteile wie Oferdingen – relativ gesehen – eine stärkere Wärmebelastung zu verzeichnen haben und z.T. nur randlich an die neckarwärts gerichteten Kaltluftströme angeschlossen sind.

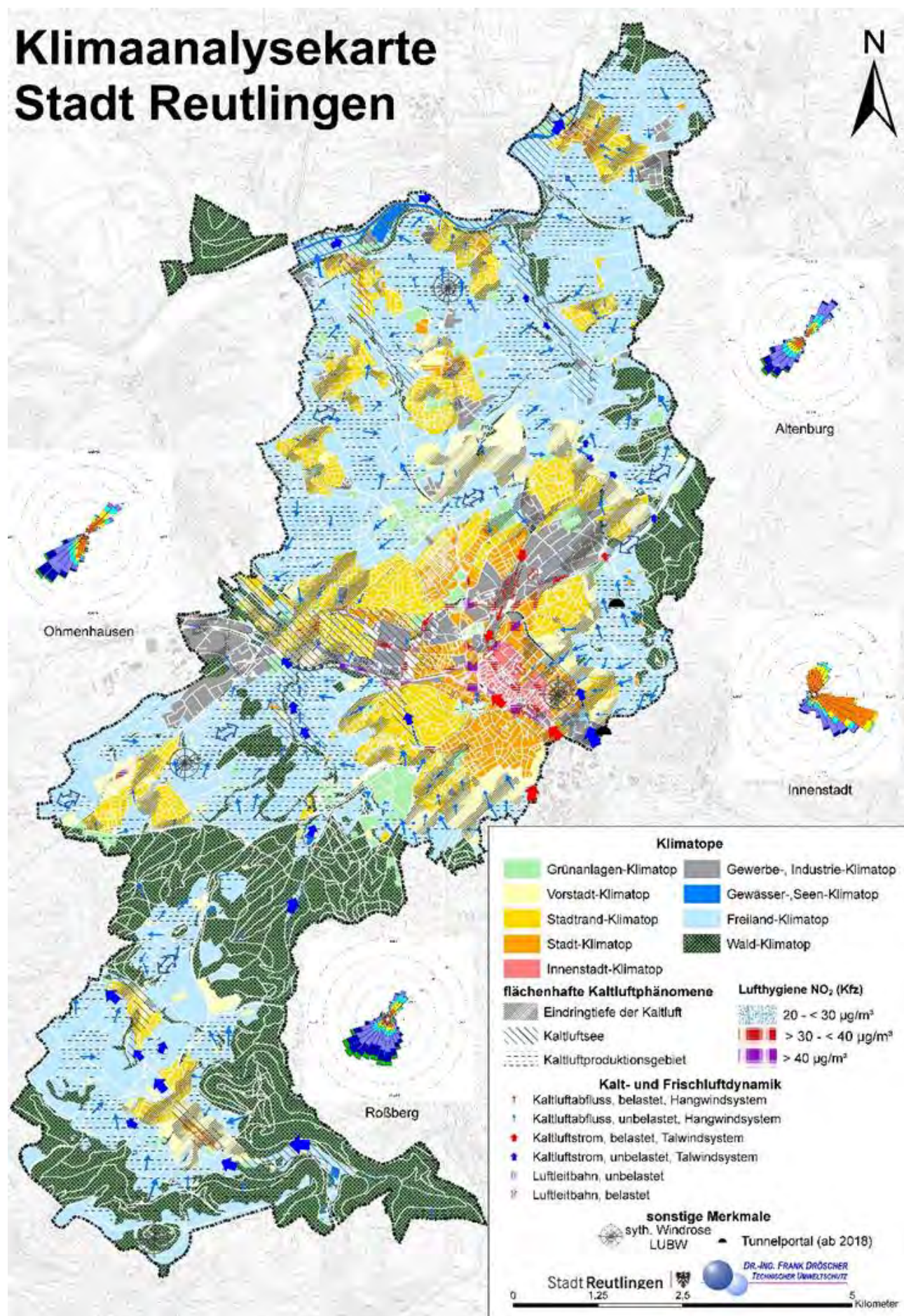
#### **Infobox 4.1: Beschreibung von Kernstadt und Stadtteilen (Quelle: Dröschner 2017: 110 f.)**

Die Planungshinweiskarte stellt die gutachterliche Bewertung und die Ableitung von Planhinweisen für das Stadtgebiet dar. In Bezug auf den Wirkraum, d. h. die Siedlungsflächen, wurden vier Klassen gebildet, die mit Planungshinweisen versehen wurden. Dies betraf zentrale innerstädtische Bereiche unterschiedlicher Nutzungen als „Bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen“. Hier herrscht ein Innenstadtklima oder ein Industrieklima vor. Allerdings können auch Vorstadtklimatop in diese Kategorie fallen, wenn diese eine hohe Schadstoffbelastung aufweisen.

Zudem wurden weite Teile der verdichteten Kernstadt als „Bebaute Gebiete mit geringer bis mittlerer klimatisch-lufthygienischer Belastung und hoher klimarelevanter Funktion“ ausgewiesen. Stadt- oder Stadtrandklimatop, bei denen eindringende Kaltluft positive Wirkungen entfalten kann, sind hier verortet. Stärker belastete Bereiche mit wenigen Grünanteilen stellten „Bebaute Gebiete mit mittlerer klimatisch-lufthygienischer Belastung und klimarelevanter Funktion“ dar. Sofern diese Bereiche stärker durchgrünt waren, handelte es sich um „Bebaute Gebiete mit geringer klimatisch-lufthygienischer Belastung und klimarelevanter Funktion“.

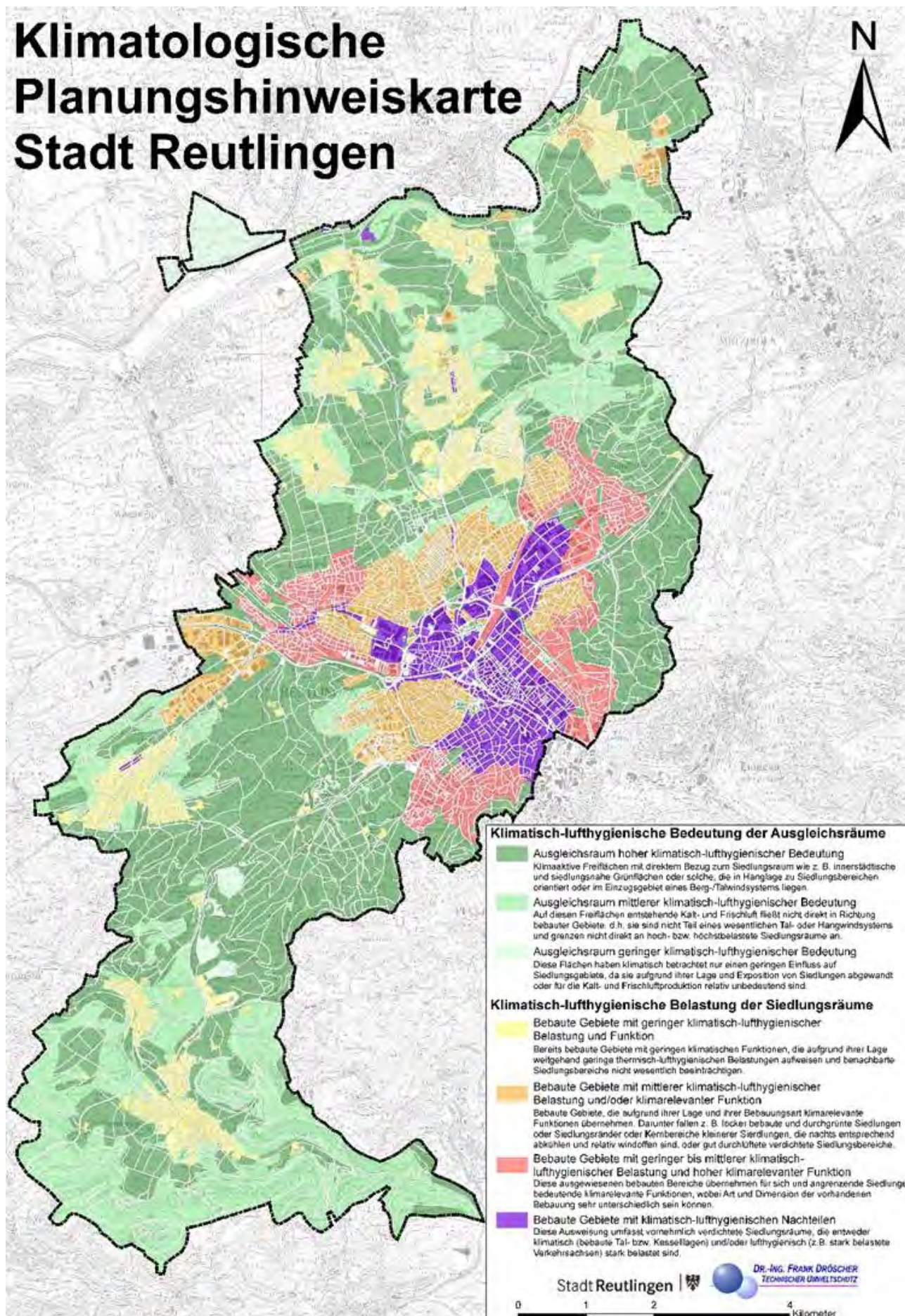


# Klimaanalysekarte Stadt Reutlingen



Karte 4.1: Klimaanalysekarte Stadt Reutlingen (Quelle: Dröschler 2017)

# Klimatologische Planungshinweiskarte Stadt Reutlingen



Karte 4.2: Klimatologische Planungshinweiskarte Stadt Reutlingen (Quelle: Dröschler 2017)

## 4.2 DIFFERENZIERTE WÄRMEBELASTUNG AUF BASIS DER STADTSTRUKTUR
















Die differenzierte Wärmebelastung wurde auf Grundlage der Klimaanalysen (Dröschner 2017) und der Stadtstruktur abgeleitet (s. u.). Da zur Stadtstruktur keine Daten vorlagen, wurde seitens des Auftragnehmers eine Siedlungsstrukturtypologie (Tabelle 4.1) erstellt und die Strukturtypen in der Stadt Reutlingen wurden erhoben. Diese differenziert die Siedlungsbereiche nach der vorherrschenden Bauweise, Geschossigkeit, Nutzungsart und Funktionalität. Die Siedlungsstrukturtypen, die überwiegend eine Wohnnutzung umfassen, berücksichtigen zudem die den Gebäuden zugeordneten Freiraumanteile. Insgesamt wurden 15 Siedlungsstrukturtypen unterschieden und kartografisch erfasst (vgl. Anlage 1).

Nr.	Strukturtyp	Beschreibung
1	<b>Historischer Stadtkern</b>	Die Bebauung im historischen Stadtkern ist mehrgeschossig, meist straßenparallel, giebelständig und hoch verdichtet. Die zu den Gebäuden gehörenden, nicht überbauten Flächen sind weitgehend versiegelt. Die öffentlichen Flächen sind teils als Fußgängerzone ausgebildet, teils verkehrsberuhigt. Privat verfügbare Freiräume sind kaum bzw. nicht vorhanden. Öffentliche Grünflächen fehlen weitgehend. Erdgeschosse werden überwiegend gewerblich genutzt. Die Bausubstanz ist historisch geprägt, jedoch wurden manche Objekte durch modernere Bauten ersetzt oder ergänzt.
2	<b>City/Cityrand/Kernstadt</b>	City und Cityrand schließen unmittelbar an den historischen Stadtkern an, weisen jedoch eine sehr differenzierte Baustruktur auf: Es dominiert der Geschosswohnungsbau, der durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad mit oftmals gewerblicher Nutzung im Erdgeschoss gekennzeichnet ist. Darüber hinaus prägen große Baukörper, z. B. für großflächigen Einzelhandel, Kino oder Parkhäuser, diesen Siedlungstyp. Die nicht überbauten Flächen sind weitgehend versiegelt; die Straßen stark verkehrsbelastet. Privat verfügbare Freiräume fehlen meist. Hofbereiche werden als Lager- oder Stellflächen genutzt. Im Cityrandbereich befinden sich der Volkspark und die Pomologie sowie ein Grünstreifen entlang der Planie. Öffentliche Plätze – wie der Stadthallenvorplatz – sind stark versiegelt.
3	<b>Verdichteter Geschosswohnungsbau mit geringem Freiraumanteil</b>	Dieser Siedlungsstrukturtyp ist gekennzeichnet durch Mehrfamilienhausbebauung mit drei und mehr Geschossen sowie mittlerer bis hoher Baudichte und teilweise stark versiegelten Siedlungsflächen. Grünflächen sind nur in geringem Maße vorhanden.
4	<b>Hochhaus mit hohem Freiraumanteil</b>	Zu diesem Typ zählen freistehende Punkthochhäuser mit Wohnnutzung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grün- und Freiflächenanteil aufgrund der begrünten Abstandsflächen. Teilweise werden die Flächen für Stellplatzanlagen genutzt.
5	<b>Zeile mit hohem Freiraumanteil</b>	Zeilenbebauungen mit drei bis vier Geschossen sowie mittlerer bis hoher Baudichte prägen als größere, lineare Baukörper diese Siedlungsstruktur. Merkmal ist ein relativ hoher Grün- und Freiflächenanteil, der sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.
6	<b>Geschosswohnungsbau mit hohem Freiraumanteil</b>	Dieser Siedlungsstrukturtyp ist durch in der Regel drei- bis viergeschossige Einzelgebäude charakterisiert. Der Grün- und Freiflächenanteil ist aufgrund der privaten Gartenflächen vergleichsweise hoch.
7	<b>Ein- und Zweifamilienhausbebauung mit hoher Dichte (verdichtet)</b>	Es handelt sich hierbei um freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser sowie um Reihen- oder Doppelhausbebauung, seltener sind kleinere Mehrfamilienhäuser anzutreffen. Sie weisen eine verdichtete Bauweise mit geringem Freiflächenanteil auf. Die privaten Freiflächen sind direkt dem Gebäude zugeordnet, die Flächenanteile variieren stark. Die wenigen öffentlichen Freiflächen sind meist Spielplätze oder Sportanlagen.
8	<b>Ein- und Zweifamilienhausbebauung mit geringer Dichte (locker)</b>	Wie unter Punkt 7, allerdings ist hier der Anteil an Grün- und Freiflächen im Vergleich zur versiegelten Fläche sehr hoch, d. h. diese Baustruktur ist flächenintensiv – pro Wohneinheit wird viel Grundstücksfläche benötigt. Die Freiräume sind zu einem sehr hohen Anteil privat und direkt dem jeweiligen Gebäude zugeordnet. Demgegenüber gibt es nur wenige öffentliche Freiräume in Form von Parks; lediglich Spielplätze und Sportanlagen ergänzen das Freiraumangebot.

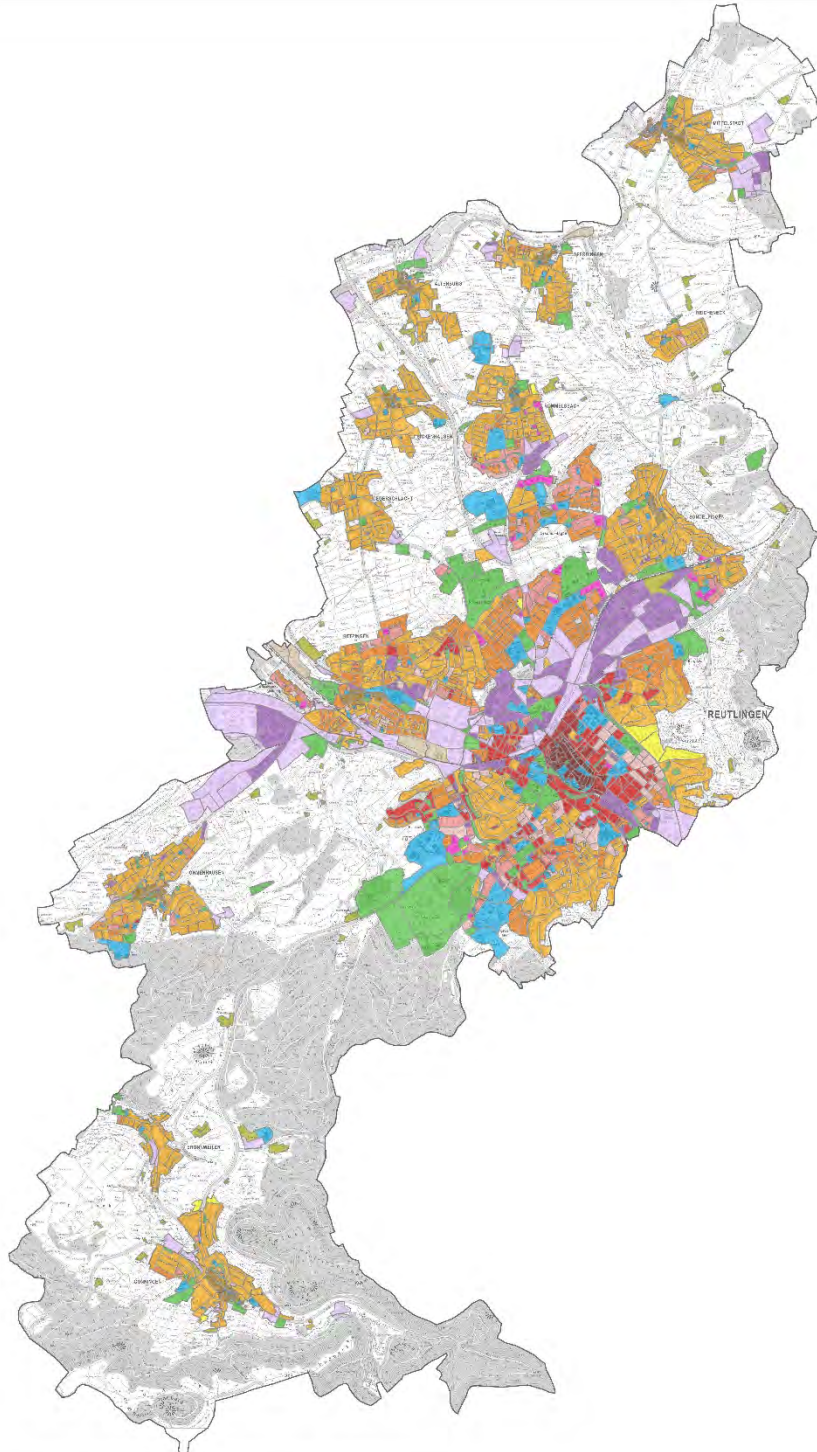
Nr.	Strukturtyp	Beschreibung
9	<b>Villenbebauung mit hohem Freiraumanteil</b>	Freistehende Villen unterschiedlichster Bauformen mit einem sehr hohen Anteil an Grün- und Freiflächen prägen den Strukturtyp. Er weist den geringsten Überbauungsgrad auf. Die vorhandenen Flächen sind privat.
10	<b>Soziale, kulturelle und administrative Einrichtung</b>	Dieser Strukturtyp umfasst Gebäude für Gemeinschaftseinrichtungen und Spezialfunktionen – sowohl öffentliche als auch private Einrichtungen mit (halb-)öffentlichem Charakter. Er zeigt je nach Entstehungszeit und Nutzungsart (Ämter und Institutionen, Kirchen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Altenheime etc.) sehr heterogene Strukturen.
11	<b>Industrie- und Gewerbefläche, stark verdichtet/versiegelt</b>	Industrie- und Gewerbeflächen weisen einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die City- und Stadtkernbebauung auf. Dazu tragen neben den Gebäuden vor allem versiegelte Parkplätze, Lagerflächen u. Ä. bei. Eingeschossige, oft großformatige kubische Bauten prägen die Baustruktur.
12	<b>Industrie- und Gewerbefläche mit Frei-, Brach- und Lagerflächen</b>	Wie unter Punkt 11, allerdings zeichnet diesen Strukturtyp ein höherer Anteil an Frei- und Brachflächen aus. Freiflächen dienen meist als Lagerflächen, sind wenig begrünt und überwiegend versiegelt. Brachflächen hingegen sind heute weitgehend von Ruderalvegetation und Sukzession bedeckt.
13	<b>Ver- und Entsorgungsinfrastrukturfläche</b>	Die Ver- und Entsorgungsanlagen bestehen aus Einzelanlagen mit teilweise industriellem Charakter. Sie liegen über das gesamte Stadtgebiet verstreut. Einfach begrünzte Freiflächen (Abstandsgrün) und ein hoher Versiegelungsgrad sind charakteristisch für diese Einrichtungen.
14	<b>Stadtteilkern</b>	Als Stadtteilkerne werden die überwiegend im Bereich der historischen Siedlungskerne gelegenen Quartiere mit hohem Anteil alter Bausubstanz typisiert. Teilweise wurden historische Gebäude durch moderne Bauten ersetzt oder ergänzt. Die Gebäude sind meist mehrgeschossig, die Bebauung relativ verdichtet. Die erhaltenen Kerne besitzen ein hohes identitätsstiftendes Potenzial. Einzelne Stadtteilkerne weisen eine lockerere Bebauung und größere Baukörper auf. Stadtteilkerne übernehmen darüber hinaus die Versorgungsfunktion für den Stadtteil. Teilweise sind nichtstörendes Gewerbe, Einzelhandel und Gastronomie kleinflächig ansässig.
15	<b>Hof</b>	Dieser Siedlungsstrukturtyp umfasst freistehende Einzelgebäude oder Gebäudegruppen geringer Dichte außerhalb eines Siedlungskörpers. Sie sind umgeben von Landwirtschaftsflächen. Höfe werden im weitesten Sinne landwirtschaftlich genutzt. Die Gebäude haben dabei in der Regel unterschiedliche Funktionen (Wohnfunktion, Stall, Scheune etc.).

**Tabelle 4.1: Städtebauliche Siedlungsstrukturtypen (Quelle: agl 2020)**

# Siedlungsstrukturtypen

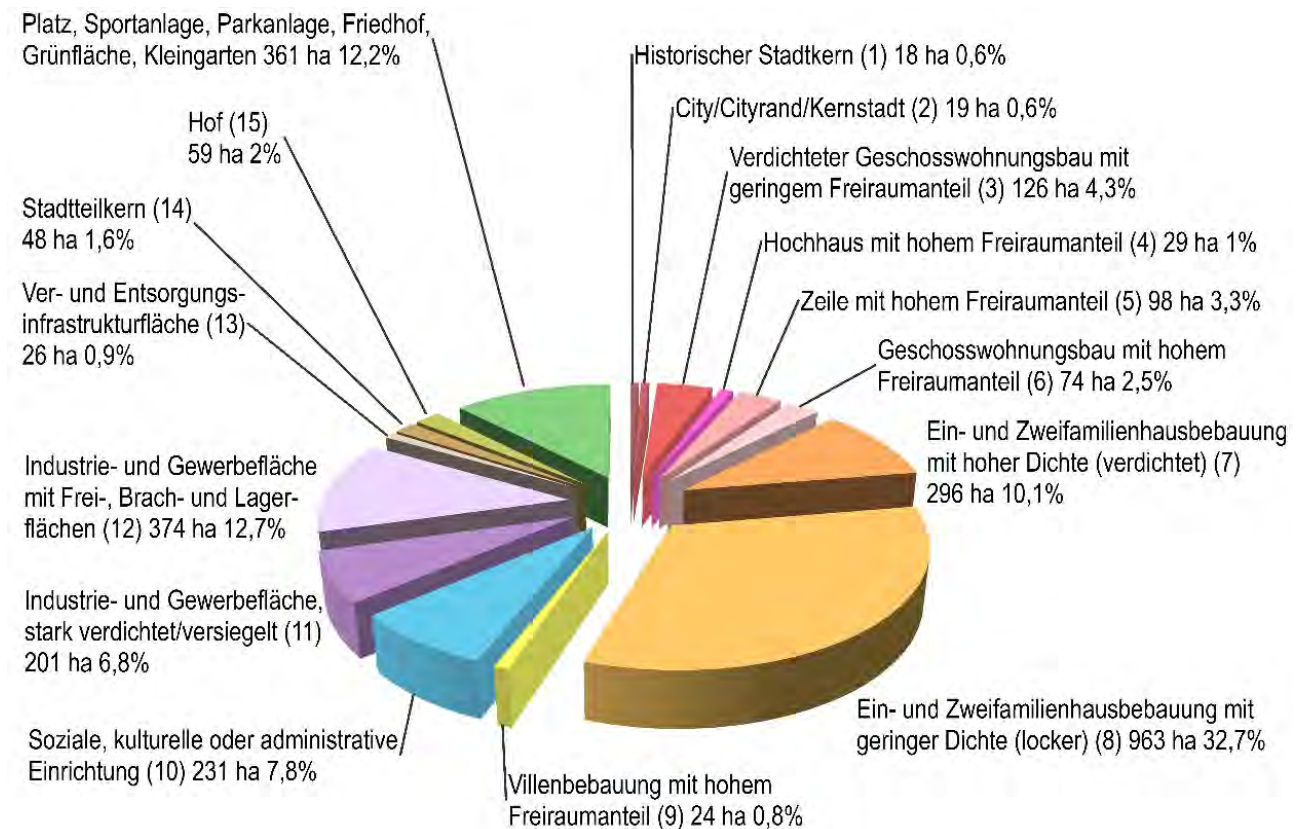
- |   |  |
|---|--|
|  Historischer Stadtkern (1)  |  Villenbebauung mit hohem Freiraumanteil (9)                          |
|  City/Cityrand/Kernstadt (2)   |  Soziale, kulturelle oder administrative Einrichtung (10)             |
|  Verdichteter Geschosswohnungsbau mit geringem Freiraumanteil (3)    |  Industrie- und Gewerbefläche, stark verdichtet/versiegelt (11)       |
|  Hochhaus mit hohem Freiraumanteil (4)                               |  Industrie- und Gewerbefläche mit Frei-, Brach- und Lagerflächen (12) |
|  Zeile mit hohem Freiraumanteil (5)                                  |  Ver- und Entsorgungsinfrastrukturfläche (13)                         |
|  Geschosswohnungsbau mit hohem Freiraumanteil (6)                    |  Stadtteilkern (14)   |
|  Ein- und Zweifamilienhausbebauung mit hoher Dichte (verdichtet) (7) |  Hof (15)   |
|  Ein- und Zweifamilienhausbebauung mit geringer Dichte (locker) (8)  |  Platz, Sportanlage, Parkanlage, Friedhof, Grünfläche, Kleingarten    |

Quelle: agl 2018 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen  
Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



**Karte 4.3: Siedlungsstrukturtypen (Quelle: agl 2020)**

Die Analyse der Flächenanteile der jeweiligen Siedlungsstrukturtypen zeigt, dass Reutlingen einen erheblichen Anteil an verdichteten Baustrukturen besitzt.



**Abbildung 4.1: Flächenanteile der jeweiligen Siedlungsstrukturtypen**

(Quelle: agl 2020; Datengrundlagen siehe Karte 4.3)

Durch die Überlagerung der Siedlungsstrukturtypen mit den wärmebelasteten Klimatotypen und den Karten zur Kalt- und Frischluftdynamik wurden die gegenüber Hitzebelastung empfindlichen Siedlungsstrukturen bestimmt (vgl. Tabelle 4.1). Obwohl auch Gebäudehöhen verfügbar waren, ließen sich daraus keine Geschosse ableiten, sodass Dachgeschossflächen im Mehrgeschosswohnungsbau nicht als Indikator herangezogen werden konnten.

**Vorgehensweise zur Ermittlung der differenzierten Wärmebelastung:** Ausgehend von den Ergebnissen der Klimauntersuchung (Dröscher 2017) wurde eine Karte zur räumlich stärker differenzierten Wärmebelastung erstellt. Sie beschreibt die Exposition gegenüber dem Klimasignal für thermische Belastung. Sie baut auf den flächendeckenden Klimatopen der Klimaanalysekarte der Stadt Reutlingen auf und berücksichtigt die Bebauungsdichte sowie die Kaltlufteinflüsse. Im Einzelnen wurden zur Herleitung der differenzierten Bewertung der Wärmebelastung folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

1. Den **Klimatopen** wurden Wärmebelastungsstufen zugeordnet, wobei die Klimatope „Stadtklima“ und „Gewerbe-, Industrieklima“ die gleiche Bewertungsstufe erhielten. Anschließend wurden die Klimatope mit der Karte „Siedlungsstrukturtypen“ verschnitten und Klimatope für bislang nicht bewertete Siedlungslagen ergänzt.

2. Die **Bebauungsdichte** führt ab einem deutlich über dem Mittelwert liegenden Dichtewert zu einer Hochstufung der im vorangegangenen Schritt zugewiesenen Wärmebelastungsstufe. Die Bauungsdichte wurde über das Verhältnis Gebäudefläche zur Baublockfläche pro Baublock ermittelt. Bei Dichtewerten im Block ab zwei Standardabweichungen über dem Mittelwert (d. h. ab 37,9 %) erfolgte eine Hochstufung der Wärmebelastung um eine Stufe, da eine hohe Baudichte aufgrund der Wärmespeicherfähigkeit von Mauerwerk die thermische Belastung verstärkt.
3. Demgegenüber sorgen Kaltluftströme für eine Minderung der Wärmebelastung. In Bereichen, in die Kaltluft eindringt (**Eindringtiefe der Kaltluft**), wurde die Wärmebelastung daher um eine Stufe zurückgestuft.
4. Da **Kaltluftseen** eine stärkere Wirkung als Kaltluftströme entfalten, wurden die Belastungsstufen aus den Klimatopen und der Baudichte um zwei Stufen zurückgestuft. Eine Überlagerung von Kaltluftseen und Eindringtiefe der Kaltluft hat keine kumulierende Wirkung; die Abstufung umfasst höchstens zwei Stufen.

Die so ermittelten Belastungsstufen wurden ab einer geringen Belastung dargestellt. Siedlungsbereiche, für die sich beispielsweise durch die Lage im Stadtrandklima in einem Kaltluftsee durch die Abstufung keine Belastung ergaben, wurden nicht weiter betrachtet; sie waren im Hinblick auf die thermische Belastung unkritisch zu sehen. Die differenzierte Wärmebelastung wurde flächenscharf für die in der Klimaanalyse abgegrenzten Klimatope und Kaltlufteinflussbereiche auf Baublockebene dargestellt. Im Ergebnis wurden zwei Karten für die nachfolgende Vulnerabilitätsanalyse erstellt. Eine Karte zeigt die Situation flächendeckend für alle Siedlungsbereiche, die andere Karte nur für die Wohnsiedlungsbereiche (vgl. Kap. 5.2).

Klimatope der Klimaanalysekarte für die Stadt Reutlingen (nach Dröscher 2017)	Bewertungsstufe Wärmebelastung	Bebauungsdichte Hochstufung um 1 Stufe bei Dichtewerten der Bebauung im Block ab 2 Standardabweichungen über dem Mittelwert (ab 37,9%: Bebauungsdichte im Block Mittelwert: 14,3%, Standardabweichung 11,8%)	Eindringtiefe der Kaltluft Abstufung um 1 Stufe		Kaltluftsee Abstufung um 2 Stufen Keine Summation bei Überlagerungen Kaltluftsee und Eindringtiefe der Kaltluft: Abstufung höchstens 2 Stufen)	
			bei hochgestufter Bebauungsdichte		bei hochgestufter Bebauungsdichte	
Innenstadtklima	sehr hoch	höchst	sehr hoch	hoch	hoch	moderat
Stadtklima	hoch	sehr hoch	hoch	moderat	moderat	gering
Gewerbe-, Industrieklima	hoch	sehr hoch	hoch	moderat	moderat	gering
Stadtrandklima	moderat	hoch	moderat	gering	gering	gering (keine Abstufung)
Vorstadtklima	gering	moderat	gering	gering (keine Abstufung)	gering (keine Abstufung)	gering (keine Abstufung)

**Abbildung 4.2: Bewertungsschema zur Herleitung der Belastungsstufe**

(Quelle: agl 2019)

# 5 Vulnerabilitätsanalyse für die Stadt Reutlingen

Für die Vulnerabilitätsanalyse wurde zunächst die Vulnerabilität gegenüber Hitzestress unter Status quo-Bedingungen erfasst. Hierfür lagen ausreichend Datengrundlagen vor. Für die Beurteilung der Exposition für die nahe und ferne Zukunft standen zum Zeitpunkt der Bearbeitung jedoch lediglich Kenntage zur Verfügung, die eine räumliche Differenzierung der Situation im Stadtgebiet nicht zuließen. Mit Blick auf die Empfindlichkeit konnten zwar Szenarien zur Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung für die nahe Zukunft aus Bevölkerungsprognosedaten sowie aus Planungsdaten zur Flächennutzung der Stadt Reutlingen abgeleitet werden; eine Verknüpfung mit Klimadaten war jedoch nicht möglich. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse dargestellt.

## 5.1 VORGEHENSWEISE UND METHODIK

Das Vulnerabilitätskonzept des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007), das auch vom Netzwerk Vulnerabilität verfolgt wird, beschreibt Verwundbarkeit als eine Funktion von Klimasignal, Sensitivität, Klimawirkung und Anpassungskapazität: „Demnach wird die Verwundbarkeit von Veränderungen der Klimaparameter und Wirkfolgen sowie sozioökonomischen, räumlichen, politischen und kulturellen Faktoren beeinflusst. Die Exposition und Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen führen zu Auswirkungen des Klimawandels, die sich in sektoraler und regionaler Hinsicht beschreiben lassen. Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen kommt es auf die Anpassungskapazität der sozio-ökonomischen, räumlichen, politischen und kulturellen Systeme an, wie stark sich der Klimawandel auf diese Systeme auswirkt, wie verwundbar sie letztlich sind“ (UBA 2015: 37).

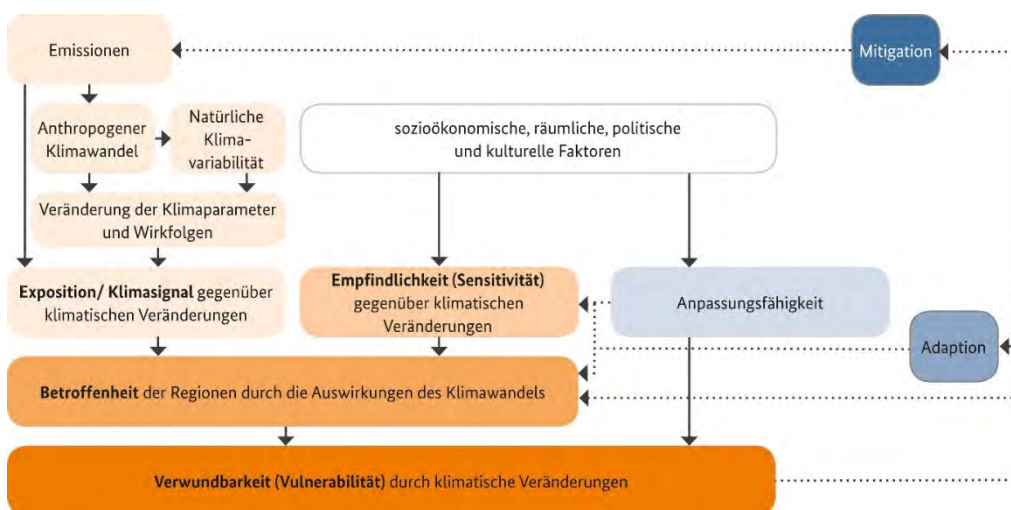


Abbildung 5.1: Systemkomponenten der Klimafolgenanalysen

(Quelle: agl/prc 2013: 39, nach IPCC 2007)



Die im Schaubild dargestellten Indikatoren können dabei grundsätzlich weiter differenziert werden. Bezogen auf das Thema thermische Belastung lassen sich die Systemkomponenten unterschiedlich operationalisieren (agl/prc 2015; agl/prc 2013): So können Klimasignal und Exposition häufig nicht eindeutig zugeordnet werden. Stadtklima zeichnet sich gerade durch die Besonderheit des Wärmeinseleffekts aus, sodass die gebaute Stadt ein höheres Temperaturniveau gegenüber dem Umland aufweist (Kuttler 2013; Baumüller 2014).

Auf Ebene der Stadtplanung wird das Klimasignal meist über die Lufttemperatur angegeben. Tagesmaxima und -minima helfen dabei, die Extreme darzulegen und auch die Ausprägung der Wärmeinsel zu bestimmen. Darüber hinaus dienen Kenntage (Heiße Tage, Sommertage, Tropennächte) und Bioklimaindizes als Varianten zur Definition des Klimasignals (vgl. agl/prc 2013; Hemberger/Utz 2013; Reusswig et al. 2016). Jedoch können auch andere, häufig in Stadtklimaanalysen verwendete Parameter herangezogen werden. Hierzu zählen auch die Klimatope der Klimaanalysekarte und Planhinweise (bewertete Planhinweiskategorien wie Siedlungsflächen, bebaute Gebiete mit unterschiedlichen klimarelevanten Funktionen gemäß VDI 3787, Blatt 1) oder deren Weiterentwicklungen (z. B. Wirkungsräume Siedlungsflächen, sehr günstige bis sehr ungünstige bioklimatische Belastung).

Im Zusammenhang mit der Vulnerabilitätsanalyse eignen sich am besten Bioklimaindizes zur Betrachtung des Klimasignals und – soweit über das/ein Stadtklimamodell berechnet und räumlich ausdifferenziert – auch zur Bestimmung der Exposition. Als valide Instrumente zur Bewertung thermischer Belastung wurden verschiedene Bioklimaindizes entwickelt, denen ein Modell zur Beschreibung des menschlichen Wärmehaushalts zugrunde liegt: das Klima-Michel-Modell (Jendritzky et al. 1990). Das Modell koppelt die Behaglichkeitsgleichung nach Fanger mit einem Strahlungsmodell und nutzt den PMV, um das thermische Empfinden und die thermische Belastung zu beschreiben.

Andere Bioklimaindices betonen unterschiedliche Aspekte, die Einfluss auf den Wärmehaushalt im Austausch mit der Umwelt haben (Klimek 2018). Die Gefühlte Temperatur (GT) berücksichtigt die Luftfeuchte durch eine Feuchtekorrektur besser als der PMV, beruht aber ansonsten ebenfalls auf dem Klima-Michel-Modell. Die Physiologische Äquivalente Temperatur (PET) basiert auf dem Wärmehaushaltsmodell MEMI/IMEM nach Höpfe (1999) und integriert reale Werte für Schweißverdunstung und Haupttemperatur. Eine auf internationalem Standard basierende Neuentwicklung stellt der Universal Thermal Climate Index (UCTI) dar, der auf dem Fiala-Modell beruht. Der UCTI kann besonders gut für unterschiedliche Klimate, Wettersituationen und Standorte genutzt werden. Er reagiert sensibel auf Aspekte wie Temperatur, Sonneneinstrahlung, Feuchtigkeit und Wind. Die Thermoregulation wird unter Berücksichtigung adaptiver Anpassungen (unterschiedliche Bekleidung in Abhängigkeit der Lufttemperatur, Bewegung eines gehenden Menschen, Windbedingungen etc.) vorgenommen (Klimek 2018).

Schillo/Weschenfelder/Wasem (2018; bzw. Wasem/Richter/Schillo 2019) analysierten die acht bis dato durchgeführten Mortalitäts- und Morbiditätsstudien im Hinblick auf die Indikatorbildung für Hitze und Hitzewellen. Die meisten Studien nutzten dabei als Indikator die Lufttemperatur, jedoch mit unterschiedlichen Schwellenwerten von größer 20°C Tagesmaxima bis größer 35°C Tagesmaxima. Zudem wurden – auch in Kombination mit anderen Indikatoren – Tagesdurchschnittstemperaturen, die GT (größer 32°C tags und größer 20°C nachts (Tropennacht)), die Luftfeuchtigkeit (%) der UCTI oder ein Hitzeindex verwendet.

Darüber hinaus wurden unterschiedliche Zeitintervalle betrachtet (z. B. ein Tag, mindestens drei Tage und weitere). In der Mortalitätsstudie von an der Heiden et al. (2019, s. u.) wurde darüber hinaus der Wochenmittelwert größer 20°C als Indikator genutzt, um die thermische Belastung zu charakterisieren.

Studie	Operationalisierung von Hitze
Jehn et al. (2013)	maximale Lufttemperatur > 25°C
Jehn et al. (2014)	maximale Lufttemperatur > 25°C, Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit (Temperatur * Luftfeuchtigkeit in % / 100)
Lokys et al. (2017)	UTCI und mittlere Lufttemperatur wurden über die ganze Bandbreite der Messwerte und insbesondere für das 90. Perzentil betrachtet.
Bittner et al. (2013)	mindestens drei Tage in Folge mit maximaler Lufttemperatur > 30°C und minimaler Lufttemperatur > 20°C; ein einzelner Tag unterhalb dieser Werte wurde zur Hitzewelle gerechnet, wenn die Tagesdurchschnittstemperatur über 25°C lag.
Gabriel et al. (2011)	1) Überschreitung des 95. Perzentils der maximalen/minimalen Lufttemperatur am Tag/in der Nacht 2) Hockey Stick Modell 3) $GT \geq 32^\circ\text{C}$ am Tag und $\geq 20^\circ\text{C}$ nachts; über einen Zeitraum von mindestens 14 Tagen innerhalb einer Drei-Wochen-Periode
Hertel et al. (2009)	mindestens drei Tage in Folge mit einer maximalen Lufttemperatur > 32°C
Heudorf/Meyer (2005)	maximale Lufttemperatur > 35°C und minimale Lufttemperatur (in der Nacht) > 21°C
Hoffmann et al. (2008)	maximale Lufttemperatur > 32°C an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen; Verwendung des Hitzeindex für die Regressionsanalyse

**Tabelle 5.1: Operationalisierung von Hitze und Hitzewellen in Mortalitätsstudien in Deutschland (Quelle: agl 2019 nach Schillo/Weschenfelder/Wasem (2018: 16) und der dort verwendeten Literatur)**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es keine verbindlichen Fachnormen für Gefahrenklassen im Zusammenhang mit Hitze und gesundheitlichen Beeinträchtigungen gibt (vgl. agl/prc 2015). Zwar können Fachnormen zur Bestimmung einzelner Indizes (z. B. Bioklimaindizes, Klimatope nach VDI) herangezogen werden, jedoch sollten, falls möglich, neu entwickelte Indikatoren wie der UCTI zur Bestimmung der bioklimatischen Belastung genutzt werden. Zur Operationalisierung von Klimasignalen/Exposition steht daher eine ganze Bandbreite von möglichen Indikatoren zur Diskussion.

Neben dem Klimawandel ist insbesondere der Landnutzungswandel relevant für die Änderung der Klimasignale: Der städtische Wärmeineffekt als besondere Ausprägung des Klimas ergibt sich gerade durch die gebaute Umwelt und die dadurch bedingte Temperaturerhöhung (verbunden mit weiteren stadtklimatischen Effekten). Insofern sollte bei der Betrachtung von Zeitreihen mit veränderten Klimasignalen auch die Entwicklung der Baumasse bzw. der Versiegelung mit betrachtet werden.

### Sensitivitätsindikatoren

Die Operationalisierung der Empfindlichkeit/Sensitivität ist in der vorliegenden Studie auf die menschliche Gesundheit beschränkt. Direkte Auswirkungen von Hitze und Hitzewellen betreffen Gefahren für die Gesundheit (Erkrankung) sowie für Leib und Leben. Der direkte Einfluss von Hitze besitzt Auswirkungen auf die Körpertemperatur, die im Regelfall zwischen 36,5°C und 37,5°C liegt (von Wichert 2014). Reaktionsformen des menschlichen Organismus auf Hitze betreffen dabei Hitzestress (Belastungsgefühl), Hitze-Synkope (ohnmächtig werden), Hitzekrämpfe (infolge von Schwitzen und Salzverlust), Überwärmung (Kollabieren, auch verbunden mit Kopfschmerzen, Angstzuständen), Hitzschlag (schwere Symptome mit Delirium, Krämpfen oder Koma) und Hyperthermie (übermäßige Erwärmung über die eigene Regulationsfähigkeit hinaus, z. B. durch Krankheiten oder Medikation bedingt) (ebd.; Universität Kassel 2012, Stöbel/Matzarakis 2014).

Hohe Umgebungstemperaturen und deren Auswirkungen auf den menschlichen Wärmehaushalt können im Alltagshandeln gut beeinflusst werden. Eine Adaption kann beispielsweise über die Kleidung, das Trinkverhalten oder bauliche Maßnahmen (Wärmedämmung und Wärmeschutz bei Wohnung und Arbeitsplatz) erfolgen. Eine Akklimatisation ist gegeben, wenn der Organismus seine Regulationssysteme zur Steuerung des Wasser- und Salzhaushalts an veränderte Umgebungen anpasst, wie dies bei längeren Reisen oder Wohnortwechseln bei gesunden Menschen erfolgt. Kurzfristigen Belastungen kann dabei nicht mit einer Akklimatisation, sondern nur mit Adaptionsmaßnahmen begegnet werden (von Wichert 2014). Für unvorbereitete Bevölkerungsgruppen und besondere Risikogruppen, die aus unterschiedlichen Gründen nicht in der Lage sind, ihre Thermoregulation selber ausreichend zu steuern, stellt die thermische Belastung eine relevante Gefährdung dar (vgl. auch LGA 2013). Im Allgemeinen sind dies in unseren Breiten ältere Menschen, Säuglinge und Kleinkinder, Personen mit Vorerkrankungen, Personen unter Einfluss von Medikamenten und Drogen. Als besondere Risikofaktoren gelten dabei „kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes mellitus, Neurologische Störungen und konsumierende Allgemeinerkrankungen. Sedierende Medikamente, Diuretika und Alkohol können die Problematik ebenso verschärfen, wie soziale Isolation, Alter und Behinderungen, die die Mobilität einschränken“ (von Wichert 2014: 3; Zacharias/Koppe 2015; Ziolo/Mücke 2015).

#### Risikogruppen gegenüber Hitzebelastungen (BMUB 2017: 19 f., veränderte Darstellung)

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) 2011 können folgende Risikogruppen gegenüber Hitzebelastungen differenziert werden:

- **Ältere Menschen:** In der Regel liegt bei dieser Gruppe eine reduzierte Fähigkeit des Körpers zur Hitzeregulation vor und das Durstgefühl nimmt mit zunehmendem Alter ab.
- **Isoliert lebende Menschen:** Insbesondere bei isoliert lebenden älteren Menschen ist das Risiko für gesundheitliche Hitzeauswirkungen groß, weil eine soziale Kontrolle und Hilfsangebote fehlen.
- **Pflegebedürftige Menschen:** Bei diesen Personen bestehen oft gesundheitliche Beeinträchtigungen, die deren Handlungsmöglichkeiten stark einschränken. Ein zusätzliches Risiko kann durch bestimmte Erkrankungen im Einzelfall vorliegen.
- **Menschen mit starkem Übergewicht:** Sie reagieren auf Hitzebelastungen besonders intensiv, weil der Organismus dann neben der ohnehin bestehenden gesundheitlichen Grundbelastung einer weiteren außergewöhnlichen Belastung ausgesetzt ist und z. B. das Herz-Kreislaufsystem kaum Reservekapazitäten aufweist.
- **Menschen mit chronischen Erkrankungen:** Der Organismus dieser Menschen ist oft aufgrund ihres Gesundheitszustands nicht in dem Maße in der Lage, so auf extreme Situationen zu reagieren, wie es bei gesunden der Fall ist. Außerdem kommt es bei chronischen Erkrankungen in extremen Situationen oftmals zu einer Verschlechterung der Symptomatik.
- **Menschen mit fieberhaften Erkrankungen:** Bei fieberhaften Erkrankungen ist es wichtig, dass der Körper Hitze abgeben kann. Daher ist eine deutliche Erhöhung der Raumtemperatur des Krankenzimmers hier besonders problematisch und sollte durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden.
- **Menschen mit Demenz:** Bei Menschen mit Demenz liegt eine reduzierte Möglichkeit vor, auf extreme Situationen adäquat zu reagieren. Insbesondere die Aufnahme von ausreichend Flüssigkeit ist bei Menschen mit Demenzerkrankungen ohne Betreuung häufig nicht gewährleistet.
- **Menschen, die bestimmte Medikamente einnehmen:** Die Wirkungen und Nebenwirkungen von Medikamenten (insbesondere von Diuretika und blutdrucksenkenden Mitteln) können bei Hitzeeinfluss verändert sein. In einigen Fällen wird eine Anpassung der Medikation erforderlich sein, um Dekompensation zu vermeiden.
- **Menschen, die thermophysiologische Anpassungsprobleme haben:** Nicht alle Menschen vertragen Hitze gleich gut. Bei manchen Menschen führt eine starke Hitzebelastung beispielsweise zu Kreislaufproblemen aufgrund von Blutdruckabfall.
- **Säuglinge und Kleinkinder:** Hier besteht eine besondere Schutzbedürftigkeit, zum einen, weil eine besondere Empfindlichkeit besteht, aber auch, weil hier eine ausgeprägte Abhängigkeit von den Aufsichtspersonen gegeben ist. Ohne Anleitung ist bei Kindern Einsicht oder sinnvolles Handeln im Hinblick auf Hitze- und UV-Schutz nicht zu erwarten.
- Berücksichtigung finden sollten außerdem **Menschen, die im Freien körperlich intensiv tätig sind** (z. B. Berufe des Baugewerbes, der Landwirtschaft und Gastronomie). Obgleich sie keine der typischen Risikogruppen darstellen, bedürfen diese Personen aufgrund ihrer oft extremen Hitze- und UV-Exposition besonderer Aufmerksamkeit und einer Anpassung der Arbeitsbedingungen durch den Arbeitgeber (z. B. durch Anpassung der Arbeitszeit und Pausenregelung).
- **Obdachlose** bedürfen in Extremsituationen oftmals einer individuellen Betreuung durch die Sozialdienste.

#### Infobox 5.1: Risikogruppen gegenüber Hitzebelastungen (BMUB 2017: 19 f., veränderte Darstellung)

Speziell für ältere Menschen konstatieren Hermann et al. (2019) folgende Risikofaktoren:

Risikofaktoren	Aspekt
Vorerkrankung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herz-Kreislauf-Erkrankungen (z. B. arterielle Hypertonie, koronare Herzkrankheit, Herzinsuffizienz)</li> <li>• chronische Lungenerkrankungen</li> <li>• Diabetes mellitus</li> <li>• chronische Nierenerkrankungen</li> <li>• neurologische Erkrankungen (z. B. M. Parkinson, Demenz)</li> <li>• psychiatrische Erkrankungen (verstärkt bei Medikamenteneinnahme und Betreuungsbedarf)</li> <li>• höhergradige Adipositas</li> <li>• vorangehende Krankenhausaufenthalte</li> </ul>
Einnahme von Medikamenten oder anderen Substanzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medikamente wie Diuretika, ACE-Inhibitoren, Angiotensin-II-Rezeptor-Blocker, Antidepressiva, Antikonvulsiva, Antipsychotika, Anticholinergika, dermal applizierte Medikamente (s. u.)</li> <li>• Alkohol und andere Suchtmittel</li> </ul>
Funktionelle Einschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierigkeiten, das Haus zu verlassen</li> <li>• Pflegebedürftigkeit</li> <li>• Bettlägerigkeit</li> </ul>
Sozioökonomische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringer sozioökonomischer Status</li> <li>• soziale Isolation</li> <li>• Alleinlebend</li> </ul>
Wohnsituation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in einer städtischen Wärmeinsel lebend (u. a. hohe Flächenverdichtung)*</li> <li>• Schlafzimmer unter dem Dach oder Dachwohnung</li> <li>• kein Zugang zu kühlen Räumen, keine Klimaanlage</li> <li>• falsche Belüftungsgewohnheiten</li> <li>• Haus mit thermisch schlecht isolierter Bausubstanz</li> </ul>
* dieser Faktor ist eher dem Klimasignal/der Exposition zuzurechnen	

**Tabelle 5.2: Risikofaktoren für hitzebedingte Gesundheitsschäden bei älteren Menschen (Herrmann et al. 2019: o.S, verändert)**

Epidemiologische Untersuchungen verweisen auf die statistischen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Hitzetagen/Hitzewellen und der Morbidität (Auftreten hitzeassoziiertes Krankheitsfälle) und Mortalität (hitzeassoziiertes Sterbefälle). „Da die direkt hitzebedingte Mortalität, z.B. durch Hitzschlag, häufig falsch klassifiziert wird [...] und ein Großteil der hitzebedingten Todesfälle indirekter Natur ist [...], ist es erforderlich, die hitzebedingte Sterblichkeit auf Basis der Abweichung der ‚aktuellen‘ Gesamt mortalität von deren Erwartungswert zu berechnen“ (Koppe 2005: 42). Die Frage, wie viele Menschen durch die thermische Belastung zusätzlich krank werden bzw. sterben, gibt in einer Population Auskunft über die Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber den Folgewirkungen (Koppe/Jendritzky 2014; Koppe 2005; Scherber 2014). An der Heiden et al. (2019) betonen, dass es bei den Studien zur Bestimmung der Mortalität verschiedene methodische Herangehensweisen gibt. Dabei werden unterschiedliche Bedingungen zur Bestimmung des Hitzeeinflusses genutzt (Tagesmitteltemperaturen, Wochenmitteltemperaturen, Schwellenwert der Lufttemperatur für den Vergleich der Belastung) sowie hitzekritische Zeitintervalle. Wesentlich für die Methodik ist dabei, Erwartungswerte der Sterblichkeit mit den tatsächlichen Sterblichkeitsraten (unter der Bedingung der erhöhten thermischen Belastung) zu vergleichen.

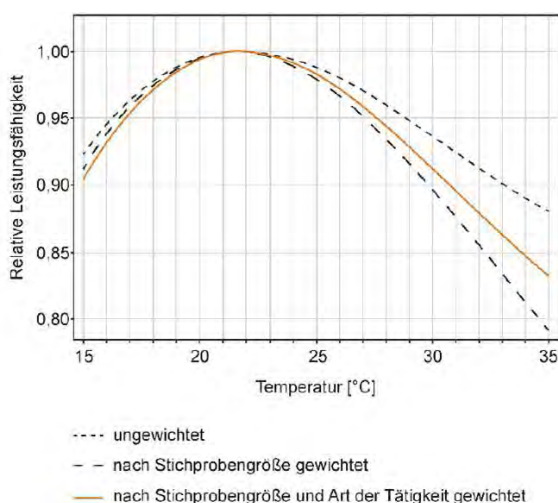
Schätzungen der hitzebedingten Todesfälle in Deutschland (an der Heiden et al. 2019) zeigen die erhebliche Relevanz von Hitzetagen auf. So verstarben im Extremsommer 2003 in Deutschland ca. 7.600 Menschen, im Sommer 2006 6.200 Menschen und im Sommer 2016 ca. 6.100 Menschen an den Hitzefolgen. Die Altersgruppen der über 75- bis 84-Jährigen sowie der über 85-Jährigen waren dabei am stärksten betroffen. In Baden-

Württemberg gab es nach Angaben des Landesamts für Gesundheit (Jovanovic 2018) im Hitzejahr 2015 landesweit etwa 2.000 zusätzliche Todesfälle. Die Morbidität bei Hitzewellen wird dagegen anhand von Notfalteinweisungen, ambulanten Arztbesuchen oder Krankenhauseinweisungen gemessen (Herrmann et al. 2019; Schillo/Weschenfelder/Wasem 2018; Scherber 2014). Diese können statistisch über die Häufigkeit der Einsätze (Krankentransporte, Krankenhausaufnahmen und ambulante Arztbesuche) ermittelt werden. Schillo/Weschenfelder/Wasem (2018) fanden in ihrer explorativen Studie für Deutschland heraus, dass im Gegensatz zu Astrom/Forsberg/Rocklov (2011) und Bunker et al. (2016) die Altersgruppe der 45- bis 54-Jährigen am stärksten betroffen war. Die Autoren vermuten, dass hierbei die mit Alter konfundierten Variablen (Pflegestufe, Geschlecht, Vorerkrankungen) eine wichtige Rolle spielten (Schillo/Weschenfelder/Wasem 2018).

„Es bleibt insgesamt festzuhalten, dass Versicherte mit einer Pflegestufe eindeutig zu den vulnerablen Bevölkerungsgruppen einer Hitzewelle gehören. Weiterhin kann festgestellt werden, dass unter Berücksichtigung aller aufgenommenen erklärenden Variablen Frauen eine erhöhte Inanspruchnahmechance haben im Vergleich zu Männern, dass die Altersgruppe der 45- bis 54-Jährigen am stärksten betroffen ist, Psychotherapeutinnen und Psychotherapeuten, Hausärztinnen und Hausärzte und Diabetologinnen und Diabetologen am häufigsten in die Versorgung einbezogen sind und bestimmte Grunderkrankungen wie Mukoviszidose, chronische Hepatitis, Erkrankungen des Verdauungssystems bei Neugeborenen, Alkohol- und Drogenmissbrauch im simultan alle Variablen berücksichtigenden Modell zu einer erhöhten Chance einer Inanspruchnahme führen, ebenso wie bestehende Schwangerschaften und die betroffenen Bevölkerungsgruppen besonders unter Hitzewellen zu leiden haben“ (Schillo/Weschenfelder/Wasem. 2018: 54).

Wie oben beschrieben, nutzen die vorhandenen Mortalitäts- und Morbiditätsstudien Messungen oder Modellierungen, die auf Außentemperaturen beruhen. Buchin et al. (2016a,b) zeigen dabei in einer explorativen Studie, dass auch Innenraumklimaanalysen für Vulnerabilitätsanalysen eingesetzt werden können.

Aufbauend auf dem Modell von Pfafferott/Becker (2008) wurde daher ein auf die IWU-Gebäudetypologie bezogenes Innenraumklimamodell sowie ein einfaches lineares Innenraumklimamodell genutzt, um Innenraumtemperaturen mit der Außentemperatur zur Erklärung von Mortalitätsraten in Berlin aus den Jahren 2003 bis 2011 zu vergleichen. Im Ergebnis konnte das bauphysikalisch begründete Innenraumklimamodell die tatsächliche Mortalität besser abbilden (höhere erklärte Varianz, Zeitverzug zwischen Zeitpunkt des Hitzeereignisses und Sterbezeitpunkt infolge langsamer Gebäudeaufheizung) als die Außentemperatur.



Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sich thermische Belastung auch auf die Arbeitsproduktivität auswirkt (vgl. Seppänen/Fisk 2006 in Weller 2016; UBA 2015; Bux 2006).

**Abbildung 5.2: Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Temperatur**

(Quelle: Seppänen et al. 2006 in Weller 2016: 58)

Im Rahmen einer Metaanalyse wurde der Zusammenhang zwischen Innenraumtemperatur und geistiger Leistungsfähigkeit analysiert und die Effekte wurden entsprechend der zur Verfügung stehenden Daten quantitativ dargestellt. Seppänen/Fisk/Faulkner 2003 und Seppänen/Fisk 2006 legen in Weller (2016: 57) dar, dass „im Temperaturbereich zwischen 21°C und 25°C die Leistungsfähigkeit unbeeinträchtigt ist. Bei Temperaturen über 25°C fällt die geistige Leistungsfähigkeit jedoch um 2 % pro Kelvin Temperaturanstieg ab (Seppänen et al. 2003; Seppänen und Fisk 2006)“. Zusammenfassend können grundsätzlich die in Tabelle 5.3 dargestellten Indikatoren für eine Sensitivitätsanalyse herangezogen werden.

Sensitivität	
Indikatoren	Operationalisierung * Konfundierung mit anderen Indikatoren wahrscheinlich
Alter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Säuglinge und Kleinkinder bis 6 Jahre</li> <li>• alte Menschen (&gt; 75 Jahre)*</li> <li>• Altersgruppe der 45- bis 54-Jährigen</li> </ul>
Geschlecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frauen (&gt; 55 Jahre)</li> <li>• Männer (35 bis 65 Jahre)</li> </ul>
Mortalität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterblichkeitsrate, ggf. differenziert nach ICD-Code</li> </ul>
Erkrankungen	Personen mit <ul style="list-style-type: none"> <li>• kardiovaskulären Erkrankungen</li> <li>• Diabetes mellitus</li> <li>• neurologischen Störungen (vor allem Demenz)</li> <li>• chronischen Lungenerkrankungen</li> <li>• chronischen Nierenerkrankungen</li> <li>• Adipositas</li> <li>• fieberhaften Erkrankungen</li> <li>• psychiatrischen Erkrankungen</li> </ul>
Funktionelle Einschränkung	Personen mit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflegebedürftigkeit (vor allem mit zunehmender Pflegestufe)</li> <li>• Bettlägerigkeit</li> <li>• Schwangerschaft</li> <li>• körperlichen Behinderungen</li> </ul>
Sozioökonomische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• soziale Isolation</li> <li>• Alleinlebende (Personen in Singlehaushalten, insbesondere über 65 und über 75 Jahre)</li> <li>• Personen mit geringem sozioökonomischem Status, z. B. Empfänger von Leistungen der Grundsicherung nach SGB II („Hartz IV“) und SGB XII (nicht mehr Erwerbstätige, u. a. Altersarmut)</li> </ul>
Wohnsituation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obdachlose</li> <li>• Bewohner von Dachwohnungen</li> <li>• Bewohner thermisch schlecht isolierter Bausubstanz</li> <li>• falsche Belüftungsgewohnheiten</li> <li>• Bewohner von Wohnanlagen mit hoher Siedlungsdichte oder Verkehrsaufkommen</li> </ul>
Medikamenten- bzw. Drogeneinfluss	Personen mit regelmäßiger Medikation durch <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diuretika</li> <li>• ACE-Inhibitoren</li> <li>• Angiotensin-II-Rezeptor-Blocker</li> <li>• Antidepressiva</li> <li>• Antikonvulsiva</li> <li>• Antipsychotika</li> <li>• Anticholinergika</li> <li>• sedierende Medikamente</li> <li>• Alkohol- und andere Suchtmittel</li> </ul>
Beruf	Körperliche Tätigkeiten im Freien: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugewerbe</li> <li>• Landwirtschaft</li> <li>• Gastronomie</li> </ul>

**Tabelle 5.3: Indikatoren für eine Sensitivitätsanalyse (Quelle: agl 2019)**

Die Ausführungen machen deutlich, dass bei Betrachtung der Sensitivität und Bevölkerungsgruppen mit besonderen Risikofaktoren konfundierende Faktoren auftreten können, die bislang noch nicht abschließend aufgeklärt sind. So wird vermutet, dass die gesundheitlichen Risiken von thermischen Belastungen durch Luftbelastungen wie Stickoxiden, Ozon und Feinstaub verstärkt werden (vgl. Augustin et al. 2017: 13 f.).

Dennoch geben die beschriebenen Indikatoren einen guten Überblick über die grundsätzlich nutzbaren Sensitivitätsfaktoren. Deutlich wird auch die Bedeutung der Faktoren bei der Beurteilung der Verwundbarkeit – nicht nur die thermische Belastung, sondern auch der Mensch als betroffenes Schutzgut ändert sich. Infolge des demografischen Wandels ist mit einer Zunahme der Risikogruppen, z. B. der Alterskohorte der über 65-Jährigen sowie der pflegebedürftigen Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen, zu rechnen. Für Berlin wird beispielsweise eine Zunahme der Mortalität in der Altersgruppe der über 65-Jährigen allein aufgrund des demografischen Wandels um zusätzlich 7 % bis 16 % bis 2050 gerechnet (vgl. Reusswig et al. 2016: 51).

### **Anpassungsindikatoren**

Als dritter Faktor zur Bestimmung der Vulnerabilität ist die Anpassungsfähigkeit zu betrachten. Diese zielt auf die Erhöhung der Widerstandskraft gegenüber einer Gefährdung (Resilienz). Demzufolge können zahlreiche Faktoren die Anpassungsfähigkeit der menschlichen Gesundheit gegenüber der thermischen Belastung verbessern. Dies betrifft im Grunde alle Maßnahmen, die zu einer Reduktion der thermischen Belastung des exponierten Schutzguts (Gesundheit des Menschen) beitragen (vgl. Greiving 2012), d. h. die Realisierung jedweder Minimierungs- und Vermeidungsstrategien (agl/prc 2015). Hierunter fallen zahlreiche Handlungsfelder wie stadt- und bauplanerische Maßnahmen (z. B. Begrenzung der Baumassen, Verringerung der Versiegelung, Sicherung der Durchlüftung, Erhöhung der Albedo/des solaren Reflexionsvermögens), Freiraum- und landschaftsplanerische Maßnahmen (z. B. Erhöhung der Verschattung und des Grünvolumens) oder gebäudebezogene Maßnahmen (z. B. Wärmedämmung und Sonnenschutz, Gebäudekühlung). Eine besondere Rolle spielen zudem verhaltensbezogene Maßnahmen (z. B. Bevölkerung aufklären und beraten, kontrollierte Flüssigkeitszufuhr gewährleisten, Kühlung gewährleisten, Präventionsmaßnahmen im sozialmedizinischen Umfeld umsetzen, Hitzeaktionspläne installieren) oder, wie bereits in Zusammenhang mit den Bioklimaindizes diskutiert, die individuelle Adaption durch Trinken, Bekleidung und angepasste körperliche Betätigung.

Anhand der nicht abschließenden Auflistung wird deutlich, dass die Anpassungskapazität grundsätzlich von hoher Relevanz zur Beurteilung der Verwundbarkeit ist. Zu unterscheiden ist dabei, ob Maßnahmen in den einzelnen Handlungsfeldern bereits realisiert und damit bei der Betrachtung von Klimasignalen und Morbiditäts- und Mortalitätsbetrachtungen bereits einbezogen sind oder ob diese Bestandteil von zu entwickelnden Maßnahmenkonzepten sind. Der Beitrag der Anpassungskapazität bemisst sich schließlich aus der Wirkung (Effekt und Reichweite) der Maßnahme. Zu fragen ist z. B., wie stark eine Erhöhung des Grünvolumens in der Stadt zur Minimierung der Lufttemperatur (gesamstädtisch oder auf einer konkreten Grünfläche) beitragen kann. Wie stark wird die Empfindlichkeit positiv beeinflusst, wenn Menschen darauf achten, während Hitzeperioden mindestens drei Liter Wasser zu trinken? Deutlich wird, dass der Beitrag der Anpassungskapazität nur bei einzelnen Indikatoren bestimmt und quantifiziert werden kann. Angesichts vieler individueller Maßnahmen erscheint auch eine Verräumlichung der Anpassungskapazität in vielen Fällen schwierig. Bisherige Studien beschränken sich meist darauf, freiraumrelevante Aspekte zu operationalisieren, etwa durch Abschätzung der Klimarelevanz von Freiräumen für die Durchlüftung (nächtliche Kaltluftdynamik zur Abkühlung der Lufttemperatur in autochthonen Wetterlagen) und die Schaffung von Klimakomfortinseln zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität von Freiräumen am Tage (agl 2012). Andere wie Michalczyk (2017) stellen die Grünraumversorgung und die Erreichbarkeit von Grünflächen in den Fokus der Betrachtung.

Zusammenfassend können grundsätzlich folgende Anpassungsindikatoren mit Maßnahmenbeispielen herangezogen werden:

Exemplarische Anpassungsindikatoren	
Indikatoren	Maßnahmenoptionen
Stadt- und bauplanerische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begrenzung der Baumassen</li> <li>• Verringerung der Versiegelung</li> <li>• Sicherung der Durchlüftung</li> <li>• Erhöhung der Albedo</li> </ul>
Freiraum- und landschaftsplanerische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Verschattung</li> <li>• Erhöhung des Grünvolumens</li> </ul>
Gebäudebezogene Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedämmung</li> <li>• Sonnenschutz</li> <li>• Gebäudekühlung</li> </ul>
Verhaltensbezogene Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerung aufklären und beraten</li> <li>• kontrollierte Flüssigkeitszufuhr gewährleisten</li> <li>• Kühlung gewährleisten</li> <li>• Präventionsmaßnahmen im sozialmedizinischen Umfeld umsetzen</li> <li>• Hitzeaktionspläne installieren</li> </ul>
Individuelle Adaption	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trinken</li> <li>• passende Bekleidung</li> <li>• Angepasste körperliche Betätigung vornehmen</li> </ul>

**Tabelle 5.4: Anpassungsindikatoren mit Maßnahmenbeispielen (Quelle: agl 2019)**

Für die praktische Umsetzung im Kontext der vorliegenden Studie wird die Anpassungskapazität nicht betrachtet. Vielmehr sollen die Anpassungsoptionen (im Nachgang zu dieser Studie) als Maßnahmenkonzept für die Stadt Reutlingen entwickelt und im Stadtgebiet, soweit möglich, verortet werden.

### **Verfügbare Datengrundlagen und Indikatoren zur Bestimmung von Klimasignalen/Exposition sowie der Sensitivität**

Die Indikatoren zur Operationalisierung des Klimasignals bzw. der Exposition sind meist direkt nicht verfügbar. Auf regionaler Ebene stellen der DWD, die LUBW oder andere Anbieter wie das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) Datengrundlagen zur Verfügung. Für eine lokale räumliche Differenzierung bedarf es eines eigenen mikroskaligen stadtklimatologischen Gutachtens, um die Situation differenziert auf der Ebene der Stadtteile oder auf der Baublockebene zu bewerten.

Bei den Indikatoren zur Sensitivität ist eine Verfügbarkeit in den Kommunen sehr unterschiedlich gegeben. Viele Kommunen verfügen über einen Datenbestand zu aktuellen demografischen Daten. Einige Kommunen betreiben ein Sozialraummonitoring, bei dem Indikatoren zur sozialen Lage vorhanden sind. Insbesondere Daten zur Gesundheit stehen ansonsten in der Regel nur auf Kreisebene zur Verfügung, sodass diese für eine innerstädtische Differenzierung nicht vorhanden sind. Städte wie Berlin (SenUVK 2019) können diese Daten auch kleinräumig zur Verfügung stellen, da die aus weiteren Quellen stammenden Informationen auf eine für alle Sektoren verbindlich vereinbarte Raumgliederungssystematik (als Nahräume gefasste, lebensweltlich orientierte Räume) bezogen werden.

Ausgehend von den in der Stadt Reutlingen kleinräumig verfügbaren Datengrundlagen werden die verwendeten Informationen in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.



## 5.2 VERWENDETE KLIMASIGNALE

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wurde für die Klimasignale/Exposition in der Stadt Reutlingen die Klimaanalysekarte mit der flächendeckenden Darstellung der Stadtklimatope sowie die Karte der differenzierten Wärmebelastung verwendet, welche gering bis höchst belastete Siedlungsflächen ausweist. Die Stadtklimatopkarte und die von Dröscher (2017) vorgenommenen Messfahrten wurden weitergehend für die in Kapitel 6 beschriebene Innenraumklimaanalyse genutzt. Die Karte der differenzierten Wärmebelastung bildete die Grundlage für die Vulnerabilitätsanalyse auf Basis demografischer Indikatoren und sensitiver Einrichtungen (vgl. Kap. 5.3).

Die differenzierte Wärmebelastung wurde einmal für alle Siedlungsflächen ausgegeben und zu Vergleichszwecken mit der Innenraummodellierung nur für die Wohngebäude. Ähnlich der Klimaanalysekarte zeigt die Karte der differenzierten Wärmebelastung die Verortung der Wärmelast innerhalb der städtischen Siedlung. Höchst belastete Flächen sind nur in der verdichteten Innenstadt zu finden (1 % der Siedlungsfläche). Sehr hohe Belastungen ergeben sich durch verdichtete Baustrukturen im Bereich der Kernstadt sowie bei verdichteten Gewerbe- und Industrieflächen. Außerhalb der Kernstadt findet sich diese Kategorie ausschließlich in Gewerbegebieten, so in Betzingen (große Ausdehnung), Rommelsbach und Mittelstadt (Lage hin zum Neckartal). 75 ha oder 3 % der Siedlungsfläche liegen in dieser Kategorie. Hoch belastet sind dagegen 481 ha (19 %). Dies sind sowohl zahlreiche Stadtteilkern oder Gewerbegebietslagen in den Stadtbezirken als auch viele Wohnlagen, die weniger von der Kaltluftdynamik profitieren und oder tiefer zum Neckartal hin liegen. 77 % der Siedlungslagen (2.028 ha) und der damit weitaus größte Teil sind nur moderat oder gering belastet.

# Differenzierte Wärmebelastung auf Basis der Klimaanalysekarte und der Bebauungsdichte

## Bewertungsschema zur Herleitung der Belastungsstufe

Klimatopie der Klimaanalyse-karte für die Stadt Reutlingen (nach Droscher 2017)	Bewertungsstufe Wärmebelastung	Bebauungsdichte Hochstufung um 1 Stufe bei Dichtewerten der Bebauung im Block ab 2 Standardabweichungen über dem Mittelwert (ab 37,8%: Bebauungsdichte im Block Mittelwert: 14,3%, Standardabweichung 11,8%)	Eindringtiefe der Kaltluft Abstufung um 1 Stufe		Kaltluftsee Abstufung um 2 Stufen Keine Summation bei Überlagerungen Kaltluftsee und Eindringtiefe der Kaltluft: Abstufung höchstens 2 Stufen)	
			bei hoch-gestufter Bebauungs-dichte		bei hoch-gestufter Bebauungs-dichte	
Innenstadtklima	sehr hoch	höchst	sehr hoch	hoch	hoch	moderat
Stadtklima	hoch	sehr hoch	hoch	moderat	moderat	gering
Gewerbe-Industrieklima	hoch	sehr hoch	hoch	moderat	moderat	gering
Stadtrandklima	moderat	hoch	moderat	gering	gering	gering (keine Abstufung)
Vorstadtklima	gering	moderat	gering	gering (keine Abstufung)	gering (keine Abstufung)	gering (keine Abstufung)

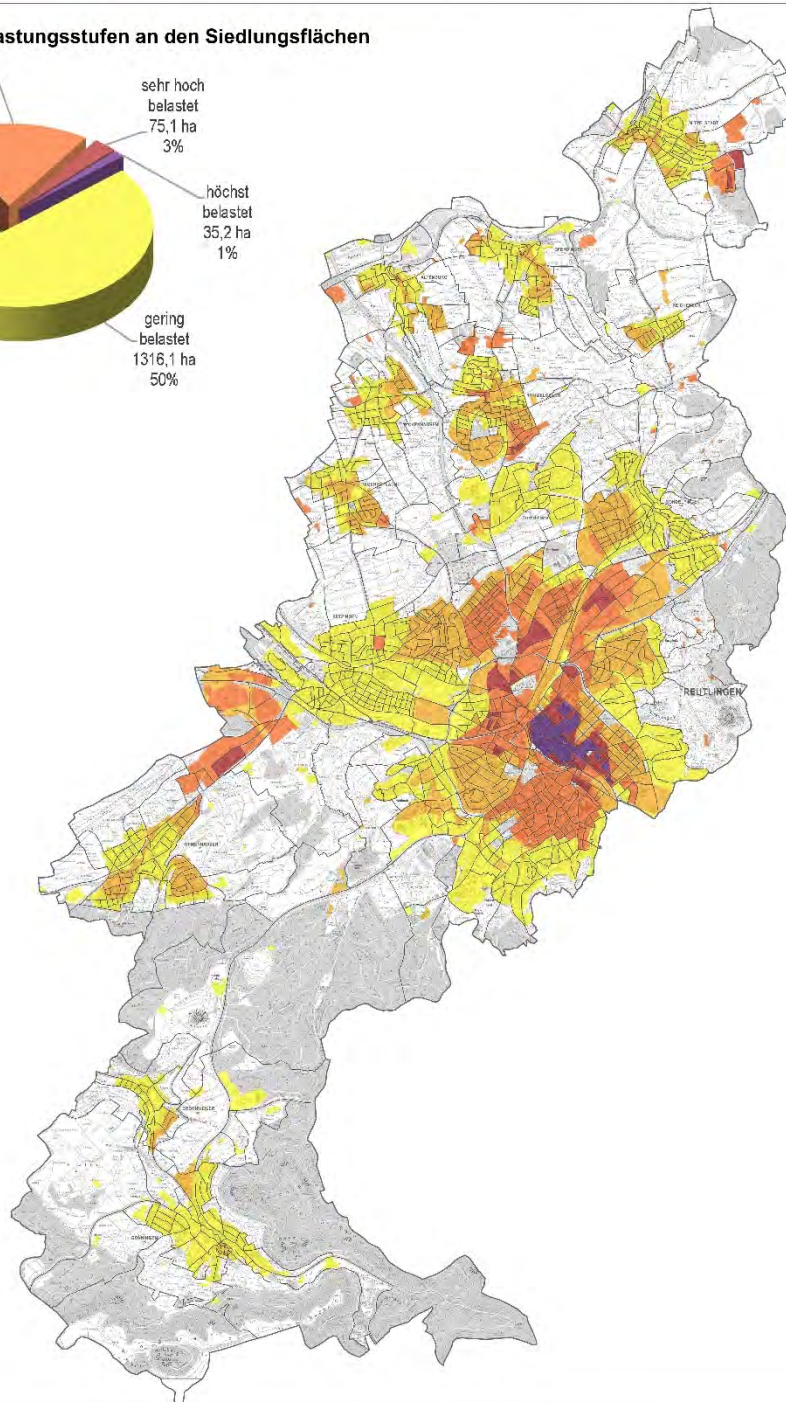
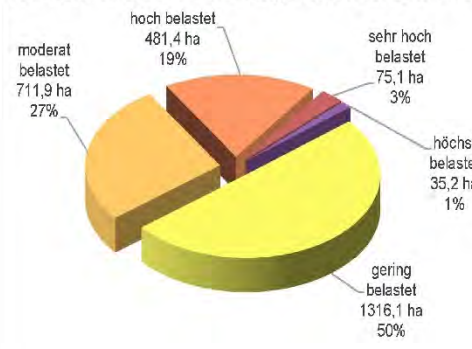
## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

Baublock

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

## Flächenanteile der Belastungsstufen an den Siedlungsflächen



Karte 5.1: Karte der differenzierten Wärmebelastung (Quelle: agl 2020)

### 5.3 SENSITIVITÄTSINDIKATOREN UND BETROFFENHEIT

Als Sensitivitätsindikatoren konnten in der Stadt Reutlingen demografische und nutzungsbezogene Indikatoren verwendet werden. Da der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungen bereits in Zusammenhang mit dem Klimasignal und der Exposition eingeflossen ist, werden hier nur sensitive Einrichtungen betrachtet.

#### 5.3.1 DEMOGRAFIE UND BEVÖLKERUNG

Zur Ermittlung der Vulnerabilität (genauer: Betroffenheit, da die Anpassungskapazität nicht bewertet werden konnte) standen folgende Indikatoren zur Verfügung:

- Bevölkerungsdichte
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der Kinder bis sechs Jahre
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen in Singlehaushalten
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen
- sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen in Singlehaushalten
- Anzahl der Beschäftigten

Die Daten lagen auf Baublockebene vor, die demografischen Daten bezogen sich auf das Jahr 2018. Grundsätzlich wurde die räumliche Ausprägung der demografischen Indikatoren auf Baublockebene dargestellt. Vorgesehen war eine fünfstufige Klassifizierung (Bewertung) der einzelnen Indikatoren, bei denen z. B. die Anzahl der Kinder bis sechs Jahre pro Baublock in fünf Klassen dargestellt und bewertet werden (sehr gering bis sehr hoch). Die Stufung der einzelnen Klassen bezieht sich dabei auf statistische Größen. Quantile führen zu einer fünfstufigen Bewertung, bei der in jeder Wertstufe die gleiche Anzahl von Baublöcken verteilt ist. Im Ergebnis führte dies zu folgenden Klassen: „sehr geringe Anzahl“ mit einem Kind bis fünf Kindern, „geringe Anzahl“ von sechs bis zehn Kindern, „mittlere Anzahl“ mit elf bis 20 Kindern und so fort.

Aus Datenschutzgründen wurde als Vorgabe der Stadt Reutlingen die ursprünglich fünfstufige Bewertung in eine dreistufige Bewertung transformiert. So konnte sichergestellt werden, dass eine ausreichend große Zahl an Kindern pro Baublock verortet wurde (Anzahl größer als zehn Kinder), um diese nicht in Kombination mit anderen Daten identifizieren zu können. Hierzu wurde eine dreistufige Einteilung auf Grundlage der Standardabweichung vorgenommen. Eine sehr hohe Anzahl (von Kindern) pro Baublock liegt dann vor, wenn der Mittelwert (hier fünf Kinder) plus zwei Standardabweichungen (zweimal sieben Kinder) überschritten wird, d. h. bei einer Anzahl von mindestens 20 Kindern pro Baublock. Eine hohe Anzahl liegt vor, wenn der Mittelwert plus eine Standardabweichung überschritten wird, d. h. 13 bis 19 Kinder. Eine geringe bis mittlere Anzahl liegt vor, wenn ein bis zwölf Kinder pro Baublock vorkommen. In analoger Weise wurden auch die anderen demografischen Daten bewertet.

Im Anschluss an die Bewertung der demografischen Indikatoren wurden die Informationen mit der differenzierten Wärmebelastung pro Baublock überlagert, sodass sich die Betroffenheit unmittelbar ablesen ließ. Die Methodik und eine Einschätzung der jeweiligen Betroffenheit werden im Folgenden für die einzelnen Indikatoren beschrieben.

### 5.3.1.1 BEVÖLKERUNGSDICHTE

Die Bevölkerungsdichte ist ein Indikator für die Belastung der Allgemeinbevölkerung. Um später Maßnahmen besser priorisieren zu können, ist es sinnvoll, bei gleicher Betroffenheit die Bereiche zu ermitteln, in denen viele Menschen betroffen sind oder der Maßnahmenbedarf bzw. die Effektivität von Maßnahmen voraussichtlich am größten ist.

Die Bevölkerungsdichte korreliert meist auch mit dem Auftreten anderer Indikatoren (Bevölkerungsgruppen mit Risikofaktoren, Baudichte) und ist daher auch bei mangelnder Verfügbarkeit weiterer Daten in besonderem Maße für Vulnerabilitätsanalysen geeignet. Die Bevölkerungsdichte wurde auf Grundlage der Einwohnerzahlen der Stadtstatistik (2018) (Stadt Reutlingen 30.07.2018) berechnet. Betrachtet wurden Einwohnerzahlen pro ha auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen ohne Freiraumtypen und ohne Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen. Durch die Beschränkung des räumlichen Bezugs auf die eigentlichen Siedlungsflächen ergab sich eine bessere Vergleichbarkeit der Einwohnerdichte als bei der Nutzung von statistischen Bezirken.

Für die Bewertung der Ergebnisse wurde eine Klassifizierung anhand statistischer Größen (Standardabweichung) gewählt. Der Mittelwert der Bevölkerungsdichte liegt bei 58 Einwohnern (EW)/ha, die Standardabweichung bei 46 EW/ha. Eine geringe bis mittlere Dichte ergab sich bei Werten unter 104 EW/ha (= Mittelwert + 1 Standardabweichung), Werte zwischen 104 EW/ha und 150 EW/ha wurden als hohe Dichte klassifiziert, Werte über 150 EW/ha (= Mittelwert + 2 Standardabweichungen) als sehr hohe Dichte.

Wie zu erwarten, konzentrieren sich hohe Bevölkerungsdichten in der Kernstadt von Reutlingen, in der historischen Innenstadt und den angrenzenden Bereichen westlich der Panoramastraße, nördlich der Pomologie und um das Gustav-Werner-Areal. Der verdichtete Geschoßwohnungsbau, die Zeilenbebauung in Ringelbach und Hohbuch sowie die dortigen Hochhaussiedlungen weisen gleichfalls sehr hohe bis hohe Bevölkerungsdichten auf. Dies gilt auch für die in der Stadt verteilten Hochhaussiedlungen, etwa in Storlach oder Sondelfingen. Auch in Betzingen finden sich Hochhaus-, Zeilen- und Geschoßwohnungsbauten mit über 104 EW/ha im Bereich Klopstockstraße und Adolf-Damaschkestraße. In Orschel-Hagen ist die Bevölkerungsdichte hoch im Bereich der Zeilen Heilbronnerstraße/Nürnbergerstraße, ebenso im Bereich des Berliner Rings sowie im südlichen Bereich von Rommelsbach westlich der Württemberger Straße. Mittelstadt, Altenburg, Ohmenhausen und Bronnweiler verzeichnen kleinflächig hohe Bevölkerungsdichten von mehr als 104 EW/ha.

Die Vulnerabilität (Betroffenheit) kann aus der Überlagerung der Bevölkerungsdichte mit der differenzierten Wärmebelastung abgeleitet werden. Im Bereich der Kernstadt decken sich Bereiche hoher Bevölkerungsdichte mit einer hohen oder sehr hohen Wärmebelastung. In den hochverdichteten Gebieten sind demnach auch besonders viele Menschen von der thermischen Belastung betroffen. Rommelsbach und Hohbuch weisen bei einer hohen oder sehr hohen Bevölkerungsdichte nur eine moderate Wärmebelastung auf. Ansonsten ist in den stärker wärmebelasteten Bereichen die Bevölkerungsdichte eher gering.

# Bevölkerungsdichte

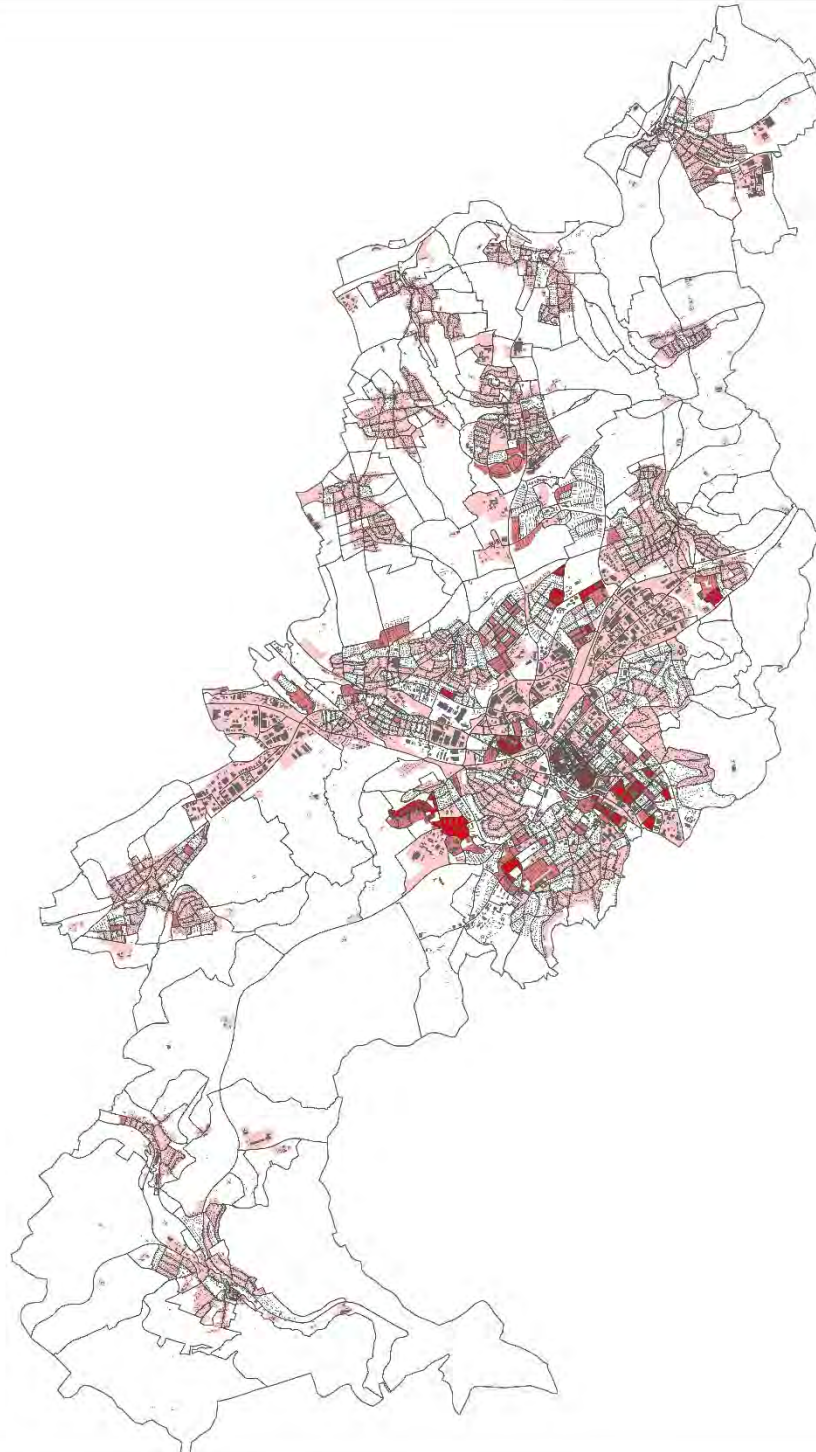
## Bevölkerungsdichte der Siedlungsstrukturtypen Einwohner/ha (Mittelwert 58; Standardabweichung 46)

- geringe bis mittlere Dichte (> 0 - 104)
- hohe Dichte (>104 - 150: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Dichte (>150 - 337: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)

- Baublock
- Gebäude

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen



Karte 5.2: Bevölkerungsdichte (Quelle: agl 2020)



### 5.3.1.2 SENSITIVE BEVÖLKERUNGSGRUPPEN – ANZAHL DER KINDER BIS SECHS JAHRE

Kinder gehören zu den Risikogruppen der Bevölkerung, die aufgrund ihrer Physiologie und mangelnder Bewältigungskompetenzen empfindlicher als die Allgemeinbevölkerung auf thermische Belastung reagieren. Daher bedürfen sie besonderer Aufmerksamkeit in der Verwundbarkeitsbetrachtung. In Bezug auf eine mögliche Maßnahmenpriorisierung ist es daher von Interesse, zu wissen, wo möglichst viele Kinder erreicht werden können.

Untersucht wurde die Anzahl der Kinder bis sechs Jahre je Baublock. Der Mittelwert lag für die Bevölkerungsdaten vom 31. Dezember 2018 bei fünf Kindern je Block; die Standardabweichung beträgt sieben. Eine hohe Dichte wurde bei mehr als zwölf Kindern je Baublock (= Mittelwert + 1 Standardabweichung), eine sehr hohe bei mehr als 19 Kindern je Baublock (= Mittelwert + 2 Standardabweichungen) festgelegt.

Sehr hohe Kinderzahlen sind insbesondere in den Bereichen mit hohen Bevölkerungsdichten zu verzeichnen. Baublöcke mit hohen Kinderzahlen liegen meist in einem Gürtel rund um die Innenstadt, darüber hinaus auch im Bereich der Oststadt, in Sondelfingen westlich der Hohenschildstraße und ganz Orschel-Hagen, in Gönningen, Ohmenhausen und Oferdingen.

Überlagert mit der Karte der differenzierten Wärmebelastung ist zu erkennen: Die am höchsten belasteten Gebiete der Innenstadt werden nur in einem sehr kleinen Teilbereich von einer sehr hohen Anzahl Kinder bewohnt. Die sensitive Bevölkerungsgruppe der unter Sechsjährigen ist damit eher einer moderaten bis geringen Wärmebelastung ausgesetzt.

## Sensitive Bevölkerungsgruppen: Anzahl der Kinder bis 6 Jahre

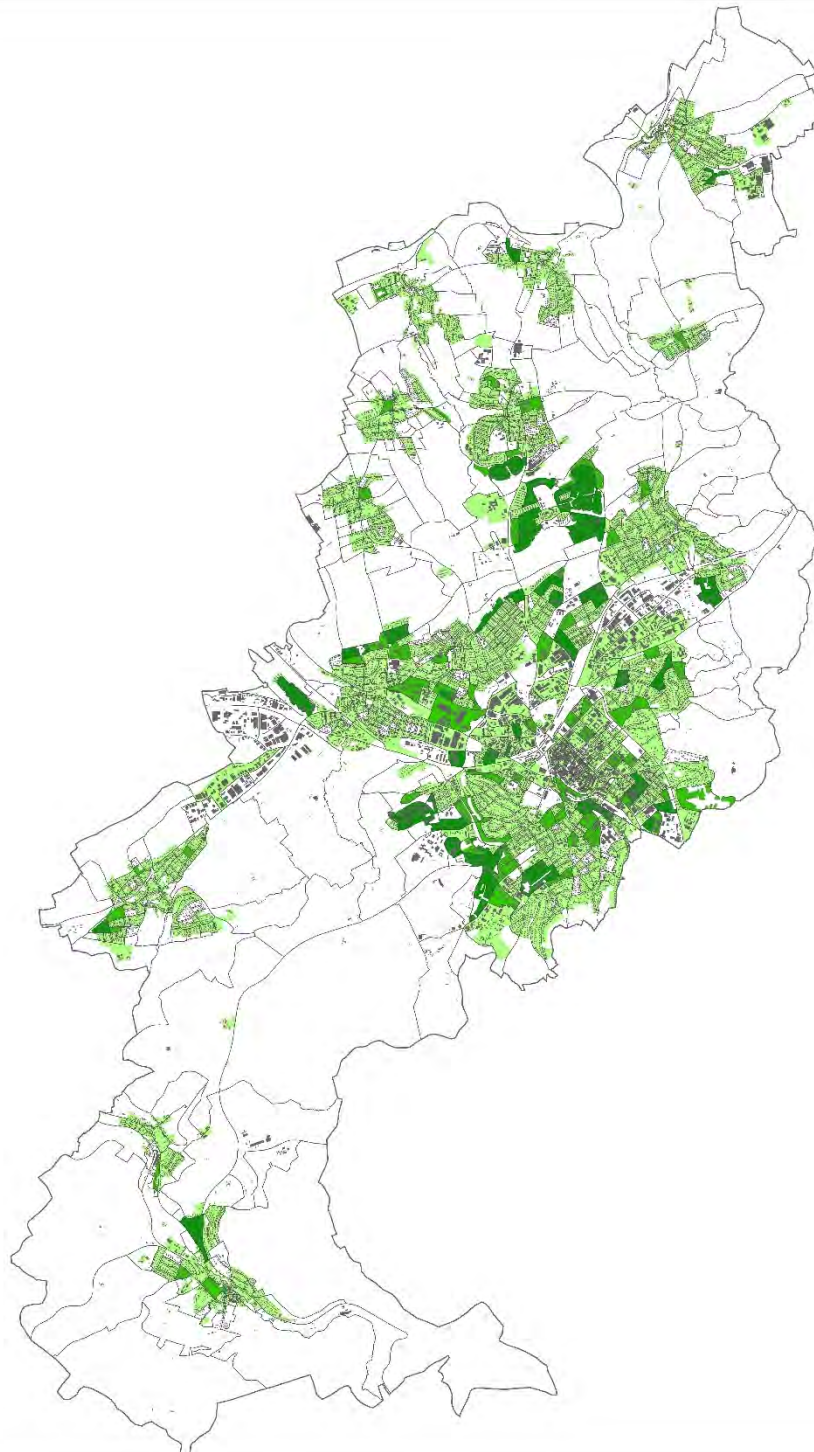
### Anzahl der Kinder bis 6 Jahre je Baublock (Mittelwert 5; Standardabweichung 7)

- geringe bis mittlere Anzahl (1 - 12)
- hohe Anzahl (13 -19: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (20 - 74: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)

- Baublock
- Gebäude

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen



Karte 5.4: Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der Kinder bis sechs Jahre (Quelle: agl 2020)



# Kinder bis 6 Jahre und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

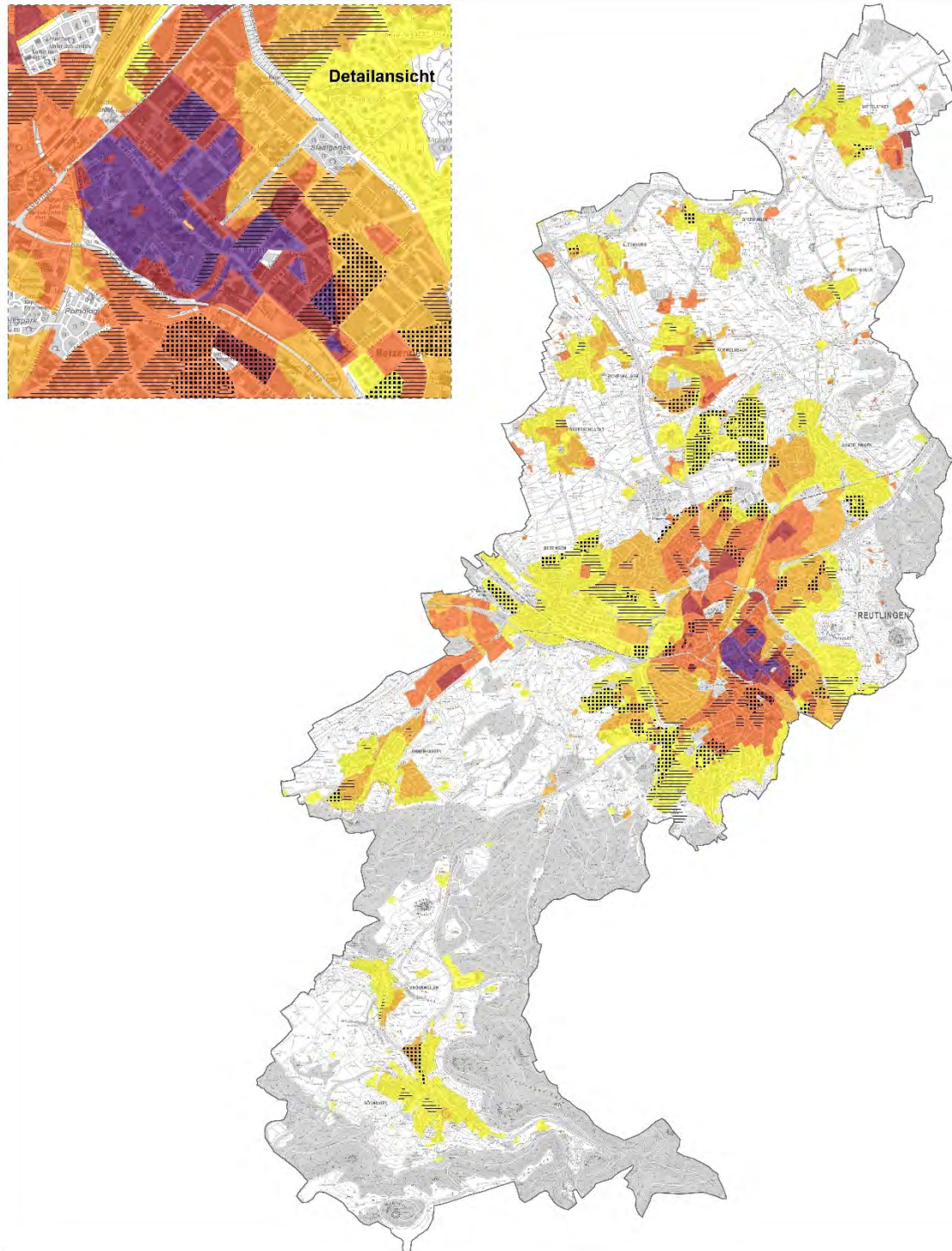
- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

## Anzahl der Kinder bis 6 Jahre je Baublock (Mittelwert 5, Standardabweichung 7)

- hohe Anzahl (13 - 19: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (20 - 74: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturfächen)

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Dröschner 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 5.5: Kinder bis sechs Jahre und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

### 5.3.1.3 SENSITIVE BEVÖLKERUNGSGRUPPEN – ANZAHL DER ÜBER 65-JÄHRIGEN

Gerade ältere Menschen leiden besonders unter thermischer Belastung und tragen aus gesundheitlichen Gründen gegenüber der Allgemeinbevölkerung ein höheres Risiko. Gleichzeitig sind sie oft nicht in der Lage, die mit hohen Temperaturen einhergehenden Gefahren einzuschätzen und sich in ihrem Verhalten entsprechend anzupassen. Dies gilt selbstverständlich nicht für alle älteren Menschen in gleichem Maße. Der Anteil der Menschen mit eingeschränkter Bewältigungskompetenz ist jedoch erhöht. Daher ist die Kenntnis, wo eine erhöhte Anzahl von über 65-Jährigen lebt, für mögliche Anpassungsstrategien von Bedeutung.

Die Bewertung, was als gering bis mittlere, hohe und sehr hohe Dichte definiert wird, wurde wie beschrieben statistisch vorgenommen: Der Mittelwert lag bei 18 über 65-Jährigen pro Baublock; die Standardabweichung bei 26 Personen. Eine geringe bis mittlere Dichte bedeutete demnach, dass bis zu 44 Personen mit einem Mindestalter von 65 Jahren im Baublock lebten. Bei einer hohen Dichte waren das 45 bis 70 Personen; bei einer sehr hohen Dichte waren es mehr als 71 Personen der Altersstufe.

Die Verteilung der über 65-Jährigen konzentriert sich im Zentrum auf die Bereiche der Gustav-Werner-Stiftung und Chamignystrasse – jeweils mit Einrichtungen der Altenpflege. Ansonsten liegen die Quartiere an den Rändern der Kernstadt mit sehr hohen Anteilen in Ringelbach, Hohbuch, Betzingen, Römerschanze, Storlach und Sondelfingen. Darüber hinaus insbesondere in Orschel-Hagen, kleinräumig in Rommelsbach (Bereich Frankenstraße). Auch hier spielen Altenpflegeeinrichtungen (s. u.) eine besondere Rolle in der räumlichen Verteilung der sehr hohen Dichten. Eine Ausnahme bildet der Stadtteil Orschel-Hagen, da hier insgesamt ein sehr hoher Anteil älterer Menschen wohnt. Hohe Dichten finden sich im Bereich Unterm Georgenberg im Ringelbach, in der Kernstadt im Quartier zwischen Heppstraße und Tübingerstraße, in Betzingen im Umfeld der Hoffmannstraße, im Bereich der Römerschanze und mehreren Quartieren unterhalb der Achalm und des Burgholz. Bei den weiteren Stadtbezirken sind größere Quartiere mit einem hohen Anteil an über 65-Jährigen belegt, insbesondere in Gönningen (Umfeld Lichtensteinstraße, Bronnweilerstraße, Seitenstraße) und Altenburg (Stadtteilkern und Hochhaussiedlung), in kleinerem Umfang auch in Ohmenhausen.

Die Vulnerabilität (Betroffenheit) ist überwiegend gering, da fast nur gering oder moderat wärmebelastete Quartiere einen hohen Anteil an über 65-Jährigen aufweisen. Ausnahmen bilden die Altenpflegeeinrichtungen im Zentrum, die Wohnbereiche um die Beuttlerstraße und die Uhlandstraße; im Bereich Römerschanze (Sickenhäuserstraße) und Voller Brunnen (Umfeld Storlachstraße) sowie in Ringelbach die Quartiere und die Negelerstraße. In den sehr hoch wärmebelasteten Innenstadt- und den Stadtklimazonen wohnen nicht überdurchschnittlich viele Menschen über 65 Jahre.

#### **Anzahl der über 65-Jährigen in Singlehaushalten**

Besonders alleinlebende ältere Menschen gehören zur Risikogruppe. Sofern diese nicht über ausreichende Bewältigungskompetenzen zum Umgang mit Wärmebelastung und Hitzewellen besitzen, benötigen diese Hilfe (z. B. über Angehörige, Freundschaften, Nachbarschaftshilfe, ambulante Pflege etc.), um angepasste Verhaltensweisen (ausreichende Flüssigkeitszufuhr, leichtes Essen, abgestimmte Medikation etc.) zu realisieren. Über die Kenntnis, wo viele ältere Menschen in Singlehaushalten leben, können Anpassungsmaßnahmen gezielt verortet werden.

Bei den über 65-Jährigen lag der Mittelwert pro Baublock bei 5 Personen, die Standardabweichung bei 9 Personen. Eine geringe Anzahl von in Singlehaushalten lebenden über 65-Jährige war demnach für diese Analyse bei bis zu 14 Personen im Baublock definiert, eine hohe Anzahl bei 15 bis 23 Personen und eine sehr hohe Anzahl bei 24 und mehr Personen über 65 Jahre in Singlehaushalten.

# Sensitive Bevölkerungsgruppen: Anzahl der über 65-Jährigen

## Anzahl der über 65-Jährigen je Baublock (Mittelwert 18; Standardabweichung 26)

- geringe bis mittlere Anzahl (1 - 44)
- hohe Anzahl (45 - 70: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (71 - 267: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

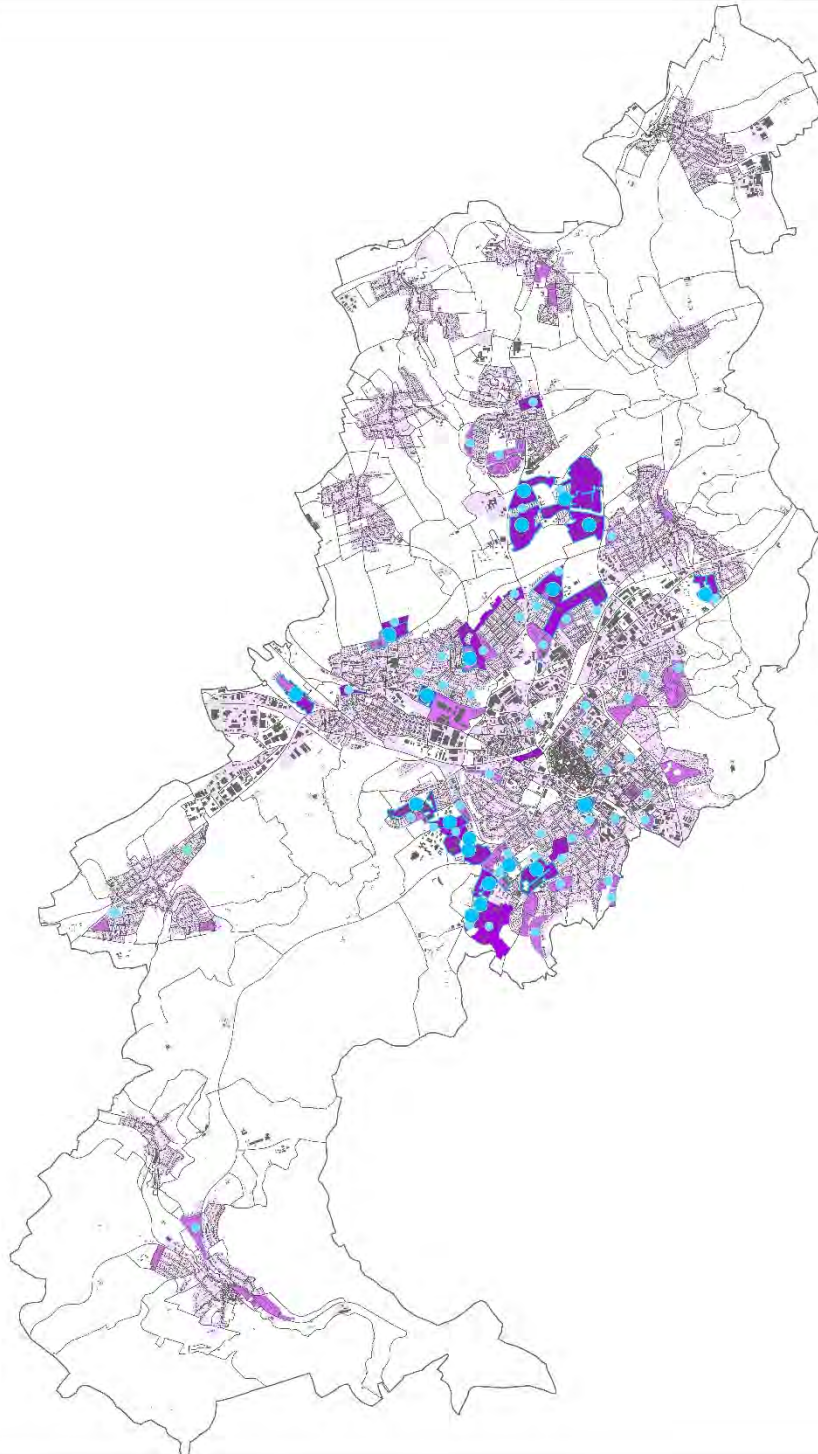
Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, errechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)

## Anzahl der Singlehaushalte der über 65-Jährigen je Baublock (Mittelwert 5; Standardabweichung 9)

- hohe Anzahl (15 - 23: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (24 - 105: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

- Baublock
- Gebäude

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen



Karte 5.6: Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 65-Jährigen (Quelle: agl 2020)

# Über 65-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

## Anzahl der über 65-Jährigen je Baublock (Mittelwert 18; Standardabweichung 26)

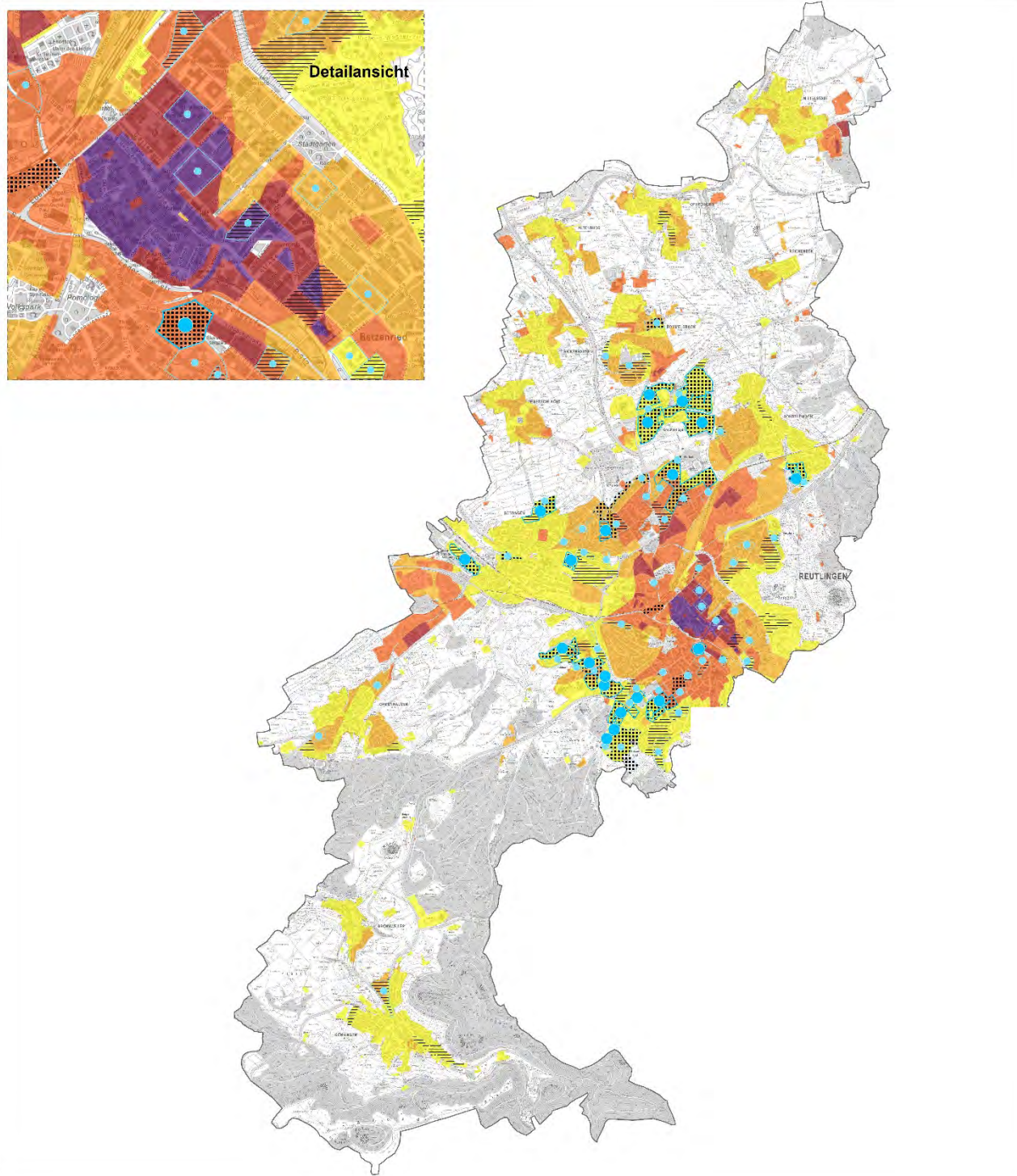
- hohe Anzahl (45 - 70: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (71 - 267: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

## Anzahl der Singlehaushalte der über 65-Jährigen je Baublock (Mittelwert 5; Standardabweichung 9)

- hohe Anzahl (15 - 23: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (24 - 105: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017) | Simulation des Innenraumklimas (Pfaferrott 2019) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, dargestellt auf Ebene der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)



Karte 5.7: Über 65-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

Mit wenigen Ausnahmen ist die Dichteverteilung in der Stadt für diesen Indikator deckungsgleich mit dem Indikator der über 65-Jährigen. Einzelne Quartiere im Zentrum und in den Stadtteilen mit einer hohen Dichte über 65-Jähriger in Singlehaushalten weisen jedoch nur eine geringe bis mittlere Dichte der über 65-Jährigen auf. Entsprechendes gilt für die Vulnerabilität.

#### 5.3.1.4 SENSITIVE BEVÖLKERUNGSGRUPPEN – ANZAHL DER ÜBER 75-JÄHRIGEN

Unter den älteren Menschen ist die Kohorte der über 75-Jährigen in besonderem Maße als Risikogruppe zu betrachten, da die Mortalität aufgrund von Pflegebedürftigkeit sowie Vorerkrankungen nochmals deutlich erhöht ist (an der Heiden et al. 2019, Herrmann et al. 2019).

Die geringe bis mittlere Anzahl von über 75-Jährigen pro Baublock lag für die vorliegende Analyse bei bis zu 25 Personen der Altersklasse (Mittelwert zehn Personen; Standardabweichung: 16 Personen). Eine hohe Dichte war bei 26 bis 41 Personen, eine sehr hohe Dichte bei mehr als 42 Personen pro Baublock gegeben.

Mit wenigen Ausnahmen ist die Dichteverteilung für diesen Indikator deckungsgleich mit den über 75-Jährigen. Einzelne Quartiere im Zentrum und in den Stadtteilen mit einer hohen Dichte an über 75-Jährigen zeigen jedoch nur eine geringe bis mittlere Dichte der über 75-Jährigen auf. Daher ergibt sich auch für die Vulnerabilität (Betroffenheit) der über 75-Jährigen ein ähnliches Bild wie bei den über 65-Jährigen.

#### **Anzahl der über 75-Jährigen in Singlehaushalten**

Vergleichbar zu den über 65-Jährigen gehören besonders alleinlebende über 75-Jährige zur Risikogruppe der gegenüber Wärmebelastung empfindlichen Personen. Sie sind in verstärktem Maße auf Hilfe angewiesen, um angemessene Anpassungsmaßnahmen vornehmen zu können.

Eine geringe bis mittlere Anzahl von über 75-Jährigen pro Baublock war bei bis zu neun Personen der Altersklasse definiert (Mittelwert 3 Personen; Standardabweichung: 6 Personen). Eine hohe Dichte war bei zehn bis 15 Personen erreicht, eine sehr hohe Dichte bei mehr als 15 Personen pro Baublock gegeben.

Die räumliche Verteilung der Singlehaushalte mit über 75-Jährigen ist mit der Verteilung der über 65-Jährigen vergleichbar. Unterschiede ergeben sich in der Kernstadt im Bereich Burgholz (westlich des Scheibengipfels), in der Römerschanze, in Ringelbach und in Hohbuch, wo einzelne kleinere abgrenzbare Quartiere eine hohe Dichte von Singlehaushalten mit über 75-Jährigen aufweisen, wogegen hier der Anteil der über 65-Jährigen gering bleibt. Gleiches gilt für den Stadtbezirk Gönningen.

Die Verteilung der in wärmebelasteten Bereichen liegenden Singlehaushalten mit über 75-Jährigen entspricht der Verteilung bei den über 65-Jährigen, d. h. insgesamt sind nur wenige zentrumsnahe Bereiche von einer mindestens hohen Wärmebelastung betroffen.

## Sensitive Bevölkerungsgruppen: Anzahl der über 75-Jährigen

### Anzahl der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 10; Standardabweichung 16)

- geringe bis mittlere Anzahl (1 - 25)
- hohe Anzahl (26 - 41: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (42 - 63: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

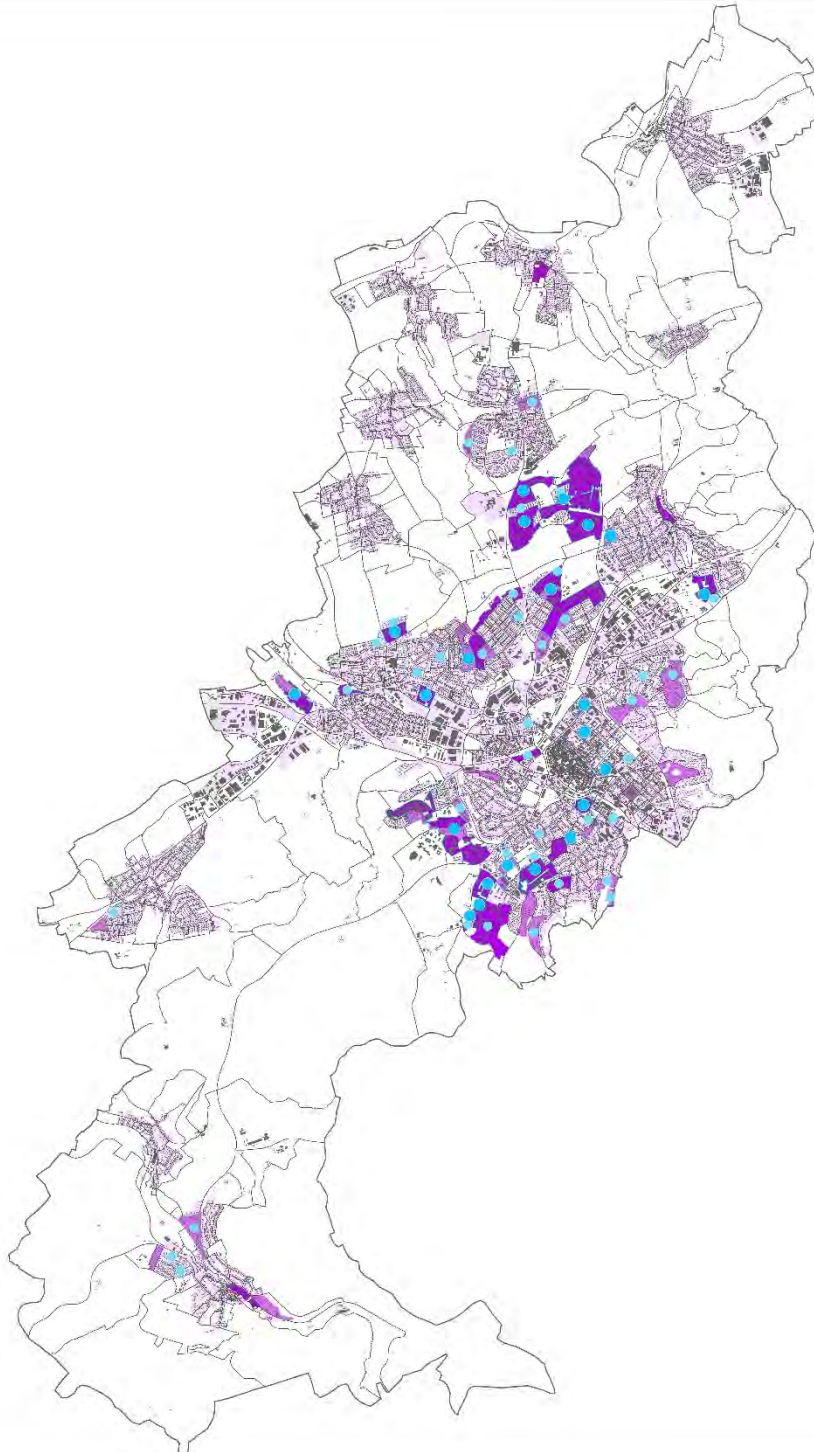
### Anzahl der Singlehaushalte der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 3; Standardabweichung 6)

- hohe Anzahl (10 - 15: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (16 - 66: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, errechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturfächen)

Baublock  
Gebäude

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen



Karte 5.8: Sensitive Bevölkerungsgruppen – Anzahl der über 75-Jährigen (Quelle: agl 2020)

# Über 75-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

## Anzahl der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 10; Standardabweichung 16)

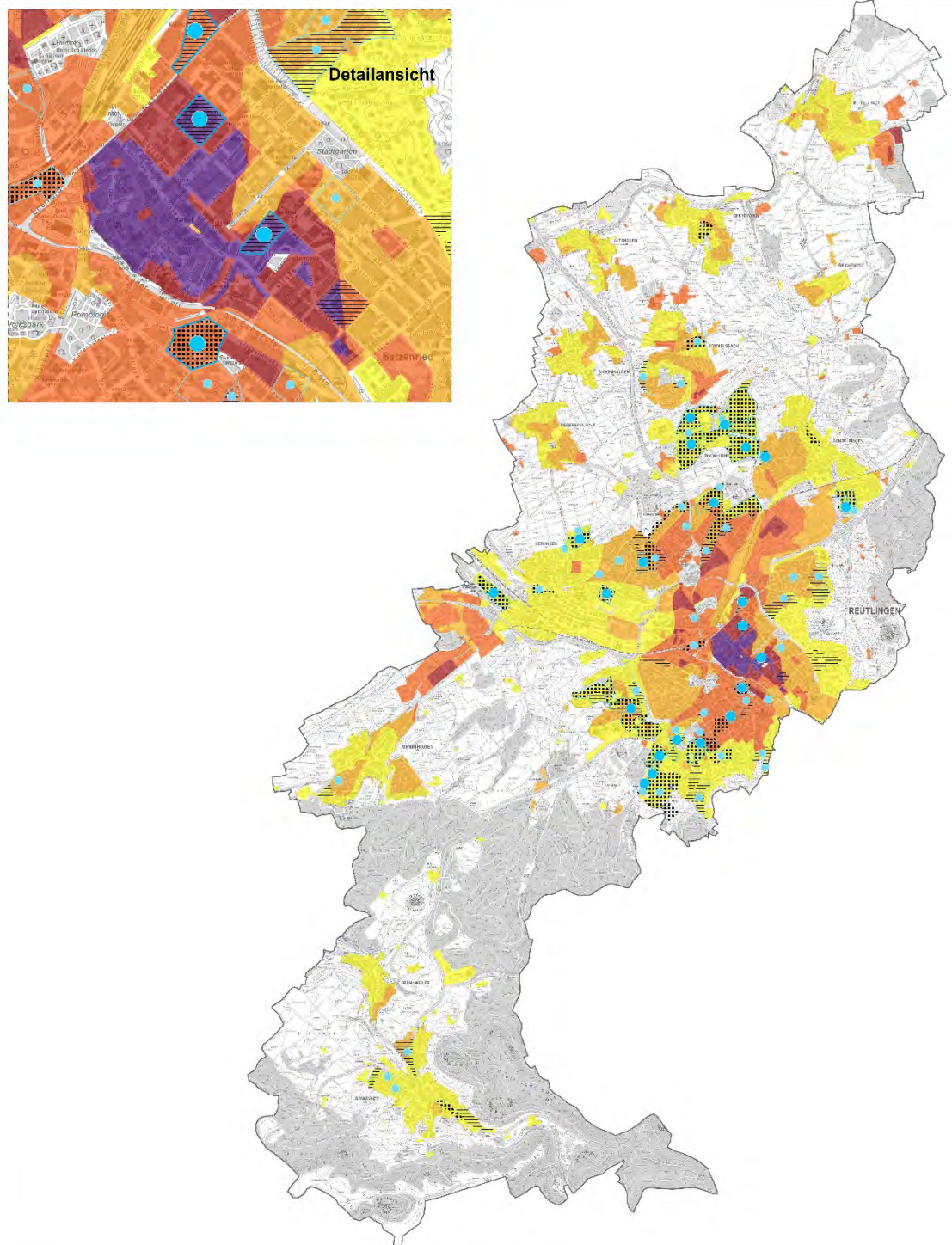
- hohe Anzahl (26 - 41: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (42 - 163: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

## Anzahl der Singlehaushalte der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 3; Standardabweichung 6)

- hohe Anzahl (10 - 15: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (16 - 66: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017) | Simulation des Innenraumklimas (Pfaifferott 2019) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene, dargestellt auf Ebene der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)



Karte 5.9: Über 75-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

### 5.3.2 ANZAHL DER BESCHÄFTIGTEN (ARBEITSPLATZ)

Eine hohe thermische Belastung beeinträchtigt die Konzentration und körperliche Fitness. Beschäftigte, die einer hohen Wärmebelastung ausgesetzt sind, werden damit in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt (vgl. Weller 2016). Nicht nur für Büroarbeitsplätze, sondern gerade auch für im Freien körperlich arbeitende Menschen ist über die Leistungsfähigkeit hinaus auch ein gesundheitliches Risiko gegeben. Daher ist es von Interesse, inwieweit eine hohe Zahl von Beschäftigten in einem Siedlungsbereich mit thermisch belasteten Gebieten korreliert. In der aktuellen Studie konnte keine Differenzierung der Beschäftigten nach Branchen (etwa nach NACE-Code) vorgenommen werden. Insofern konnte die Art der Beschäftigten in Wohnsiedlungsbereichen, Gewerbegebieten oder öffentlichen Einrichtungen nicht weiterdifferenziert werden.

Im Mittel wiesen die Baublocks in Reutlingen 26 Beschäftigte auf; die Standardabweichung betrug 124. Eine geringe bis mittlere Dichte war bei bis zu 150 Beschäftigten pro Baublock definiert. Eine hohe Dichte lag damit bei 151 bis 274 Beschäftigten je Baublock, eine sehr hohe Dichte bei mehr als 274 Beschäftigten vor.

Eine hohe oder sehr hohe Zahl der Beschäftigten ist naturgemäß insbesondere in den Industrie- und Gewerbegebieten der Stadt Reutlingen zu verzeichnen, darüber hinaus im Bereich der Bruderhaus-Diakonie Werkstätten und des Hofguts, des Kreisklinikums, der Habila GmbH, der Hochschulen und weiterer öffentlicher Einrichtungen in der Kernstadt.

Die Überlagerung der differenzierten Wärmebelastung mit der Anzahl der Beschäftigten ergibt drei höchst wärmebelastete Baublöcke in der Innenstadt, die gleichzeitig eine sehr hohe Dichte an Beschäftigten aufweisen; drei weitere Baublöcke in dieser Wärmebelastungszone weisen eine hohe Dichte an Beschäftigten auf. Darüber hinaus liegen einige Blöcke mit sehr hohen Beschäftigtendichten in sehr hoch bis hoch wärmebelasteten Zonen, meist in Industrie- und Gewerbegebieten. Die Betroffenheit der Beschäftigten ist damit hoch bis sehr hoch.



# Anzahl der Beschäftigten

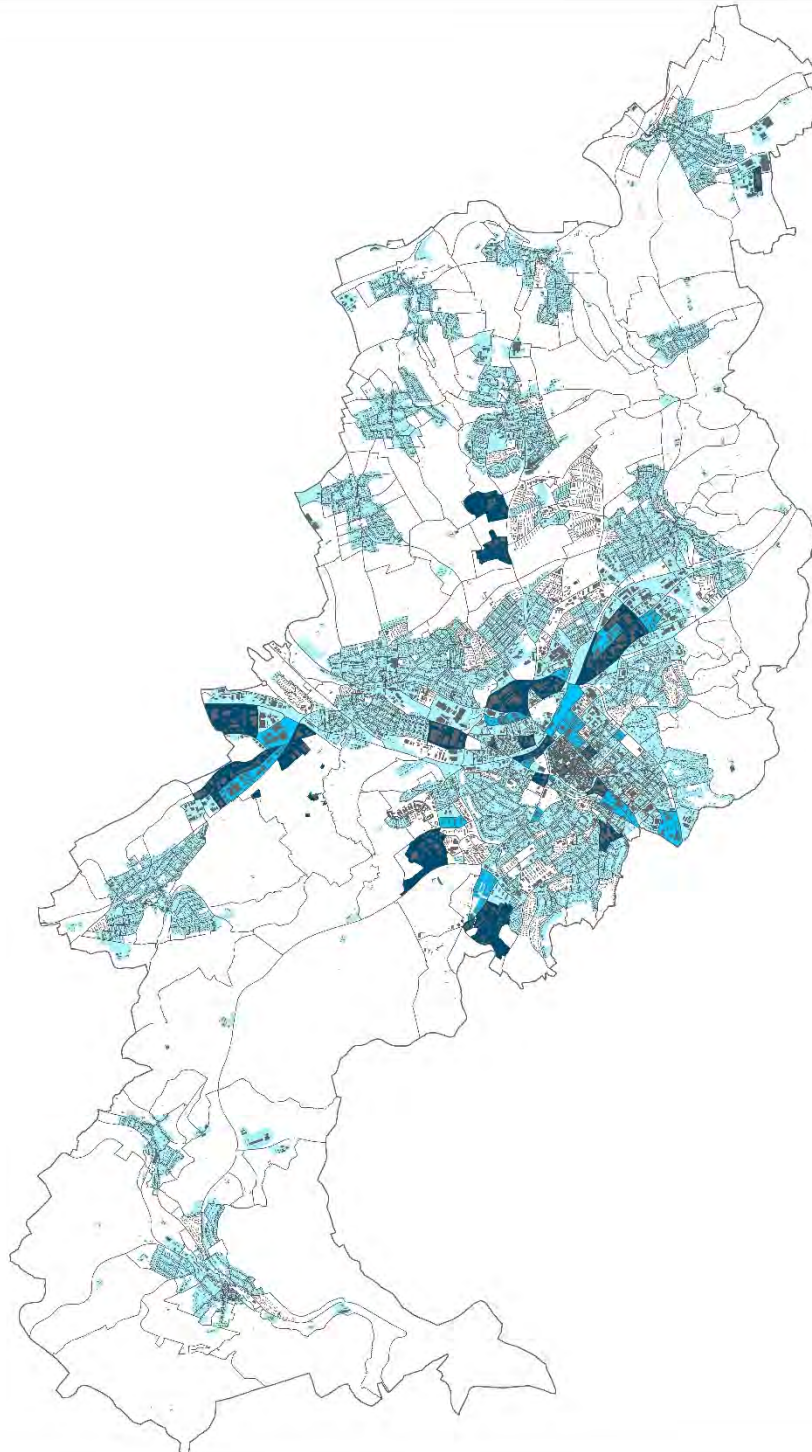
## Anzahl der Beschäftigten je Baublock (Mittelwert 26; Standardabweichung 124)

- geringe bis mittlere Anzahl (1 - 150)
- hohe Anzahl (151 - 274: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (275 - 2.708: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2017 auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturfächen)

- Baublock
- Gebäude

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen





Karte 5.10: Anzahl der Beschäftigten (Quelle: agl 2020)

# Beschäftigte und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

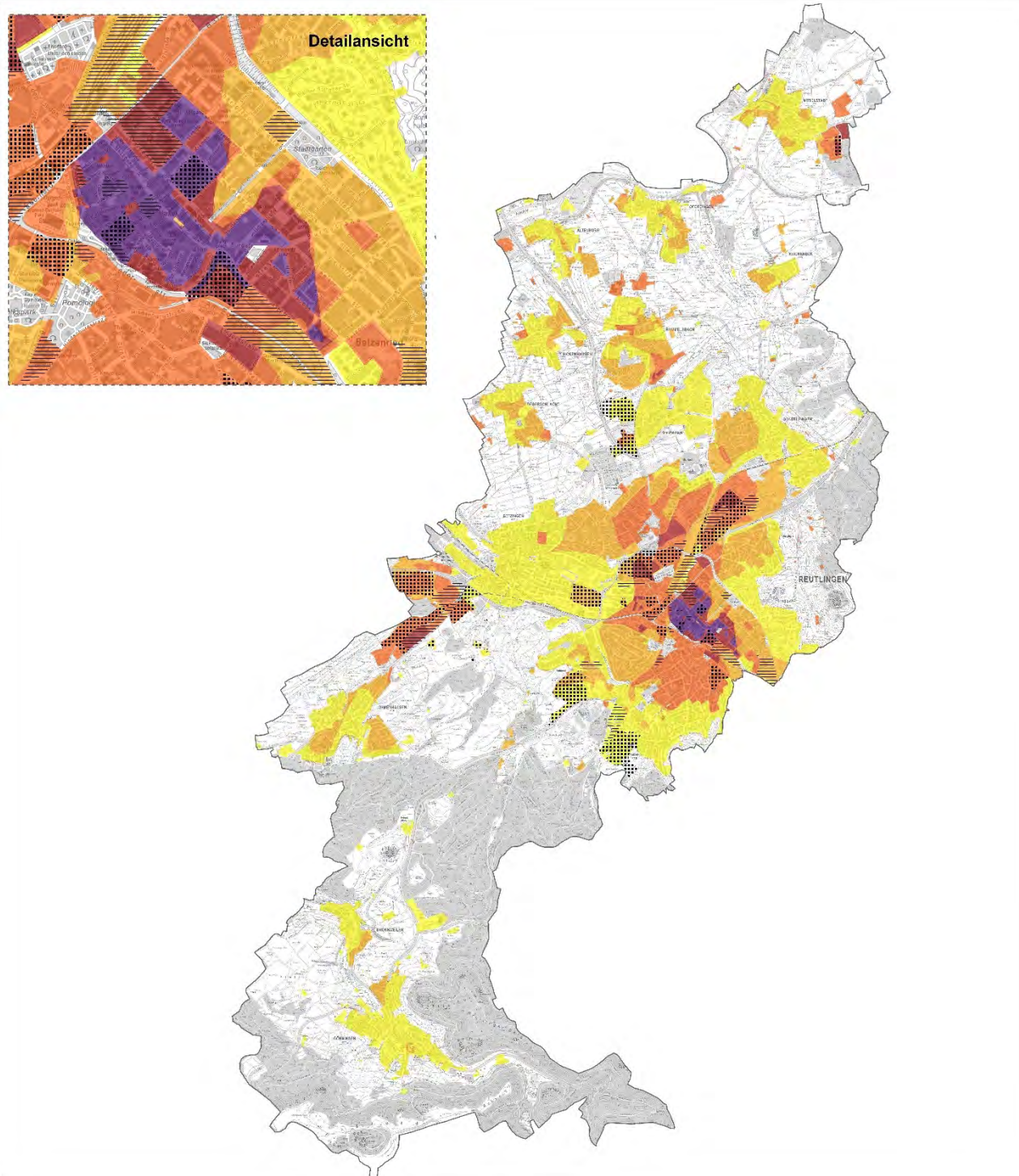
-  höchst belastet
-  sehr hoch belastet
-  hoch belastet
-  moderat belastet
-  gering belastet

## Anzahl der Beschäftigten je Baublock (Mittelwert 26, Standardabweichung 124)

-  hohe Anzahl (151 - 274: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
-  sehr hohe Anzahl (275 - 2.708: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2017 auf Baublockebene, berechnet auf die Fläche der Siedlungsstrukturtypen (ohne Siedlungsfreiflächen sowie Ver- und Entsorgungsinfrastrukturflächen)

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 5.11: Beschäftigte und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

### 5.3.3 SENSITIVITÄTSINDIKATOREN UND BETROFFENHEITEN – SENSITIVE EINRICHTUNGEN

Empfindliche Einrichtungen wie Altenpflegeheime, Krankenhäuser oder Kindertagesstätten, in denen sensitive Bevölkerungsgruppen untergebracht sind, wurden erhoben, räumlich verortet und mit der Darstellung der differenzierten Wärmebelastung überlagert. Mithilfe dieser Grundlage können zielgruppenspezifische Maßnahmen zur Klimaanpassung entwickelt werden. Betrachtet wurden

- Kindergärten,
- Grund- und Gemeinschaftsschulen sowie sonderpädagogische Bildungsstätten,
- weiterbildende Schulen,
- Hochschule,
- Krankenhäuser,
- Pflege- und Behinderteneinrichtungen sowie
- Seniorenheime.

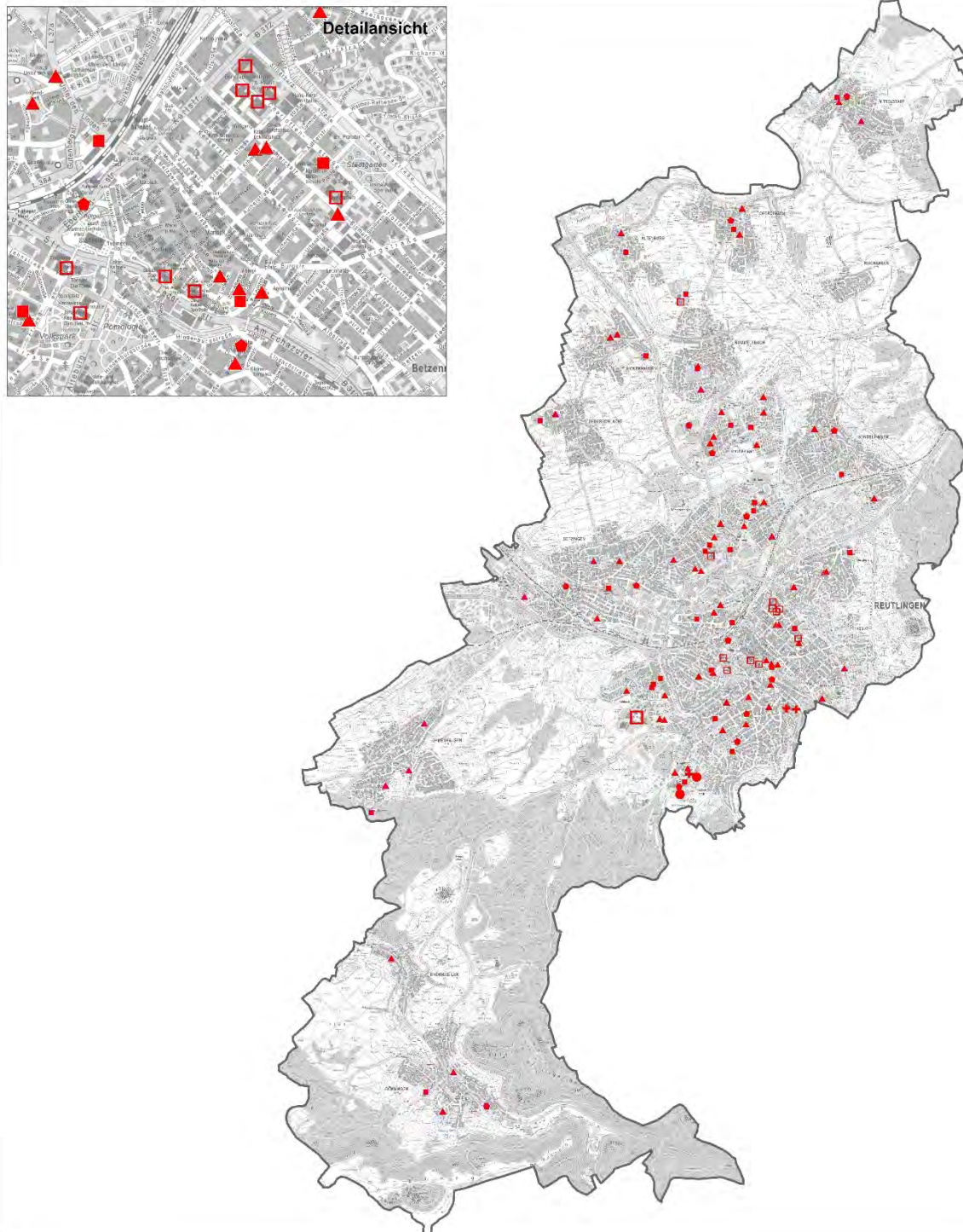
Im Ergebnis zeigt sich, dass im höchst wärmebelasteten Innenstadtbereich einige Kindergärten und Schulen liegen, die damit von thermischer Belastung stark betroffen sind. Weitere Schul- und Kindergartenstandorte befinden sich in der hoch wärmebelasteten Zone des Stadtklimatops. Hier finden sich auch einige Standorte von Seniorenheimen. In den höchst bzw. sehr hoch wärmebelasteten Siedlungsbereichen sind dagegen keine Senioren- oder Pflegeheime oder Krankenhäuser untergebracht.

# Sensitive Einrichtungen

## Sensitive Einrichtungen

- ▲ Kindergarten
- Grund-, Gemeinschaftsschule, sonderpädagogisches Bildungszentrum
- Weiterbildende Schule
- Hochschule
- + Krankenhaus
- Pflege-/Behinderteneinrichtung
- Seniorenheim

Quelle: agl 2018 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 5.12: Sensitive Einrichtungen (Quelle: agl 2020)

# Sensitive Einrichtungen und Exposition gegenüber thermischer Belastung

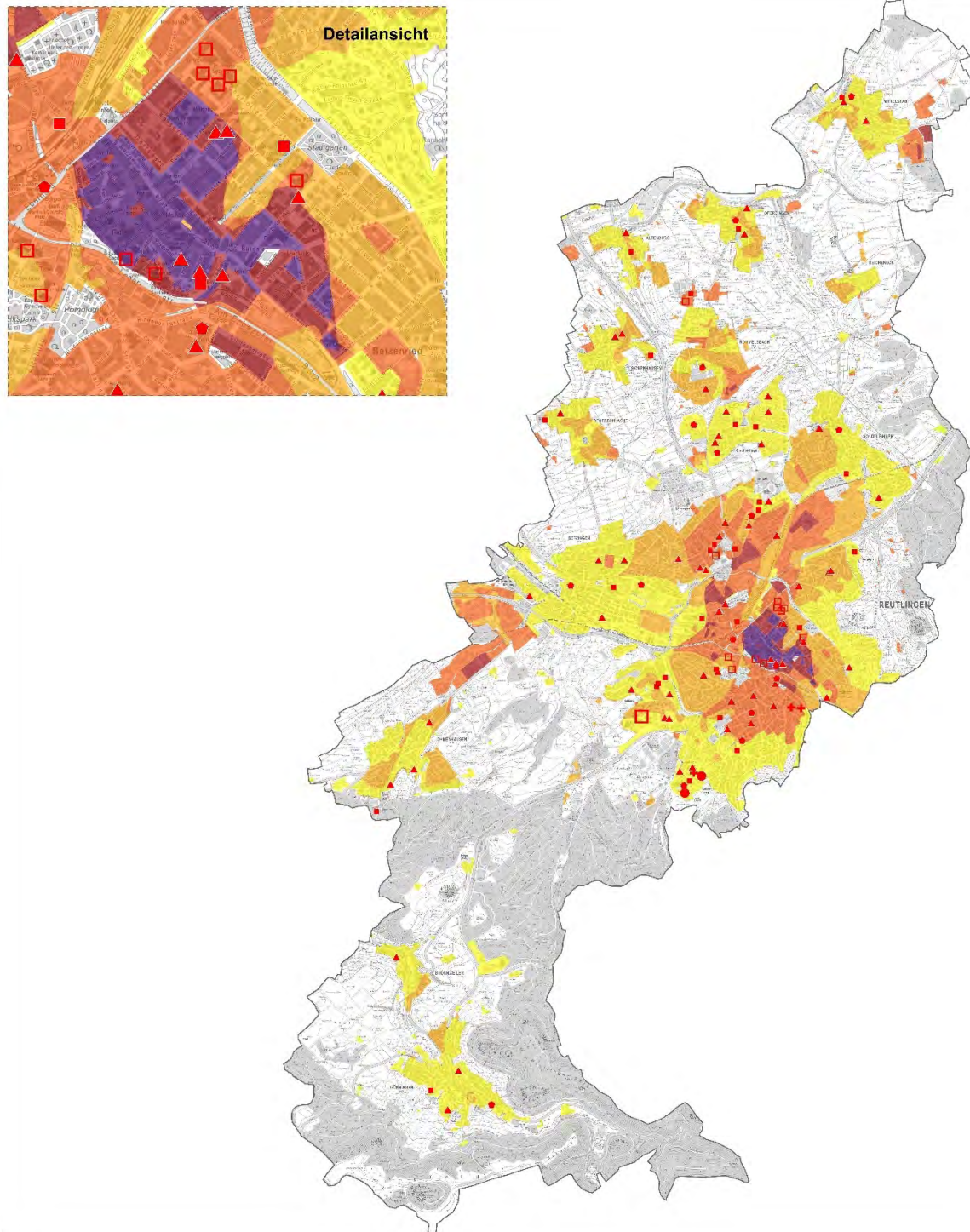
## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

## Sensitive Einrichtungen

- Kindergarten
- Grund-, Gemeinschaftsschule, sonderpädagogisches Bildungszentrum
- Weiterbildende Schule
- Hochschule
- Krankenhaus
- Pflege-/Behinderteneinrichtung
- Seniorenheim

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 5.13: Sensitive Einrichtungen und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

## 5.4 ANPASSUNGSFÄHIGKEIT – ZUSATZINFORMATIONEN FÜR DIE MAßNAHMENENTWICKLUNG

Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, lässt sich die Anpassungsfähigkeit nicht ohne Weiteres über Indikatoren operationalisieren. Dennoch können für die Maßnahmenentwicklung Zusatzinformationen bereitgestellt werden, welche die Anpassungskapazität gezielt erhöhen können. Für die Stadt Reutlingen wurden hierfür exemplarisch die Grünraumversorgung und die Grünerreichbarkeit für die öffentlichen Grünflächen analysiert. Die Einbeziehung privater Grünflächen war aus ressourcen- und datentechnischen Gründen nicht möglich.

Die Grünraumversorgung spielt für den Klimakomfort am Tage eine wichtige Rolle, da in Grünräumen bei entsprechender Ausstattungsqualität ein gegenüber der verdichteten, versiegelten und gebauten Umwelt ein angenehmeres Mikroklima herrscht. Ein hohes Grünvolumen und Verschattung durch Bäume sowie eine hohe Albedo/solare Reflexion auf Platzflächen tragen positiv zum Klimakomfort bei (vgl. agl 2012). Daher ist es ein wichtiger stadt- und freiraumplanerischer Faktor, zu bestimmen, ob ausreichend viele Grünflächen (mit hohem Klimakomfort) auch in den verdichteten Siedlungsflächen vorhanden bzw. erreichbar sind.

Die Grünraumversorgung wurde auf Grundlage der zugänglichen öffentlichen Grünflächen (größer als 1 ha) sowie der zugänglichen und unmittelbar am Siedlungsrand anschließenden landwirtschaftlichen Nutzflächen und Waldflächen analysiert. Im Umgriff von 300 m einer zugänglichen Fläche (fußläufige Erreichbarkeit) wurde die Anzahl der Einwohner aufgegriffen und der pro Einwohner zur Verfügung stehende Grünflächenanteil ausgewiesen. Die Klasseneinteilung wurde anhand der im Gebiet vorkommenden Spannweite der Grünversorgung vorgenommen. Grünflächenanteile bis zu 50 m<sup>2</sup> bildeten dabei die Kategorie mit der geringsten Grünraumversorgung, bis zu 100 m<sup>2</sup> und 200 m<sup>2</sup> die nächsten Stufen. Die höchsten Kategorien waren die Stufen bis zu 1.000 m<sup>2</sup> und über 1.000 m<sup>2</sup>.

Im Vergleich zu anderen Großstädten (BBSR 2018) ist die Grünraumversorgung in Reutlingen auch in den verdichteten Quartieren (Kategorie 0 m<sup>2</sup> bis 50 m<sup>2</sup>) als gut zu bezeichnen. Die Ausstattungsqualität konnte im Rahmen des Projekts nicht beurteilt werden. Für die Ableitung von Maßnahmen sind daher weitere Arbeiten erforderlich.

Die Erreichbarkeit von Grünflächen wurde anhand derselben Daten berechnet. Im Umgriff der Grünflächen wurde der Anteil der Einwohner pro Baublock bestimmt, der innerhalb von fünf Minuten (300 m Luftlinien-distanz) die Grünfläche erreichen kann. Die Klasseneinteilung wurde anhand der Standardabweichung statistisch erhoben. Nur in der Kernstadt, insbesondere der östlichen Innenstadt, in Burgholz sowie in Ringelbach und Betzingen ist die Erreichbarkeit in der Fünf-Minuten-Distanz nur bei einem Anteil von bis zu 12 % der Bevölkerung im Baublock gegeben. Das bedeutet aber auch, dass ein Großteil der Bevölkerung öffentliche Grünflächen in unmittelbarer Nähe erreichen kann.

Für die Interpretation der Daten zur Grünraumversorgung sollten auch die privaten Grünflächen einbezogen werden. Denn zu den Bereichen mit nicht optimaler Grünraumversorgung und Erreichbarkeit zählen viele Ein- bis Zweifamilienhausquartiere. Dies sind jedoch Quartiere, bei denen entsprechend viele private Gärten ein gutes Mikroklima sicherstellen.

# Grünraumversorgung

**In 5 Min. erreichbare öffentliche Grünfläche  
(300 m Entfernung) je Einwohner der Baublöcke**

(Klasseneinteilung eigen gesetzte Kategorien)

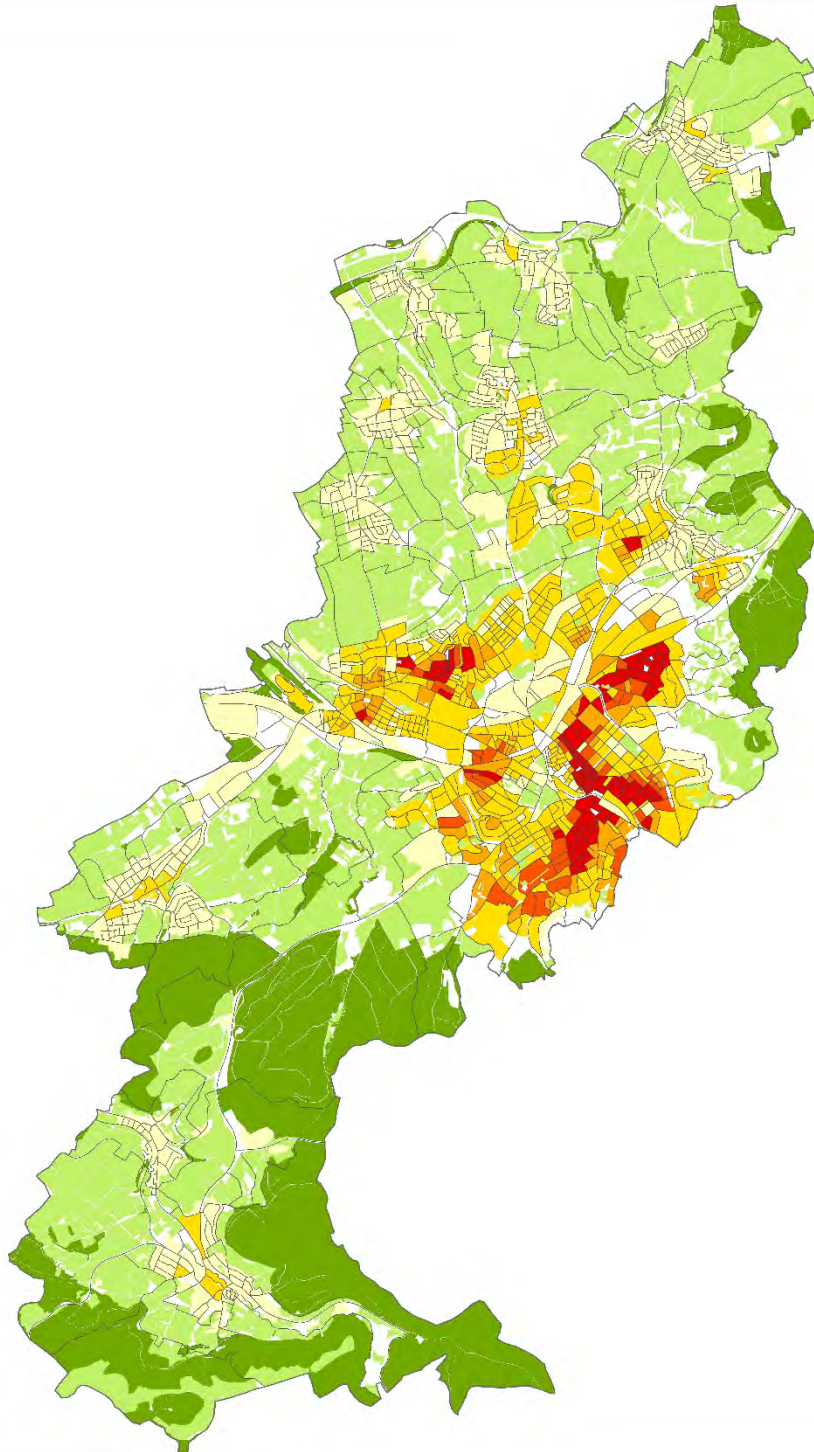
- 0 - 50 m<sup>2</sup>
- > 50 - 100 m<sup>2</sup>
- > 100 - 200 m<sup>2</sup>
- > 200 - 1.000 m<sup>2</sup>
- > 1.000 m<sup>2</sup>

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen

**Wald-, Landwirtschafts- und öffentliche Grünflächen ab 1 ha**

- Waldflächen
- Landwirtschafts- und öffentliche Grünflächen ab 1 ha
- Baublock



**Karte 5.14: Grünraumversorgung (Quelle: agl 2020)**

# Erreichbarkeit von Grünflächen

**Anteil der Bevölkerung im Baublock, der in 300 m Luftlinie öffentliche Grünflächen erreicht (Mittelwert 82%; Standardabweichung 35%)**

- 0 - 12%
- > 12 - 47%
- > 47 - 82%
- > 82 - 100%

**Bevölkerungsdichte: Einwohner/ha (klassifiziert mittels Quintilen)**

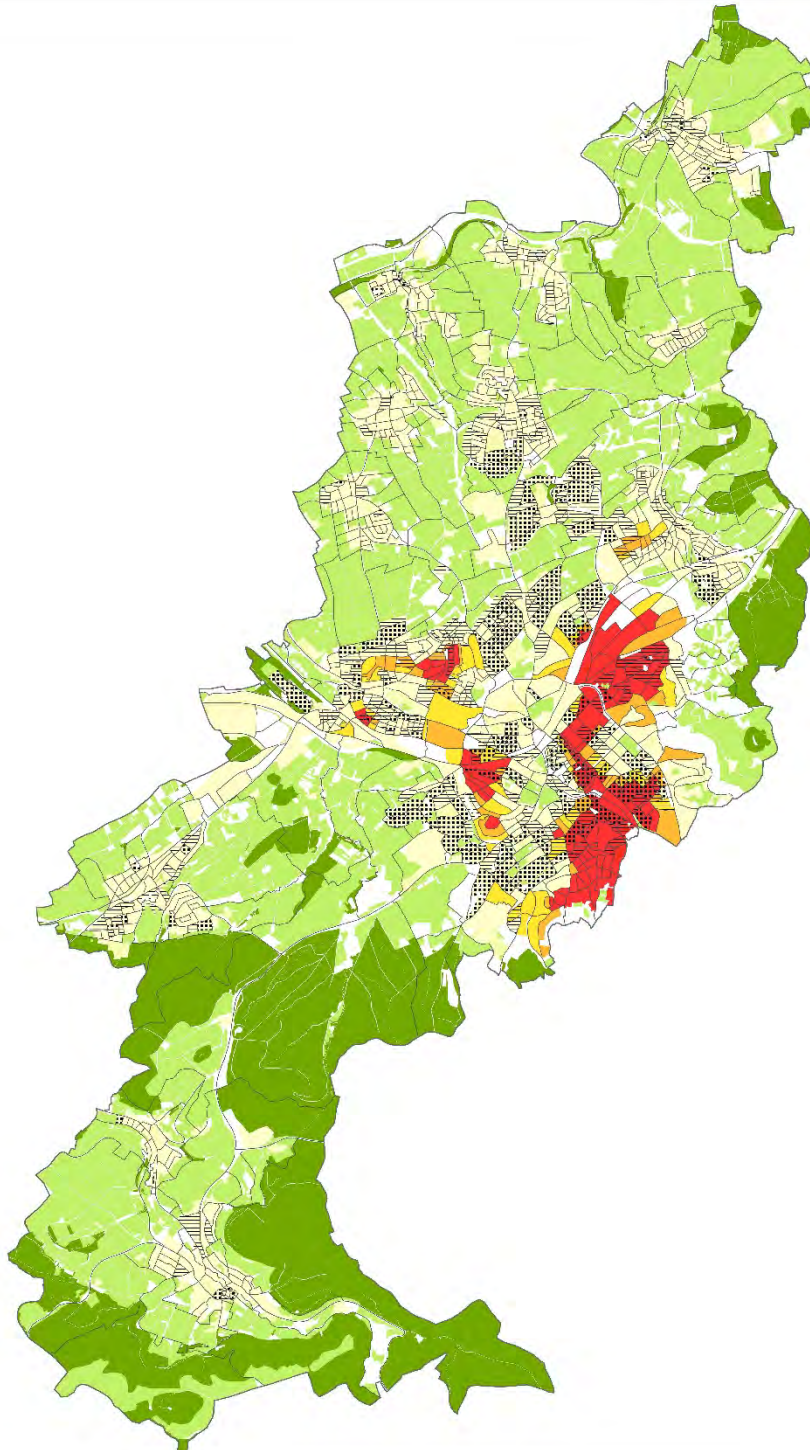
- Baublock mit hoher Bevölkerungsdichte ( $Q_{0,8}$  57 - 84)
- Baublock mit sehr hoher Bevölkerungsdichte ( $Q_1$  85 - 337)

Datengrundlage: Bevölkerungsdaten zum 31.12.2018 auf Baublockebene

**Wald-, Landwirtschafts- und öffentliche Grünflächen ab 1 ha**

- Waldflächen
- Landwirtschafts- und öffentliche Grünflächen ab 1 ha
- Baublock

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen



**Karte 5.15: Erreichbarkeit von Grünflächen (Quelle: agl 2020)**



## 5.5 ZWISCHENFAZIT

Für die Stadt Reutlingen erfolgte eine Analyse kleinräumiger Daten zu den Klimasignalen/Exposition und zur Sensitivität und infolge zur Ermittlung der Vulnerabilität (Betroffenheit) der Allgemeinbevölkerung sowie spezifischer Risikogruppen für den Status quo. Zudem konnten mit der Grünraumversorgung und der Erreichbarkeit von öffentlichen Grünräumen weitere Informationen zur Anpassungsfähigkeit generiert werden, die für die Maßnahmenentwicklung eine große Rolle spielen.

Im nachfolgenden Kapitel wird die Vulnerabilitätsanalyse für den Status quo um die thermische Belastung von Innenräumen erweitert.

# 6 Simulation des Innenraumklimas

Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf der Ermittlung der thermischen Belastung von Gebäudeinnenräumen in Abhängigkeit vom Klimasignal bzw. von der Exposition. Die thermische Innenraumbelastung (vgl. auch Mucha 2017) in der Stadt Reutlingen wurde dabei für die Ist-Situation über eine Modellierung unverschatteter Einzelräume vorgenommen. Die Modellrechnungen – durchgeführt von Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott, Hochschule Offenburg – bezogen sich dabei vor allem auf verschiedene Wohngebäudetypen, die nach Lage (Innenstadt, Stadtmitte, Stadtrand und Umland) und Gebäudeorientierung (Nord, Ost, Süd, West) differenziert wurden. Zudem wurde exemplarisch die Innenraumbelastung von Nichtwohngebäuden (Typ Bürogebäude, Typ Pflegeheim) simuliert. Aufbauend auf die Ergebnisse der Simulationsstudie erfolgte eine Verräumlichung für das Stadtgebiet mithilfe weiterer Grundlagendaten und über ein GIS.

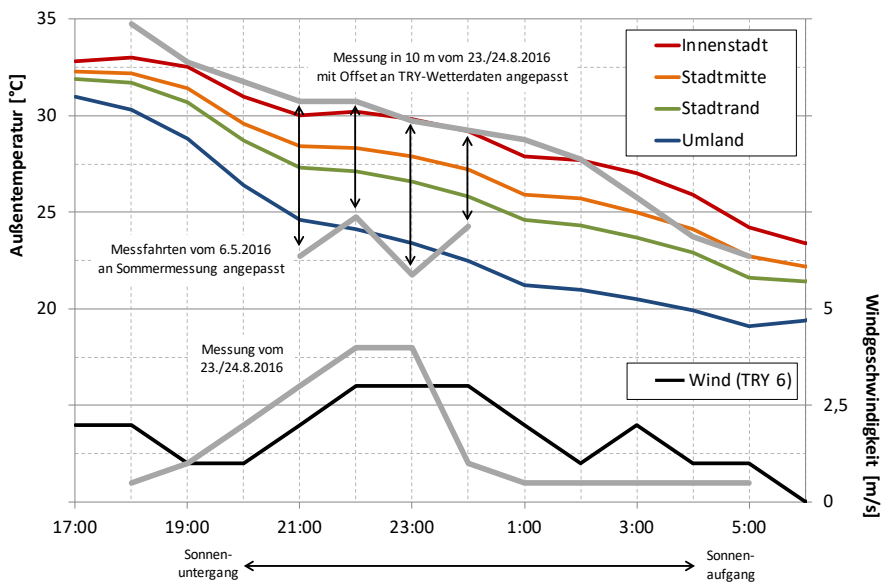
## 6.1 SIMULATION DES INNENRAUMKLIMAS

Die Simulationsstudie erfüllt die Vorgaben der „Richtlinie zur Durchführung einer dynamisch thermischen Simulationsrechnung für den Sommerlastfall in Gebäuden“, entsprechend der Richtlinie B12–8132.1/0 zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer (BMVBS 2008). Die Simulationsstudie basiert auf dem sogenannten Simple-Hourly-Method-Modell nach ISO 13790 und wurde in der Programmumgebung R-Studio durchgeführt.

Das Stadtklima wurde über ein passendes Testreferenzjahr (hier TRY-Region 6) mit entsprechender Ausgestaltung (insbesondere Einwohnerzahl und Höhenlage) gemäß TRY-Handbuch von 2012 so berücksichtigt (vgl. Frauenhofer IRB 25.09.2019), dass die stadtklimatologischen Besonderheiten von Reutlingen entsprechend der vorliegenden Kurzzeitmessungen (Gesamtstädtische Klimaanalyse, Dröscher 2017) erfasst wurden.

### 6.1.1 WETTERDATEN UND STADTKLIMA

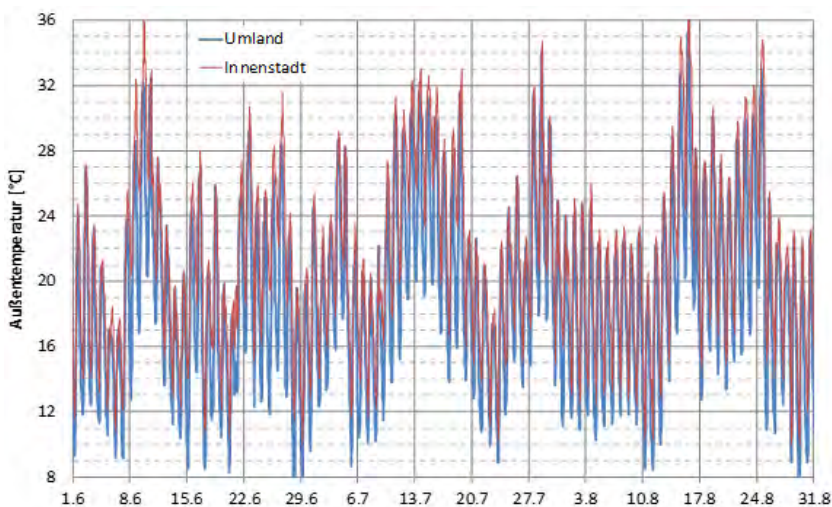
Die Stadt Reutlingen liegt innerhalb der Region 6 (insbesondere „oberes Neckartal“) der deutschen Testreferenzjahre. Mithilfe der stadtklimatischen Messungen aus dem Jahr 2016 (Dröscher 2017) wurde der Stadtklimaeffekt passend aufgeprägt. Abbildung 6.1 zeigt, dass sowohl die lokale Temperaturentwicklung vom Umland bis in die Innenstadt (mit ausgeprägtem Wärmeinseleffekt) als auch der nächtliche Wind gut abgebildet wurden.



**Abbildung 6.1: Vergleich von ausgewählten Messdaten (graue Linien) mit dem angepassten Testreferenzjahr für die Region 6 „oberes Neckartal“ (siehe Legende) für eine ausgewählte Nacht (Pfafferoth 2019)**

Da die Messfahrten die Höhenlagen innerhalb der Stadt Reutlingen explizit abbildeten (Dröschner 2017), war diese stadtklimatische Besonderheit auch im verwendeten Wetterdatensatz berücksichtigt. In Anlehnung an die Nomenklatur der Testreferenzjahre wurden hier die Begriffe „Innenstadt“, „Stadtmittte“ und „Stadtrand“ für die Kernstadt und „Umland“ für die suburbanen Siedlungen in der Umgebung der Stadt (ohne stadtklimatischen Effekt) verwendet. Der Wetterdatensatz bildet die tatsächliche stadtklimatische Situation also in guter Näherung ab.

Die nachfolgende Abbildung (Abbildung 6.2) zeigt die Außentemperaturverläufe im Umland und in der Innenstadt für die Sommerperiode im Vergleich. Zwar lag der Mittelwert in der Innenstadt mit 20,4°C in dieser Periode lediglich um 2,3 K höher als im Umland mit 18,1°C, aber in der Innenstadt kühlte die Umgebung in der Nacht weniger aus als im Umland.



**Abbildung 6.2: Außentemperaturverlauf während der Sommerperiode 1. Juni bis 31. August im Umland und in der Innenstadt (Quelle: Pfafferoth 2019)**

Aus der tageweisen Auswertung einer ausgeprägten Schönwetterperiode, in der die Tiefsttemperaturen regelmäßig über 18°C lagen, wird deutlich, dass sich die Tageshöchsttemperaturen zwischen Umland und Innenstadt nur wenig unterscheiden, während in der Innenstadt die Tiefsttemperaturen bis zu 6 K über den Tiefsttemperaturen im Umland lagen. Dieser Effekt ist ausgerechnet in der wärmsten Periode des Jahres besonders stark ausgeprägt, wodurch die nächtliche Abkühlung der innerstädtischen Gebäude weniger zum Tragen kommt als im Umland.

Meteorologisch sind zur Beschreibung der Wärmeeinträge (am Tag) die beiden Schwellenwerte 25°C (Sommertag) und 30°C (Heißer Tag) für die Tageshöchsttemperatur gute Richtwerte. Abbildung 6.3 zeigt, dass die Häufigkeit der Tageshöchsttemperaturen nur wenig mit der Lage in der Stadt variierte. Die Wärmeeinträge (tagsüber) in das jeweilige Gebäude waren damit nur wenig vom Standort abhängig.

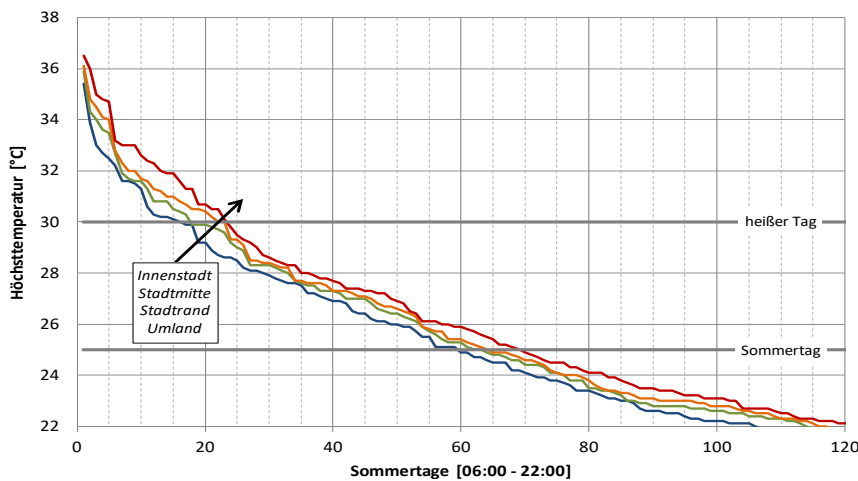


Abbildung 6.3: Tageshöchsttemperaturen (Quelle: Pfafferott 2019)

Meteorologisch sind zur Beschreibung der Abkühlung (in der Nacht) die Schwellenwerte 16°C und 20°C (Tropennacht) für die Tagestiefsttemperatur gute Richtwerte, u. a. deshalb, da unabhängig von der Lage in der Stadt alle Tropennächte immer auch „Heiße Tage“ sind und an (fast) allen Sommertagen die Tiefsttemperatur nicht unter 16°C fällt. Abbildung 6.4 zeigt, dass die Anzahl der besonders warmen Tropennächte in der Kernstadt gegenüber dem Umland deutlich anstieg. In der Innenstadt ist künftig mit bis zu 50 Tagen pro Jahr zu rechnen, an denen kein ausreichendes Nachtlüftungspotenzial zur passiven Abkühlung der Gebäude zur Verfügung steht, während im Umland an weniger als 20 Tagen pro Jahr das Nachtlüftungspotenzial gering ist. Die nächtliche Wärmeabgabe aus dem jeweiligen Gebäude war stark von seinem Standort abhängig.

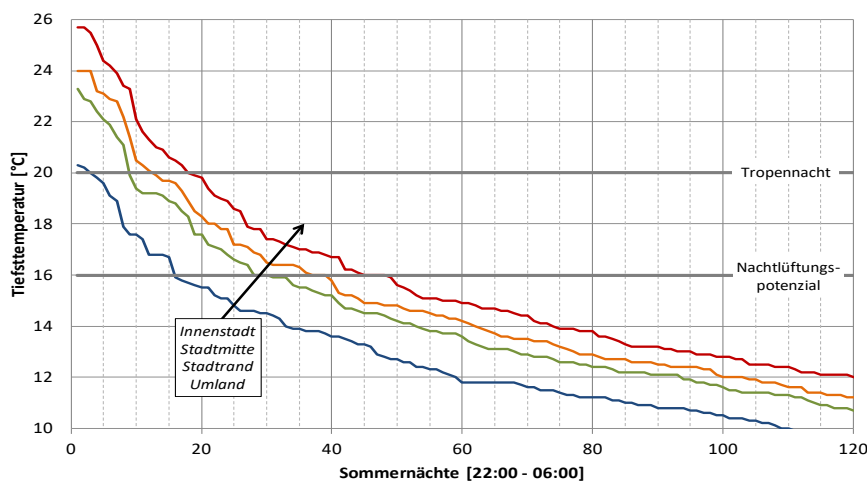


Abbildung 6.4: Tagestiefsttemperaturen (Quelle: Pfafferott 2019)

Die Analyse der Wetterdaten zeigt das „Problem“ der fehlenden Nachtauskühlung in der Innenstadt für Gebäude ohne Klimaanlage deutlich auf. Hinzu kommt das kontinuierliche Erwärmen der Gebäude während einer Schönwetterperiode, das wiederum in der Innenstadt als städtischer Wärmeinsel stärker ausgeprägt ist als in unbebauter Umgebung.

### 6.1.2 BERÜCKSICHTIGUNG DER SIEDLUNGSSTRUKTUR

Für die Modellierung der Siedlungsstruktur wurde die Gebäudetypologie „Deutsche Gebäudetypologie“ des Instituts für Wohnen und Umwelt (seit 2005 laufend angepasst, letzte Abfrage im Oktober 2018) herangezogen (IWU 2005: 1).

Baualtersklasse		EFH	RH	MFH	GMH	HH
<b>Basis-Typen</b>						
<b>A</b>	... 1859	EFH_A		MFH_A		
<b>B</b>	1860 ... 1918	EFH_B	RH_B	MFH_B	GMH_B	
<b>C</b>	1919 ... 1948	EFH_C	RH_C	MFH_C	GMH_C	
<b>D</b>	1949 ... 1957	EFH_D	RH_D	MFH_D	GMH_D	
<b>E</b>	1958 ... 1968	EFH_E	RH_E	MFH_E	GMH_E	HH_E
<b>F</b>	1969 ... 1978	EFH_F	RH_F	MFH_F	GMH_F	HH_F
<b>G</b>	1979 ... 1983	EFH_G	RH_G	MFH_G		
<b>H</b>	1984 ... 1994	EFH_H	RH_H	MFH_H		
<b>I</b>	1995 ... 2001	EFH_I	RH_I	MFH_I		
<b>J</b>	2002 ... 2009	EFH_J	RH_J	MFH_J		
<b>K</b>	2010 ... 2015	EFH_K	RH_K	MFH_K		
<b>L</b>	2016 ...	EFH_L	RH_L	MFH_L		

Abbildung 6.5: Wohngebäudetypen der Deutschen Gebäudetypologie (IWU 2005: 1, Auszug)

Ausgehend von dieser Typologie wurden für fünf Wohngebäudetypen Innenraummodellierungen vorgenommen. Näherungsweise korrelieren folgende Gebäudetypen mit der jeweiligen Siedlungsstruktur bei entsprechender Überlappung:

- 1920er (Typ MFH\_B) – Innenstadt
- 1950er (Typ GMH\_D) – Stadtmitte
- 1970er (Typ MFH\_F) – Stadtrand
- 1990er (Typ MFH\_I) – Umland

In dieser Siedlungsstruktur wurde die Höhenlage innerhalb der Stadt Reutlingen durch den ausgewählten Wetterdatensatz berücksichtigt. Zusätzlich stand der neue eingeführte Gebäudetyp „1990plus“ (in Anlehnung an Typ RH\_J) für ein Gebäude mit sehr gutem sommerlichem Wärmeschutz in Passivhausbauweise. Alle Bau- und bauphysikalischen Kenngrößen wurden aus der deutschen Gebäudetypologie übernommen.

Als Sonnenschutzsystem wurden in allen Gebäudetypen (außer 1990plus) ausschließlich Vorhänge berücksichtigt. Außenliegende Sonnenschutzsysteme (z. B. Fensterläden bei 1920ern und 1950ern bzw. Rollläden bei 1970ern und 1990ern) hätten die Raumtemperaturen deutlich reduziert. Im Rahmen der Modellierung wurden diese jedoch aus ressourcentechnischen Gründen nicht berücksichtigt.

### 6.1.3 SIMULATION DER WOHNGEBÄUDE

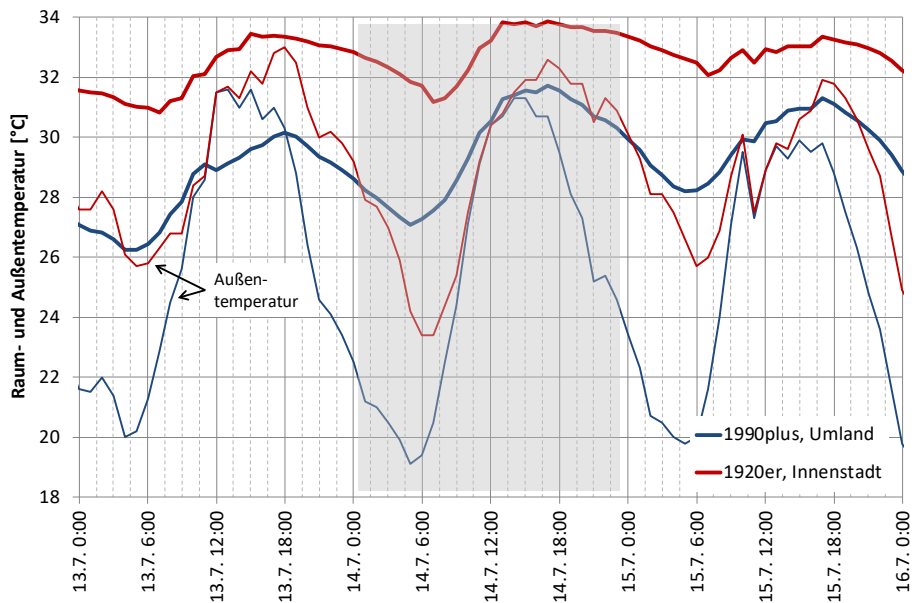
Bei der Simulation der Wohngebäude wurde in erster Linie die physiologische Wärmebelastung in Gebäuden unterschiedlicher Baualtersstufen bewertet. Dabei wurde ein durchschnittliches Nutzerverhalten und – in Anlehnung an DIN 4108-2 – eine durchgängige Anwesenheit von 24 Stunden pro Tag berücksichtigt. In dieser Simulationsstudie wurden fünf Gebäudetypen in den vier Orientierungen Nord, Ost, Süd und West für vier Stadtlagen simuliert. Damit lagen – unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Nutzerverhaltens – insgesamt 80 Datensätze für die statistische Analyse vor.

Als Schwellenwert fand – in Anlehnung an die Kriterien des deutschen Hitzewarnsystems (DWD 20.10.19; Matzarakis 2016; Laschewski et al. 2014) und unter Berücksichtigung unterschiedlicher medizin-meteorologischer Untersuchungen – eine operative Raumtemperatur von 26°C in der Analyse eine besondere Berücksichtigung. Oberhalb dieser Temperatur ist eine körperliche Regeneration während der Nacht nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die operative Raumtemperatur im Innenraum die Luft- und die mittlere Strahlungstemperatur berücksichtigt. Sie ist damit vergleichbar mit der gefühlten Außentemperatur, wie sie im deutschen Hitzewarnsystem verwendet wird. Dabei wird die wärmephysiologische Belastung im Außenraum mit dem UTCI-Modell berechnet und in eine äquivalente Temperatur umgerechnet.

Abbildung 6.6 zeigt beispielhaft den Verlauf der operativen Raumtemperatur in zwei Gebäuden, die stellvertretend für die Siedlungsstruktur in Reutlingen stehen: ein energieeffizienter Neubau mit gutem sommerlichem Wärmeschutz im Umland und ein historisches Gebäude in der Innenstadt. Hier werden bereits die großen Unterschiede im Tagesverlauf der Raumtemperatur deutlich:

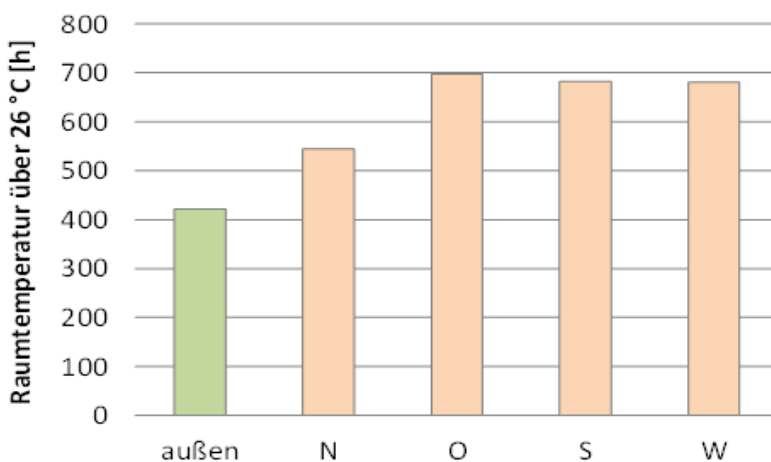
- Sowohl die mittlere Außentemperatur als auch deren Tiefstwert liegen im Umland deutlich niedriger als in der Innenstadt. Damit erwärmt sich das Gebäude am Stadtrand insgesamt nicht so stark und gleichzeitig ist die Nachtlüftung effektiver.
- Mit dem guten sommerlichen Wärmeschutz und einem insgesamt guten bauphysikalischen Konzept liegt die maximale Raumtemperatur im Neubau nur geringfügig über der Außentemperatur, während im historischen Gebäude die maximale Raumtemperatur deutlich über der Tageshöchsttemperatur liegt bzw. darüber hinausgeht.



**Abbildung 6.6: Zwei Gebäude (jeweils Süd-Orientierung) an zwei Standorten während einer Schönwetterperiode mit Tropennächten (Quelle: Pfafferott 2019)**

In beiden Fällen liegen sowohl Tageshöchst- als auch -tiefstwerte der Raumtemperatur zu hoch. Im Umland ist die Situation aber weniger kritisch als in der Innenstadt. Das Gebäude mit gutem sommerlichem Wärmeschutz neigt zudem weniger stark zur Überhitzung.

Die nachfolgende Abbildung (Abbildung 6.7) zeigt die Auswertung der Überschreitungshäufigkeit in Abhängigkeit der Orientierung der Räume. Erwartungsgemäß sind Nord-Räume kühler als die anderen Räume. Aufgrund des hohen Sonnenstands im Sommer sind die solaren Wärmeeinträge in Süd- und in Ost-/West-Räumen ähnlich hoch. Die meisten Überhitzungsstunden sind in Osträumen zu erwarten, weil diese Räume bereits vormittags hohe solare Wärmeeinträge erfahren, die im Laufe des verhältnismäßig warmen Nachmittags aber kaum noch abgeführt werden können.

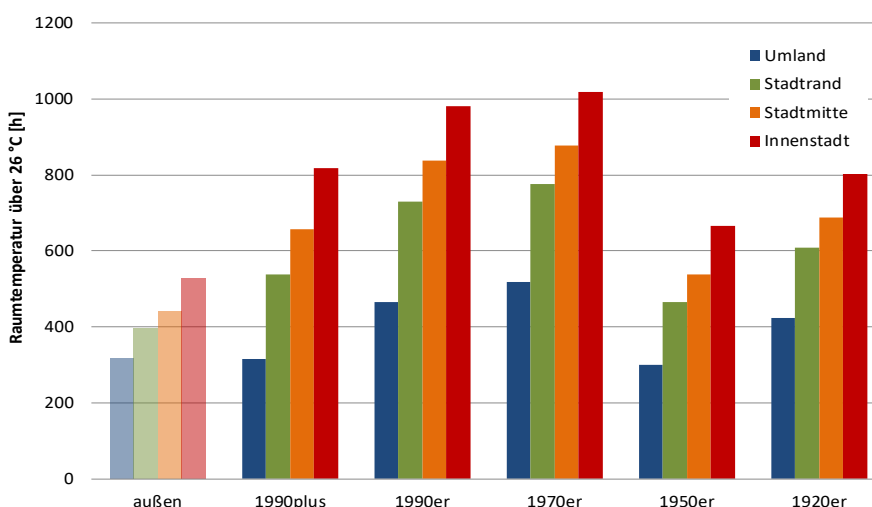


**Abbildung 6.7: Analyse der mittleren Überhitzungsstunden nach Orientierung, mit Mittelwertbildung über Bausubstanz und städtische Lage (Quelle: Pfafferott 2019)**

Die Gegenüberstellung der Überhitzungsstunden in Abhängigkeit von Bausubstanz und städtischer Lage zeigt Folgendes (siehe Abbildung 6.8):

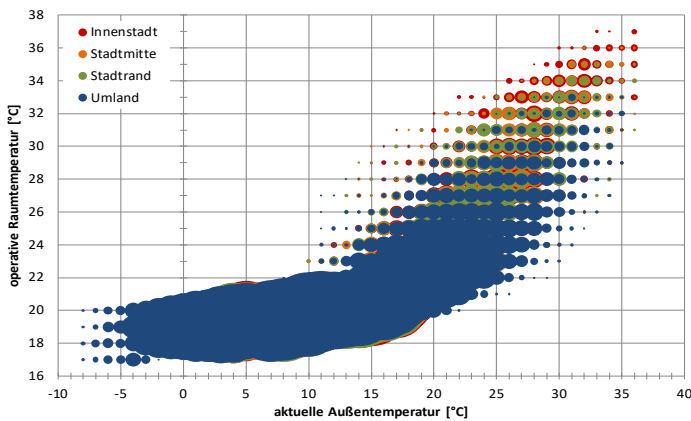
- Unabhängig vom Standort liegen in Gebäuden der 1950er-Jahre die Raumtemperaturen am niedrigsten und in Gebäuden der 1970er-Jahre am höchsten. Die Gebäude der 1950er-Jahre profitieren dabei vom kleineren Fensterflächenanteil und den etwas größeren Räumen. Die Gebäude der 1970er-Jahre erwärmen sich bei einer deutlich höheren Speichermasse im Verlauf einer Hitzeperiode zudem sukzessive immer weiter.
- Im Vergleich dazu profitieren Gebäude aus den 1920er-Jahren vom größeren Raumvolumen und damit verbunden einem intensiveren Luftaustausch, der in Verbindung mit der hohen Speichermasse zur nächtlichen Abkühlung genutzt werden kann.
- Gebäude der 1990er-Jahre können aufgrund der vergleichsweise guten Wärmedämmung bei großen Fensterflächenanteilen zur Wärmefalle werden.
- Günstig stellt sich demgegenüber jedoch ein Gebäude mit sehr gutem winterlichem Wärmeschutz in Verbindung mit einem effektiven Sonnenschutz dar. In diesen Gebäuden verhindert die weitgehende Entkopplung von Außen- und Innenklima eine schrittweise Erwärmung. Wird in diesen Gebäuden zudem nachts intensiv gelüftet, können auch bei Hitzeperioden niedrige Raumtemperaturen gewährleistet werden. In Gebäuden mit gutem Baustandard spielt das Nutzerverhalten also eine entscheidende Rolle.
- Erwartungsgemäß korreliert die Überschreitungshäufigkeit eindeutig mit der Lage des Gebäudes in der Stadt. Dieser Effekt kann in guter Näherung quantifiziert werden: Die Überschreitungshäufigkeit liegt – bei gleichem Baustandard – in der Innenstadt um den Faktor 1,9 bis 2,6 höher als im Umland.
- Je besser der sommerliche Wärmeschutz (insbesondere außenliegender Sonnenschutz wie z. B. Jalousien, Rollläden oder Fensterläden) ist, desto niedriger liegen die Raumtemperaturen. Darüber hinaus profitieren die Gebäude im Umland von gutem Sonnenschutz besonders stark, weil dort zusätzlich ein höheres Nachtlüftungspotenzial besteht.

Die Zahl der Überhitzungsstunden (mit 26°C als Maß für die physiologische Wärmebelastung) nimmt mit steigendem Abstand zum Stadtkern und damit größerer Nähe zum Umland deutlich ab. Dabei hat die Bausubstanz einen deutlichen Einfluss auf die Anzahl der Überhitzungsstunden, wobei historische Gebäude und Neubauten mit gutem Sonnenschutzsystem weniger stark überhitzen als Gebäude der 1970er- und 1990er-Jahre.

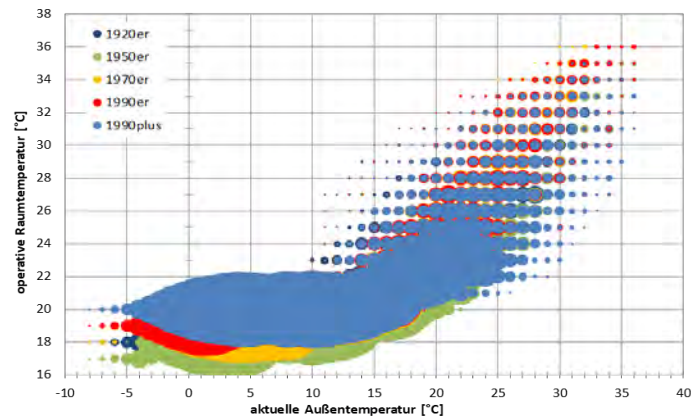


**Abbildung 6.8: Analyse der mittleren Überhitzungsstunden nach Lage und Baualter, mit Mittelwertbildung über die Orientierung innerhalb des jeweiligen Gebäudes (Quelle: Pfafferott 2019)**

Die folgenden Abbildungen zeigen die Korrelation zwischen Raum- und Außentemperatur in Abhängigkeit der Lage des Gebäudes (Abbildung 6.9) bzw. der Gebäudesubstanz (Abbildung 6.10).

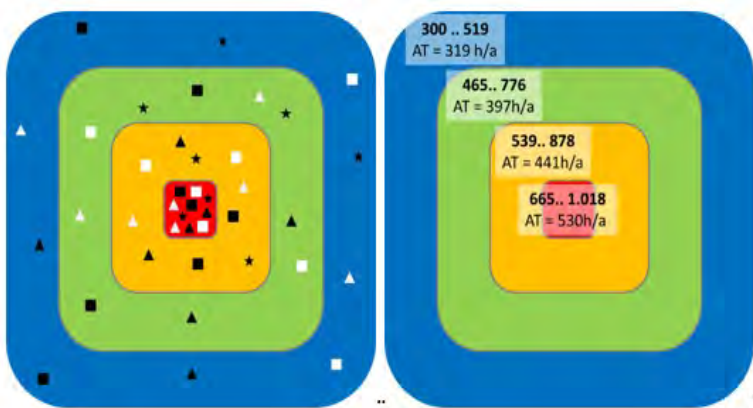


**Abbildung 6.9: Häufigkeitsverteilung der mittleren, operativen Raumtemperatur in den Süd-Räumen der fünf Gebäudetypen in Abhängigkeit von der Stadtlage (Quelle: Pfafferott 2019)**



**Abbildung 6.10: Häufigkeitsverteilung der mittleren, operativen Raumtemperatur in den Süd-Räumen für die vier Stadtlagen in Abhängigkeit des Gebäudetyps (Quelle: Pfafferott 2019)**

Abbildung 6.11 zeigt eine stark vereinfachte, schematische Darstellung der lokalen Verteilung der Überschreitungshäufigkeit als Maß für die physiologische Wärmebelastung in Innenräumen. Eine Überführung der Daten in ein GIS wird in Kapitel 6.2 erläutert. Mithilfe dieser Karte können besonders gefährdete Bereiche identifiziert werden. Tabelle 6.1 stellt dazu die entsprechenden Zahlenwerte zur Verfügung.



**Abbildung 6.11: Schematische Darstellung einer möglichen Siedlungsstruktur mit fünf Gebäudetypen in vier Stadtlagen (links) mit Anzahl der Überhitzungsstunden (rechts) (Quelle: Pfafferott 2019)**



Zur Information ist auch die Anzahl der Stunden mit Außentemperaturen über 26°C genannt.

**Tabelle 6.1: Wohngebäude – Anzahl der Überhitzungsstunden in Stunden pro Jahr [h/a] als Mittelwert der vier Orientierungen in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Lage (Quelle: Pfafferott 2019)**

h/a	Umland	Stadt- rand	Stadt- mitte	Innen- stadt
<i>außen</i>	319	397	441	530
1990plus	310	546	664	835
1990er	484	754	865	1007
1970er	539	807	900	<b>1033</b>
1950er	<b>299</b>	470	548	680
1920er	516	697	784	913

Während die Überhitzungsstunden lediglich die Anzahl der Stunden pro Jahr angeben, in denen der Schwellenwert von 26°C überschritten wird, berücksichtigen die Überhitzungsgradstunden auch die Stärke der Überschreitung. Es wird also über die Summenbildung der Temperaturdifferenz zum Schwellenwert berücksichtigt, ob dieser bei jeder Überschreitung um 1 K oder 5 K überschritten wird. Somit stellt der Indikator „Überhitzungsgradstunden“ einen optimierten Indikator für die Wärmebelastung in den Innenräumen dar.

**Tabelle 6.2: Wohngebäude – Anzahl der Überhitzungsgradstunden [Kh/a] über 26 °C für die Gebäude bzw. Räume mit Süd-Orientierung in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Lage (Quelle: Pfafferott 2019)**

Kh/a	Umland	Stadt- rand	Stadt- mitte	Innen- stadt
<i>außen</i>	837	1102	1262	1601
1990plus	<b>543</b>	1335	1817	2624
1990er	1053	2212	2734	3603
1970er	1278	2458	2986	<b>3862</b>
1950er	600	1200	1573	2234
1920er	1140	1841	2185	2782

Allgemein kann festgehalten werden: Es ist weit (z. B. DIN EN 15251:2012-12 „thermischer Komfort“, DIN 4108-2 „sommerlicher Wärmeschutz“ oder ASR 3.5 „Arbeitsstättenrichtlinie“) verbreitet, eine Grenztemperatur von 26°C als Maß für die physiologische Wärmebelastung zu wählen. Wird die Überschreitungshäufigkeit von 26°C als Qualitätsmerkmal herangezogen, können folgende Schlüsse gezogen werden:

- In Wohngebäuden sind nach Norden orientierte Räume kühler als Räume, die nach Süden, Osten oder Westen orientiert sind. In nach Süden, Osten oder Westen orientierten Räumen unterscheidet sich zwar der Tagesverlauf der Raumtemperatur, die (kumulierte) Überschreitungshäufigkeit ist aber nahezu gleich.
- Im Umland liegt in Gebäuden der 1950er-Jahre und Niedrigenergiegebäuden mit sehr gutem Sonnenschutz die Überschreitungshäufigkeit im Innenraum unter der Überschreitungshäufigkeit im Außenraum (vgl. auch Castillejos et al. 2017).
- In (allen) städtischen Lagen liegen nicht nur die mittleren Raumtemperaturen deutlich höher als im Umland; hier liegt auch die Überschreitungshäufigkeit im Innenraum in jedem Gebäude über der Überschreitungshäufigkeit im Außenraum. Dies ist in erster Linie auf die fehlende nächtliche Abkühlung zurückzuführen. Am Stadtrand überschreitet die mittlere Raumtemperatur im Sommer die des Umlands um rund 1 K. Die Temperatur steigt um weitere 0,5 K vom Stadtrand über die Stadtmitte bis zur Innenstadt. In der Innenstadt sind – bei sonst gleichen Randbedingungen – also durchschnittlich rund 2 K höhere Raumtemperaturen zu erwarten.
- In innenstädtischen Lagen ist die Überschreitungshäufigkeit in Gebäuden der 1970er- und 1990er-Jahre am stärksten. Gegenüber Gebäuden aus den 1950ern beträgt die mittlere Temperaturdifferenz etwa 1,5 K.
- Systemtheoretisch kann ein Gebäude vereinfacht als RC-Modell beschrieben werden. Eine Energiebilanz für den eingeschwungenen Zustand (Systemantwort mit frequenzabhängiger Verstärkung und

Phasenverschiebung) liefert einfache Systemparameter, die in der Stadtplanung für überschlägige Bewertungen oder Planungsleitfäden genutzt werden können.

#### 6.1.4 SIMULATION DES BÜROGEBÄUDES

Stellvertretend für ein typisches Nichtwohngebäude wurde ein 20 m<sup>2</sup>-Büroraum (B x L x H; 4 m x 5 m x 3 m) abgebildet, in mittelschwerer Bauweise errichtet. Der U-Wert der Außenwand beträgt 0,3, der des Außenfensters 1,4 W/m<sup>2</sup> K. Der Fensterflächenanteil liegt bei 50 % und ist mit Wärmeschutzverglasung (g=0,6) und automatischem Sonnenschutzsystem (FC=0,2 bei 200 W/m<sup>2</sup>) ausgestattet. Die Fenster können durch die Nutzer (nur) während der Anwesenheitszeit am Tag manuell geöffnet werden, nachts dagegen bleiben diese geschlossen. Die charakteristische Größe des Büroraums sind dabei die Wärmegewinne, die aus der Anwesenheit der Mitarbeiter und typischer Gerätschaften gebildet werden:

- gering mit 98 Wh/(m<sup>2</sup> d), Einzelbüro mit typischer Büroausstattung,
- mittel mit 142 Wh/(m<sup>2</sup> d) entsprechend DIN 4108-2, Doppelbüro mit energieeffizienter Büroausstattung,
- hoch mit 192 Wh/(m<sup>2</sup> d), Doppelbüro mit hoher technischer Ausstattung.

Dabei korreliert der Tagesverlauf der Wärmegewinne (Wärmeeinträge in der Heizperiode) bzw. der Kühllast (Wärmeeinträge in der Kühlperiode) mit der Anwesenheit (2.610 Stunden bei 220 Arbeitstagen pro Jahr). Der sommerliche Wärmeschutz genügt dabei den Mindestanforderungen der DIN 4108-2. Für einen Bürostandort im Umland ergeben sich alleine aus der unterschiedlichen Personenzahl und Geräteausstattung Differenzen, die hier durch die Zahl der Überhitzungsstunden in Tabelle 6.3 veranschaulicht werden.

**Tabelle 6.3: Bürogebäude, Standort „Umland“ – Anzahl der Überhitzungsstunden in Stunden pro Jahr [h/a] in Abhängigkeit von der Büroausstattung bzw. den internen Wärmegewinnen (Quelle: Pfafferott 2019)**

h/a		interne Wärmegewinne		
		niedrig	mittel	hoch
Außen-temperatur		319	319	319
Raum-temperatur	min	161	201	259
	mean	<b>168</b>	<b>206</b>	<b>266</b>
	max	179	213	271

Um die Wärmebelastung eines Bürogebäudes im Stadtgebiet von Reutlingen in Abhängigkeit der Lage zu veranschaulichen, wurde ein Bürogebäude mit mittleren Wärmegewinnen gewählt. Wird eine typische Anwesenheitszeit von 2.200 h/a für die Komfortbewertung am Arbeitsplatz angenommen, steigen die Überhitzungsstunden von 9 % im Umland bis auf über 15 % in der Innenstadt an. Häufig wird eine Überschreitung von 5 % als akzeptabel angenommen. Das Bürogebäude mit Standort „Umland“ zeigt ein Temperaturverhalten mit sommerlichem Wärmeschutz entsprechend der DIN 4108-2.

**Tabelle 6.4: Bürogebäude, mittlere Wärmegewinne – Anzahl der Überhitzungsstunden in Stunden pro Jahr [h/a] als Mittelwert der vier Orientierungen in Abhängigkeit von der Lage (Quelle: Pfafferott 2019)**

h/a	Umland	Stadt- rand	Stadt- mitte	Innen- stadt
Außentemperatur über 26°C	319	397	441	530
Raumtemperatur über 26°C	207	280	303	339
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]	484	780	919	1140

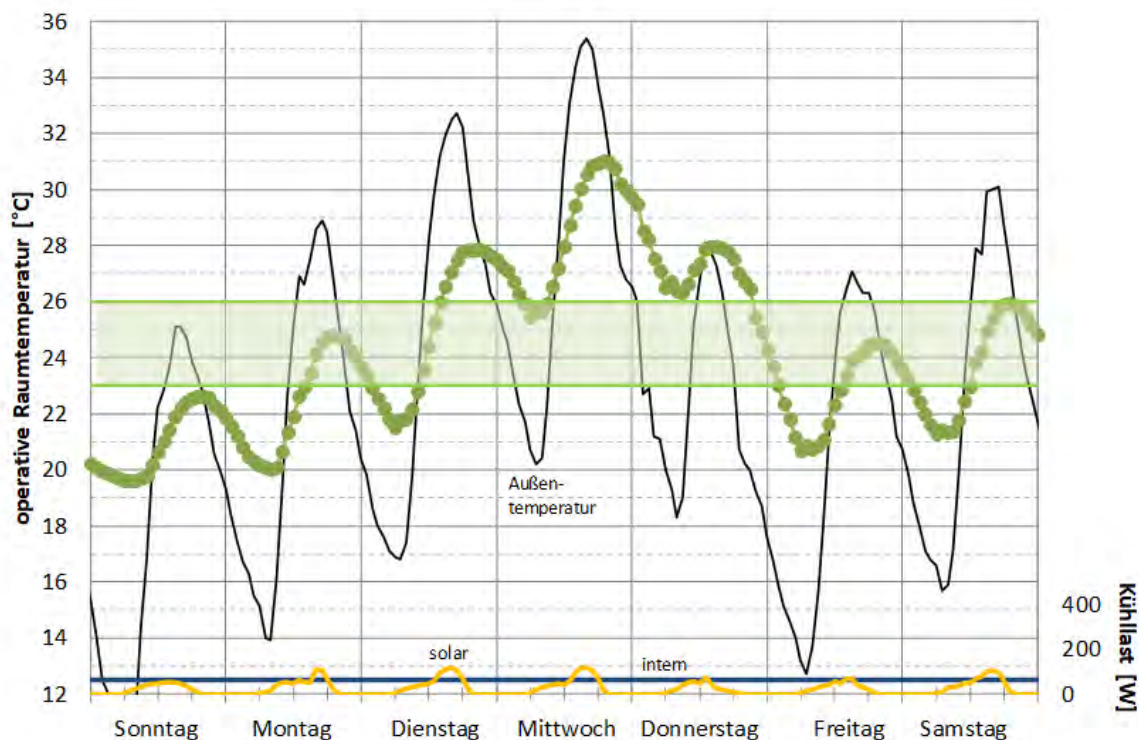
Höhere Wärmegewinne durch stärkere personelle Besetzung der Büros oder höhere Büroausstattung verschlechtern vor allem in innerstädtischen Lagen das Raumklima so stark, dass die Büroräume stundenweise nicht mehr als Arbeitsräume genutzt werden dürfen, ohne weitere Maßnahmen zu ergreifen. Nur ein passives Kühlkonzept (oder eine aktive Kühlung) kann dann ein angenehmes oder zumindest akzeptables Raumklima sicherstellen.

### 6.1.5 SIMULATION DES PFLEGEHEIMS

Stellvertretend für ein typisches Pflegeheim wurde ein 12-m<sup>2</sup>-Wohnraum (B x L x H; 3 m x 4 m x 3 m) abgebildet, mittelschwere Bauweise. Der U-Wert der Außenwand beträgt 0,3, der des Außenfensters 1,4 W/m<sup>2</sup>K. Der Fensterflächenanteil liegt bei 33 %, mit Wärmeschutzverglasung (g=0,6) und Sonnenschutzsystem (FC=0,2, manuell bedienbar). Der sommerliche Wärmeschutz genügt dabei den Mindestanforderungen der DIN 4108-2.

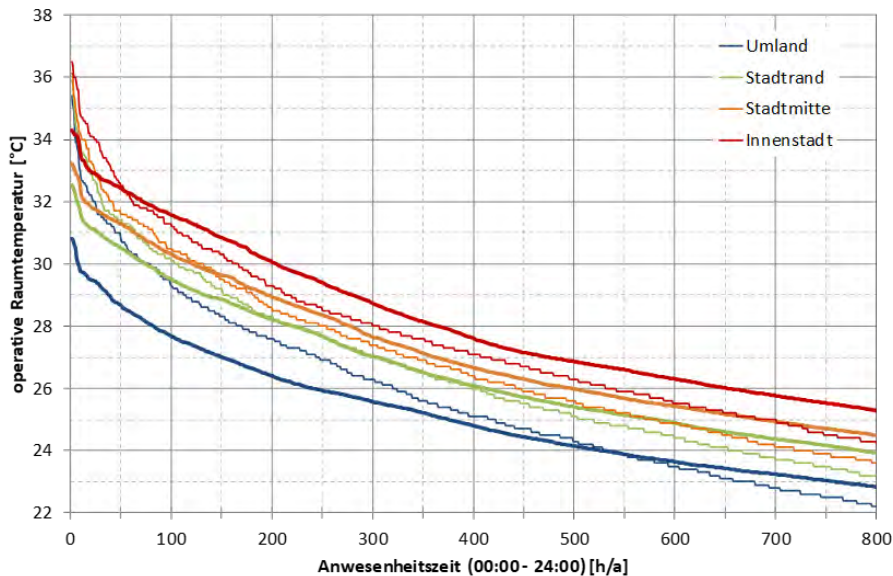
Das Nutzerverhalten wurde durch eine Person (mit met=0,8, liegend/angelehnt) abgebildet, die sich ganztags im Zimmer aufhält. Dies entspricht einer sensiblen Wärmeabgabe von rund 55 W und einer Gesamtwärmeabgabe von 80 W. Als Rechenwert wurden 5 W/m<sup>2</sup> NGF (Nettogrundfläche) bzw. 60 W und 120 Wh/(m<sup>2</sup> d) gewählt, was dann wiederum in guter Näherung dem Rechenwert von 100 Wh/(m<sup>2</sup> d) nach DIN 4108-2 entsprach. Hier sei noch darauf verwiesen, dass es bei der physiologischen Wärmebelastung zu berücksichtigen gilt, ob die Person tatsächlich Sommerkleidung (clo=0,3) trägt oder im Bett (clo=1,0 mit Bettlaken zugedeckt) liegt. Im Unterschied zu den Wohn- und Bürogebäuden wurde hier während der Schönwetterperioden das Nutzerverhalten entsprechend einem Dienstplan (in Anlehnung an die Hinweise für Pflegekräfte, Heimleitungen und Hausärzte) abgebildet. Dabei sind die Fenster zwischen 21 Uhr und 07 Uhr komplett geöffnet und der Sonnenschutz ist immer komplett geschlossen. Die Anwesenheit des Bewohners wird mit 8.760 Stunden pro Jahr berechnet.

Abbildung 6.12 zeigt beispielhaft einen ausgewählten Temperaturverlauf für eine Sommerwoche im Umland. Trotz vergleichsweise geringer Wärmegewinne bzw. Kühllasten steigt die Raumtemperatur zeitlich verzögert stark an, sodass die Raumtemperatur an zwei Nächten nicht oder nur unwesentlich unter 26°C fällt.



**Abbildung 6.12: Pflegeheim, West-Orientierung, Umland: Temperaturverlauf für eine Sommerwoche (Quelle: Pfafferott 2019)**

Abbildung 6.13 zeigt die geordnete Dauerlinie als Mittelwert über die vier Orientierungen in Abhängigkeit der Lage des Pflegeheims in der Stadt. Bereits am Stadtrand liegen die Raumtemperaturen deutlich höher als im Umland und in der Innenstadt fallen die Raumtemperaturen an rund 650 Stunden pro Jahr nicht unter 26°C.



**Abbildung 6.13: Geordnete Dauerlinien der Raumtemperatur für das Pflegeheim an vier städtischen Standorten (Mittelwerte über die vier Orientierungen) (Quelle: Pfafferott 2019)**

Tabelle 6.5 weist neben den Überhitzungsstunden auch die Überhitzungsgrad- bzw. Übertemperaturgradstunden (Klimasummenmaß) aus. Wird das zeitliche Integral über die Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und 26°C als Maß für die physiologische Wärmebelastung in Innenräumen herangezogen, wird deutlich, dass die Wärmebelastung zur Innenstadt hin deutlich ansteigt. Der Anforderungswert nach DIN 4108-2 beträgt für Wohngebäude (unabhängig von der Sommer-Klimaregion) 1.200 Kh/a und wird hier in der Stadtmitte leicht und in der Innenstadt deutlich überschritten.

**Tabelle 6.5: Pflegeheim – Anzahl der Überhitzungsstunden in Stunden pro Jahr [h/a] als Mittelwert der vier Orientierungen in Abhängigkeit von der Lage (Quelle: Pfafferott 2019)**

h/a	Umland	Stadt-rand	Stadt-mitte	Innen-stadt
Außentemperatur über 26 °C	319	397	441	530
Raumtemperatur über 26 °C	240	411	496	652
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]	388	958	1273	1873

Dies bedeutet: Nur eine konsequente Umsetzung der Anweisungen durch das Pflegepersonal zum nutzerge-rechten Verhalten während Hitzeperioden kann im Umland und am Stadtrand ein erträgliches Raumklima ge-währleisten. In der Innenstadt reichen selbst diese Maßnahmen nicht aus, um die physiologische Wärmebelas-tung auf den in DIN 4108-2 geforderten Anforderungswert zu begrenzen.

### 6.1.6 ANZAHL VON HITZEWARTAGEN

Wird eine vereinfachte Korrelation zwischen Außentemperatur und gefühlter Temperatur (Jendritzky et al. 2000) verwendet, können auch die Hitzewarntage nach den Kriterien des deutschen Hitzewarnsystems abgeschätzt werden. Bei einer starken Wärmebelastung – GT größer als 32°C an zwei Tagen und Nachttemperatur nicht unter 26°C oder aber bei einer extremen Wärmebelastung mit einer GT von 38°C – wird eine Warnung seitens des DWD angezeigt.

Je nach Gebäudetyp und städtischer Lage wurden lokal und nutzerspezifisch an fünf bis 19 Tagen pro Jahr Hitzewarnungen ausgegeben. In der Innenstadt stieg die extreme Wärmebelastung – unabhängig von der Bausubstanz – allein aufgrund des städtischen Wärmeinseleffekts von fünf Tagen im Umland auf elf Tage pro Jahr. Die Zahl der extremen Wärmebelastung war dabei höher als die Zahl mit starker Wärmebelastung. Grund hierfür war die nächtliche Abkühlung als Zusatzkriterium bei der starken Wärmebelastung. Nachts wurden häufiger 26°C unterschritten, was zu einer Reduzierung der Tage mit starker Wärmebelastung führte.

Hitze- warntage	Umland	Stadt- rand	Stadt- mitte	Innen- stadt
insgesamt	5 - 9	9 - 14	10 - 16	15 - 19 Tage pro Jahr
starke W'belastung	0 - 4	3 - 8	4 - 10	4 - 8 Tage pro Jahr
extreme W'belastung	5	6	6	11 Tage pro Jahr

**Tabelle 6.6: Anzahl der Hitzewarntage unter Berücksichtigung der Tageshöchsttemperatur (32°C bzw. 38°C, gefühlte Außentemperatur) und Tagestiefsttemperatur (26°C, operative Raumtemperatur) (Quelle: Pfafferott 2019)**

### 6.1.7 ZUSAMMENFASSUNG

Die physiologische Wärmebelastung in Wohngebäuden ist stark von Bausubstanz und städtischer Lage abhängig. Dabei ist die Streuung der operativen Raumtemperatur von bis zu 9 K zwischen Minimal- und Maximalwert und einer Standardabweichung von über 3 K sehr groß. Ebenso ist die Streuung der Überhitzungsstunden über 26°C zwischen rund 300 und über 1.000 Stunden pro Jahr bei einem Median von 660 Stunden und einer Standardabweichung von 420 Stunden pro Jahr erheblich und dokumentiert die starke Abhängigkeit der Wärmebelastung in Innenräumen von Bausubstanz und Lage. In den Simulationen wurde jeweils ein günstiges Nutzerverhalten (insbesondere Nutzung des Sonnenschutzes und Lüftungsverhalten) berücksichtigt, sodass in Einzelfällen die Wärmebelastung deutlich höher ausfallen kann.

In Bürogebäuden steht die Bewertung der Arbeitsplatzqualität bzw. die Einhaltung der Vorgaben des Arbeitsschutzes (insbesondere ASR 3.5) im Vordergrund. Es wurde im Rahmen der Studie deutlich, dass die Wärmebelastung in einem typischen Büro nahezu linear von den internen Wärmegewinnen und der städtischen Lage abhängt. Akzeptable Raumtemperaturen im Sommer sind selbst im Umland (und erst recht in städtischen Lagen und bei hoher technischer Ausstattung) nur mit einem entsprechenden (passiven) Kühlkonzept zu erreichen.

Pflegeheime zeichnen sich (aus bauphysikalischer Sicht) durch ein sehr konstantes Nutzerverhalten aus. Nur mit einer konsequenten Beschränkung von solaren Wärmegewinnen durch außenliegende Sonnenschutzsysteme und eine intensive Nachtlüftung sinken die nächtlichen Raumtemperaturen in Pflegeheimen deutlich unter 26°C ab. Pflegeheime in städtischen Lagen müssen mit einem entsprechenden (passiven) Kühlkonzept ausgestattet werden, da hier die Wärmebelastung deutlich höher liegt als am Stadtrand und im Umland.

## 6.2 VERORTUNG DER WOHNGBÄUDESIMULATION FÜR DAS STADTGEBIET VON REUTLINGEN

Die Verortung der thermischen Belastung des Innenraumklimas für das Stadtgebiet von Reutlingen wurde modelliert. Anders als im KLIMOPASS-Projekt KLISGEE konnte in Reutlingen nicht auf 3D-Stadtkarten und vorhandene Angaben zum Gebäudealter zurückgegriffen werden. Daher war es notwendig, das Gebäudealter der Wohngebäude im Stadtgebiet abzuschätzen. Da eine Vollerhebung der Gebäude für das Stadtgebiet zu aufwendig war, wurde das Gebäudealter auf Baublockebene über die Auswertung von Google-Maps-Bildern und mithilfe von Bebauungsplänen der Stadt Reutlingen sowie einer Baualtersklassenkarte des Stadtvermessungsamts aus dem Jahr 1995 vorgenommen. Gebäudesanierungen konnten daher nicht berücksichtigt werden.

Methodisch wurde eine Zuordnung der Wohngebäudetypen des IWU 2005 zu den fünf Klassen der Simulationsstudie vorgenommen (vgl. Kap. 6.1 und Abbildung 6.5). Darauf aufbauend wurde eine Typisierung für das Stadtgebiet auf Baublockebene erarbeitet. Dabei erfolgte eine Abschätzung des jeweiligen Anteils einer Baualtersklasse an den Wohngebäuden pro Baublock in 20-Prozent-Schritten. Gebäude der Baualtersklasse der 1920er-Jahre konnten somit zu 100 % im Baublock, zu 80 % oder zu 60 % auftreten – dann jeweils im Mix mit anderen Baualtersklassen aus den 1950er-, den 1970er-, den 1990er- oder 1990plus-Jahren. Bei geringeren Prozentzahlen (40 % oder darunter) wurde ein Mix angenommen, der nicht weiter differenziert wurde.

Auf Basis dieser Grundlage und der Simulationsstudie wurde anschließend die thermische Innenraumbelastung bewertet. Hierzu wurden die Wohngebäudealtersklassen pro Baublock entsprechend der Innenraummodellierung (Kap. 6.1) den stadtklimatisch differenzierten Lagekriterien Umland, Stadtrand, Stadtmitte und Innenstadt entsprechend der gesamtstädtischen Klimaanalyse (Dröscher 2017) zugeordnet. Auf Grundlage der Überhitzungsgradstunden der Wohngebäude in Abhängigkeit der Lage (vgl. Tabelle 6.2) wurde das Innenraumklima der Wohngebäude simuliert.

Eine Bewertung in fünf Klassen wurde statistisch anhand von Quantilen vorgenommen: Eine sehr geringe Anzahl an Überhitzungsgradstunden wurde angenommen, wenn die Wohngebäude zwischen 543 und 1.188 Überhitzungsgradstunden im Jahr [Kh/a] aufwiesen. Damit erfüllten diese Wohngebäude den Anforderungswert nach DIN 4108-2: Dieser beträgt für Wohngebäude 1.200 Kh/a, unabhängig von der Lage in einer Stadt. Eine geringe Anzahl an Überhitzungsgradstunden wiesen Baublöcke bei 1.188 bis 1.719 Kh/a auf. Diese entsprachen dann bereits schon nicht mehr den Anforderungen. Die mittlere Klasse umfasste Baublöcke mit einer Anzahl an Überhitzungsgradstunden bis zu 2.220 Kh/a. Baublöcke mit bis zu 2743 KH/a entfielen in die zweithöchste, bei mehr als 2.743 Überhitzungsgradstunden in die höchste Bewertungsstufe.

Im Ergebnis konnte die thermische Belastung in Wohngebäuden in Abhängigkeit von Gebäudetyp, -alter und -lage ermittelt werden. Die thermische Belastung der Wohngebäude (Innenraumbelastung) wird, wie in Kapitel 6.1 erläutert, von der Außentemperatur und der Lage, aber in erheblichem Maße durch die Gebäudealtersklasse bestimmt. Dabei ist zu beachten, dass die Überhitzungsgradstunden einen Summenparameter darstellen, der die Aufheizung der Gebäude nicht an einem Tag, sondern ganzjährig (gemessen an Überhitzungsgradstunden) reflektiert. Als Konsequenz hieraus ergeben sich immer dort, wo das Gebäude mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften eine Aufheizung begünstigt und/oder eine schnelle Abkühlung verhindert, stärkere Wärmebelastungen über das Sommerhalbjahr hinweg. So entsteht ein anderes Bild der Wärmebelastung als bei der Klimaanalysekarte bzw. differenzierten Wärmebelastungskarte.

# Wohngebäude nach Baualtersklassen

(Luftbild basierte Auswertung gemäß Wohngebäudetypologie IWU 2003)

## Anteile von Wohngebäuden nach Baualtersklassen im Baublock

Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse 1990 plus

- 100 Prozent
- 80 Prozent
- 60 Prozent

Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse 1990

- 100 Prozent
- 80 Prozent
- 60 Prozent

Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse 1970

- 100 Prozent
- 80 Prozent
- 60 Prozent

Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse 1950

- 100 Prozent
- 80 Prozent
- 60 Prozent

Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse 1920

- 100 Prozent
- 80 Prozent
- 60 Prozent

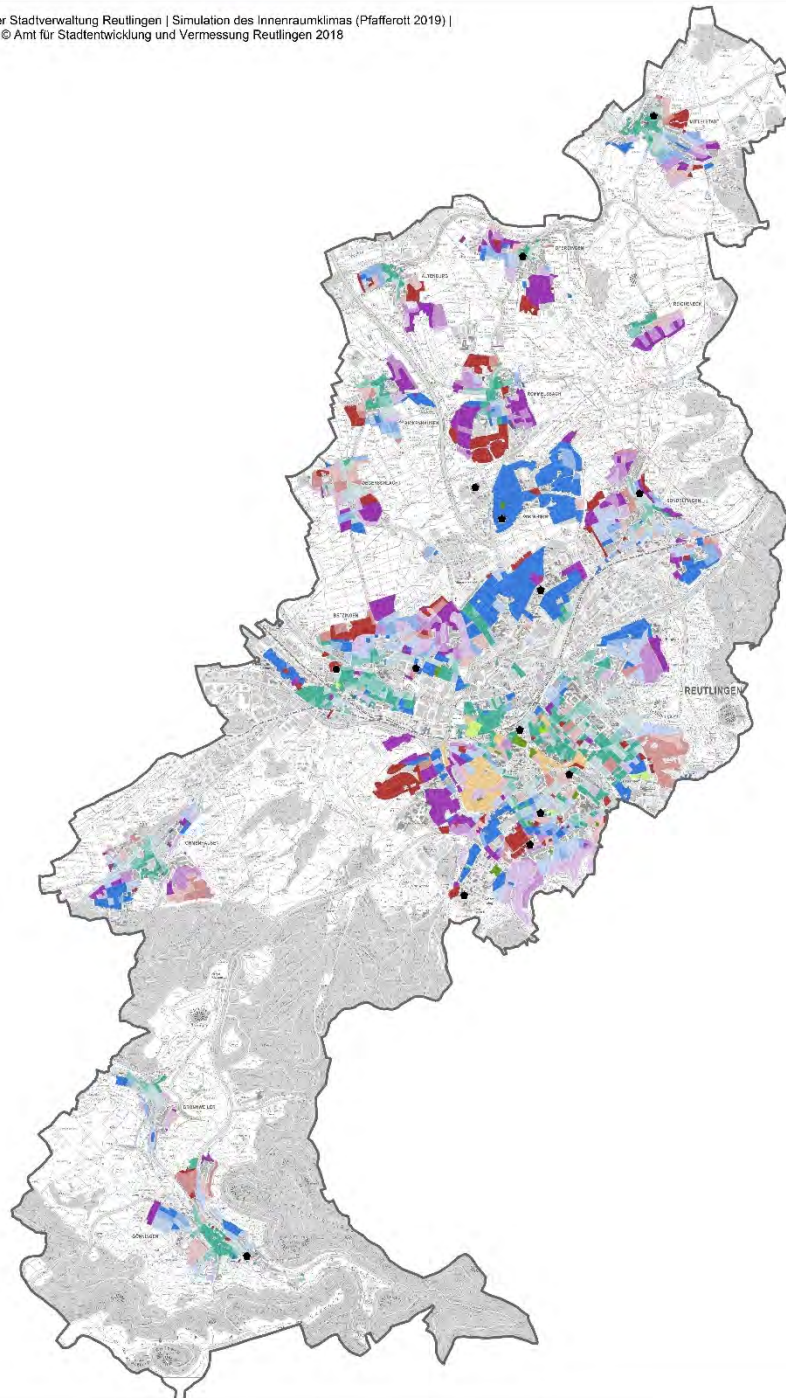
Gemischte Gebäudealtersklassen

- gemischte Gebäudealtersklassen im Baublock

**Sensitive soziale Einrichtungen**

- Seniorenheim

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Simulation des Innenraumklimas (Pfaferrott 2019) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 6.1: Wohngebäude nach Baualtersklassen (Quelle: agl 2020)

# Thermische Belastung in Wohngebäuden: Innenraumklima in Abhängigkeit von Gebäudetyp, -alter und -lage

## Wärmebelastung der Wohngebäude in Abhängigkeit der Überhitzungsgradstunden

### Anzahl der Überhitzungsgradstunden über 26°C im Innenraum

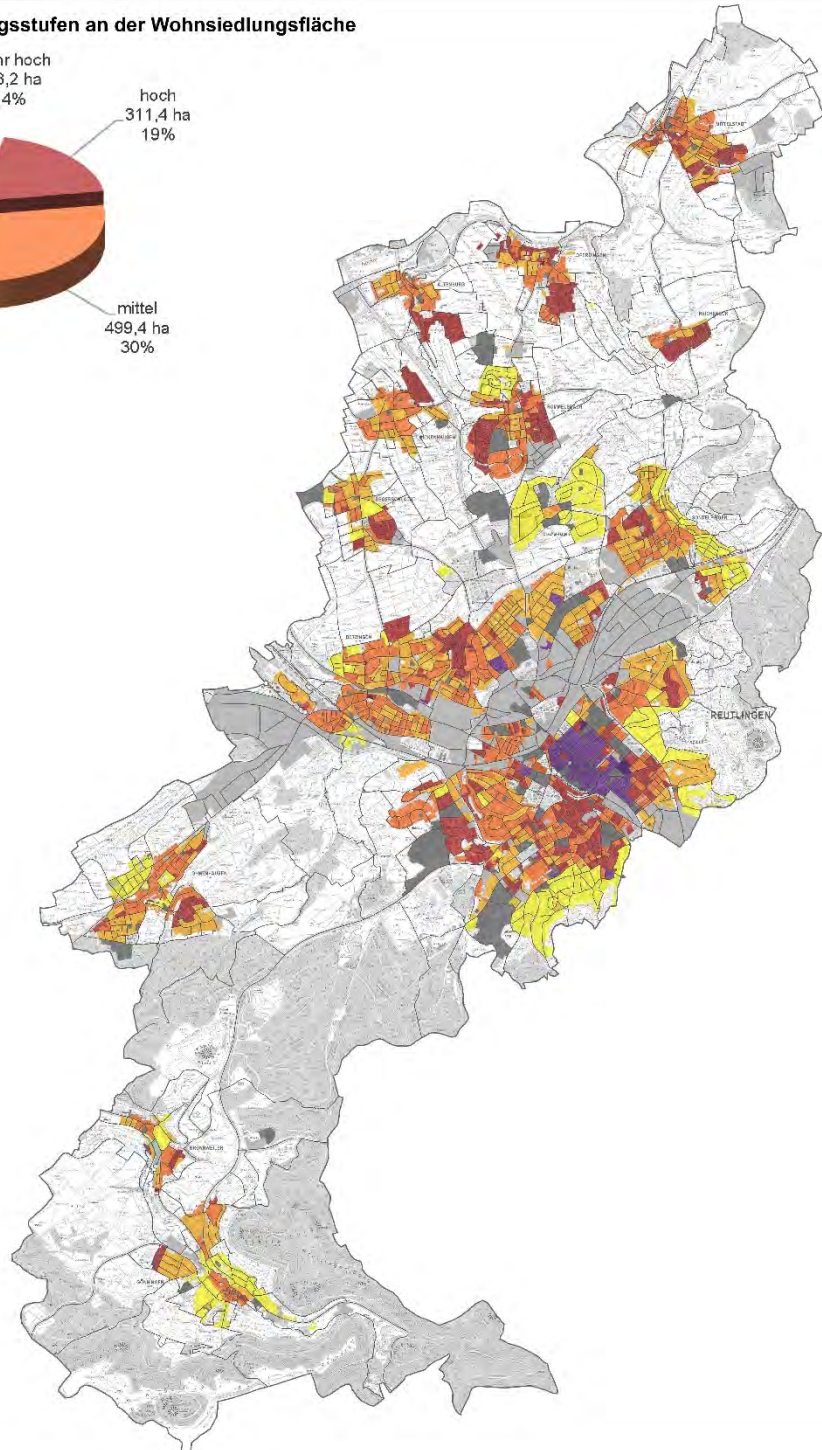
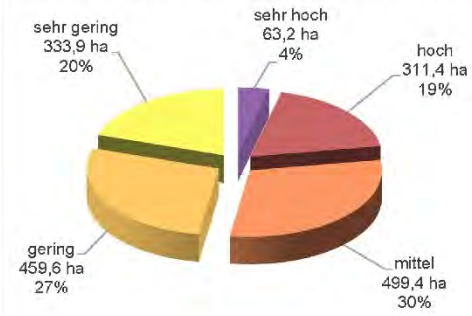
- sehr gering (Q<sub>1</sub>: 543,0 - 1.188,0 Kh/a)
- gering (Q<sub>2</sub>: 1.188,1 - 1.719,4 Kh/a)
- mittel (Q<sub>3</sub>: 1.719,5 - 2.220,8 Kh/a)
- hoch (Q<sub>4</sub>: 2.220,9 - 2.743,6 Kh/a)
- sehr hoch (Q<sub>5</sub>: 2.743,7 - 3.862,0 Kh/a)

### Siedlungsstrukturtyp

- Industrie- und Gewerbeflächen
- Soziale, kulturelle und administrative Einrichtungen
- Baublock

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Dröscher 2017) | Simulation des Innenraumklimas (Pfafferott 2019) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

## Flächenanteile der Belastungsstufen an der Wohnsiedlungsfläche



Karte 6.2: Thermische Belastung in Wohngebäuden – Innenraumklima (Quelle: agl 2020)



Sehr hoch belastet ist die Innenstadt. Aufgrund der dichten Bebauung treten hier die meisten Überhitzungsgradstunden auf, obwohl deren Höhenlage die Innenstadt gegenüber dem Bezirk Mittelstadt oder anderen am Neckar liegenden Stadtteilen begünstigt. 63 ha oder 4 % der Fläche fallen in diese Kategorie. Hoch belastet sind mit 311 ha knapp 19 % der Wohnsiedlungsfläche. In der Kernstadt betrifft dies unterschiedliche Gebäudealtersklassen und in den Randbereichen vor allem Gebäude der 1970er- und 1990er-Jahre, sofern diese nicht unmittelbar von Kaltlufteinträgen profitieren (Beispiel Umfeld Scheibengipfel, Georgenberg). Diese Gebäudealtersklassen führen auch zu hohen Wärmebelastungen in den außen liegenden Stadtbezirken – sowohl in flächenmäßig kleineren, wie Reicheneck, als auch in größeren, wie Mittelstadt, Opferdingen, Altenburg oder insbesondere Rommelsbach.

Eklatant fällt der Unterschied in der Belastung auf, wenn man Rommelsbach mit Orschel-Hagen vergleicht. In Orschel-Hagen profitieren die Gebäude der 1950er-Jahre von den im Regelfall kleinen Fenstern, einer schlechten Wärmespeicherkapazität und einem damit verbundenen höheren Wärmeverlust. Die Gebäude weisen damit deutlich weniger Überhitzungsgradstunden auf als die der 1970er- und 1990er-Gebäude in Rommelsbach. Die Wärmebelastung in Orschel-Hagen ist daher als sehr gering bewertet. Insgesamt 20 % der Siedlungsflächen liegen in dieser Wertstufe, weitere 27 % sind gering belastet und knapp 30 % liegen in der mittleren Belastungsstufe. Bezogen auf die Anforderungen der DIN 4108-2 an Wohngebäude entsprechen nach dem vorliegenden Modell nur 20 % der Baublöcke den Anforderungen; 80% dagegen überschreiten diese Schwelle.

Die Pflegeheime wurden nicht gesondert verortet. Die Modellsimulation in Kapitel 6.1 wurde vor dem Hintergrund eines typischen Dienstplans erstellt, bei dem die Fenster zwischen 21 Uhr und 07 Uhr komplett geöffnet sind und der Sonnenschutz immer komplett geschlossen ist (vgl. auch SenGesUmV 2007). Im Gegensatz zu den Wohngebäuden profitieren die Bewohner hiervon. Bei der Einhaltung des Dienstplans überschreiten typische Pflegeheime nur in der Innenstadt den Anforderungswert von 1200 Kh/a (um ca. 600 Kh/a).

Hinsichtlich der Vulnerabilität (Betroffenheit) kann auch das Innenraumklima mit den Sensitivitätsindikatoren überlagert werden. Buchin et al. (2016a, b) konnten explorativ zeigen, dass Innenraumklimamodelle mit dem Indikator Lufttemperatur die tatsächliche Mortalität besser abbilden (höhere erklärte Varianz, Zeitverzug zwischen Zeitpunkt des Hitzeereignisses und Sterbezeitpunkt infolge langsamer Gebäudeaufheizung) als die Außentemperatur. Für Reutlingen wurde daher exemplarisch die Vulnerabilität (Betroffenheit) der über 75-Jährigen und der über 75-Jährigen in Singlehaushalten überlagert.

Im Gegensatz zur Karte 5.9 liegen dann sehr viele Quartiere mit einem hohen und sehr hohen Anteil an über 75-Jährigen sowie mit über 75-Jährigen in Singlehaushalten in Bereichen hoher und sehr hoher Wärmebelastung. Dies gilt für die Kernstadt, für die Innenstadt und die Bezirke Ringelbach, Hohbuch, Betzingen, Römerschanze, Voller Brunnen, Storlach, Burgholz und Sondelfingen; in den Außenbezirken für Gönningen, Ohmenhausen, und Rommelsbach.

# Über 75-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung im Innenraum

## Wärmebelastung der Wohngebäude Anzahl der Überhitzungsgradstunden über 26° im Innenraum

- sehr gering (Q<sub>1</sub>: 543,0 - 1.188,0 Kh/a)
- gering (Q<sub>2</sub>: 1.188,1 - 1.719,4 Kh/a)
- mittel (Q<sub>3</sub>: 1.719,5 - 2.220,8 Kh/a)
- hoch (Q<sub>4</sub>: 2.220,9 - 2.743,6 Kh/a)
- sehr hoch (Q<sub>5</sub>: 2.743,7 - 3.862,0 Kh/a)

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhalte (Droscher 2017) | Simulation des Innenraumklimas (Pflaferott 2019) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

## Anzahl der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 10; Standardabweichung 16)

- hohe Anzahl (26 - 41: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (42 - 163: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

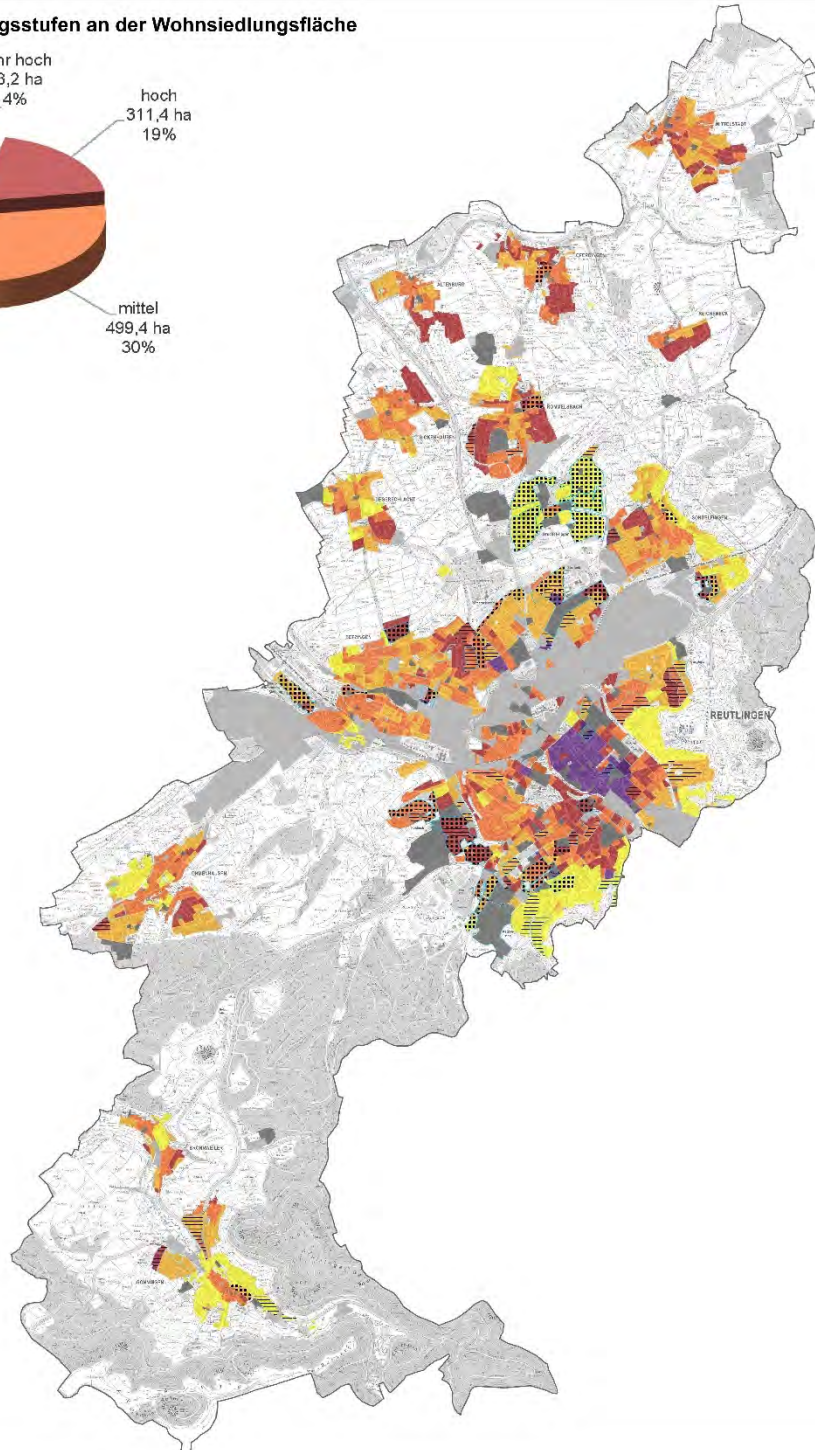
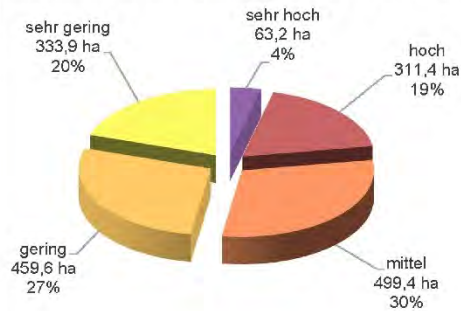
## Anzahl der Singlehaushalte der über 75-Jährigen je Baublock (Mittelwert 3; Standardabweichung 6)

- hohe Anzahl (10 - 15: Mittelwert + 1 Standardabweichung)
- sehr hohe Anzahl (16 - 66: Mittelwert + 2 Standardabweichungen)

## Siedlungsstrukturtyp

- Industrie- und Gewerbeflächen
- Soziale, kulturelle und administrative Einrichtungen

## Flächenanteile der Belastungsstufen an der Wohnsiedlungsfläche



Karte 6.3: Über 75-Jährige und Exposition gegenüber thermischer Belastung im Innenraum (Quelle: agl 2020)

### 6.3 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

In Ergänzung zu den in Kapitel 5 betrachteten Indikatoren liefert die Karte der thermischen Belastung in Innenräumen eine wichtige Ergänzung. Sie zeigt auf, wo Risiken aus thermischer Belastung in Innenräumen entstehen. Da sich ein Großteil der Bevölkerung den weitaus größten Teil des Tages, d. h. ca. 16 bis 18 Stunden, in Innenräumen aufhält (nächtlicher Schlaf, Arbeit am Tage), leistet der Indikator einen auch gegenüber der Außenraumbelastung entsprechenden Mehrwert bei der Beurteilung der Verwundbarkeit. Dies gilt umso mehr, da sich der Gebäudetyp, das Gebäudealter und die Lufttemperatur gegenüber der Außentemperatur stark verändern. Der vorliegende Ansatz zeigt erstmalig für Deutschland eine kleinräumige baublockbezogene Bewertung der Wärmebelastung in Innenräumen auf. Aus ressourcentechnischen Gründen wurden nur die Wohngebäude verortet; Nichtwohngebäude wurden zwar in ihrem thermischen Verhalten simuliert, aber nicht verortet.

Heute sind noch keine Simulations- oder Planungswerkzeuge marktverfügbar, welche die Wechselwirkung zwischen Gebäude und Stadtklima vollständig beschreiben. Der beim vorliegenden und validierten 5R1C-Simulationsmodell verwendete Algorithmus zur Vorhersage der Wärmebelastung im Innenraum (und zur Berechnung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs) entspricht in etwa dem Algorithmus, der im deutschen Hitzewarnsystem verwendet wird, wobei dort ein aufwändigeres Gebäudemodell und aktuelle Wetter- und Vorhersagedaten (statt Klimadaten aus dem Testreferenzjahr) verwendet werden (Pfafferott/Becker 2008). Gegenüber komplexen, numerischen Simulationsmodellen (z.B. TRNSYS, IDA-ICE, esp-r oder EnergyPlus) verzichtet das vereinfachte Modell auf eine explizite geometrische Abbildung, wodurch insbesondere bauphysikalische Kennwerte als Summenwerte dargestellt werden. Das Gebäudemodell verwendet meteorologische Eingangsdaten (insbesondere Außentemperatur, Solarstrahlung getrennt nach Direkt- und Diffusstrahlung und Windgeschwindigkeit) und berechnet für eine entsprechende Gebäudeparametrierung die zeitabhängige Innenraumtemperatur.

Aufgrund der verfügbaren Eingangsdaten und der Methodik unterliegt dieser Ansatz Einschränkungen. Unsicherheiten ergeben sich aus der Modellierung selbst, da hier ein vereinfachtes Modell, wie oben beschrieben, zugrunde liegt. Darüber hinaus entstehen weitere Unsicherheiten aus der Methodik zur Erfassung der Wohngebäudealtersklassen. Schließlich wurden exemplarische Gebäudetypen der Wohngebäudetypologie (IWU 2005) verwendet, um die Vielfalt der Gebäudetypen in der Stadt Reutlingen zu analysieren. Zudem führt die Erfassung der Wohngebäude zu Unsicherheiten, da der Sanierungszustand der Gebäude über die Luftbildderhebung nicht bestimmbar ist.

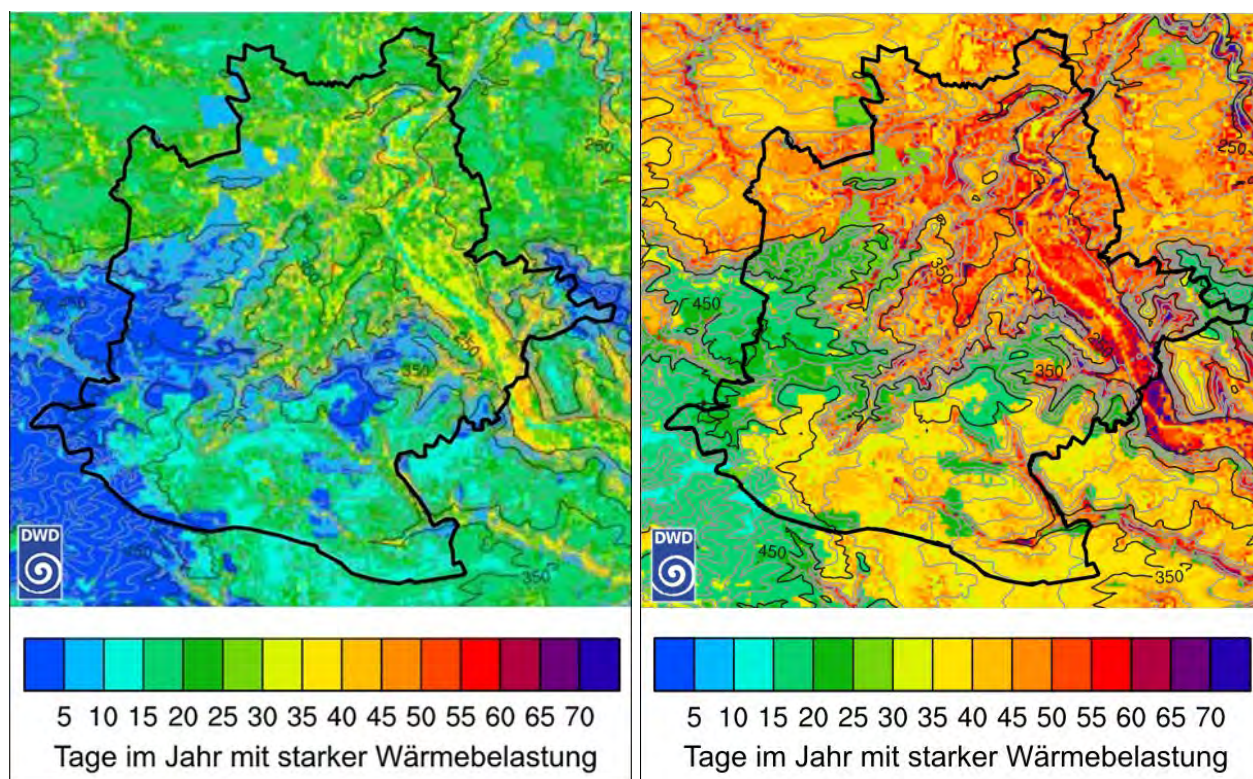
Vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen Ausprägung der Wärmebelastung, bezogen auf die Außen- und die Innenraumtemperaturen und den daraus resultierenden Verwundbarkeit (Betroffenheit) am Beispiel der über 75-Jährigen (in Singlehaushalten), ist es sinnvoll, mithilfe einer Vor Ort-Erhebung und ggf. einer Messkampagne die Ergebnisse weiter zu verifizieren.

# 7 Zukünftige Entwicklung

Die zukünftige Entwicklung der Stadt Reutlingen vor dem Hintergrund des weltweiten Klimawandels, aber auch des demografischen Wandels und des wirtschaftlichen Strukturwandels, kann im Rahmen dieser Studie nicht ausführlich thematisiert werden. Dabei haben sowohl die klimawandelbeeinflusste Entwicklung des Stadtklimas als auch die anderen Wandlungsprozesse Auswirkungen auf die Sensitivität und die Vulnerabilität der Stadt Reutlingen gegenüber der thermischen Belastung. Mögliche Trendentwicklungen werden nachfolgend kurz skizziert, um das Bewusstsein für die voraussichtlich zunehmenden Gefahren und die sich daraus ergebende Veränderung der Verwundbarkeit gegenüber thermischer Belastung zu schärfen.

## 7.1 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DES STADTKLIMAS

Für die zukünftige Entwicklung des Stadtklimas von Reutlingen stehen keine unmittelbaren Informationen zur Verfügung. Regionale Entwicklungen der Veränderung der Klimasignale wurden in Kapitel 3.1 thematisiert. Basierend auf stadtklimatischen Modellierungen für die Landeshauptstadt Stuttgart (Schlegel/Koßmann/Matzarakis 2017) wurde berechnet, dass die Anzahl der Tage mit einer GT größer als 32°C im Bereich von Leinfelden – mit einer mit dem Stadtbezirk Mittelstadt vergleichbaren Höhenlage – von zehn bis 15 Tagen (niedrigster Wert) im Zeitraum 1971 bis 2000 auf 30 bis 35 Tage (niedrigster Wert) im Projektionszeitraum 2031–2060 ansteigen könnte (Basisszenario A1B, 75. Perzentil, ungünstigster Fall). Demnach kann auch für Reutlingen unter gleichen Annahmen von einer deutlichen Erhöhung der Wärmebelastung ausgegangen wer-



den.

**Abbildung 7.1: Mittlere jährliche Anzahl an Tagen mit starker Wärmebelastung (NGT<sub>max</sub> ≥ 32°C) für den Zeitraum 1971–2000 im Auswertgebiet (links). Projektion der mittleren Anzahl an Tagen mit starker**

**Wärmebelastung im Auswertebiet im Zeitraum 2031–2060 für das Emissionsszenario A1B. 75. Perzentil (rechts), (Quelle: Schlegel/Koßmann/Matzarakis 2017, verändert)**


## 7.2 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER SIEDLUNGSFLÄCHE UND DER DEMOGRAFISCHEN FAKTOREN


Die zukünftige Landnutzung wird das Klimasignal in seiner Ausprägung im Stadtgebiet von Reutlingen verändern, da diese wesentlich für den Wärmeumsatz im Stadtgebiet und damit verantwortlich für den Wärmeinseleffekt ist (vgl. Kap. 5.2). Auf Grundlage der von der Stadt Reutlingen zur Verfügung gestellten Informationen zur baulichen Entwicklung bis 2030 kann der Beitrag des Landnutzungswandels zu einer Verschärfung des Wärmeinseleffekts qualitativ abgeschätzt werden.


Der Flächennutzungsplan der Stadt Reutlingen (Datenstand 2019) zeigt die Planungsflächen für die weitere Siedlungsentwicklung (Wohnbau- und Gewerbeflächen) auf. Darüber hinaus wurden die Umgriffe der B-Pläne im Verfahren (seit 2005) sowie die Bauentwicklungsflächen (Datenstand 2019) zur Verfügung gestellt. Weitergehende qualitative Informationen über die konkreten Baudichten o. Ä. liegen nicht vor. In Abstimmung mit der Stadt Reutlingen (mündliche Mitteilung 23. Mai 2019) wurden jedoch Siedlungsdichten für die Beschreibung der Entwicklungen vereinbart. Danach sind in allen Stadtbezirken Siedlungsflächenerweiterungen oder Nachverdichtungen im Bestand geplant.


# Zukünftige Entwicklung der Siedlungsflächen

## Entwicklungsflächen


 Bebauungspläne im Verfahren (ab 2005)


 Entwicklungsflächen


 FNP: Wohnbauflächen Planung

 FNP: Gewerbliche Bauflächen Planung

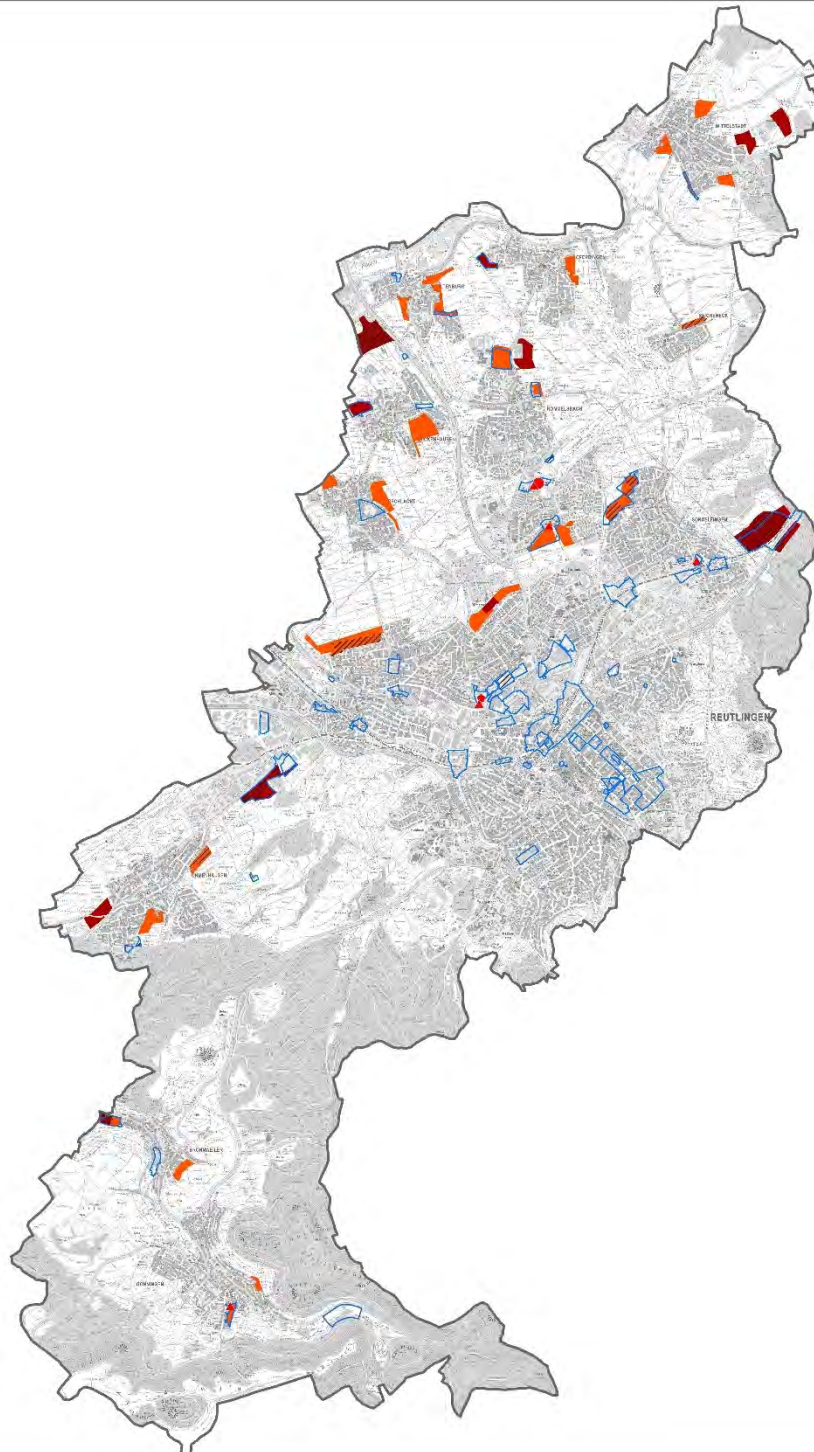
## Geplante Einrichtungen

 Kindergarten

 Pflege-/Behinderteneinrichtung

 Seniorenheim

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen  
Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



**Karte 7.1: Zukünftige Entwicklung der Siedlungsflächen (Quelle: agl 2020)**

# Zukünftige Siedlungsflächen und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Entwicklungsflächen: Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

### Geplante Einrichtungen

- Kindergarten
- Pflege-/Behinderteneinrichtung
- Seniorenheim

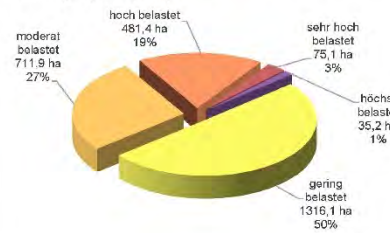
Entwicklungsflächen (Bebauungspläne im Verfahren ab 2005, Entwicklungsflächen, Planungsflächen Wohnen und Gewerbe des FNP)

## Bestand: Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

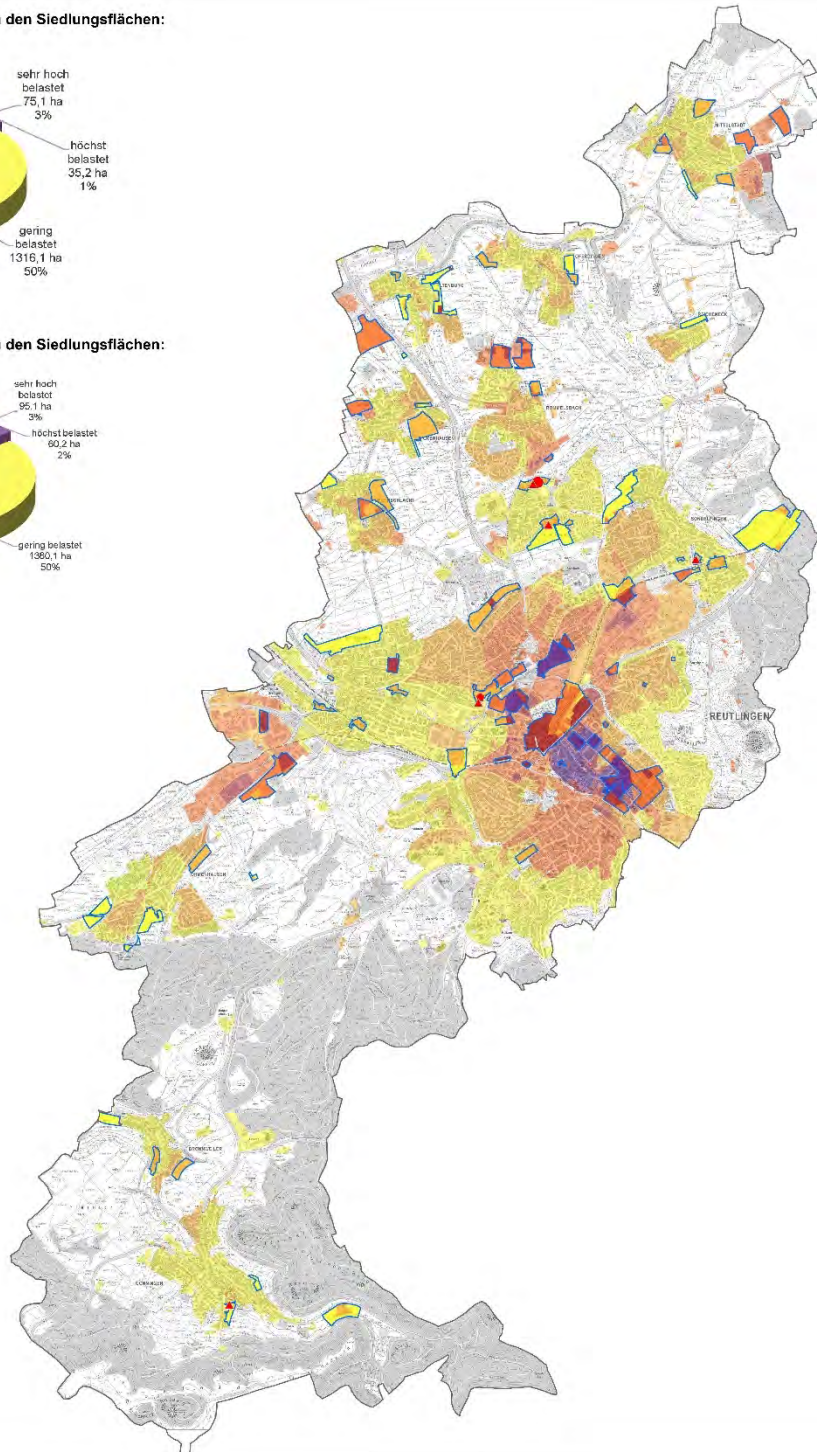
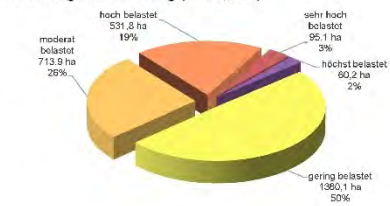
- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhalte (Dröscher 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018

### Flächenanteile der Belastungsstufen an den Siedlungsflächen: Status quo (2.619,7 ha)



### Flächenanteile der Belastungsstufen an den Siedlungsflächen: zukünftige Entwicklung (2.781,1 ha)



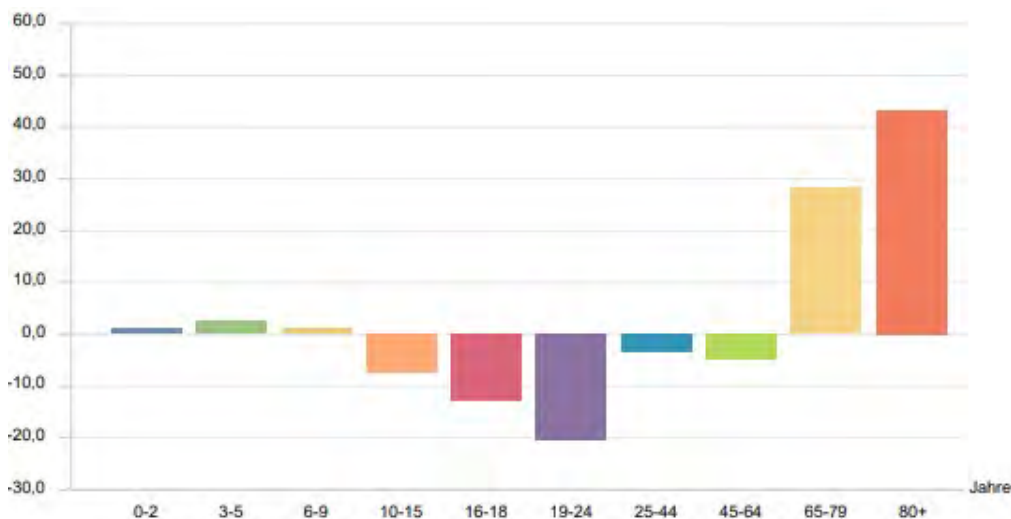
Karte 7.2: Zukünftige Siedlungsflächen und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

Projiziert auf die Karte der differenzierten Wärmebelastung (Karte 7.2) ergeben sich damit neue Siedlungsflächen, die – wenn diese an Siedlungsrändern liegen – in dieselbe Belastungsstufe eingeordnet wurden. Entwicklungsflächen im Bestand wurden aufgrund der Nachverdichtung um eine Belastungsstufe hochgestuft.

Das Ergebnis zeigt Gegenüber dem Status quo ist somit von einer Erhöhung der Wärmebelastung insbesondere in der Kernstadt auszugehen. Gleiches gilt für einige Quartiere in den außenliegenden Stadtbezirken, in denen Nachverdichtungen zu erwarten sind. Veränderungen in der Strömungsdynamik sind dabei jedoch nicht berücksichtigt. Insgesamt wird die Siedlungsfläche um knapp 162 ha zunehmen. Der am höchsten belastete Bereich wird von 35,2 ha auf 60,2 ha anwachsen, der sehr hoch belastete Bereich von 75,1 ha auf 95,1 ha. Der hoch belastete Bereich wird um 50 ha, der gering belastete um 64 ha vergrößert. Der mittelgradig belastete Bereich verändert sich demgegenüber nur geringfügig.

Bezüglich der demografischen Entwicklung liegen keine Informationen vor, die eine räumliche Differenzierung für das Stadtgebiet von Reutlingen zulassen. Eine Zunahme oder Veränderung der Verteilung von Risikogruppen kann daher nicht abgeschätzt werden. Der „Demographiebericht Reutlingen“ (Bertelsmann Stiftung 27.09.2019) sieht eine Bevölkerungszunahme in der Stadt Reutlingen bis 2030 gegenüber 2012 um 1,6 %. Dabei sind Veränderungen in der Altersstruktur zu erwarten. Einer deutlichen Abnahme der unter 24-Jährigen steht eine Zunahme der über 65-Jährigen entgegen. In der Altersklasse 65 bis 74 wird eine Zunahme um fast 30 % und in der Altersklasse der über 80-Jährigen eine Zunahme um 42 % angenommen.

Dies bedeutet, dass neben der Gefährdung durch veränderte Klimasignale und der Exposition durch thermische Belastung auch der Anteil der Risikogruppen zunehmen wird. Auch die WHO (2014) weist darauf hin, dass auch unabhängig von Klimawandel der demographische Wandel mit einer älter werdenden Bevölkerung zu einer Erhöhung der Verwundbarkeit führt.



**Abbildung 7.2: Änderung der Altersstruktur von 2012 auf 2030 in %**

(Quelle: Bertelsmann Stiftung 27.09.2019:13 und die dort verwendeten Quellen)



# 8 Befragung zum Umgang mit thermischer Belastung in der Altenpflege

„Am 15.12.2007 wurden in Deutschland 671.000 Pflegebedürftige in gut 11.000 Pflegeheimen betreut. Fast die Hälfte der Gepflegten war 84 Jahre alt oder älter, mehr als 60 % befanden sich in der Pflegestufe 2 oder 3 [29]. Ein Anstieg der Anzahl Pflegebedürftiger von 2,25 Mio. (2007) auf etwa 3,36 Mio. im Jahr 2030 wird erwartet [28]. Zeitgleich ist mit einer Zunahme der Perioden sehr hoher Tages- und Nachttemperaturen, sog. Hitzewellen, zu rechnen. Bei diesen Wetterlagen tragen Pflegebedürftige das höchste Gesundheitsrisiko, so auch die Bewohnerinnen und Bewohner von Pflegeheimen“ (Grewe/Pfaffenberger 2011: 192). Die Autoren sehen dabei Ansätze zur Reduktion der Hitzebelastung bei der Exposition sowie bei der Suszeptibilität, der Empfänglichkeit und Empfindlichkeit der Personen. Pflegebedürftigkeit ist, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, ein Risikofaktor hinsichtlich thermischer Belastung.

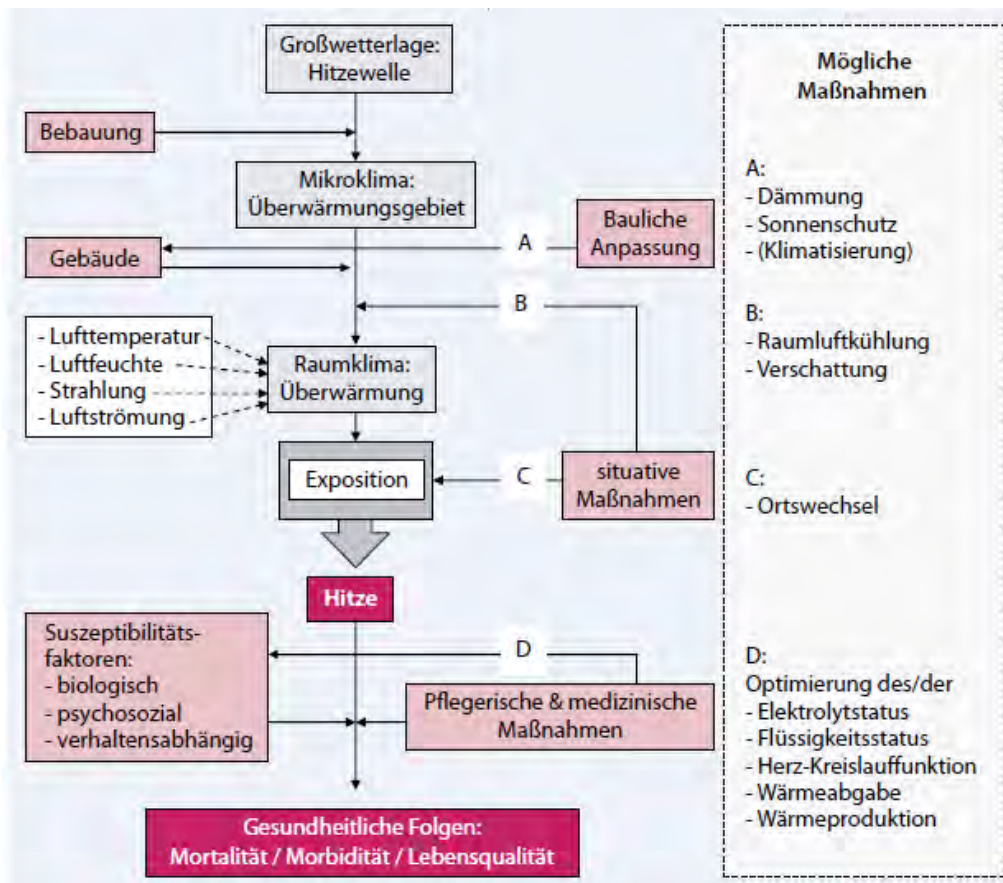


Abbildung 8.1: Exposition und Suszeptibilität als Ansätze zur Beeinflussung der Verwundbarkeit (Quelle: Grewe/Pfaffenberger 2011: 194)

Die Abbildung bekräftigt, dass, neben den bereits in Kapitel 5 beschriebenen Aspekten, sowohl pflegerische und medizinische als auch psychosoziale Aspekte der Anpassung eine wichtige Rolle spielen, insbesondere bei der Vulnerabilität (Betroffenheit) von Menschen in stationären Pflegeeinrichtungen. Mit Blick auf die Verhaltensvorsorge sei hier auch auf weitere KLIMOPASS-Studien verwiesen. Reuter (2013) stellte das Hitzewarnsystem als Informationskette in den Fokus und beschreibt wirksame Maßnahmen zur Beratung und Information sowie zur Verbesserung der Kommunikation von Hitze警告ungen und Gegenmaßnahmen der Verhaltensvorsorge.

Lindemann (2016) erläuterte ausführlich die hitzebedingten Risiken für ältere Menschen in Stuttgart. Menschen in Einrichtungen des betreuten Wohnens wurden unter Hitzebedingungen beobachtet und Parameter wie Blutdruck, Körpertemperatur, aber auch Verhalten (Gehtempo, Bekleidung) und soziale Teilhabe erhoben. Hitze als Belastungsfaktor konnte dabei validiert werden, Hinweise zur Identifikation besonders belasteter Personen gegeben und Interventionsmöglichkeiten für betroffene Pflegenden oder auch Betreiber von Seniorenheimen konnten aufgezeigt werden.

Die Befragung zum Umgang mit thermischer Belastung in der Altenpflege in der vorliegenden Studie diente daher dazu, die vorgenannten Verwundbarkeitsaspekte (Verhaltensvorsorge, pflegerische Maßnahmen und Maßnahmen zur Beeinflussung der Exposition) in den Altenpflegeeinrichtungen in Reutlingen zu erkunden, um entsprechende Maßnahmen ableiten zu können.

## 8.1 VORGEHENSWEISE

Zur Abschätzung psychosozialer Faktoren der thermischen Belastung sowie bereits realisierter Anpassungsmaßnahmen wurden Befragungen in ausgewählten sensitiven Einrichtungen durchgeführt. Ziel war es, einen Einblick in die Bewertung von Hitzestress und in Bewältigungsstrategien zu erhalten. Darüber hinaus sollten exemplarisch Herangehensweisen der Einrichtungen und des Pflegepersonals bei hohen thermischen Belastungen eruiert werden. Dazu wurden schriftliche Befragungen der Leitung bzw. Träger von Altenpflegeeinrichtungen mittels Fragebogen sowie Interviews mit Bewohnern durchgeführt, die sich ebenfalls an einem Fragebogen orientierten.

## 8.2 BEFRAGUNG DES GESUNDHEITSAMTS

Um den Umgang mit Hitzebelastung in Bezug auf die menschliche Gesundheit zu erfassen, wurde das Kreisgesundheitsamt der Stadt Reutlingen in die Befragung mit einbezogen. Dafür wurde ein leitfragenbasiertes Interview mit der Leitung des Geschäftsbereichs Gesundheitsschutz durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass viele präventive Maßnahmen für Einrichtungen vulnerabler Menschen getroffen werden.

Aufgaben	
1	<p><b>Welche Aufgaben und Ziele bestehen beim Gesundheitsamt im Kontext von Hitzebelastungen und menschlicher Gesundheit? (Überwachung, Beratung, Amtsarzt, Schulungen)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachungs- und Beratungsfunktion, telefonisch und persönlich durch Kontakt zu den Einrichtungen</li> <li>• Persönlich vor Ort: Gesundheitsamt und Heimaufsicht überprüfen die Einrichtungen.</li> <li>• Die Beratungen vor Ort geschehen nach Bedarf.</li> <li>• Das Kreisgesundheitsamt bietet keine eigenen Schulungen zum Thema „Hitze“ an (jedoch Schulungen allgemeiner Art).</li> </ul>
2	<p><b>Welche Aufgaben und Ziele bestehen mit Blick auf besonders verwundbare Bevölkerungsgruppen, d. h. Kinder, ältere Menschen und gesundheitlich vorbelastete Personen? (Überwachung, Beratung, Amtsarzt, Schulungen)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• siehe oben</li> <li>• regelmäßiger Besuch von Einrichtungen mit vulnerablen Menschen in der (stationären) Altenpflege (Menschen mit Behinderung, ältere Menschen; aber keine Kindergärten, außer bei direkten Anfragen)</li> </ul>

Ansprache/Beratung und Information	
3	<p><b>Inwiefern werden Institutionen wie Altenheime oder Kindergärten, ambulante Versorgung sowie Bürger auf das Thema Hitze und Gesundheit aufmerksam gemacht? Welche Angebote bestehen Ihrerseits?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugesuche: Bei der Planung der Einrichtung von Seniorenheimen oder Kindergärten gibt das Kreisgesundheitsamt Empfehlungen bezüglich (Innen-)Einrichtung, Infektionshygiene, aber auch zur Verschattung an Gebäuden.</li> <li>• In Zukunft wird ein online abrufbares Dokument den Trägern von Einrichtungen bauplanerische Empfehlungen geben → dies soll das Gesundheitsamt früher „ins Boot bringen“.</li> </ul>
4	<p><b>Welche Vorbereitungen/Anpassungen während Hitzetagen/-perioden werden empfohlen? Welche Vorkehrungsmaßnahmen werden Ihrerseits getroffen?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• keine proaktiven Vorkehrungen in Kindergärten, aber in Senioren- oder Pflegeheimen für Menschen mit Behinderung</li> <li>• direkte Nachfrage bei den Trägern zu Schulungen des Personals oder zu Maßnahmenplänen</li> <li>• Die Einrichtungen sind informiert und wissen mit der Situation „Hitze“ umzugehen, bauliche Situation ist teilweise suboptimal, etwa wenn im Untergeschoss die Fenster aus baulichen Gründen nicht geöffnet werden können, d. h. keine Durchlüftung stattfinden kann.</li> </ul>
5	<p><b>Welche Ausbildung erhält das Pflegepersonal gefährdeter Personen? Existieren spezielle Schulungen für Mitarbeiter betroffener Einrichtungen (Altenpfleger, Erzieher, ambulante Versorgung etc.)?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezielle Schulungen werden intern von den Trägern der Einrichtungen angeboten.</li> <li>• Was tun bei Hitzewelle? Maßnahmenpläne der Einrichtungsträger gegeben hier Aufschluss (dort wird alles festgehalten, was vorbeugend unternommen werden kann; unterschiedliche Aspekte wie Anpassungsoptionen durch Kleidung, Lebensmittel, Sonnenschutz, Trinken, Medikamente).</li> <li>• Kooperation mit dem Robert-Koch-Krankenhaus in Stuttgart, es existiert jedoch kein etabliertes Schulungssystem.</li> </ul>
Prävention und Bewältigung	
6	<p><b>Inwiefern werden Frühwarnsysteme genutzt bzw. wird mit diesen gearbeitet? Wird auf die Angebote von Frühwarnsystemen des DWD hingewiesen? Welche Newsletter werden bezogen oder empfohlen (Hitze, Pollen, UV, Ozon)? Welchen Einrichtungen wird empfohlen oder vorgeschrieben, Newsletter und Frühwarnsysteme zu beziehen und zu verfolgen?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DWD-Abonnement per Fax oder E-Mail zu Hitzewarnungen ist in allen Einrichtungen vorhanden</li> <li>• Teilweise werden auch die Apps KATWARN und NINA genutzt.</li> </ul>
7	<p><b>Inwiefern wird auf die Verwendung von kühlenden oder hitzeresilienten Materialien, die Nutzung von Klimaanlage und Verschattungen in den Einrichtungen geachtet?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Gesundheitsamt achtet auf Vorkehrungen bei Begehungen vor Ort; bei den Begehungen wird Beschattung thematisiert, dies überlappt sich jedoch mit Aufgaben des Arbeitsschutzes.</li> <li>• Einrichtungen werden durch das Gesundheitsamt nicht auf das Vorhandensein von Klimaanlage überprüft.</li> <li>• Auf Basis von Empfehlungen des für Gesundheit zuständigen Ministeriums wird ein Maßnahmenplan durch die Träger der Einrichtungen erstellt. Auf Landkreisebene wird bei den Prüfungen durch die Heimaufsicht das Vorliegen eines Maßnahmenplans überprüft. Dieser muss seitens der Träger immer vorgehalten und aktualisiert werden.</li> <li>• Neben der Orientierung am Maßnahmenplan spielt die alltägliche aufmerksame Beobachtung des Gesundheitszustands der Bewohner durch die Pflegekräfte eine wichtige Rolle.</li> </ul>
8	<p><b>Welche Empfehlungen zu Selbsthilfemaßnahmen werden gegeben? Existiert ein schriftlicher Ratgeber zur Orientierung?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Landesgesundheitsamt gibt proaktiv Tipps zum Umgang mit Sommerhitze an die Allgemeinbevölkerung aus.</li> <li>• Die Broschüre „Alter &amp; Hitze“ des Robert-Koch-Krankenhauses wird auch an die Träger der Einrichtungen ausgegeben.</li> </ul>
9	<p><b>Inwiefern wird Ihrerseits auf Wechselwirkungen von Hitze und bestimmten Medikamenten reagiert?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei manchen Wirkstoffen kann es zu Wechselwirkungen und Nebenwirkungen kommen.</li> <li>• Als beratende Stelle fungieren Hausärzte. Sie sollen bei Fragen der Medikation und Hitze konsultiert werden (andere Dosierung, Verabreichungsform).</li> </ul>

10	<b>Inwiefern wird mit dem Aufkommen neuer Infektionskrankheiten und Allergien oder Umweltreize umgegangen?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Luftschadstoffe NO<sub>2</sub> und Ozon als sekundäre Belastungen liegen in Zuständigkeit des Umweltamts, stehen aber in Verbindung mit Hitze.</li> <li>• Infektionskrankheiten werden durch die wärmeren Umweltbedingungen gefördert, teilweise neue Belastungen durch Mücken, Tigermücken → diese stellen zukünftig Herausforderungen dar; bisher sind noch keine Vorfälle im Landkreis bekannt.</li> <li>• Eine Häufung von Allergien (z. B. durch ein vermehrtes Auftreten des Eichenprozessionsspinners o. Ä.) ist in Reutlingen bislang nicht beobachtet worden; hierzu existiert keine harte Datenbasis.</li> <li>• Rötelmäuse übertragen indirekt Hantaviren über den Mäusekot, der dann als Staub in die Luft gelangt und bei Kontakt eingeatmet wird. → Hier liegt eine zukünftige Herausforderung für die Region.</li> <li>• Beim Thema Rötelmäuse wird hier in Zusammenarbeit mit dem zuständigen Ministerium noch geforscht: Zur Diskussion steht die Frage, ob mit einer Aufklärung der Bevölkerung den Gefährdungen überhaupt begegnet werden kann.</li> <li>• FSME: Eine Übertragung erfolgt häufiger durch Rohmilch als durch Zecken, daher spielt das Thema für den Klimawandel eine untergeordnete Rolle. → Zur Begegnung der Infektionskrankheiten existieren präventive Möglichkeiten.</li> </ul>
11	<b>Wie wird mit Notfallsituationen (Hitzewellen) umgegangen? Welche Vorkehrungen werden getroffen?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Notfallsituationen berät das Gesundheitsamt, welche aktuellen Maßnahmen die Träger der Einrichtungen kurzfristig umsetzen können; viele Aspekte sind jedoch bereits über Maßnahmenpläne abgedeckt.</li> <li>• Das Gesundheitsamt ist vor Ort präsent.</li> <li>• Entscheidend ist letztlich die aufmerksame Beobachtung der Bewohner durch Betreuungspersonen und das Pflegepersonal.</li> </ul>
12	<b>Inwieweit werden Hitzeaktionspläne erstellt?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Landkreis gibt es keinen Hitzeaktionsplan.</li> </ul>
<b>Vorsorge, Organisation und Kommunikation</b>	
13	<b>Welche Kommunikationswege und -systeme werden verwendet? (Flyer, Apps, ...)</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flyer und Infoblätter werden durch das Gesundheitsamt ausgegeben.</li> </ul>
14	<b>Gibt es eine Person/mehrere Personen, die für die Betreuung und Kommunikation mit speziellen Einrichtungen zuständig ist/sind (z. B. in Form eines Hitzetelefons oder Trinkpatenschaften bei Privatpersonen)?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trinkpatenschaften sind im Landkreis nicht bekannt (wird eher von Privatpersonen vorgenommen).</li> <li>• Ein Hitzetelefon ist nicht eingerichtet, da bislang kein so hoher Bedarf gesehen wurde.</li> <li>• Begehungen der Einrichtungen werden von unterschiedlichen Personen vorgenommen.</li> <li>• Die Zuständigkeit für Betreuung und Kommunikation liegt nicht bei einer, sondern bei unterschiedlichen Personen.</li> </ul>
15	<b>Reicht für die Aufgaben hinsichtlich der Bewältigung von Hitzestress der Personalbedarf?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generell ist der öffentliche Gesundheitsdienst personell unterbesetzt. Eine Kompensation ist derzeit jedoch leistbar. Mehr Personal würde die Situation und die Handlungsmöglichkeiten verbessern.</li> <li>• Ambulante Dienste: Zuständigkeit liegt beim Gesundheitsamt, Hitze ist jedoch hier kein zentraler Aspekt. Hygiene und übertragbare Krankheiten, der Eigenschutz der Pflegekräfte und der Schutz anderer Menschen stehen da im Vordergrund: unhygienische Haushalte und „Messie“-Haushalte → bei Eingriff in Privatsphäre ist Eingreifen des Pflegedienstes problematisch, Fingerspitzengefühl ist gefragt.</li> </ul>
<b>Ausblick und zukünftige Entwicklung</b>	
16	<b>Wie sehen Sie das Thema Hitze in der Gewichtung im Vergleich zu anderen Themen?</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Thema gewinnt zunehmend an Gewicht.</li> <li>• Die Zusammenarbeit der zuständigen/betroffenen Akteure sollte verbessert werden, es fehlt an der Vernetzung und einem Austausch zwischen den Therapeuten, Einrichtungen und privaten Personen. Ein Hitzeaktionsplan könnte hier eine Verbesserung bewirken.</li> </ul>

**Tabelle 8.1: Befragung des Gesundheitsamts (Quelle: agl 2019)**

Die Befragung zeigt, dass das Gesundheitsamt dem fachlichen Bereich „Hitzebelastung“ sehr zukunftsorientiert begegnet und dem Thema eine starke Bedeutung beimisst. Dabei sollte insbesondere die Zusammenarbeit in diesem Bereich ausgebaut werden, u. a. durch einen Hitzeaktionsplan. Ziel ist es, dass sich Therapeuten und Pflegenden, behördliche Institutionen und private Einrichtungen stärker vernetzen und ihr Wissen austauschen. Zudem muss die Bevölkerung in den Stadtteilen intensiver adressiert werden, vor allem müssen alleinlebende und zurückgezogene Personen erreicht werden.

### 8.3 BEFRAGUNG VON INSTITUTIONELLEN AKTEUREN DER ALTENPFLEEGEEINRICHTUNGEN

Die Betreiber und das Fachpersonal von Altenheimen und Altenpflegeeinrichtungen tragen eine besondere Verantwortung für ihre Bewohner. Nachgewiesen ist eine erhöhte Sterblichkeit von älteren Menschen und Pflegebedürftigen an Tagen mit Temperaturen über 32°C (Bäumler 2016; Fahrion 2015).

Ziel der Befragung der institutionellen Akteure war daher, die Selbsthilfefähigkeit von Altenpflegeheimen bei Hitzewellen zu ermitteln. Von besonderem Interesse war, inwiefern Altenpflegeheime auf Hitzewellen vorbereitet sind und was die Einrichtungen im Rahmen ihrer Möglichkeiten tun können, um Vorkehrungen für solche Fälle zu treffen. Auch wurden Planungsabsichten zu Anpassungsmaßnahmen abgefragt. Die Auswahl der befragten Einrichtungen erfolgte in enger Abstimmung mit den vier Trägern von Altenpflege- und Seniorenwohneinrichtungen in Reutlingen:

- der Reutlinger Altenhilfe,
- der Bruderhaus-Diakonie,
- der Keppler-Stiftung sowie
- dem Deutschen Roten Kreuz (DRK).

Mit Ausnahme des DRK benannten die Träger insgesamt sechs Einrichtungen, die bereit waren, an der schriftlichen Befragung teilzunehmen.

Name	Adresse
Seniorenzentrum am Markwasen – Mutter-Werner-Heim	Ringelbachstr. 225, 72762 Reutlingen
Altenpflegeeinrichtung „Voller Brunnen“	Carl-Diem-Straße 100, 72760 Reutlingen
Seniorenzentrum Betzingen	In der Au 2, 72770 Reutlingen
Seniorenzentrum „Gertrud Luckner“	Nürnberger Str. 31, 72760 Reutlingen
Altenpflegeheim „Haus Georgenberg“	Unterm Georgenberg 11, 72762 Reutlingen
Altenpflegeeinrichtung „Haus Lindach“	Champignystr. 5, 72762 Reutlingen

**Tabelle 8.2: Einrichtungen, die an den Befragungen teilnahmen (Quelle: agl 2019)**

Die Fragebögen gliederten sich in folgende Themenkomplexe:

- Fragen zu den Gebäuden, Wohnungen und Bewohnern
- Fragen zur Wärmebelastung
- Fragen zu Maßnahmen
- Fragen zum Umgang mit Hitzewellen in der Einrichtung

(vollständiger Fragebogen s. Anlage 2)

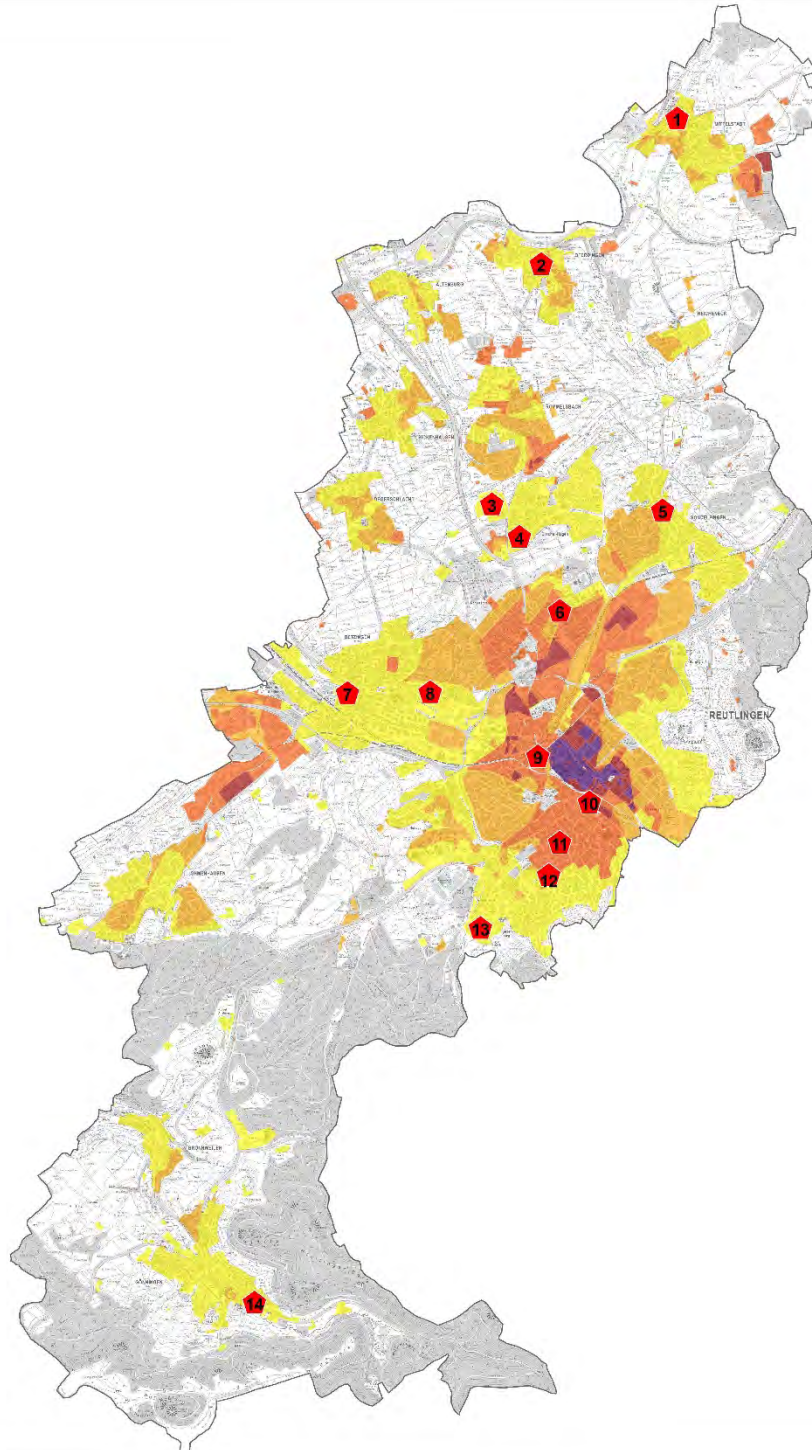
# Altenpflegeeinrichtungen und Exposition gegenüber thermischer Belastung

## Differenzierte Bewertung der Wärmebelastung

- höchst belastet
- sehr hoch belastet
- hoch belastet
- moderat belastet
- gering belastet

- Altenpflegeeinrichtungen
- 1 Seniorenzentrum Mittelstadt, Bruderhausdiakonie
- 2 DRK-Seniorenzentrum Oferdingen
- 3 LWV - Eingliederungshilfe - Rappertshofen
- 4 Seniorenzentrum „Gertrud Luckner“
- 5 Altenpflegeheim „Haus am Reichenbach“
- 6 Altenpflegeeinrichtung „Voller Brunnen“
- 7 Seniorenzentrum Betzingen, Bruderhausdiakonie
- 8 Pflegestation Heppstraße
- 9 Seniorenzentrum Gustav-Werner-Stift Reutlingen, Bruderhausdiakonie
- 10 Altenpflegeeinrichtung „Haus Lindach“
- 11 Altenpflegeeinrichtung „Haus Ringelbach“
- 12 Altenpflegeheim „Haus Georgenberg“
- 13 Seniorenzentrum am Markwasen - Mutter-Werner-Heim, Bruderhausdiakonie
- 14 Seniorenzentrum Gönningen, Bruderhausdiakonie

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Dröscher 2017) | Darstellung auf dem Stadtplan RT 2017 © Amt für Stadtentwicklung und Vermessung Reutlingen 2018



Karte 8.1: Altenpflegeeinrichtungen und Exposition gegenüber thermischer Belastung (Quelle: agl 2020)

## Gebäude, Wohnungen, Außenanlagen

Als Ergebnis des Fragebogenrücklaufs zeigt sich eine große Bandbreite in der baulichen Ausstattung der Einrichtungen, die zur Reduzierung thermischer Belastung beitragen kann. Keine der Einrichtungen verfügt über Wohnungen im Dachgeschoss. Klima- oder Belüftungsanlagen in Wohnungen und Aufenthaltsräumen sind in über der Hälfte der Einrichtungen vorhanden; eine Möglichkeit der Verdunkelung in Form von außenliegenden Rollläden, Jalousien oder Fensterläden gibt es in allen Einrichtungen. Eine gemeinschaftliche Nutzung von teilweise sonnengeschützten Außenbereichen ist in allen Fällen möglich.

## Wärmebelastung, Maßnahmen und Umgang mit Hitzewellen

Bezüglich der Wärmebelastung werden teilweise schwächere gesundheitliche Beschwerden wie Austrocknung oder Kraftlosigkeit häufig beobachtet, wohingegen stärkere gesundheitliche Probleme wie instabiler Kreislauf oder Muskelkrämpfe weniger häufig bis nie auftreten.

Dabei werden in allen Einrichtungen, insbesondere im Bereich der stationären Pflege, Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmebelastung zur Verfügung gestellt. Die Versorgung mit Trinkwasser in den Gemeinschaftsräumen, Nachtlüften, Verdunkelung der Räume oder auch Trinkprotokolle der pflegebedürftigen Bewohner und Anpassung der Nahrung wurden durchgehend als sehr hoch bis hoch wirksam eingeschätzt. Zu den meisten Maßnahmen wurde angegeben, dass sie sich problemlos in die Arbeitsabläufe integrieren lassen. Als nicht durchführbar wurde von drei Einrichtungen eine Verlagerung der Bewohner in klimatisierte Räume angesehen. Im weiteren Umgang mit zukünftigen Hitzewellen plante über die Hälfte der Einrichtungen ergänzend eine stärkere Beschattung durch bauliche Maßnahmen ein. Eine weitere Unterstützung kann die Nutzung des Hitzewarndienstes des DWD sein, welche von fast allen Einrichtungen als effektive Hilfe zur Anwendung von Schutzmaßnahmen eingestuft wurde. Jedoch nutzen eher wenige Einrichtungen die Website zur Information, die Hitzewarn-App wird darüber hinaus nicht genutzt.

Gebäude, Wohnungen und Außenanlagen	
1	<b>Klimaanlagen/Belüftungsanlagen</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vier der sechs Einrichtungen verfügen teilweise über Klima-/Belüftungsanlagen in den Wohnungen.</li><li>• Zwei Einrichtungen haben keine Klima-/Belüftungsanlagen in den Wohnungen.</li></ul>
2	<b>Rollläden, Jalousien, Fensterläden</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alle sechs befragten Einrichtungen verfügen über außenliegende Rollläden, Jalousien oder Fensterläden in den Wohnungen.</li><li>• Vier der sechs befragten Einrichtungen besitzen keine innenliegenden Rollläden oder Jalousien in den Wohnungen. Zwei machen keine Angaben.</li></ul>
3	<b>Balkone/Terrassen</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• In drei der befragten Einrichtungen gibt es keine den Wohnungen zugehörige Balkone/Terrassen.</li><li>• Eine Einrichtung verfügt über den Wohnungen zugehörige Balkone/Terrassen.</li><li>• Eine Einrichtung besitzt teilweise den Wohnungen zugehörige Balkone/Terrassen.</li><li>• Eine weitere Einrichtung macht keine Angabe.</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alle sechs Einrichtungen verfügen über gemeinschaftlich nutzbare Balkone/Terrassen.</li><li>• All diese Balkone/Terrassen haben Sonnenschirme/Sonnensegel.</li></ul>

4	<p><b>Gärten und Grünanlagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>In allen sechs Einrichtungen sind gemeinschaftlich nutzbare Gärten und Höfe mit Bäumen und Sonnenschirmen/Sonnensegel vorhanden.</li> <li>In zwei Einrichtungen gibt es den Wohnungen zugehörige Gärten oder Grünanlagen mit Bäumen und Sonnenschirmen/Sonnensegel.</li> </ul>
<p><b>Gesundheitliche Probleme von Bewohnern bei Hitzewellen, Maßnahmen von Heimleitung/ Pflegepersonal</b></p>	
1	<p><b>Gesundheitliche Probleme von Bewohnern, die bei Hitzewellen in der Vergangenheit beobachtet werden:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Häufig treten auf: übermäßiges Schwitzen und Austrocknung, Müdigkeit, Kraftlosigkeit und Kurzatmigkeit</li> <li>Weniger häufig, selten oder nie treten auf: Schlafstörungen, Kreislaufprobleme, Schwindel, Konzentrationsschwierigkeiten, Ausschlag, Muskelkrämpfe oder Beschwerden durch Schwellungen</li> </ul>
2	<p><b>Maßnahmen des Pflegepersonals zur Bewältigung erhöhter thermischer Belastung</b></p> <p>In allen sechs Einrichtungen werden hitzebedingte Maßnahmen für Pflegebedürftige durchgeführt. Dazu zählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bereitstellen von Getränken</li> <li>Bereitstellen von Ventilatoren</li> <li>Überprüfen des Flüssigkeitsstatus, ggf. durch Trinkprotokolle</li> <li>Körperkühlung</li> <li>auf leichte Kleidung achten, hinweisen</li> <li>Essen wird angepasst (leichte Kost)</li> <li>Hinweis/Durchführung von Nachtlüftungen</li> <li>Verdunklung der Räume durch Sonnenschutz/Rollläden</li> <li>Reduktion der körperlichen Aktivität</li> <li>Bewohner im Freien in den Schatten bringen</li> <li>Anpassung der Medikation, bzw. Konsultation des Arztes</li> </ul> <p>In keiner der Einrichtungen werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kühlwesten zur Verfügung gestellt oder</li> <li>die Bewohner in klimatisierte Gemeinschaftsräume gebracht.</li> </ul>
3	<p><b>Einschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eine sehr hohe Wirksamkeit wird vor allem in der persönlichen Ansprache, im Bereitstellen von Getränken, im Nachtlüften und in der Verdunklung der Räume gesehen.</li> <li>Als Maßnahmen mit hoher Wirksamkeit werden in allen sechs Einrichtungen die Überprüfung des Flüssigkeitsstatus und die Ausgabe von leichter Kost angesehen.</li> <li>Als weniger hoch wird die Maßnahme der Bereitstellung von Kühlwesten von zwei Einrichtungen eingeschätzt.</li> </ul>
4	<p><b>Einschätzung zur Integration der Maßnahmen in die Arbeitsabläufe</b></p> <p>Problemlose Integration:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Informationsflyer zu hitzeangepasstem Verhalten</li> <li>persönliche Ansprache der Bewohner</li> <li>Bereitstellen von Getränken, Ventilatoren und Kühlwesten</li> <li>Überprüfen des Flüssigkeitsstatus</li> <li>Körperkühlungen, Hinweis auf leichte Kleidung</li> <li>Verkostigung leichter Mahlzeiten</li> <li>Nachtlüften</li> <li>Verdunkeln der Räumlichkeiten</li> </ul> <p>Geringer Mehraufwand:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion der körperlichen Aktivitäten</li> </ul> <p>Hoher Mehraufwand:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassung der Medikation und das Konsultieren des Arztes/ der Ärztin (drei Einrichtungen)</li> </ul> <p>Nicht durchführbare Maßnahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verlagerung der Bewohner in klimatisierte Gemeinschaftsräume (drei Einrichtungen)</li> </ul>
5	<p><b>Bauliche oder technische Maßnahmen, die vorgenommen werden oder geplant sind</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Drei Einrichtungen sorgen für eine ausreichende Beschattung.</li> <li>Eine Einrichtung bringt ein Sonnensegel an einem Glasdach an.</li> <li>Eine Einrichtung plant die Anschaffung von Klimageräten.</li> </ul>



Hitzewarndienst des DWD	
6	Nutzung des Hitzewarndienstes
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Einrichtungen haben Kenntnis über den Warndienst des DWD.</li> <li>• Lediglich zwei Einrichtungen rufen die Warnhinweise auf der Website des DWD ab.</li> <li>• Keine der Einrichtungen nutzt die Hitzewarn-App des DWD.</li> <li>• Alle Einrichtungen haben den Newsletter für Pflegeeinrichtungen bestellt.</li> <li>• Fünf von sechs Einrichtungen glauben, dass der Erhalt von Vorhersagen oder Warnungen ihnen helfen würde, Schutzmaßnahmen anzuwenden.</li> </ul>

**Tabelle 8.2: Ergebnisse der Befragung der Träger von Altenpflegeeinrichtungen (Quelle: agl 2019)**

Die Träger der Einrichtungen sind nach eigener Auskunft gut auf den Umgang mit Hitze vorbereitet, was die pflegerischen und organisatorischen Maßnahmen angeht. Baulich sind die Einrichtungen unterschiedlich ausgestattet. Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der baulichen Situation wurden von den Trägern angesprochen, teilweise waren Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der Situation geplant.

#### 8.4 BEFRAGUNG VON BEWOHNERN DER ALTENPFLEGEEINRICHTUNGEN

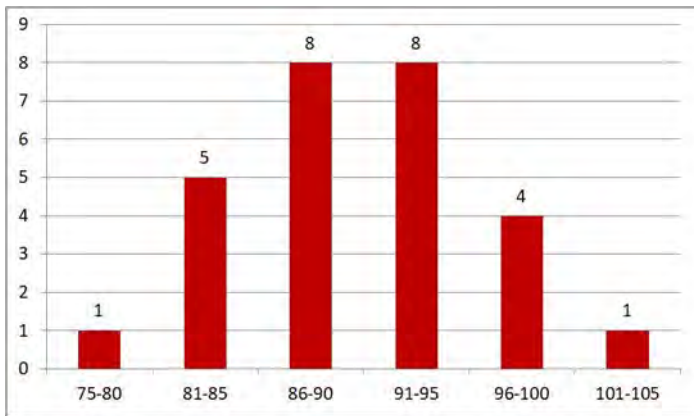
Mit der Befragung von Bewohnern in Altenpflege- und Seniorenheimen in Reutlingen sollten psychosoziale Faktoren einer starken Hitzebelastung erfasst werden. Dazu wurden 27 Bewohner in vier Einrichtungen im Rahmen von persönlichen Interviews vor Ort befragt. Die Befragung folgte einem Fragebogen, der neben Fragen zur Person und Wohnsituation insbesondere das Thema Wärmebelastung und Gesundheit in den Fokus stellte (Fragebogen zur Hitzeanfälligkeit – Bewohner s. Anlage 3). Die Befragungen wurden am 2. und 3. April 2019 durchgeführt.

Einrichtung	Adresse	Anzahl der befragten Bewohner
Seniorenzentrum am Markwasen – Mutter-Werner-Heim	Ringelbachstr. 225, 72762 Reutlingen	3
Seniorenzentrum „Gertrud Luckner“	Nürnberger Str. 31, 72760 Reutlingen	13
Seniorenzentrum Betzingen	In der Au 2, 72770 Reutlingen	7
Seniorenzentrum Mittelstadt	Silvanerstraße 9, 72766 Reutlingen	4

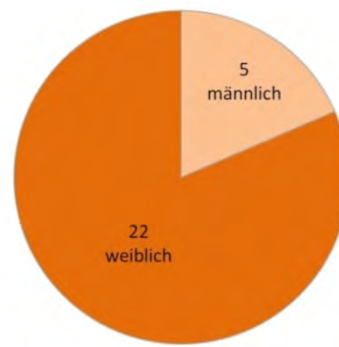
**Tabelle 8.3: Einrichtungen, in denen Bewohner befragt wurden (Quelle: agl 2019)**

#### Die Befragten und ihre Wohnsituation

Die Mehrheit der Befragten waren Frauen im Alter zwischen 86 und 95 Jahren. Ein Großteil der Interviewpartner wohnte seit einem bis drei Jahren in der jeweiligen Einrichtung; vier Personen lebten dort seit fünf Jahren oder länger. Sie wohnten bis auf eine Person in Einzelzimmern, in denen in der Regel Rollläden, Jalousien oder Fensterläden für eine Verschattung vorhanden waren. Klimaanlage oder Ventilatoren gab es dagegen nur in einem bzw. zwei Zimmern. Keiner der Befragten verfügte über einen eigenen Balkon oder eine Terrasse oder besaß einen privaten Zugang zum Garten. Ihren Gesundheitszustand schätzten zehn der Befragten als zufriedenstellend ein; jeweils sechs gaben an, beeinträchtigt bzw. stark beeinträchtigt zu sein.



**Abbildung 8.4: Diagramm Alter der Befragten**  
(Quelle: agl 2019)



**Abbildung 8.5: Diagramm Anzahl und Geschlecht der Befragten**  
(Quelle: agl 2019)

### Wärmebelastung, Hitzeempfinden und Gesundheit

Der Großteil der befragten Bewohner empfand Temperaturen über 30°C nicht als belastend. Hitze wurde demnach in der Wohnung, den Gemeinschaftsräumen und im Zimmer beim Schlafen mehrheitlich als nicht belastend empfunden. Dies galt gleichermaßen auch für die Hitzebelastung im Garten; lediglich fünf Befragte empfanden die Hitze im Freiraum als sehr belastend. Wenn dennoch Hitzestress entstand, äußerte sich dies häufig als Müdigkeit, Kraftlosigkeit und Kurzatmigkeit.

Maßnahmen, auf die die Mehrzahl der Bewohner an heißen Tagen zurückgreifen, sind das Zuführen von ausreichend Flüssigkeit, das Tragen leichter Kleidung, das Meiden der Sonne, das Lüften am Tag und in der Nacht sowie das Abkühlen und das Vermeiden von Anstrengung. Zu den seltener wahrgenommenen Maßnahmen zählen die Anpassung der festen Nahrung, das Ausweichen auf kühle Zimmer, Gemeinschaftsräume oder Außenbereiche sowie die Anforderung von Hilfe oder das Ändern des Tagesablaufs.

Insgesamt konnten nur wenige Bewohner befragt werden, sodass das Ergebnis exemplarischen Charakter besitzt. Eine altersspezifische Besonderheit ist die reduzierte Wahrnehmung und/oder positivere Bewertung von Belastungen (vgl. Lindemann 2016), die sich auch in der verringerten Wahrnehmung der Hitzebelastung ausdrückt.

# 9 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die quartiers- und objektbezogene Verwundbarkeitsanalyse für das Schutzgut menschliche Gesundheit zeigt am Beispiel der Stadt Reutlingen eine übertragbare Methodik zur Ermittlung der kleinräumigen Betroffenheit in Bezug auf die thermische Belastung in Kommunen auf.

Hinsichtlich der methodischen Vorgehensweise wird vorgeschlagen, nicht die Verwundbarkeit im engeren Sinne, sondern die Betroffenheit des Schutzguts menschliche Gesundheit zu ermitteln, da in der Regel die Anpassungsfähigkeit als Systemkomponente der Verwundbarkeit nicht ohne Weiteres operationalisierbar ist. Gleichwohl können Indikatoren wie Grünraumversorgung und Erreichbarkeit öffentlicher Grünflächen als wichtige Grundlagen für die Maßnahmenentwicklung zur Reduktion von Hitzebelastungen erarbeitet werden.

Zur Operationalisierung der Indikatoren für das Klimasignal bzw. die Exposition wird ein pragmatischer und übertragbarer Ansatz für kleinere bis mittelgroße Kommunen gewählt, die bislang keine eigenen Modellierungen durchgeführt haben. Grund dafür sind oftmals fehlende Ressourcen. Klimatope als Indikatoren entsprechen dem aktuellen Stand der VDI-Richtlinien und liegen daher in vielen Kommunen vor, die eine Stadtklimaanalyse erarbeitet haben. Die Nutzung anderer verfügbarer Indikatoren wie PMV, PET UTCI (Bioklimaindizes) oder aber Daten zur räumlichen Verteilung der Lufttemperatur können analog zur aktuellen Vorgehensweise genutzt werden.

Bei den Sensitivitätsindikatoren dürften die meisten Daten auch kleinräumig auf kommunaler Ebene vorliegen. Eine Überführung in ein GIS-System ist daher meist ohne weitere Berechnungen möglich. Beim Fehlen einzelner Indikatoren wird angeraten, zumindest die Kernindikatoren „Bevölkerungsdichte“ und „Personen über 65 Jahre“ auf Baublockebene zu nutzen.

Der in Reutlingen erprobte Ansatz zur Simulation des Innenraumklimas ist gleichfalls ein pragmatischer Weg, die thermische Innenraumbelastung für Kommunen abzuschätzen, da die geografischen Parameter, die meteorologischen Eingangsgrößen und auch die Gebäudetypologie vergleichsweise einfach angepasst werden können. Die Ergebnisse der Simulation Innenraumanalyse sowie der Verortung der Wohngebäudetypen verändern voraussichtlich auch in anderen Kommunen die Wahrnehmung der räumlichen Verteilung von Betroffenheiten im Stadtgebiet deutlich gegenüber der Analyse der thermischen Belastung auf Basis der Außentemperaturen.

Die Arbeiten zu zukünftigen Entwicklungen sind methodisch einfach gehalten. Sie können helfen, in den Kommunen das Bewusstsein zu schärfen, dass der Klimawandel, aber insbesondere auch der demografische Wandel und die Siedlungsflächenentwicklung, in erheblichem Maße dazu beitragen, die zukünftige Verwundbarkeit (Betroffenheit) gegenüber Hitzestress zu erhöhen.

Die Befragung zielte darauf ab, den Zuständigkeits- und Kompetenzbereich der institutionellen Akteure in der Altenpflege zu erfassen und deren Handlungsoptionen und Bewusstsein im Umgang mit dem Thema Hitze zu erkunden. Die Befragungsmethodik sowie die Ergebnisse bieten auch für andere Kommunen eine Grundlage, den Status quo einzuschätzen und die zuständigen Akteure in dem Themenfeld zu vernetzen. Zudem kann analog mit anderen Zielgruppen (Kinder als sensitive Bevölkerungsgruppe, Träger der Kindergärten und ähnlicher Einrichtungen, z. B. Kinderhaus) verfahren werden.

Auf eine Zusammenführung der einzelnen Verwundbarkeitskarten zu einer Gesamtkarte wurde verzichtet, da dies für die Ableitung von Maßnahmen keinen Mehrwert bietet. Maßnahmen können eher unmittelbar aus den erstellten Vulnerabilitätskarten heraus abgeleitet werden als aus aggregierten Karten.

Für eine spätere Priorisierung von Maßnahmen kann jedoch eine aggregierte Darstellung der Verwundbarkeit erfolgen, um auf einen Blick zu zeigen, wo räumlich gesehen die größten Defizite und Handlungsbedarfe liegen. Daher wird an dieser Stelle exemplarisch die Vorgehensweise am Beispiel der über 75-Jährigen in Singlehaushalten (vgl. Karte 5.7) dargelegt.

Grundlage ist die Verknüpfung der Vulnerabilität mit der Wärmebelastung. Dies geschieht nachvollziehbar auf Basis einer Bewertungsmatrix (vgl. Abb. 9.1), bei daraus Risiken nach Risikostufen abgeleitet werden (vgl. auch agl/prc 2015). R 1 bedeutet dabei Risikostufe 1 und beschreibt im Vergleich zu den anderen Stufen das geringste Risiko. Im Ergebnis zeigt die Karte 9.1 die aktuelle Situation. Deutlich wird der Handlungsbedarf anhand der farblich gekennzeichneten Risikostufen.

Vulnerabilität		Wärmebelastung				
		gering	moderat	hoch	sehr hoch	höchst
Bewertung der Anzahl Singlehaushalte je Baublock (Mittelwert 3,4; Standardabweichung 6,2)						
1 - 9	gering bis mittel	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5
> 9 - 15 (Mittelwert + 1 Standardabweichung)	hoch	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6
> 15 - 66 (Mittelwert + 2 Standardabweichungen)	sehr hoch	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7

**Abbildung 9.1: Risikomatrix thermische Belastung der über 75-Jährigen in Singlehaushalten (Quelle: agl 2019)**

Auch eine Zusammenführung der unterschiedlichen Aspekte der Verwundbarkeit ist mithilfe der Matrixmethode möglich. Einen Mehrwert würde dies ggf. entfalten, wenn über die Hitzebelastung hinaus auch andere Gefahrenarten (z. B. Hochwasser- oder geogene Gefahren) in eine Gesamtrisikokarte integriert würden (vgl. agl/prc 2015).

# Risikokarte: Thermische Belastung der über 75-Jährigen in Singlehaushalten

## Bewertung Verwundbarkeitsrisiko

- R 1
- R 2
- R 3
- R 4
- R 5
- R 6
- R 7

Baublock

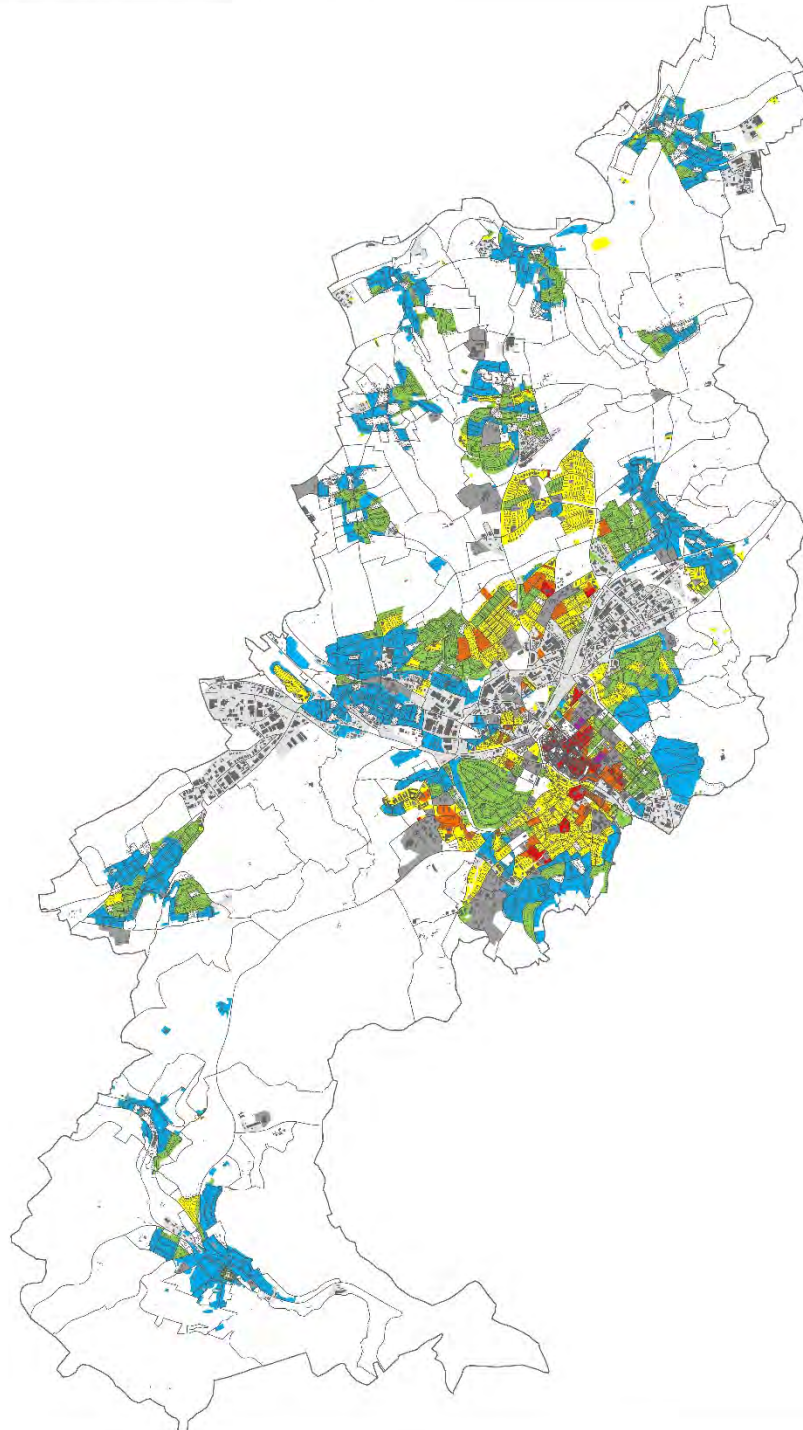
Gebäude

## Siedlungsstrukturtyp

Industrie- und Gewerbeflächen

Soziale, kulturelle und administrative Einrichtungen

Quelle: agl 2019 auf Basis von Daten der Stadtverwaltung Reutlingen | Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung (Droscher 2017)



**Karte 9.1: Risikokarte – Thermische Belastung der über 75-Jährigen in Singlehaushalten**  
(Quelle: agl 2020)

# 10 Ausblick

Die quartiers- und objektbezogene Verwundbarkeitsanalyse für das Schutzgut menschliche Gesundheit am Beispiel der Stadt Reutlingen konnte die Verwundbarkeit (Betroffenheit) durch die Hitzegefährdung abbilden. Die Ergebnisse sollen dazu genutzt werden, in einem weiteren Schritt Maßnahmen zur Reduktion der Hitzefolgen abzuleiten. Diese werden in unterschiedlichen Sektoren und Handlungsfeldern verortet. Vorgesehen ist, hierzu ein Klimaanpassungskonzept (KLAK) für die Stadt Reutlingen erarbeiten zu lassen (s. Seite 9).

Handlungsfelder für Anpassungsmaßnahmen	
Handlungsfeld	Maßnahmenbeispiele
Stadt- und bauplanerische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begrenzung der Baumassen</li> <li>• Verringerung der Versiegelung</li> <li>• Sicherung der Durchlüftung (gesamstädtisch, im Quartier)</li> <li>• Erhöhung der Albedo an Plätzen, Dächern und Fassaden</li> </ul>
Freiraum- und landschaftsplanerische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Verschattung (Baumpflanzungen, Arkaden)</li> <li>• Erhöhung des Grünvolumens</li> </ul>
Gebäudebezogene Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedämmung</li> <li>• Sonnenschutz</li> <li>• Gebäudekühlung</li> </ul>
Verhaltensbezogene Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerung aufklären und beraten</li> <li>• kontrollierte Flüssigkeitszufuhr gewährleisten (Trinkprotokolle)</li> <li>• Kühlung gewährleisten (z. B. Klimaanlage, Kühlwesten)</li> <li>• Präventionsmaßnahmen im sozialmedizinischen Umfeld umsetzen</li> <li>• Hitzeaktionspläne installieren</li> </ul>
Individuelle Adaption	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trinken (unterstützt durch Trinkpatenschaften, Nachbarschaftshilfe, Hitzetelefon)</li> <li>• passende Bekleidung</li> <li>• angepasste körperliche Betätigung vornehmen</li> </ul>

**Tabelle 10.1: Handlungsfelder für Anpassungsmaßnahmen (Quelle: agl 2019)**

# 11 Quellenverzeichnis

adelphi; prc; EURAC 2015: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel; UBA Umweltbundesamt; Climate Change 24/2015; Dessau-Roßlau.

agl 2012: Städtische Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmaßnahmen. Abschlussbericht des Saarbrücker Modellprojekts im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprogramms „Urbane Strategien zum Klimawandel-Freiraumplanung – Kommunale und Strategien und Potenziale“. Im Auftrag der Landeshauptstadt Saarbrücken, Dezember 2012.

agl; prc 2013: Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung. Systematisierung der Grundlagen regionalplanerischer Klimafolgen. BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), Berlin/Bonn. [<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMVBS/Sonderveroeffentlichungen/2013/MethodenhandbuchKlimafolgenbewertung.html>, 24.9.2019].

agl; prc 2015: Vorsorgendes Risikomanagement in der Regionalplanung. Modellvorhaben der Raumordnung (MORO). Endbericht, Saarbrücken/Dortmund. [[http://agl-online.de/fileadmin/62agl/medien/Downloads/agl\\_PRC\\_MORO-Risiko\\_Endbericht\\_20150727web.pdf](http://agl-online.de/fileadmin/62agl/medien/Downloads/agl_PRC_MORO-Risiko_Endbericht_20150727web.pdf), 24.9.2019].

Amt für Umweltschutz Stuttgart 05.11.2019: Sommertage und Heiße Tage in Stuttgart 2017, Messstation S-Mitte (Schwabenzentrum) [[https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima\\_filestorage/download/luft/Sommertage-Heisse-Tage-2017.pdf](https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/luft/Sommertage-Heisse-Tage-2017.pdf)], 05.11.2019.

an der Heiden, M.; Muthers, S.; Niemann, H.; Buchholz, U.; Grabenhenrich, L.; Matzarakis, A. 2019: Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015; in: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz; Vol. 62, No. 5; 571–579.

ASR 3.5 Technische Regeln für Arbeitsstätten Raumtemperatur („Arbeitsstättenrichtlinie“) vom 10. Juni 2010 (GMBI S. 751), zuletzt geändert durch die Bek. vom 2. Mai 2018 (GMBI S. 474) [<https://www.arbeitssicherheit.de/schriften/dokument/0%3A3994748%2C1.html>], Abruf 24.9.2019.

Astrom, D.; Forsberg, B.; Rocklov, J. 2011: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies; in: Maturitas; Vol. 69, No. 2; 99–105.

Augustin, J.; Sauerborn, R.; Burkart, K.; Endlicher, W.; Jochner, S.; Koppe, C.; Menzel, A.; Mücke, H.-G.; Herrmann, A. 2017: Gesundheit; in: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven; Berlin/Heidelberg; 137–147.

Baumüller, J. 2014: Wie verändert sich das Stadtklima; in: Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen; 2. Auflage, Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.1.1) – [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

Bäumler, A. 2016: Experimentelle Quantifizierung des thermisch induzierten Luftwechsels in Abhängigkeit von der Fensteröffnungsart sowie Beurteilung der Potenziale der Nachtlüftung; Dissertation, Universität Kassel.

BBK Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2013: Abschätzung der Verwundbarkeit von Bevölkerung und Kritischen Infrastrukturen gegenüber Hitzewellen und Starkregen. Praxis im Bevölkerungsschutz, Bd. 11.

BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) 2018: Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte. Sonderveröffentlichung. Bonn.

Bertelsmann Stiftung (Hrsg.) 27.9.2019: Wegweiser Kommune Demographiebericht Reutlingen [<https://www.wegweiser-kommune.de> > demographiebericht > reutlingen-rt]. 27.9.2019.

Bittner, Ml., Nubling, M., Stossel, U. 2013: Heat-related mortality in Freiburg and Rostock in 2003 and 2005 – methodology and results, *Gesundheitswesen*, 75(8-9), doi: 10.1055/s-0032-1331243.

BMUB Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 2017: Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit; Bonn.

BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2008: Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer; AZ: B12-8132.1/0; Berlin.

Buchin, O.; Jänicke, B.; Meier, F.; Scherer, D.; Ziegler, F. 2016a: The role of building models in the evaluation of heat-related risks; in: *Natural Hazards and Earth System Sciences*; Vol. 16; 963–976.

Buchin, O.; Jänicke, B.; Meier, F.; Scherer, D.; Ziegler, F.; Nytsch-Geusen, C. 2016b: The role of building models in the evaluation of countermeasures to urban heat islands with a heat stress related risk concept; in: Muscio, A. (Edt.): *Proceedings of the Third International Countermeasures to Urban Heat Island*. October 13-15, Venezia; 924–935.

Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe ‚Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)‘ 2017: Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit; in: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*; Vol. 60, No. 6; 662–672.

Bunker, A.; Wildenhain, J.; Vandenbergh, A.; Henschke, N.; Röcklov, J.; Hajat, S.; Sauerborn, R. 2016: Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence; in: *EBioMedicine*; Vol. 6; 258–268.

Bux, K. 2006: Klima am Arbeitsplatz: Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.); Dortmund/Dresden.

Castillejos, Z. R.; Kruse, E.; Dickhaut, W.; Dietrich, U. 2017: Mein Haus - in Zukunft klimangepasst! Ein Leitfaden für Grundeigentümer, Bauherren und Planer; HCU HafenCity Universität Hamburg.

DIN EN 15251:2012-12. Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007.



DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

Dröscher, F. 2017: Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung.

DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) 12.9.2017: Deutscher Klimaatlas. Kartendarstellungen zu den Themenfeldern Mitteltemperatur, Sommertage, Heiße Tage, Frosttage, Eistage sowie Niederschlag. Übersichtskarten zur Referenzperiode 1961 - 1990 sowie zum Emissionsszenario A1B (85. Perzentil); [www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\_node.html, 12.9.2017].

DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) 20.10.2019: Hitzewarnung; [https://www.dwd.de/DE/leistungen/hitzewarnung/hitzewarnung.html, 20.10.2019].

DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) 25.7.2018: Wetterlexikon. Abruf verschiedener Begrifflichkeiten: Gradtage, Heißer Tag, Sommertag, Frosttag, Eistag, Niederschlag, Starkregen, Trockenperiode, Tropennacht, Vegetationsperiode, Wasserbilanz; [www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon\_node.html, 25.7.2018].

Eis, D.; Helm, D.; Laußmann, D.; Stark, K. 2010: Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht; RKI Robert Koch-Institut (Hrsg.); Berlin.

Fahrion, M.-S. 2015: Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels – Anpassungsplanung für Bürogebäude; Dissertation, Technische Universität Dresden.

Fraunhofer IRB (Hrsg.) 25.9.2019: Bauforschungsprojekte. Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse; [https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/Aktualisierte-und-erweiterte-Testreferenzjahre-(TRY)-von-Deutschland-f%C3%BCr-mittlere-und-extreme-Witterungsverh%C3%A4ltnisse/20118035316/, 25.9.2019].

Gabriel, K. M., Endlicher W. R. 2011: Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, Environmental pollution (Barking, Essex: 1987), 159(8-9): 2044-50, doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.016.

Greiving, S. 2012: Urbane Hitze – Ein Querschnittsthema in den KlimaExWoSt-Modellprojekten; in: BMVBS: Hitze in der Stadt Strategien für eine klimaangepasste Stadtentwicklung. Dokumentation der StadtklimaExWoSt-Zwischenkonferenz vom 15.09.2011; 13–14.

Grewe, H.A.; Pfaffenberger, D. 2011: Prävention hitzebedingter Gesundheitsgefährdungen in der stationären Altenpflege; in: Prävention und Gesundheitsforschung; 2011, Vol. 6; 192–198.

Hemberger, C.; Utz, J. 2013: Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Stadt- und Raumplanung. Langfassung im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Stuttgart.

Herrmann, A.; Haefeli, W. E.; Lindemann, U.; Rapp, K.; Roigk, P.; Becker, C. 2019: Epidemiologie und Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden älterer Menschen; in: Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie; Vol. 52, No. 5; 487–502.

Hertel S, Le Tertre A, Jöckel K-H, Hoffmann B (2009) Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany, European Journal of Epidemiology, 24:407–414, doi: 10.1007/s10654-009-9359-2.

Heudorf, U., Meyer, C. 2005: Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze – am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003, *Gesundheitswesen*, 67, 369-374.

Hoffmann, B., Hertel, S., Boes, T., Weiland, D., Jöckel, K.-H. 2008: Increased cause-specific mortality associated with 2003 heat wave in Essen, Germany. *Journal of toxicology and environmental health, Part A*. 71(11-12):759-65, doi: 10.1080/15287390801985539.

Höppe, P. 1999: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment; in: *International Journal of Biometeorology*; Vol. 43, No. 2; 71–75.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaption and Vulnerability*; Cambridge University Press; Cambridge.

IWU Institut Wohnen und Umwelt 2005: *Deutsche Gebäudetypologie. Systematik und Datensätze*. Darmstadt.

Jehn, M., Donaldson, G., Kiran, B., Liebers, U., Mueller, K., Scherer, D., Endlicher, W., Witt, C. 2013: Tele-monitoring reduces exacerbation of COPD in the context of climate change – a randomized controlled trial, *Environmental Health*, 12:99, doi: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-99>.

Jehn, M., Gebhardt, A., Liebers, U., Kiran, B., Scherer, Di., Endlicher, W., Witt, C. 2014: Heat Stress is Associated with Reduced Health Status in Pulmonary Arterial Hypertension: A Prospective Study Cohort, *Lung*, 192(4):619-24, doi: 10.1007/s00408-014-9587-4.

Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; Schmidtessen, W. 1990: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponenten im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell; Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Bd. 114; Hannover.

Jendritzky, G.; Staiger, H.; Bucher, K.; Grätz, A.; Laschewski, G. 2000: The Perceived Temperature: The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body.

Jovanovic, S. 2018: *Klimawandel und Gesundheit: Anpassung an den Klimawandel*. RP Report; Regierungspräsidium, Stuttgart; 60–63.

Klimek, F. 2018: Die „Insulaner“ Ursachen und Variabilität der städtischen Wärmeinsel und ihre Auswirkungen auf den Menschen. Thermische Indizes - Wissenschaftliche Bewertung des menschlichen Klimaempfindens; Technische Universität Berlin.

Koppe, C. 2005: Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse; Inaugural-Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg.

Koppe, C.; Jendritzky, G. 2014: Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität; in: Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*; 2. Auflage, Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.1.9) – [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

Kuttler, W. 2013: *Klimatologie*; 2. Auflage, Schöningh-Verlag.

Kuttler, W. 2018: Hitzewellen in großen Städten: Folgen für die Gesundheit und Gegenmaßnahmen; in: Lozán, J. L.; Breckle, S.-W.; Grassl, H.; Kasang, D.; Weisse, R. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Extremereignisse; 76-82; – [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

Laschewski, G.; Bucher, K.; Endler, C.; Grätz, A. 2014: Warn- und Informationssysteme als Massnahmen zur Stärkung der Gesundheitskompetenz der Bevölkerung durch Anpassungen im Bereich des Humanbioklimas; in: Lozán, J.L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen; Elektronische Veröffentlichung (Kap. 5.3) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

Laschewski, G.; Endler, C. 2014: Das Humanbioklima im Wandel: Wirkungen der atmosphärischen Umwelt auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen; in: Lozán, J.L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen; Elektronische Veröffentlichung (Kap. 1.2) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

LGA Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg 2013: Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Gesundheit. Teil A: Langfassung im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Stuttgart.

Lindemann, U. 2016: Risiken von Raumtemperatur bei Hitze für ältere Menschen in Stuttgart. Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; KLIMOPASS-Berichte; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.); Stuttgart/Karlsruhe.

Lokys, H.L., Junk, J., Krein, A. 2017: Short-term effects of air quality and thermal stress on non-accidental morbidity – a multivariate meta-analysis comparing indices to single measures, *International Journal of Biometeorology*, 62 (1), 17–27, doi: 10.1007/s00484-017-1326-0.

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) 15.6.2018: Karten Klima-Zukunft BW; [<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klimakarten-bw>, 15.6.2018].

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) 26.9.2019: Glossar Klima BW; [<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/glossar-klima-bw>, 26.9.2019].

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) 24.9.2019: Erster Monitoring-Bericht zu Klimafolgen und Anpassung; [<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klimamonitoring>, 24.9.2019].

Matzarakis, A. 2016: Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und seine Relevanz für die menschliche Gesundheit; in: *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*; Vol. 76, No. 11/12; 45–460.

Mengmeng Li; Shaohua Gu; Peng Bi; Jun Yang; Qiyong Liu 2015: Heat Waves and Morbidity: Current Knowledge and Further Direction-A Comprehensive Literature Review; in: *International Journal of Environmental Research and Public Health*; Vol. 12; 5256–5283.

Michalczyk, J. 2017: Urbane Vulnerabilitätsanalyse gegenüber Hitze am Beispiel der Stadt Hannover; Masterarbeit, Leibniz Universität Hannover.

Minnich, L. 2010: Gesundheitliche Folgen des Klimawandels bei erhöhter Wärmebelastung in der Region Stuttgart – Eine räumliche Vulnerabilitätsuntersuchung. Diplomarbeit an der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften an der Universität Stuttgart.

Mucha, K. 2017: Ein Simulationsansatz zur Bewertung von Hitzestressrisiken in Innenräumen. Weiterentwicklung eines zonalen Modells in Modelica; Dissertation, Universität der Künste Berlin.

Münchener Rückversicherungsgesellschaft 2014. [<https://www.munichre.com/de/media-relations/publications/press-releases/2014/2014-01-07-press-release/index.html>].

Pfafferott, J.; Becker, P. 2008: Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen; in: Bauphysik; Vol. 30, No. 4; 237–243.

Pfafferott, J. 2019: Simulation des Innenraumklimas im Rahmen des Projektes „Vulnerabilitätsanalyse, Hitzestress und menschliche Gesundheit“ für die Stadt Reutlingen.

PIK Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (Hrsg.) 25.7.2018: KlimafolgenOnline. Kartendarstellungen und Kontext-Informationen zu den Sektoren Klima, Forstwirtschaft und Wasser sowie zu den Themenfeldern Mitteltemperatur, Sommertage, Heiße Tage, Frosttage, Eistage, Niederschlag, Starkniederschlag, Wasserbilanz; [[www.klimafolgenonline.com](http://www.klimafolgenonline.com), 25.7.2018].

Reusswig, F.; Becker, C.; Lass, W.; Haag, L.; Hirschfeld, J.; Knorr, A.; Lüdeke, M. K.B.; Neuhäus, A.; Pankoke, C.; Rupp, J.; Walther, C.; Walz, S.; Weyer, G.; Wiesemann, E. 2016: Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Hauptbericht. Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Sonderreferat Klimaschutz und Energie (SRKE); Potsdam/Berlin.

Reuter, U. 2013: Optimierung der Hitzewarnung in Stuttgart (HITWIS). Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM); Forschungsbericht KLIMOPASS; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.); Stuttgart.

Scherber, K. 2014: Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg; Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.

Schillo, S.; Weschenfelder, A.-K.; Wasem, J. 2018: Einfluss von Hitze auf die Leistungsanspruchnahme als Indikator für hitzebedingte Morbidität; in: Das Gesundheitswesen; Vol. 80, No. 8; 775–776.

Schlegel, I., Koßmann, M., Matzarakis, A. 2017: Stadtklimatische Untersuchung der sommerlichen Wärmebelastung in Stuttgart als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht. Deutscher Wetterdienst, März 2017.

SenGesUmV Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.) 2007: Gesundheitsrisiken bei Sommerhitze für ältere und pflegebedürftige Menschen. Hinweise für Pflegekräfte, Heimleitungen und Hausärzte; Berlin.

SenUVK Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (Hrsg.) 2019: Basisbericht Umweltgerechtigkeit. Grundlagen für die sozialräumliche Umweltpolitik; Berlin.

Seppänen, O.; Fisk, W.; Faulkner, D. 2003: Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling.; in: Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, Singapore 2003; Vol. 3; 394–399.

Seppänen, O.; Fisk, W. 2006: Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health; in: HVAC&R Research; Vol. 12, No. 4; 957–973.

Seppänen, O.; Fisk, W.; Lei, Q. 2006: Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment; Helsinki/Berkeley.

Stadt Reutlingen (Hrsg.) 30.7.2018: Einwohnerzahl; [<https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Unsere-Stadt/Daten-und-Fakten/Einwohnerzahl>, 30.7.2018].

Stadt Reutlingen Bezugsdrucksache 13/005/53. Mitteilungsvorlage Hagelsturm vom 28.7.2013.

Stöbel, U.; Matzarakis, A. 2014: Soziale und psychische Folgen des Klimawandels für den Menschen; in: Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen; 2. Auflage, Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.1.4) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

UBA Umweltbundesamt (Hrsg.) 2015: Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung; Dessau-Roßlau.

UBA Umweltbundesamt (Hrsg.) 26.7.2018: Trends der Lufttemperatur; [<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#textpart-1>, 26.7.2018].

UBA Umweltbundesamt; RKI Robert Koch Institut 2013: Klimawandel und Gesundheit. Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland; Im Auftrag des BMG und BMU gemeinsam erarbeitet vom Robert Koch-Institut und Umweltbundesamt.

UM Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) 2015. Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern; Klimaschutz in Baden-Württemberg; Stuttgart.

UM Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) 2017: Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg. Teil I Klimafolgen und Anpassung; Stuttgart/Karlsruhe.

Universität Kassel 2012: Lehrbriefe KlimAgieren. Bei Wind & Wetter! Klimaangepasste Pflege! Schulungsmaterial zum Qualitätssiegel Klimaangepasst; Institut für Berufsbildung, Kassel.

von Wichert, P. 2014: Hitzewellen und thermophysiologische Effekte bei geschwächten bzw. vorgeschädigten Personen; in: Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen; 2. Auflage, Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.1.11) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).

Wasem, J.; Richter, A.-K.; Schillo, S. 2019: Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität. Abschlussbericht; Universität Duisburg-Essen.

Weller, B. 2016: Sommerhitze; in: Weller, B.; Fahrion, M.-S.; Horn, S.; Naumann, T.; Niko-  
lowski, J.: Baukonstruktion im Klimawandel; Wiesbaden; 53–130.

WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH (Hrsg.) 25.7.2018: Wetterlexikon. Ab-  
ruf verschiedener Begrifflichkeiten: Hitzewelle; [<https://www.wetteronline.de/wetterlexikon?topic=default>, 25.7.2018].

WHO World Health Organization Europe 2011: Public health advice on preventing health ef-  
fects of heat. New and updated information for different audiences; Copenhagen.

WHO World Health Organization 2014: Quantitative risk assessment of the effects of climate  
change on selected causes of death, 2030s and 2050s; Geneva; [[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/134014/1/9789241507691\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/134014/1/9789241507691_eng.pdf), 24.9.2019].

Zacharias, S.; Koppe, C. 2015: Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und  
die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. UBA Umwelt-  
bundesamt. Dessau-Roßlau. [[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/ug\\_06\\_2015\\_einfluss\\_des\\_klimawandels\\_auf\\_die\\_biotro-  
pie\\_des\\_wetters\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/ug_06_2015_einfluss_des_klimawandels_auf_die_biotro-<br/>pie_des_wetters_0.pdf), 29.12.2015].

Zieler, B.; Mücke, H.-G. 2015: Der Einfluss des Klimawandels auf die menschliche Gesund-  
heit – eine Übersicht von UMID-Beiträgen der Jahre 2009 bis 2015; in: UMID UMWELT und  
MENSCH – INFORMATIONSDIENST; Vol. 2; 47–51.

