

BBSR-
Online-Publikation
31/2026

Hitzestress in Städten: Konsequenzen des „Nichthandelns“

von

Prof. Dr. Andrea Hartz
Tim Recktenwald
Sascha Saad
Adrian Joswowitz-Niemierski
Prof. Dr. Jens Pfafferott

*Was passiert,
wenn wir
nichts tun?*

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat RS 2 „Stadtentwicklung“
Stephanie Haury
stephanie.haury@bbr.bund.de

Referat WB 6 „Instrumente des ressourcenschonenden und klimaangepassten Bauens“
Svenja Binz, Dr. Stefan Haas

Referat IP 7 „Projektentwicklung und -betreuung Städtebauliche Programme“
Bastian Wahler-Zak

Begleitung im Bundesministerium

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)

Referat S I 5 „Anpassung an den Klimawandel, Klimaschutz in der Stadt und Wärmeplanung“
Dr. Susanne Schubert

Referat B II 2 „Ressourcenpolitik, Bauwirtschaft, Grundsatz Wirtschaftliches Bauen, Resilienz“
Matthias Skrezek-Boß

Auftragnehmerteam/Begleitforschung

agl | Hartz • Saad • Wendl | Landschafts-, Stadt- und Raumplanung, Saarbrücken
Prof. Dr. Andrea Hartz
www.agl-online.de

in Kooperation mit Prof. Dr. habil. Jörn Birkmann (Stuttgart), Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (IREUS) der Universität Stuttgart, Prof. Dr. Jens Pfafferott (Freiburg)

Stand

Juni 2026

Gestaltung

agl | Hartz • Saad • Wendl | Landschafts-, Stadt- und Raumplanung, Saarbrücken
Sabine Runge

Bildnachweis

Titelbild: Stefan Haas; agl: S. 16, S. 26; Stefan Haas: S. 6; Paulo/pixabay: S. 36



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung-Share Alike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>. Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitiervorschlag

Hartz, A.; Recktenwald, T.; Saad, S.; Joswowitz-Niemierski, A.; Pfafferott, J., 2026: Hitzestress in Städten: Konsequenzen des „Nichthandelns“. Urban Heat Labs – Hitzevorsorge in Stadtquartieren und Gebäuden. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). BBSR-Online-Publikation 31/2026. Bonn. <https://doi.org/10.58007/adtt-kh91>

Hitzestress in Städten: Konsequenzen des „Nichthandelns“

Urban Heat Labs – Hitzevorsorge in Stadtquartieren und Gebäuden

Das Projekt des Forschungsprogramms „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1	Was bedeutet „Nichthandeln“ im Kontext des Klimawandels?	5
2	Das ExWoSt-Forschungsfeld „Urban Heat Labs“	6
3	Der Befund: zunehmender Hitzestress in urbanen Räumen	8
4	Methodischer Ansatz: Szenarien und Wirkungsanalysen	12
5	Vertiefungsszenario: Straßenräume	16
	5.1 Beschreibung und Ausgangslage	17
	5.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung im Straßenraum“	18
	5.3 Zentrale Erkenntnisse	18
	5.4 Wirkungsketten im Fokus	22
6	Vertiefungsszenario: Wohngebäude und -quartiere	26
	6.1 Beschreibung und Ausgangslage	27
	6.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“	28
	6.3 Zentrale Erkenntnisse	29
	6.4 Wirkungsketten im Fokus	32
7	Vertiefungsszenario: Gewerbegebäude und -gebiete	36
	7.1 Beschreibung und Ausgangslage	37
	7.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten“	38
	7.3 Zentrale Erkenntnisse	38
	7.4 Wirkungsketten im Fokus	42
8	Übergreifende Schlussfolgerungen	46
	Literaturverzeichnis	48
	Abbildungsverzeichnis	55
	Tabellenverzeichnis	55

1 Was bedeutet „Nichthandeln“ im Kontext des Klimawandels?

Zunehmende Hitzebelastung bedeutet eine ernstzunehmende Gefährdung für Städte und ihre Bewohnerinnen und Bewohner. Gerade in Bezug auf die menschliche Gesundheit werden die mit Hitzestress verbundenen Klimarisiken bereits heute als „hoch“ eingeschätzt, wenn Anpassungsmaßnahmen unterbleiben (vgl. UBA 2021a: 93). Zu den Politikfeldern mit sehr dringendem Handlungsbedarf gehört dementsprechend die Bewältigung von Folgen extremer Hitze auf die Gesundheit, besonders in Städten (vgl. ebd.: 110 f.).

Für den Menschen stellen vor allem (länger anhaltende) Hitzeperioden und Hitzewellen eine starke Belastung dar. So können Hitzewellen zu einem starken Anstieg hitzebedingter Mortalität führen (vgl. Basu/Samet 2002). Dies ist zum einen durch eine Überforderung der thermoregulatorischen Kapazität des menschlichen Körpers (Hitzschlag) bedingt (vgl. Ebi et al. 2021: 699), zum anderen durch das Zusammenwirken mit Vorerkrankungen, beispielsweise Herz-Kreislauf- oder Lungenerkrankungen (vgl. Winklmayr/an der Heiden 2022: 3). Hitzestress kann zudem die (Multi-)Morbidity verstärken und sich ganz allgemein negativ auf das Wohlbefinden der Menschen auswirken (vgl. Winklmayr et al. 2023: 11 ff.).

Vor diesem Hintergrund gewinnt die vorsorgende Anpassung an Hitzeereignisse zunehmend an Bedeutung. Doch trotz des Wissens um die Gefahren und zu effektiven Maßnahmen gelingt es den Kommunen oftmals nicht, Hitzevorsorge in der Stadtentwicklung und im Bauwesen in ausreichendem Maße umzusetzen.

Welche Konsequenzen hat das Nichthandeln in Zeiten zunehmender thermischer Belastung? Mit dieser Fragestellung befasst sich die vorliegende Kurzexpertise. Sie entstand im Rahmen des ExWoSt-Vorhabens „Urban Heat Labs“ (vgl. Kap. 2). Ziel ist es, die potenziellen Auswirkungen mangelnder Anpassung in zentralen städtischen Handlungsfeldern sichtbar zu machen und damit das Bewusstsein für die Dringlichkeit vorausschauender Planung zu schärfen.

Die Untersuchung betrachtet beispielhaft drei Vertiefungsszenarien, um die komplexen Aus- und Wechselwirkungen zwischen Hitzebelastung, Gesundheit, Infrastruktur und Stadtgrün aufzuzeigen. Die Vertiefungsszenarien befassen sich mit den Auswirkungen zunehmender thermischer Belastung in Straßenräumen, Wohngebieten und Gewerbegebieten.

Aufbauend auf einer systematischen Literaturrecherche werden Wirkungsketten abgeleitet, die Zusammenhänge und mögliche Rückkopplungen verdeutlichen. Auf diese Weise liefert die Kurzexpertise eine Grundlage, um Konsequenzen des Nichthandelns im Kontext zunehmender Hitzebelastung nachvollziehbar darzustellen und daraus Argumentationslinien und Handlungsbedarfe für eine hitzeresiliente Stadtentwicklung und Bebauung abzuleiten.



**Verzicht auf
vorsorgende
Anpassung?**



*Was passiert,
wenn wir
nichts tun?*

Foto: Stefan Haas

2

Das ExWoSt-Forschungsfeld „Urban Heat Labs“

Kommunen, die Immobilienwirtschaft und private Akteure berücksichtigen zwar projektbezogen Strategien zur Klimafolgenanpassung. Eine strategisch ausgerichtete und koordinierte Hitzevorsorge ist allerdings noch kein selbstverständlicher Baustein in der Stadtentwicklung. Hier setzt das neue ExWoSt-Forschungsfeld „Urban Heat Labs – Hitzevorsorge in Stadtquartieren und Gebäuden“ (UHL) an (BBSR 2026).

Das Forschungsprojekt steht im Kontext der übergeordneten Hitzeschutzstrategie des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) und konzentriert sich auf die Hitzevorsorge in verdichteten, thermisch belasteten Städten und Quartieren. Die Ergebnisse von UHL sollen einen maßgeblichen Beitrag zu einer klimaangepassten und hitzeresilienten Stadt- und Baupolitik liefern.

Der Schwerpunkt liegt auf kommunalen Planungs- und Kommunikationsprozessen zur Hitzevorsorge sowie auf einer Integration und Aktivierung privater Akteurinnen und Akteure. Es wird untersucht, wie Planungsinstrumente, Prozesse und Verantwortlichkeiten so weiterentwickelt werden können, dass Hitzevorsorge als fester Bestandteil einer integrierten Stadtentwicklung und des Bauwesens verankert wird. Neben Recherchen und Auswertungen aktueller Forschungsergebnisse und guter Beispiele im In- und Ausland steht die modellvorhabenbezogene Forschung im Zentrum. In verschiedenen Modellvorhaben werden übertragbare Strategien und Maßnahmen der Hitzevorsorge auf unterschiedlichen Maßstabsebenen erprobt.

Um der Hitzevorsorge den erforderlichen Stellenwert einzuräumen, soll sie als eigenständiges Kommunikationsfeld in der Stadtentwicklung und im Bauwesen etabliert werden. Der Wissenstransfer bildet dabei einen zentralen Bestandteil: Die Erkenntnisse werden zielgerichtet aufbereitet, visualisiert und über verschiedene Kommunikationsachsen verbreitet, um Praxis, Forschung und Politik miteinander zu verknüpfen. Der Ergebnistransfer adressiert sowohl Kommunen und die Immobilienwirtschaft als auch die Bundespolitik.

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden mehrere Kurzexpertisen zu ausgewählten Fragestellungen der Hitzevorsorge, der klimaangepassten Stadtentwicklung und des Bauens sowie zur Weiterentwicklung von Instrumenten und Förderpolitiken erarbeitet. Die Kurzexpertisen dienen dazu, konkrete Fragestellungen vertieft zu analysieren und methodisch aufzubereiten, um fundierte Grundlagen für die weiteren Arbeitsschritte innerhalb von UHL zu liefern.

Ziel der vorliegenden Kurzexpertise ist es, die Konsequenzen des „Nichthandelns“ aufzuzeigen, das heißt: Hitzevorsorge wird nicht oder in nicht ausreichendem Maße im Bereich der Stadtentwicklung und des Bauwesens implementiert. Es wird aufgezeigt, welche gesundheitlichen, sozialen, ökologischen und infrastrukturellen Risiken durch Nichthandeln entstehen können.



3

**Welche Folgen
hat der
Klimawandel?**

Die Folgen des Klimawandels sind bereits heute spürbar: Steigende Temperaturen machen sich deutschlandweit bemerkbar. Die Karten in Abbildung 2 zeigen die Zunahme der sommerlichen Lufttemperatur für die drei Zeiträume 1980–1984, 2000–2004 und 2020–2024. Deutlich wird einerseits, dass diese im Sommermittel insgesamt seit Anfang der 1980er-Jahre stark gestiegen ist, andererseits, dass sich regional große Unterschiede ergeben. Stark hitzebelastet sind insbesondere der Oberrheingraben und Teile Ostdeutschlands. Ein wichtiger Kennwert sind zudem die sogenannten Heißen Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 30 °C (vgl. Abb. 3), die ein vergleichbares Muster für die drei Zeitschnitte zeigen.

Allerdings reicht die Betrachtung der Temperatur alleine nicht aus, um die Hitzebelastung in städtischen Räumen einschätzen zu können. Städte zeichnen sich durch ein gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima aus (vgl. Kuttler 2004, 2020; vgl. Abb. 1). Dieses wird maßgeblich durch die dichte Bebauung, hohe Versiegelungsgrade und hohe Emissionen bedingt. Typisch ist die Ausprägung einer städtischen Wärmeinsel vor allem bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen, die bei wolkenfreier und windschwacher Witterung ein maximales Stadt-Umland-Temperaturgefälle erreicht. Der Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland kann bis zu 10 °C betragen (vgl. Kuttler 2004, 2020). Der städtische Wärmeineleffekt ist für den urbanen Hitzestress von ausschlaggebender Bedeutung, vor allem in Kombination mit Hitzewellen und Tropennächten.

Abbildung 4 verdeutlicht die Ausprägung der Wärmeinselintensität (UHI) für die Zeitschnitte 2000–2004 und 2020–2024. Der UHI beschreibt den Temperaturunterschied zwischen städtischen und ländlichen Gebieten, der sich für alle verdichteten städtischen Gebiete in Deutschland ergibt. Die höchsten UHI-Werte treten vor allem in den großen Metropolregionen Deutschlands auf, mit einem Schwerpunkt in den polyzentrischen Ballungsräumen.

Abbildung 1: Der Hitzeinseleffekt in Städten

- 1 Abschattung
- 2 Erhöhte Energieabsorption
- 3 Reduzierte Verdunstung
- 4 Anthropogener Wärmefluss
- 5 Reduzierte Windgeschwindigkeit
- 6 Emissionen
- 7 Erhöhte Turbulenz

Quelle: DWD 2026

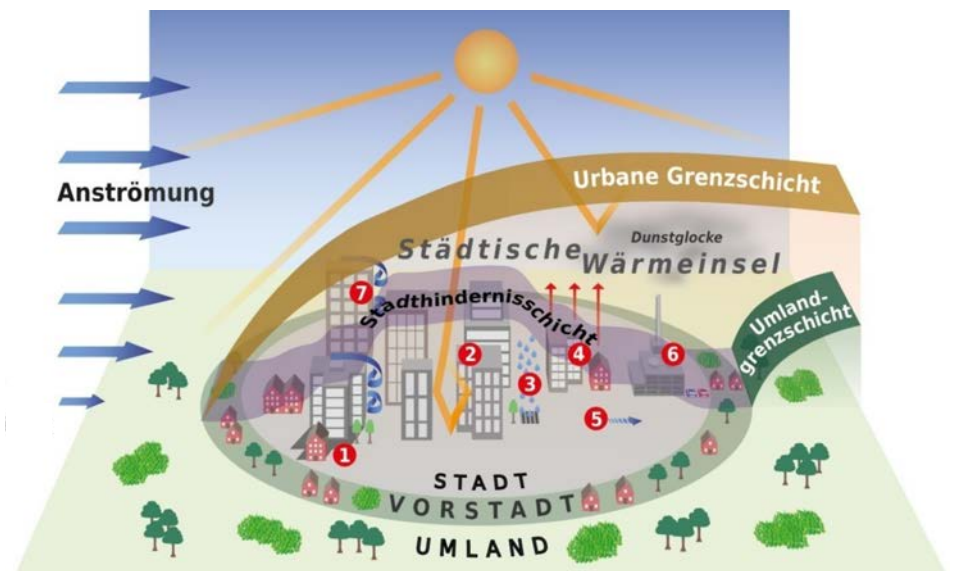


Abbildung 2: Sommermittel der Lufttemperatur

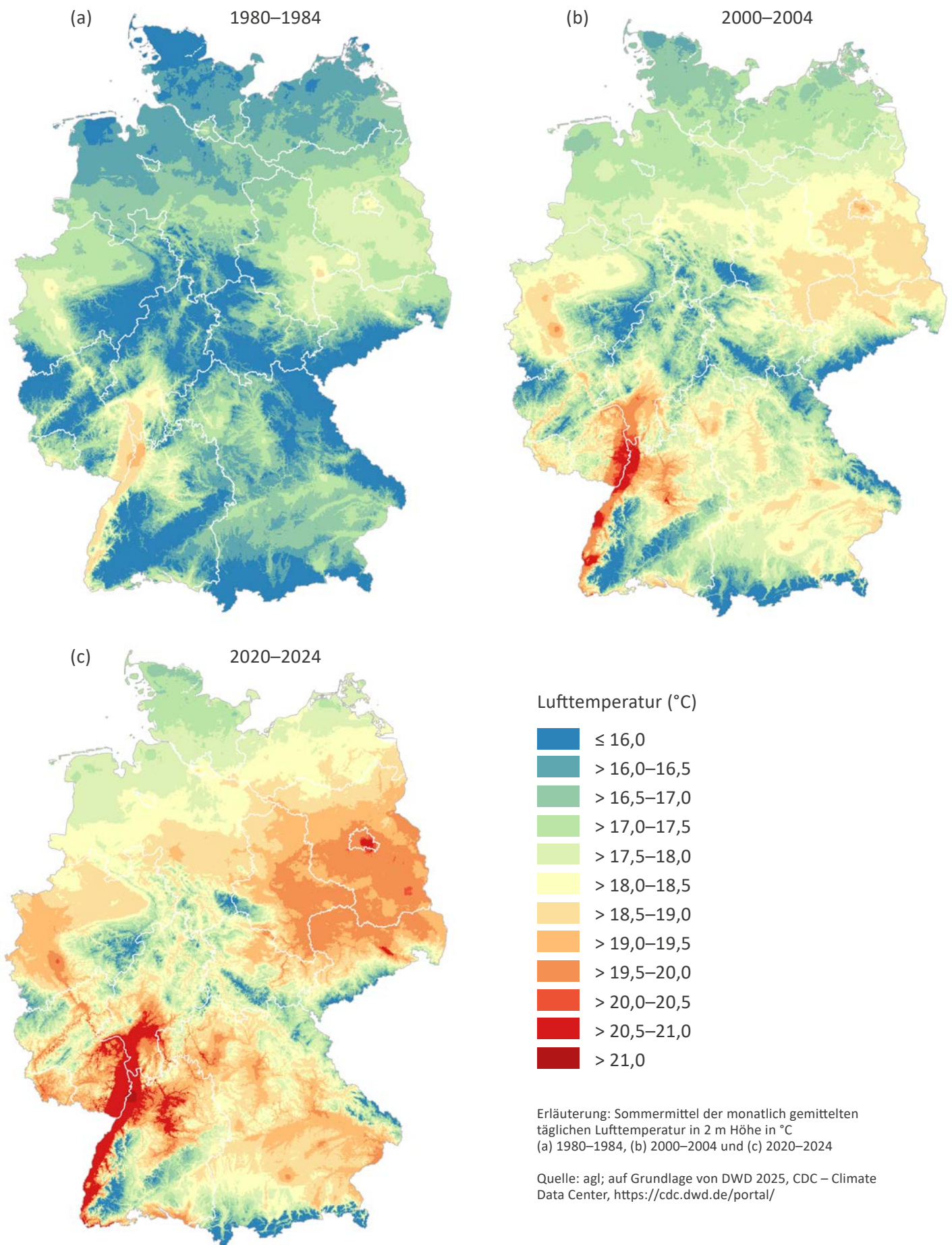


Abbildung 3: Kennwert „Heiße Tage“

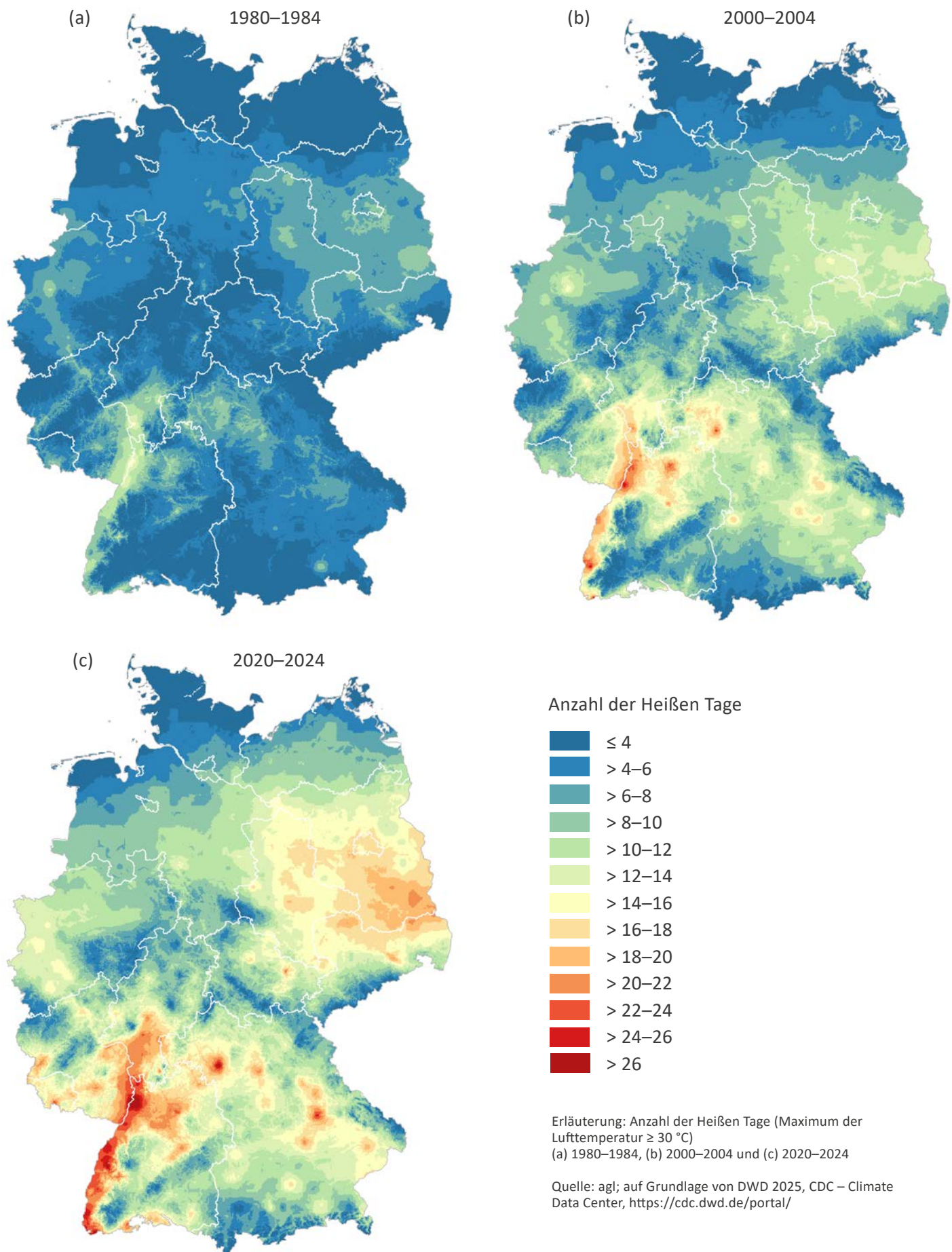
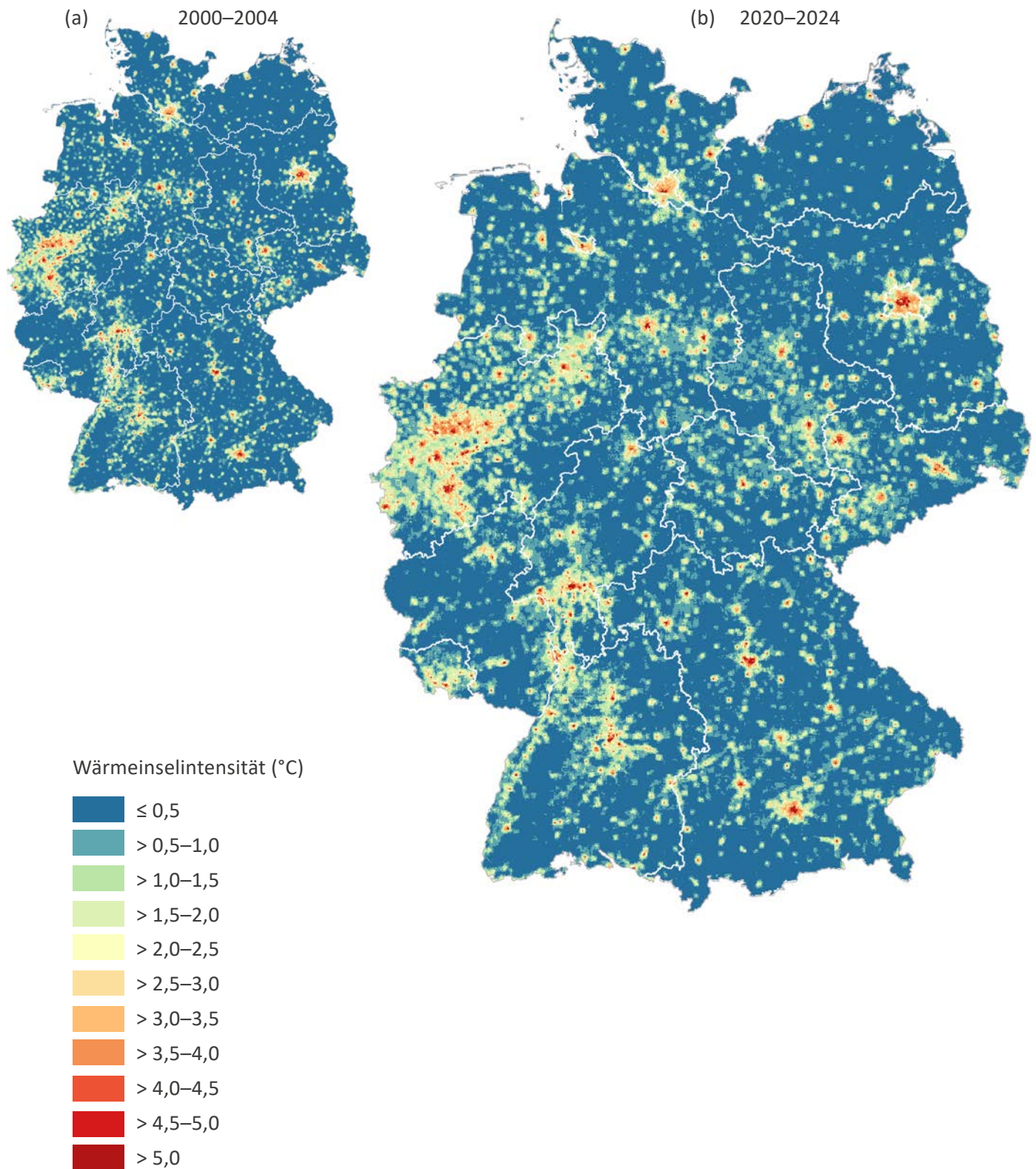


Abbildung 4: Wärmeinselintensität (UHI)



Erläuterung: Städtische Wärmeinselintensität in °C
(a) 2000–2004 und (b) 2020–2024

Quelle: agl; auf Grundlage von DWD 2025, CDC – Climate
Data Center, <https://cdc.dwd.de/portal/>

4 Methodischer Ansatz: Szenarien und Wirkungsanalysen

Vertiefungs- szenarien des Nichthandelns

Die Kurzexpertise zu den potenziellen Konsequenzen des „Nichthandelns“ in Bezug auf Hitzevorsorge im urbanen Raum basiert auf:

1. der robusten Annahme einer zunehmenden thermischen Belastung: Aktuelle Klimaprojektionen legen einen klimawandelbedingten Anstieg der Durchschnittstemperaturen, eine verstärkte Ausprägung städtischer Wärmeinseln, eine Zunahme Heißer Tage sowie der Dauer und Intensität von Hitzewellen nahe.
2. dem „Nichthandeln-Szenario“: Dieses Basisszenario geht davon aus, dass Hitzevorsorgemaßnahmen ausbleiben oder nicht in erforderlichem Ausmaß realisiert werden.

Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass Hitzestress nicht nur unmittelbare Auswirkungen auf den Menschen, soziale Systeme, Stadträume, Gebäude und Infrastrukturen hat, sondern vielfältige, miteinander verflochtene Folge- und Wechselwirkungen in unterschiedlichen Bereichen nach sich zieht. Diese reichen von gesundheitlichen Auswirkungen wie einer Verstärkung von Morbidität über Beeinträchtigungen sensibler Infrastrukturen wie Kitas und Pflegeeinrichtungen bis hin zu ökonomischen Konsequenzen auf dem Immobilienmarkt.

Drei Vertiefungsszenarien

In der Kurzexpertise wird analysiert, welche direkten und indirekten Folgen zunehmender Hitzebelastung in verschiedenen Bereichen auftreten können. Es erfolgt eine qualitative Ableitung und Darstellung von Wirkzusammenhängen auf Basis vorliegender wissenschaftlicher Erkenntnisse. Ein Fokus liegt auf urbanen Räumen und Handlungsfeldern der Stadtentwicklung. Die vielfältigen Folgewirkungen von Hitzestress werden anhand von drei konkreten Vertiefungsszenarien exemplarisch dargestellt:

1. Zunehmende thermische Belastung von **Straßenräumen**
2. Zunehmende thermische Belastung von **Wohngebäuden und -quartieren**
3. Zunehmende thermische Belastung von **Gewerbegebäuden und -gebieten**

Hitze wirkt im Stadtraum sehr heterogen, sodass verschiedene Quartiere teils stark unterschiedliche Belastungen erfahren. Auch die betroffene Bevölkerung ist heterogen und in unterschiedlichem Ausmaß hitzesensitiv, was eine direkte Ableitung konkreter Folgen erschwert. Mit den drei ausgewählten Vertiefungsszenarien können zentrale Lebensbereiche – Wohnen, Arbeiten und Bewegung im öffentlichen Raum – abgebildet werden, wodurch ein großer Teil der potenziellen täglichen Expositionszeiten gegenüber Hitze berück-

sichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich die vielfältigen Wirkungen von Hitze auf unterschiedliche städtische Bereiche und Bevölkerungsgruppen umfassend in Betracht ziehen.

Ziel der Kurzexpertise ist es ...

... für diese drei Vertiefungsszenarien zu verdeutlichen, welche gesundheitlichen, sozialen, ökologischen und infrastrukturellen Risiken entstehen können, wenn erfolgversprechende Strategien und notwendige Maßnahmen zur Anpassung an eine zunehmende Hitzebelastung ausbleiben.

Besonderes Augenmerk liegt auf der Heterogenität von städtischen Räumen und Bevölkerungsgruppen, sodass unterschiedliche Expositionsprofile (Wohnen – Arbeiten – Bewegen) und Vulnerabilitäten (besonders hitzesensitive Gruppen) berücksichtigt werden. Es werden nicht nur direkte Auswirkungen auf Gesundheit, Infrastruktur und Lebensqualität betrachtet, sondern auch indirekte Effekte und Rückkopplungen.

Ziel ist es, die komplexen Wechselwirkungen systematisch darzustellen und damit ein differenziertes Verständnis darüber zu ermöglichen, wie einzelne Faktoren sich gegenseitig verstärken oder abschwächen können.

Erstforschung und Identifikation relevanter Wirkfelder

Zunächst stand eine grundlegende Orientierung im Themenbereich „Wirkungen thermischer Belastung“ durch Internetrecherchen und Sichtung zentraler wissenschaftlicher Publikationen im Vordergrund. Auf diese Weise wurden Grundlagen zu den Auswirkungen von Hitzestress in den definierten Vertiefungsszenarien erarbeitet. Darauf aufbauend konnten relevante Wirkfelder für die vertiefte Analyse identifiziert werden:

1. Auswirkungen auf die **menschliche Gesundheit**
2. Auswirkungen auf **Gebäudesubstanz, -nutzung und -betrieb** sowie auf **Infrastrukturen** im Straßenraum
3. Auswirkungen auf das **Bestandsgrün** und den **Außenraum** allgemein

Vertiefte Literaturrecherche

Der Fokus der vertieften Literaturrecherche lag auf Studien und Publikationen aus dem europäischen Raum oder vergleichbaren Regionen. Die Recherche bezog sich vorrangig auf wissenschaftliche Quellen aus Fachzeitschriften, Forschungsberichten und einschlägigen Publikationen (Schlagwörteruche zu Auswirkungen von Hitze in den jeweiligen Vertiefungsszenarien sowie gezielte Recherche zu den identifizierten Wirkfeldern).

Für die Recherche wurden klassische wissenschaftliche Datenbanken genutzt (z. B. Web of Science), ergänzt um Forschungsbeiträge relevanter deutscher Forschungsinstitutionen (z. B. BBSR, UBA, BAuA). Diese Publikationen wurden systematisch analysiert, um die Betroffenheit und bekannten Folgen von Hitzebelastung in den drei ausgewählten Wirkfeldern zu erfassen (152 Schlüsseldokumente).

Wirkungsketten zu Konsequenzen des Nichthandelns

Auf Basis der Erkenntnisse der Literaturrecherche erfolgte der Aufbau von Wirkungsketten für die drei Vertiefungsszenarien, um die Zusammenhänge und mögliche Rückkopplungen kompakt zu visualisieren. Ausgangspunkte sind die zunehmende Hitzebelastung und deren Auswirkungen auf die drei zentralen Wirkfelder (vgl. Tab. 1).

In den Wirkungsketten erfolgte eine Differenzierung von direkten Wirkfolgen, mittelbaren Wirkfolgen und weitreichenden Konsequenzen, um die zeitliche und kausale Abfolge der Auswirkungen nachvollziehbar darzustellen (vgl. Abb. 5). Direkte Wirkfolgen umfassen dabei unmittelbar auftretende Effekte der Hitzebelastung. Mittelbare Wirkfolgen umfassen darauf aufbauende, indirekte Effekte, die sich aus den direkten Wirkungen ergeben. Die weitreichenden Konsequenzen bilden langfristige und systemische Auswirkungen ab, die sich auch auf andere Bereiche übertragen oder Rückkopplungen begünstigen können.

Ergänzend wurde eine Klassifikation nach dem Evidenzgrad der dargestellten Wirkbeziehungen vorgenommen, um die Belastbarkeit der jeweiligen Zusammenhänge transparent zu halten.

Tabelle 1: Vertiefungsszenarien und zentrale Wirkfelder

Vertiefungsszenario	Wirkfelder (Betroffenheiten)	Differenzierung der Wirkfelder
„Straßenräume“	Mensch: Gesundheit	Fußgängerinnen und Fußgänger Radverkehr ÖPNV-Nutzende Wartende Autofahrerinnen und Autofahrer
	Infrastruktur	Verkehrsinfrastrukturen leitungsgebundene Infrastrukturen
	Stadtgrün	Bäume, Vegetation, Grünflächen
„Wohngebäude und -quartiere“	Mensch: Gesundheit	Bewohnerinnen und Bewohner
	Wohngebäude	Gebäudenutzung Gebäudebetrieb Gebäudesubstanz
	Außenraum/ Wohnumfeld	Freiflächen, Grünanlagen soziale Umgebung
„Gewerbegebäude und -gebiete“	Arbeitnehmende	Gesundheit Leistungsfähigkeit
	(Gewerbe-)Gebäude	Gebäudenutzung Gebäudebetrieb Gebäudesubstanz
	Standort und Umfeld	Funktionalität Attraktivität

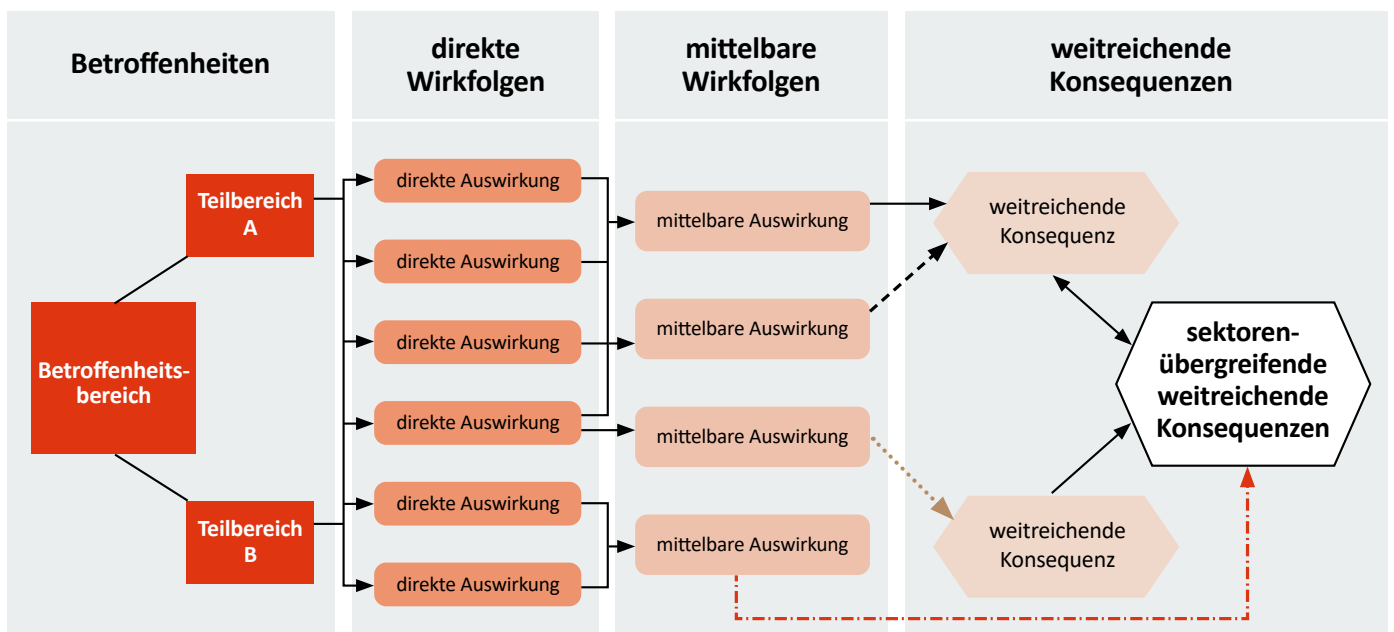
Quelle: agl

Die verschiedenen Evidenzstufen werden im Folgenden dargestellt und in den Abbildungen durch unterschiedliche Darstellungsformen der Verbindungspfeile kenntlich gemacht:

- Wirkungen, die sich über die ausgewertete Literatur gut belegen lassen
- Wirkungen, zu denen es Hinweise in den ausgewerteten Quellen gibt
- Wirkungen, die sich über allgemeine Erkenntnisse herleiten lassen
- Wirkungen, von denen zwar ausgegangen werden kann, zu denen aber noch Forschungslücken existieren

Die Ergebnisse der Vertiefungsszenarien wurden zu zentralen Erkenntnissen verdichtet und jeweils zwei Wirkungsstränge exemplarisch diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, wie vielfältig und unterschiedlich die Folgen von Hitze in urbanen Räumen auftreten können und welche weitreichenden Konsequenzen mit Nichthandeln einhergehen (können).

Abbildung 5: Schema der Wirkungskettenanalyse



- Wirkungen, die sich über die ausgewertete Literatur gut belegen lassen
- - → Wirkungen, zu denen es Hinweise in den ausgewerteten Quellen gibt
- ... → Wirkungen, die sich über allgemeine Erkenntnisse herleiten lassen
- - - → Wirkungen, von denen zwar ausgegangen werden kann, zu denen aber noch Forschungslücken existieren

Quelle: agl



**Hitze-
Hotspot
Straßenraum?**

Foto: agl

5

Vertiefungsszenario: Straßenräume

5.1 Beschreibung und Ausgangslage

Das erste Vertiefungsszenario untersucht die potenziellen Auswirkungen einer zunehmenden Hitzebelastung in Straßenräumen, die unterschiedliche Funktionen wie Mobilität, Aufenthalt und technische Infrastruktur bündeln. Gleichzeitig zählen sie zu den am stärksten von Hitze betroffenen Bereichen in Städten.

Großflächige Versiegelungen, insbesondere mit dunklen Materialien, begünstigen durch ihre hohe Wärmespeicherkapazität die Akkumulation von Wärme: Nicht verschattete Oberflächen können sich tagsüber stark aufheizen und geben die gespeicherte Energie zeitverzögert an die Umgebung ab, was zu erhöhten Luft- und Oberflächentemperaturen am Tag und in der Nacht führt (vgl. Kuttler/Gross 2023: 3 ff.; Scherer 2023: 20; Kuttler 2020). Gleichzeitig beeinflusst die Geometrie der Straßenräume diesen Effekt maßgeblich: Je nach Exposition können enge Straßenräume mit hohen und dicht stehenden Gebäuden, sogenannte „Urban Canyons“, die Aufheizung begünstigen (vgl. Lindberg et al. 2016: 11), da einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung tagsüber zwischen den Fassaden mehrfach reflektiert und absorbiert wird. Die gespeicherte Energie wird anschließend in Form langwelliger Wärmestrahlung nur verzögert an die Umgebung abgegeben, während gleichzeitig die Luftzirkulation eingeschränkt ist (vgl. Theeuwes et al. 2014: 2208). Auch sehr dichte Begrünungsstrukturen wie zum Beispiel Bäume können diesen Effekt verstärken, wenn sie die Durchlüftung zusätzlich reduzieren und durch die Abschirmung des Himmels die nächtliche Abstrahlung der gespeicherten Wärme behindern, wodurch sich die Abkühlung verzögert (vgl. Li et al. 2024: 4; TUM 2021: 15).

Zur verstärkten Erwärmung am Tag tragen zudem weitere anthropogene Wärmequellen bei: Hierzu zählen der fahrende und ruhende Verkehr (vgl. VCÖ 2024; Emeis 2023: 92) sowie die Abwärme von Gebäudetechnik, insbesondere von Kühlungsanlagen (vgl. Scherer 2023: 17).

Ohne gezielte Vorsorgemaßnahmen (z. B. Begrünung, technische Verschattung, helle Oberflächen) verschärft sich die Hitzebelastung im Zuge des Klimawandels weiter. Hinzu kommt, dass die horizontale und vertikale Nachverdichtung der Städte zu einer weiteren Erhöhung der Baumassen und zu einer Reduktion von Grünflächen führt (vgl. Hartz et al. 2025).

Auf Basis der Recherche und der vertieften Auswertung der Schlüsseldokumente werden im Folgenden die zentralen potenziellen Auswirkungen der zunehmenden Hitzebelastung in Straßenräumen in Wirkungsketten visualisiert (vgl. Kap. 5.2) und die wesentlichen Erkenntnisse (vgl. Kap. 5.3) zusammengefasst.

5.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung im Straßenraum“

Zur Analyse der Auswirkungen zunehmender Hitzebelastung wurden die drei relevanten Wirkfelder für das Vertiefungsszenario „Konsequenzen der thermischen Belastung im Straßenraum“ folgendermaßen differenziert:

- Im Bereich der **menschlichen Gesundheit** werden die Auswirkungen von Hitzestress auf verschiedene Verkehrsteilnehmende im Straßenraum untersucht: Dazu zählen diejenigen, die sich an der freien Luft befinden (z. B. Fußgängerinnen/Fußgänger oder Wartende) und der Hitzebelastung unmittelbar ausgesetzt sind. Darüber hinaus werden Wirkungen auf Verkehrsteilnehmende in geschlossenen Fahrzeugen wie PKWs oder Bussen betrachtet. Im weiteren Verlauf der Wirkungskette wird dargestellt, inwiefern sich durch die Hitzebelastung die Verteilung auf verschiedene Verkehrsmittel ändern könnte und welche potenziell weitreichenden Konsequenzen eine solche Verschiebung nach sich ziehen würde.
- Das Wirkfeld **Infrastruktur** umfasst die verkehrlichen und leitungsgebundenen Systeme im Straßenraum. Die Auswirkungen an Gebäudeinfrastrukturen werden in anderen Vertiefungsszenarien behandelt und hier nicht berücksichtigt (vgl. Kap. 6.4).
- Im Wirkfeld **Stadtgrün** stehen Straßenbegleitgrün und Stadtbäume im Fokus. Sie wirken temperaturmindernd und verbessern das Mikroklima durch Beschattung und Verdunstung, wobei ihre Wirkung je nach räumlicher Ausprägung und Tageszeit variieren kann. Zugleich sind sie selbst durch zunehmende Hitze, Trockenheit und Bodenversiegelung stark belastet.

5.3 Zentrale Erkenntnisse

Die vielfältigen Wirkzusammenhänge im Vertiefungsszenario „Konsequenzen der thermischen Belastung im Straßenraum“ (vgl. Abb. 6) lassen sich auf folgende Schlussfolgerungen verdichten:

Erhöhter Hitzestress für Verkehrsteilnehmende im Außenraum: Hohe bis extreme thermische Belastung in Straßenräumen, beispielsweise im Zuge einer Hitzewelle, bedeutet zunächst erhöhten Hitzestress für alle Verkehrsteilnehmenden und entsprechende gesundheitliche Risiken (vgl. u. a. Winklmayr et al. 2023; Hertig et al. 2023). Eine besondere Gefährdung ergibt sich für diejenigen, die zu Fuß gehen, Rad fahren oder auch für Wartende im Straßenraum: Sie sind nicht nur der thermischen Last, sondern zugleich potenziell der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt (vgl. Helbig et al. 2024: 241; Karner/Hondula/Vanos 2015; Miao/Welch/Sriraj 2019).

Mehrfachbelastung durch Luftschadstoffe: Verstärkt wird der Hitzestress durch die zeitgleiche Exposition gegenüber Luftschadstoffen aus dem Straßenverkehr, deren Wirkung durch Hitze zusätzlich potenziert wird (vgl. Breitner-Busch et al. 2023; Breitner/Pickford/Schneider 2021; Li et al. 2025). Gerade diese Mehrfachbelastungen können erhebliche negative Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmenden entfalten.

Verändertes Mobilitätsverhalten: Schlussendlich können Hitzestress und Mehrfachbelastungen im Straßenraum dazu führen, dass sich das Mobilitätsverhalten der Menschen ändert (vgl. Batur et al. 2024: 16; Nissen et al. 2019: 3). Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrende haben die Möglichkeit, ihre Wegstrecken anzupassen, um hitzeexponierte Straßenräume zu meiden (vgl. Melnikov et al. 2022). Gleichzeitig steigt aber auch die Tendenz, bei starker Hitzebelastung auf klimatisierte Verkehrsmittel oder den eigenen PKW zurückzugreifen (vgl. Burghard et al. 2025; Böcker/Dijst/Prillwitz 2013; Basu et al. 2024). Dies kann eine negative Rückkopplung erzeugen, da ein erhöhtes MIV-Aufkommen die lokale Hitze- und Emissionsbelastung im Straßenraum zusätzlich verstärkt (vgl. VCÖ 2024).

Verstärkung sozialer Ungleichheiten: Ein verändertes Mobilitätsverhalten kann dazu führen, bestehende soziale Ungleichheiten zu verschärfen. Vulnerable Gruppen – insbesondere einkommensschwächere Gruppen – sind oft auf Fußwege oder den ÖPNV angewiesen und entsprechend häufiger hitzeexponierten Wegen ausgesetzt. Gleichzeitig besitzen sie geringere Kapazitäten, um sich in ihrem Mobilitätsverhalten anzupassen (ein Umstieg auf MIV ist u. U. nicht möglich) (vgl. Colaninno et al. 2024; Karner/Hondula/Vanos 2015; Ngo 2019). Dies kann zur Folge haben, dass diese Gruppen teilweise auf (nicht unbedingt notwendige) Wegstrecken verzichten (vgl. Batur et al. 2024: 16), was im Umkehrschluss eine temporäre Exklusion aus dem öffentlichen Raum bedeutet (vgl. Basu et al. 2024; Penger/Conrad 2025).

Veränderte Frequenz- und Nutzungsmuster von öffentlichen Bewegungsräumen: Veränderungen im Mobilitätsverhalten können damit nicht nur individuelle Einschränkungen mit sich bringen, sondern wirken sich auch auf die Nutzung und Qualität des öffentlichen Raums insgesamt aus. Es besteht demnach das Risiko, dass eine übermäßige Hitzebelastung im Straßenraum dessen soziale Funktion (als Begegnungsort) sowie seine wirtschaftliche Funktion (z. B. für den Einzelhandel und die Gastronomie) beeinträchtigt, wenn die Passantenfrequenzen signifikant abnehmen (vgl. Melnikov et al. 2022). In der Konsequenz ist ein grundlegender Attraktivitätsverlust des hitzebelasteten Straßenraums als öffentlicher Raum möglich.

Gefährdung technischer Infrastrukturen im Straßenraum: Die zunehmende Hitzebelastung im Straßenraum wirkt sich deutlich auf Verkehrsinfrastrukturen (vgl. BMVI 2020; Beckedahl et al. 2021) sowie auf stromführende Infrastrukturen, also Einrichtungen, die Strom transportieren oder leiten, wie etwa Oberleitungen, aus (vgl. UBA 2021b; McGuire et al. 2025). Thermische Verformungen von Asphalt und Gleisen, Schäden an Ampeln und Oberleitungen sowie mechanische Belastungen führen zu eingeschränkter Funktionsfähigkeit und erhöhtem Ausfallrisiko. Mittelbare Folgen sind verkürzte Lebensdauer, steigender Wartungsaufwand und reduzierte Netzkapazität (vgl. Sutter et al. 2020; Cortekar/Groth 2015). In der Folge können Verkehrsbehinderungen, Unterbrechungen der Stromversorgung und Versorgungsunsicherheiten auftreten, insbesondere in dicht besiedelten oder hitzeanfälligen Bereichen (vgl. UBA 2021b; McGuire et al. 2025). Diese Einschränkungen erhöhen die Belastung für Nutzende, begünstigen Instabilitäten im Verkehrsnetz und steigern die Betriebskosten. Insgesamt führen direkte und mittelbare Effekte der Hitze zu spürbaren Risiken für Mobilität, Versorgungssicherheit und öffentliche Funktionen (vgl. UBA 2021b; BBK 2013).

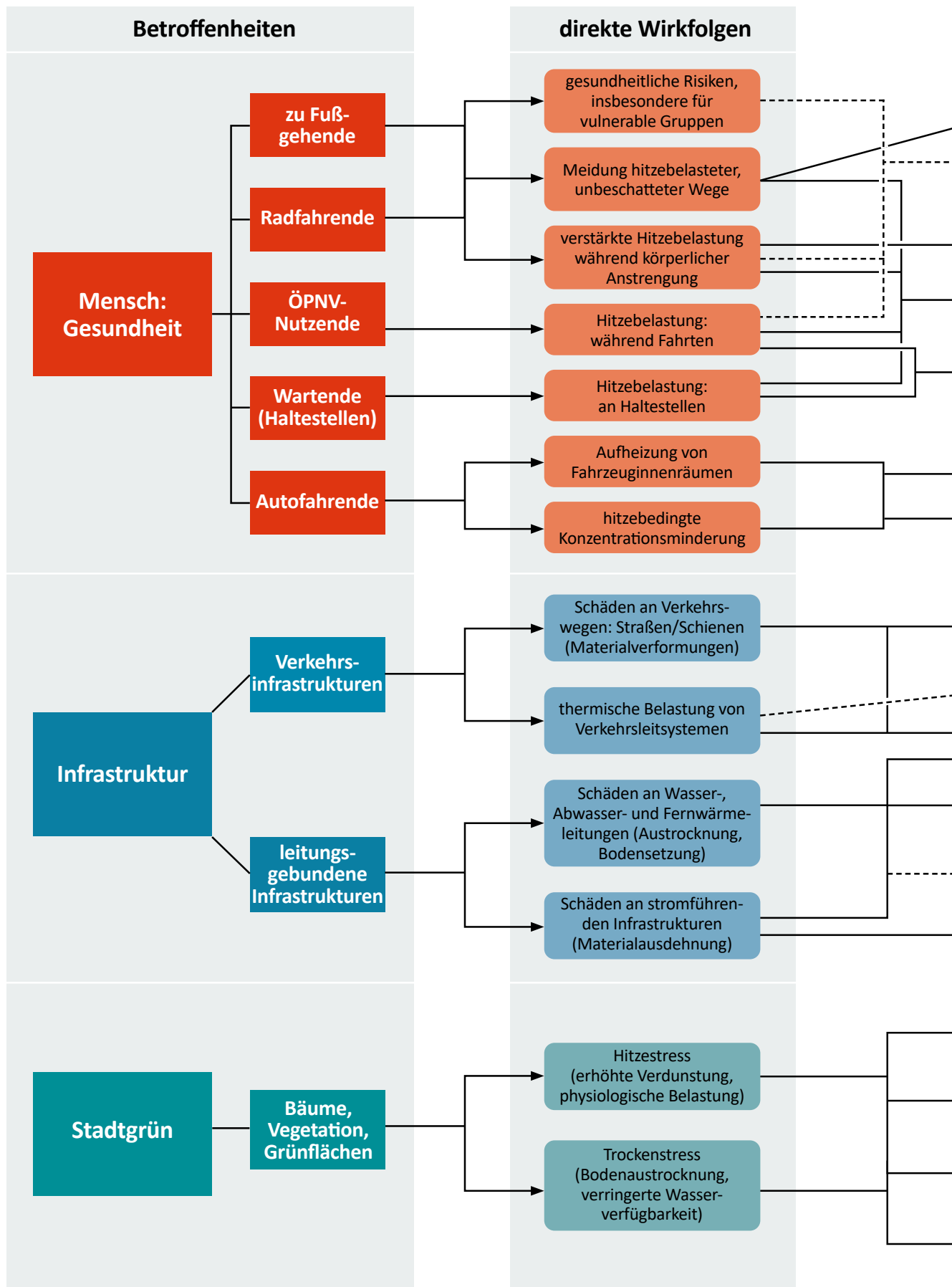
Hitze- und Trockenstress für Straßengrün: Die Kombination aus versiegelten Flächen, eingeschränkter Wasserverfügbarkeit und steigender Hitze führt zu Trockenstress und einer Schwächung von straßenbegleitendem Grün, insbesondere von Stadtbäumen (vgl. Dale/Frank 2014; Böll 2018; LWG 2021). Fehlende Hitzevorsorgemaßnahmen (z. B. Pflanzungen, Pflege oder Bewässerung) verstärken diese Effekte, da die Anpassungsfähigkeit des Grüns eingeschränkt bleibt. Schwächere Bäume reagieren empfindlicher auf Krankheiten, Schädlinge und physiologische Belastungen, was zu reduziertem Wachstum, vorzeitigem Blattverlust und langfristig zu irreversiblen Schäden führen kann (vgl. Haase/Hellwig 2022; Percival 2023). Der Verlust von Blattmasse und Verdunstungskapazität mindert die kühlende Funktion der Vegetation, wodurch die Hitzebelastung im Straßenraum weiter zunimmt (vgl. Mathey et al. 2011; UBA 2021b). Ohne geeignete Maßnahmen droht eine dauerhafte Beeinträchtigung der ökologischen und stadtklimatischen Funktionen des Stadtgrüns.

Fazit: Zusammenfassend führt die steigende Hitzebelastung in Straßenräumen zu weitreichenden ökologischen, sozialen, ökonomischen und infrastrukturellen Auswirkungen (vgl. UBA 2021b; BMVI 2020). Grundsätzlich drohen ein Attraktivitätsverlust und eine Einschränkung der vielfältigen Funktionen von Straßenräumen in Bezug auf Mobilität, Aufenthalt und technischer Infrastruktur. Das Meiden von stark hitzeexponierten Bewegungsräumen führt zu einem veränderten Nutzungs- und Mobilitätsverhalten, das insbesondere für hitzesensitive Bevölkerungsgruppen und solche mit geringen Anpassungskapazitäten stark einschränkend wirken kann.

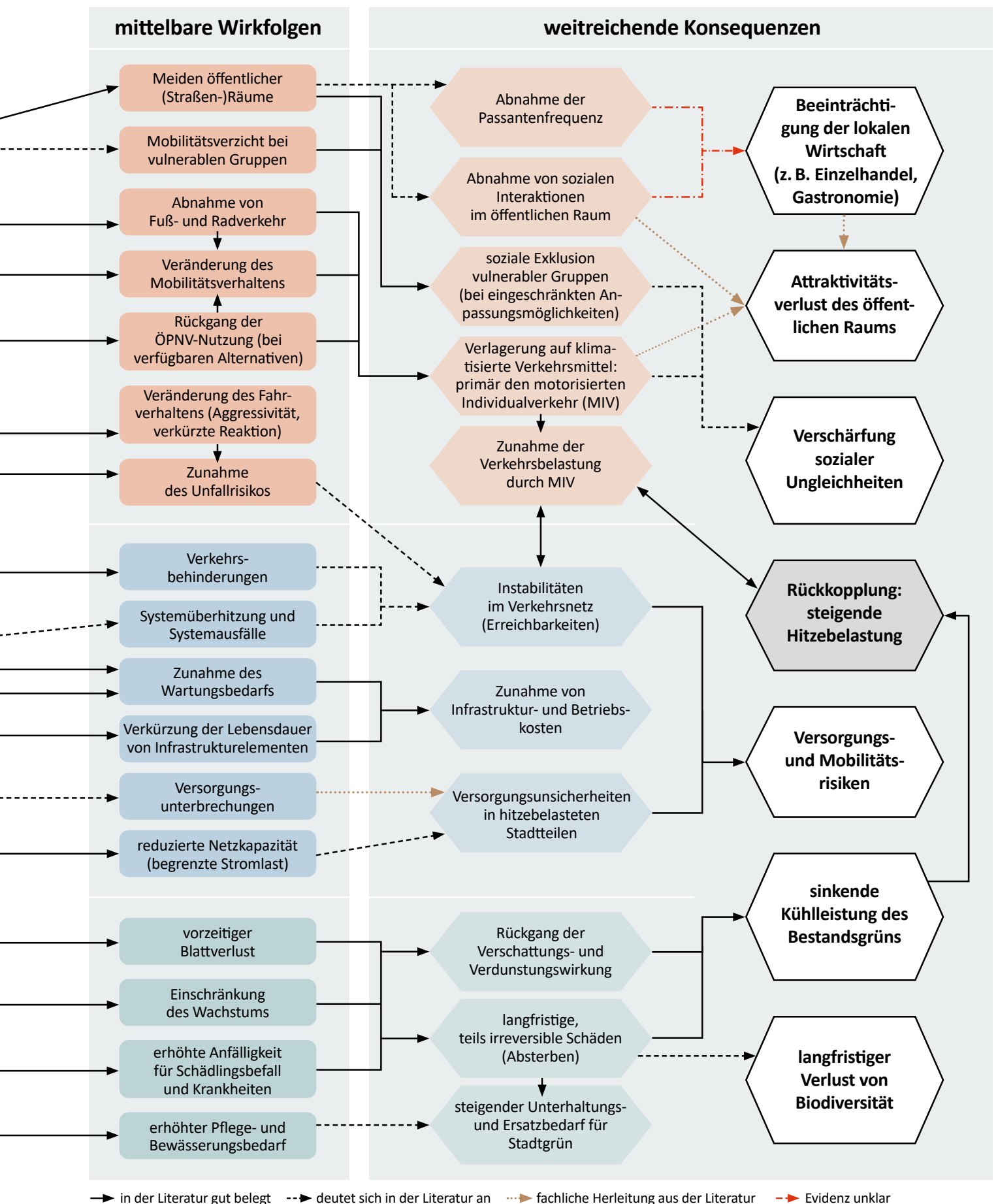
Abbildung 6: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Straßenräumen“

Hinweis:

Zur besseren Lesbarkeit und zum nachvollziehbaren Verständnis der Wirkketten wird empfohlen, das PDF in der Doppelseitenansicht mit aktiviertem Deckblatt zu öffnen.



Quelle: agl



5.4 Wirkungsketten im Fokus

Um die beschriebenen Zusammenhänge exemplarisch vertiefend zu betrachten, werden im Folgenden drei ausgewählte Wirkungsstränge der Gesamtübersicht in Abbildung 6 erläutert (vgl. Abb. 7 und 8).

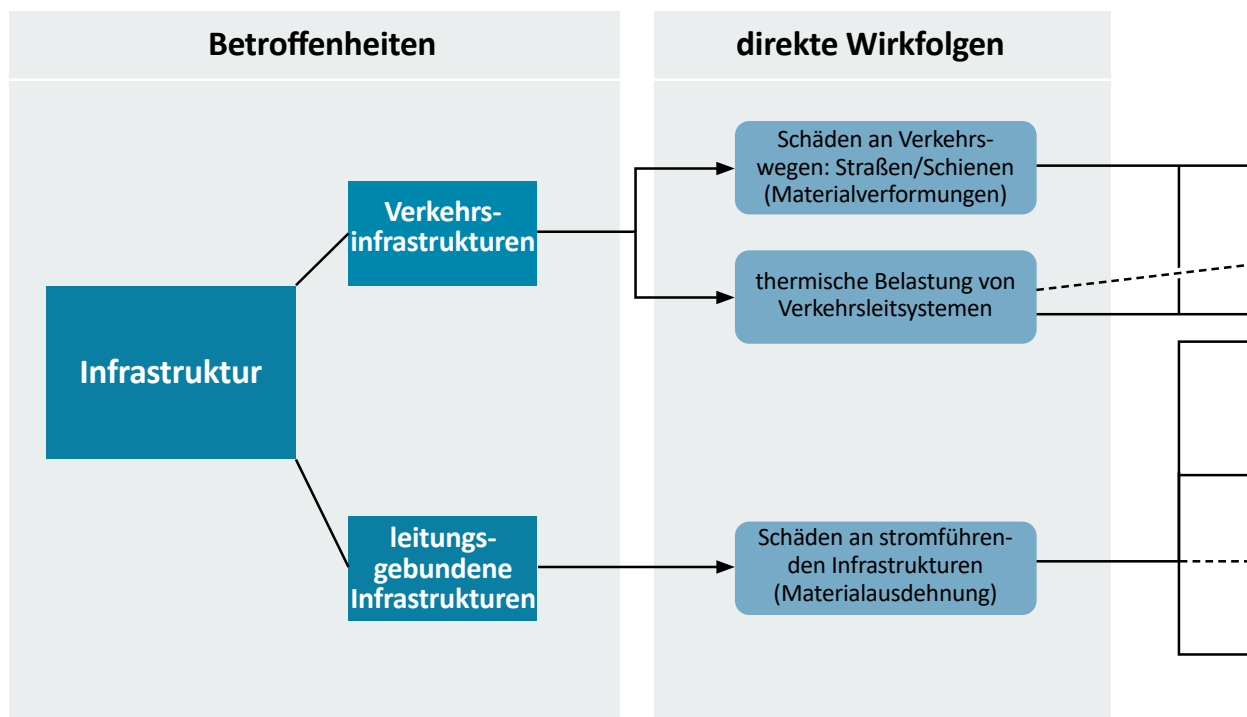
Wirkungskette „Verkehrsinfrastrukturen“

Im Bereich der Verkehrsinfrastruktur können steigende Temperaturen im Straßenraum direkt zu erheblichen Schäden an Straßen und Schienen führen (vgl. Sutter et al. 2020; BMVI 2020; Beckedahl et al. 2021; UBA 2021b; Siefer/Schütze/Strohbach 2019). Diese Schäden äußern sich vor allem durch thermisch bedingte Verformungen des Asphalts, Gleisverwerfungen oder auch bleibende Risse (vgl. BMVI 2020: 88; Beckedahl et al. 2021: 22, 64; Renken et al. 2025: 151). Gleichzeitig können auch technische Verkehrsinfrastrukturen wie Verkehrsleitsysteme (z. B. Ampeln) ausfallen oder langfristige Schäden nehmen (vgl. UBA 2021a: 167). Hier bestehen auch Zusammenhänge mit der Betroffenheit stromführender Infrastrukturen.

Die direkten Schäden an der Verkehrsinfrastruktur ziehen zudem eine Reihe mittelbarer Folgen nach sich: Dazu zählen insbesondere die verkürzte Lebensdauer der eingesetzten Materialien (vgl. BMVI 2020: 88; Renken et al. 2025) sowie ein steigender Wartungs- und Reparaturaufwand, der wiederum einen erhöhten Personaleinsatz erfordert (vgl. Sutter et al. 2020: 198; Flämig/Gertz/Mühlhausen 2023; Holldorb et al. 2016).

Aber auch akute mittelbare Folgen sind möglich. So können die hitzebedingten Schäden an Verkehrsleitsystemen zusammen mit weiteren Auswirkungen auf die Strominfrastruktur grundsätzlich zu Systemüberhitzungen und -ausfällen führen (vgl. Ena 2021: 7; UBA 2021b: 67). Dies kann durch Unterbrechung der Verkehrsströme oder auch Verzögerungen in Verkehrsabläufen zu erheblichen Verkehrsbehinderungen führen (vgl. Trapp et al. 2018: 117). Weitere hitzebedingte Faktoren, wie etwa ein verändertes Fahrverhalten (z. B.

Abbildung 7: Wirkungskette „Infrastrukturen“ im Vertiefungsszenario Straßenräume



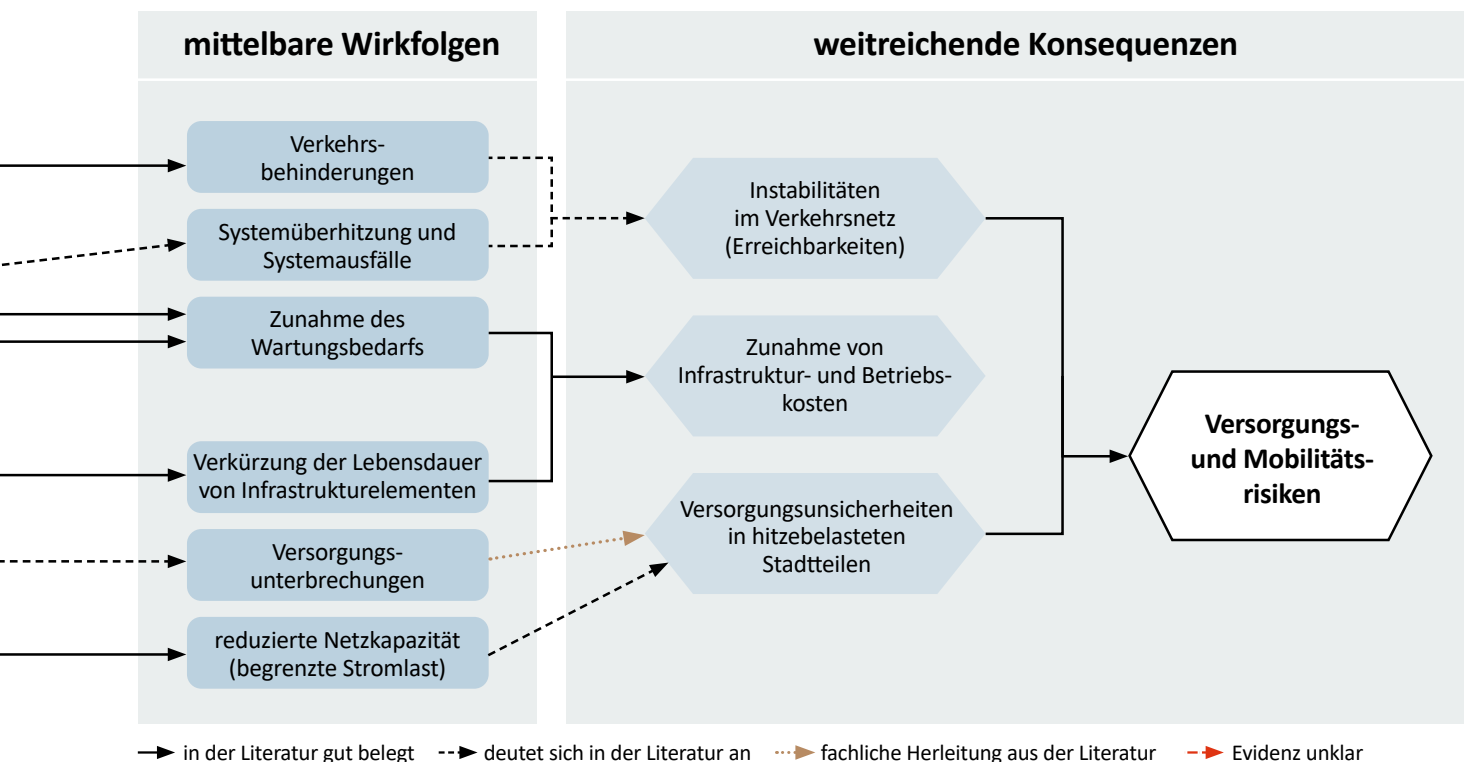
Aggression, Konzentrationsminderung, erhöhte Risikobereitschaft; vgl. Wyon/Wyon/Norin 1996; Sun/Dong 2022) oder ein steigendes Unfallrisiko (vgl. Nazif-Munoz et al. 2025; Pińskwar/Choryński/Graczyk 2024) können die Situation zusätzlich negativ beeinflussen.

Diese potenziellen Risiken begünstigen weitreichendere Konsequenzen. So sind erhebliche Instabilitäten im Verkehrsnetz ein potenzielles Szenario während extremer Hitzebelastung (vgl. Sutter et al. 2020: 198). Auch zunehmende Infrastruktur- und Betriebskosten für öffentliche Haushalte sind als potenzielle weitreichende Konsequenzen zu vermerken (vgl. Sutter et al. 2020: 198; Jaag/Schnyder 2019)

Wirkungskette „leitungsgebundene (stromführende) Infrastruktur“

Zunehmende Hitzebelastung führt direkt zu Schäden an stromführenden Infrastrukturen wie Oberleitungen, Transformatoren und Erdkabeln. Diese Schäden äußern sich in mechanischer Degradation, thermischer Expansion, eingeschränkter Effizienz und einer erhöhten Anfälligkeit für Funktionsstörungen (vgl. UBA 2021b; Cortekar/Groth 2015; McGuire et al. 2025).

Als mittelbare Wirkfolgen resultieren daraus eine verkürzte Lebensdauer der Anlagen, eine reduzierte Netzkapazität aufgrund notwendiger Leistungsbegrenzungen und eine steigende Wahrscheinlichkeit von Versorgungsunterbrechungen (vgl. McGuire et al. 2025; Ena 2021; Pompili et al. 2021). Die weitreichenden Konsequenzen dieser Entwicklung sind potenzielle Versorgungsunsicherheiten, insbesondere in dicht besiedelten oder besonders hitzeanfälligen Gebieten, wo hohe Nachfrage auf eingeschränkte Netzkapazitäten trifft (vgl. UBA 2021b; McGuire et al. 2025). Durch die Hitzebelastung der stromführenden Infrastrukturen entstehen Wirkzusammenhänge, die die Funktionseinschränkungen der Verkehrsinfrastruktur weiter verstärken: Indirekt kann dies etwa eine eingeschränkte Netzkapazität mit sich bringen, die den Betrieb von Verkehrsleitsystemen behindert. Dagegen wirken Ausfälle oder Fehlfunktionen von Leitsystemen direkt auf den Verkehrsfluss ein.



Insgesamt zeigen die Analysen, dass die zunehmende Hitzebelastung sowohl im Verkehrsbereich als auch im Strombereich erhebliche Risiken für die Versorgung und Mobilität mit sich bringt, die sich teilweise auch gegenseitig beeinflussen und bedingen. Durch die enge Verzahnung der Infrastrukturen mit wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Funktionen können Beeinträchtigungen in Extremsituationen zu Versorgungsengpässen, eingeschränkter Verkehrsverfügbarkeit und potenziellen Gefährdungen der öffentlichen Sicherheit führen (vgl. UBA 2021b; BMVI 2020; BBK 2013).

Wirkungskette „Stadtgrün“

Stadt- und insbesondere Straßengrün hat grundsätzlich viele Vorteile. Im Kontext der Hitzevorsorge ist insbesondere das Potenzial der Stadtbäume zur lokalen Temperatursenkung hervorzuheben, wobei ihre Wirkung je nach Tageszeit variieren kann: Tagsüber kühlen sie durch Schatten und Verdunstung, nachts können sie unter bestimmten Bedingungen die Abkühlung durch Abschirmung des Himmels leicht reduzieren (vgl. Ettinger et al. 2024; TUM 2021). Stadtgrün gilt als ein besonders relevantes und schützenswertes Gut. Ein zentraler Wirkstrang betrifft deshalb die Auswirkungen von Hitze auf das Stadtgrün, genauer gesagt auf straßenbegleitendes Grün wie Stadtbäume.

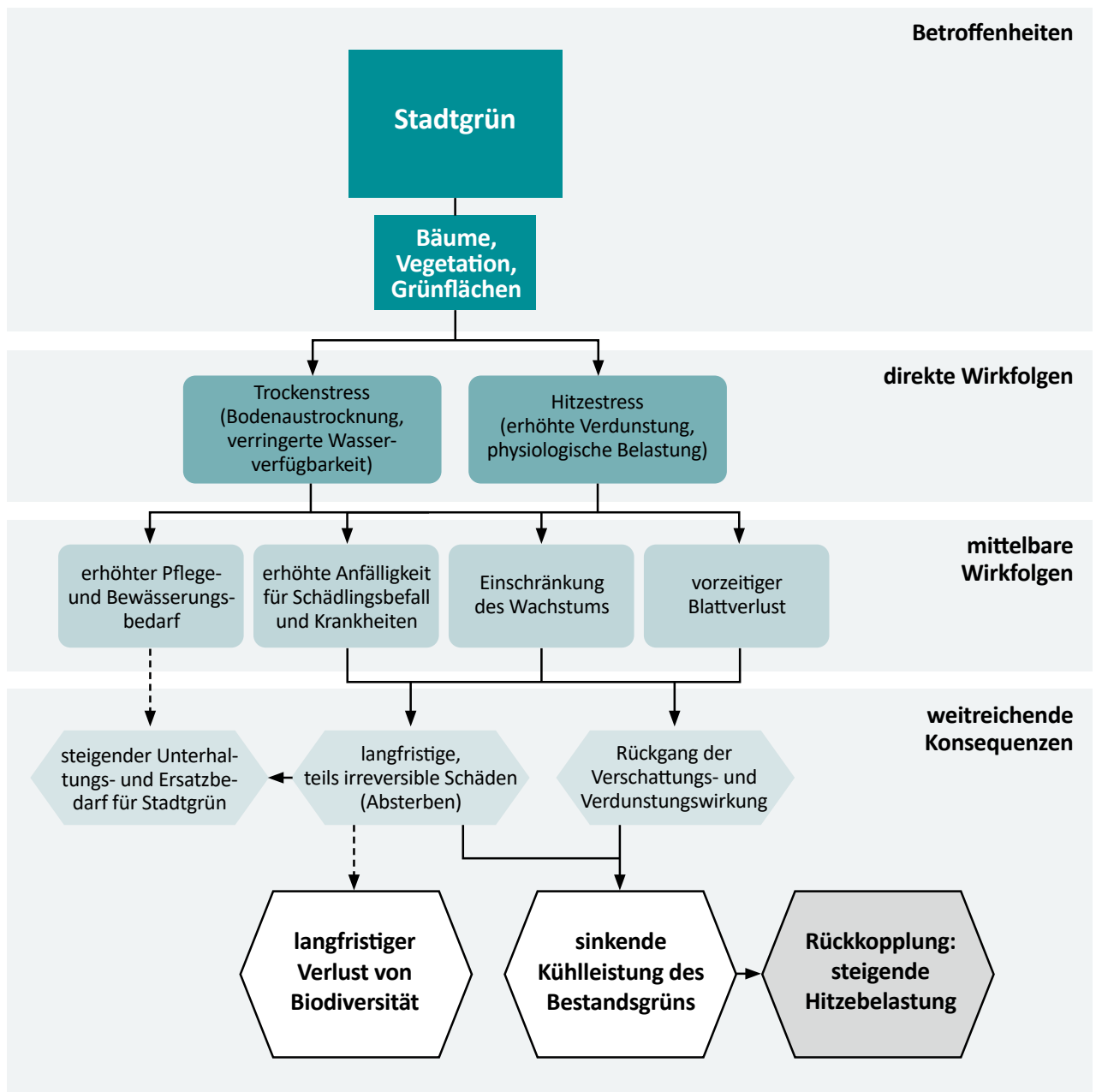
Gut belegt ist, dass Hitze – speziell in urbanen Straßenräumen – einen erheblichen negativen Einfluss auf das Bestandsgrün hat (vgl. u. a. Dale/Frank 2014; Böll 2018; LWG 2021). Als direkte Auswirkungen zunehmender Hitzebelastung steigen Evapotranspiration und Bodenaustrocknung: Während eine erhöhte Evapotranspiration grundsätzlich positiv im Sinne der Hitzevorsorge wirkt und zur lokalen Abkühlung beiträgt, führt sie zugleich – zusammen mit Bodenaustrocknung und sinkenden Grundwasserspiegeln – zu verstärktem Trocken- und Hitzestress bei Stadtbäumen (vgl. Böll et al. 2021: 3; Haase/Hellwig 2022: 1). Die verringerte Bodenfeuchte wird durch urbane Versiegelung zusätzlich verschärft, da sie die Wasseraufnahme einschränkt (vgl. Dale/Frank 2014: 7). Untersuchungen zeigen, dass Bäume in wärmeren Stadtbereichen deutlich stärker unter Wassermangel leiden, als solche in kühleren (vgl. ebd.).

Die Zunahme von Trocken- und Hitzestress macht sich mittelbar durch eine Schwächung der Bäume und eine höhere Anfälligkeit für Krankheiten und Schädlingsbefall bemerkbar. Extrem trocken-heiße Vegetationsperioden überlasten die morphologischen und physiologischen Grenzen der Bäume, führen zu frühen Blattverlusten, eingeschränktem Wachstum oder auch verringerter Resistenz gegenüber Stressfaktoren (vgl. Böll et al. 2021; Haase/Hellwig 2022; Percival 2023). Besonders heimische Arten sowie Arten, die nicht an Hitze angepasst sind, sind stärker betroffen und in Zukunft gefährdet (vgl. LWG 2021; Brune 2016). Gleichzeitig können höhere Temperaturen das Wachstum junger Bäume beschleunigen, was die frühzeitige Bereitstellung von Ökosystemleistungen wie Schatten oder CO₂-Speicherung begünstigt. Ältere Bäume hingegen reagieren häufig mit geringeren Zuwachsraten, was auf eine beschleunigte Alterung hinweist (vgl. Pretzsch et al. 2017; Hurley/Heinrich 2023).

Grundsätzlich besteht die Gefahr langfristiger Schäden an den Bäumen. Im Extremfall können diese sogar irreversibel sein: Bei extremen Temperaturen über 40 °C werden Proteine in den Blättern geschädigt, was zu frühzeitigem Blattfall und dauerhaften Beeinträchtigungen des Blattgewebes führt (vgl. LWG 2021: 18). Verstärken sich Hitze- und Trockenstress über längere Zeiträume und fehlt eine ausreichende Bewässerung, sinkt die Vitalität der Bäume erheblich (vgl. Haase/Hellwig 2022: 1; Percival 2023: 1). Darüber hinaus können wiederholte Hitze- und Dürresommer verkürzte Vegetationsperioden, eine stressbedingte erhöhte Reproduktionsaktivität im Folgejahr (z. B. verstärkte Blüten- und Samenbildung) sowie eine zunehmende Kronenverlichtung zur Folge haben, da Ressourcen verstärkt in Fortpflanzung statt Wachstum und Vitalität investiert werden (vgl. Böll 2018: 83). Langfristig kann diese Ressourcenverschiebung die Vitalität weiter schwächen und ein Absterben der Bäume begünstigen (vgl. Böll 2018: 83; Percival 2023: 1).

Grundlegend ist davon auszugehen, dass sich diese hitzebedingten Auswirkungen auf Stadtbäume direkt in einen Verlust wichtiger Ökosystemleistungen wie Kühlwirkung, Schatten spende und Kohlenstoffbindung überträgt (vgl. Martinez-Villa et al. 2024: 1): Mit dem Ver-

Abbildung 8: Wirkungskette „Stadtgrün“ im Vertiefungsszenario Straßenräume



→ in der Literatur gut belegt --> deutet sich in der Literatur an ...> fachliche Herleitung aus der Literatur -> Evidenz unklar

Quelle: agl

lust von Blattmasse (u. a. durch verfrühten Blattabwurf) und der reduzierten Verdunstungskapazität sinkt auch die kühlende Wirkung der Vegetation (vgl. Mathey et al. 2011: 32; UBA 2021b: 53). Hierbei ist anzumerken, dass Stadtbäume sehr unterschiedlich auf die genannten Stressoren reagieren und angepasst sind (z. B. abhängig von Art, Alter oder Standort), wodurch keine allgemeinen Schlussfolgerungen getroffen werden können (vgl. Brune 2016: 73).

Ohne geeignete Hitzevorsorgemaßnahmen, wie angepasste Pflanzungen, Bewässerung oder Pflege, kann es zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der ökologischen und stadtklimatischen Funktionen des Stadtgrüns kommen. In der Folge könnte der potenzielle Verlust an Vitalität und Kühlleistung der Bäume dazu beitragen, dass sich die Hitzebelastung in ohnehin stark thermisch belasteten Stadträumen weiter erhöht beziehungsweise weniger wirksam abgemildert wird.

*West-
exponierte
Fensterflächen?*

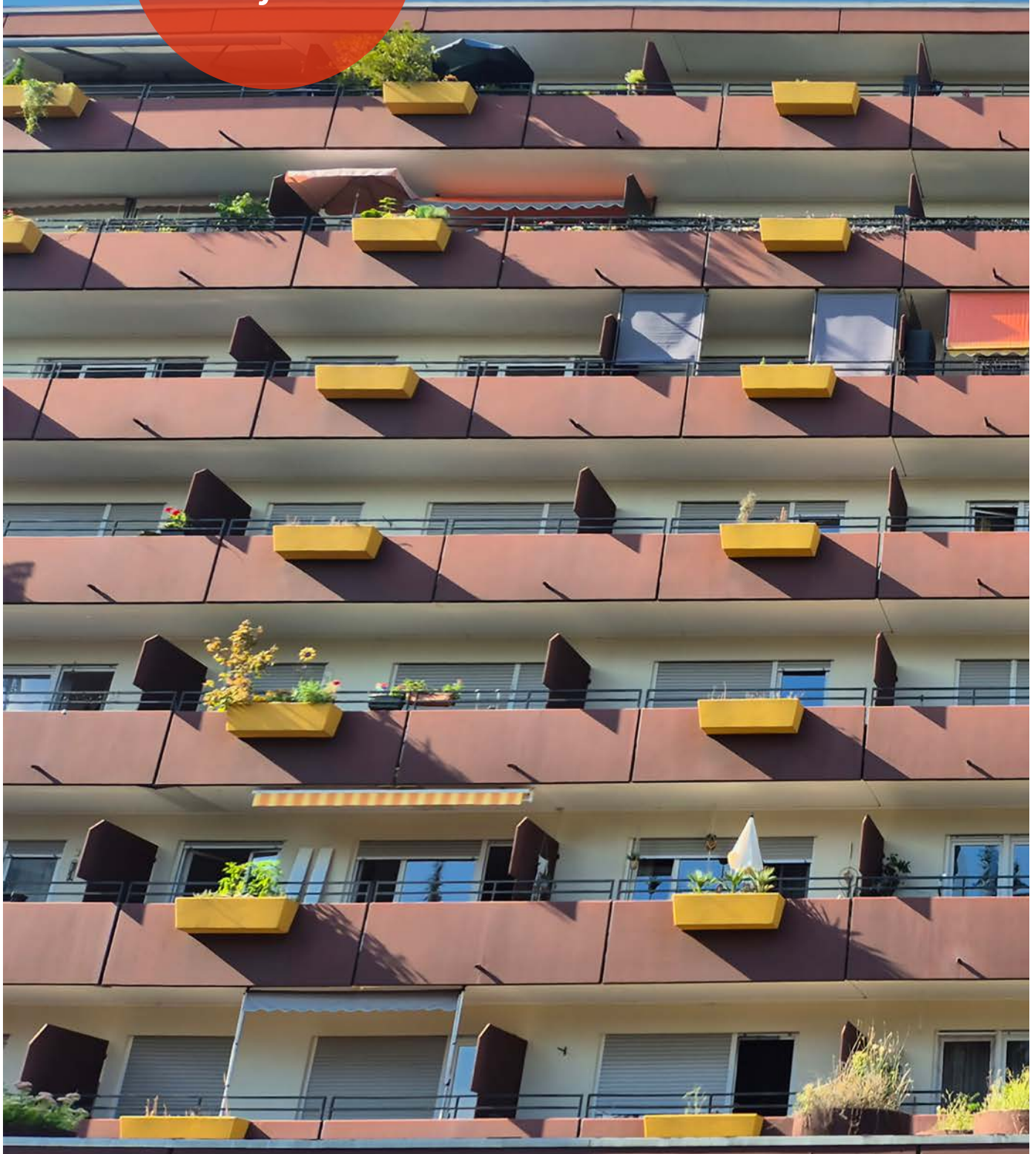


Foto: agl

6

Vertiefungsszenario: Wohngebäude und -quartiere

6.1 Beschreibung und Ausgangslage

Das zweite Vertiefungsszenario beleuchtet die potenziellen Auswirkungen zunehmender Hitzebelastung in Wohngebäuden und -quartieren. Im Mittelpunkt steht dabei insbesondere, wie steigende Temperaturen das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner beeinflussen. Bei Wohngebäuden sind die Innenraumtemperaturen entscheidend. Grundlegend gelten Innenraumtemperaturen in Wohnräumen in der Regel ab etwa 26 °C als kritisch, da oberhalb dieses Wertes thermischer Komfort häufig nicht mehr gewährleistet ist (vgl. WHO 2018: 46). Bereits ab etwa 24 °C kann es jedoch zu ersten gesundheitlich relevanten Beeinträchtigungen kommen, etwa bei der Schlafqualität (vgl. Koschenz et al. 2021). Messungen zeigen, dass die Innenraumtemperaturen in deutschen Haushalten im Sommer oft zu hoch liegen – im Mittel bei über 24 °C, mit Spitzenwerten bis 35,8 °C und längeren Perioden über 27 °C (vgl. Kunze 2019; Schröder et al. 2019; Hutter et al. 2023: 59 f.).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels mit steigenden Außentemperaturen und intensiveren Hitzeperioden ist in Zukunft grundsätzlich mit höheren Innentemperaturen zu rechnen (vgl. UBA 2021b; Hutter et al. 2023). Im städtischen Kontext werden diese Tendenzen durch den urbanen Wärmeinseleffekt verstärkt (vgl. UBA 2021a, b; Leistner et al. 2023; Schröder et al. 2019; vgl. Kap. 3). Bleiben klimaangepasste Sanierungen und Schutzmaßnahmen aus, wird dies in Verbindung mit dem Klimawandel künftig zu einer weiteren Verstärkung der Hitzebelastung in Wohngebieten und Innenräumen führen.

Die Ausprägung der Innenraumtemperaturen ist von einer Reihe baulicher und nutzungsbezogener Faktoren abhängig. Zu den entscheidenden baulichen Faktoren gehören die Gebäudehülle und Gebäudeausrichtung (insbesondere westexponierte Fensterflächen sind betroffen), die Größe der Fensterflächen, der Einsatz von Verschattungselementen, die thermische Speichermasse (aufgrund der Baukonstruktion) sowie die Lage der Wohneinheiten im Gebäude (vgl. Hartz et al. 2020; Hartz/Saad/Pfafferott 2020; Pfafferott et al. 2021; Hartz 2024). Dementsprechend sind Umfang und konkrete Ausprägung klimaangepasster Sanierungen und Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes (insb. Reduzierung von Wärmelasten, Intensivierung der nächtlichen Entwärmung und Lastverschiebung aufgrund der thermischen Trägheit) relevant für das Ausmaß der Überhitzung in Wohngebäuden und Innenräumen (vgl. Hutter et al. 2023: 59; Offermann et al. 2022).

Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz werden durch § 14 des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) geregelt, der festlegt, dass ein ausreichender Wärmeschutz als erfüllt gilt, wenn die DIN 4108-2 (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz) eingehalten wird (Nachweis der Überhitzungsgradstunden). Dabei wird zwischen drei Sommerklimaregionen (A, B, C) mit unterschiedlichen Bezugswerten der operativen Innenraumtemperatur (25 °C, 26 °C bzw. 27 °C) differenziert, um regionale Klimaverhältnisse sowie die klimatische Adaption

der Bevölkerung zu berücksichtigen. Diese Temperaturwerte sind keine festen Obergrenzen und können (im Rahmen der Übertemperaturgradstunden) nutzungsabhängig für eine bestimmte Dauer und um einen bestimmten Betrag überschritten werden. Nach der DIN 4108-2 sind zur Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes geeignete bauliche Maßnahmen vorzusehen: Hierzu zählen insbesondere ein wirksamer, vorzugsweise außenliegender Sonnenschutz (z. B. Rollläden oder Raffstores) mit reduziertem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, eine ausreichende thermische Speichermasse durch massive Bauteile mit Aktivierung mittels Nachtlüftung, die Möglichkeit zur intensiven Fenster- oder mechanischen Lüftung sowie die Begrenzung großer Fensterflächen, vor allem an Süd-, West- und Dachorientierungen.

Passive Schutzmaßnahmen wie Verschattung (vgl. Kunze et al. 2021) und größere thermische Speichermasse (vgl. Pfafferott 2003) sind grundsätzlich zu bevorzugen, können jedoch bei unzureichender Lüftung oder fehlender Nachtauskühlung ihre Wirkung verlieren (vgl. Voss/Pfafferott 2007). Dementsprechend spielt das Verhalten der Nutzenden eine zentrale Rolle für den Hitzeschutz in Innenräumen. Insbesondere der Zeitpunkt und die Dauer von Lüftungsmaßnahmen beeinflussen die Wirksamkeit passiver Maßnahmen (Hartz et al. 2020; Pfafferott et al. 2021).

In den folgenden Kapiteln werden die Wirkungsketten für das Vertiefungsszenario „Konsequenzen der thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“ visualisiert (vgl. Kap. 6.2 und Abb. 9) und die wesentlichen Erkenntnisse (vgl. Kap. 6.3) zusammengefasst. Kapitel 6.4 vertieft nochmals exemplarisch ausgewählte Wirkstränge.

6.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“

Um die Auswirkungen der potenziellen Überhitzung von Wohngebäuden und -quartieren darzustellen, wurden Wirkungsketten in folgenden Betroffenheitsbereichen erstellt:

- Im Bereich **Mensch/Gesundheit** stehen die umfassenden körperlichen und gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzestress auf die Wohnbevölkerung im Mittelpunkt. Hierbei werden insbesondere vulnerable Gruppen berücksichtigt und die entsprechend umfassenden Folgen der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hitze analysiert.
- Für die **Wohngebäude** spielen Gebäudenutzung, -betrieb und -substanz eine zentrale Rolle. Hinsichtlich der Gebäudenutzung werden vor allem die ökonomischen Folgen einer Überhitzung von Wohnräumen in Betracht gezogen. Beim Gebäudebetrieb geht es insbesondere um die Folgen erhöhter Kühl- und Energiebedarfe. Intensive Hitzeeinwirkung kann bei der Gebäudesubstanz langfristig Schäden verursachen. In diesem Kontext werden auch wohnungswirtschaftliche sowie soziale Folgen in den übergreifenden Konsequenzen integriert.
- In der letzten Kategorie werden potenzielle Auswirkungen einer nicht an den Klimawandel angepassten Gestaltung der **Außenräume** beleuchtet. Insbesondere Aspekte der Nutzung als Aufenthaltsraum sowie der Klimawirkung werden in diesem Kontext berücksichtigt.

Abbildung 9 auf Seite 30 und 31 gibt einen Überblick zu den ausgewerteten Wirkzusammenhängen und weitreichenden Konsequenzen.

6.3 Zentrale Erkenntnisse

Die zentralen Ergebnisse in Bezug auf das Vertiefungsszenario „Konsequenzen der thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“ (vgl. Abb. 9) werden nachfolgend zusammengefasst:

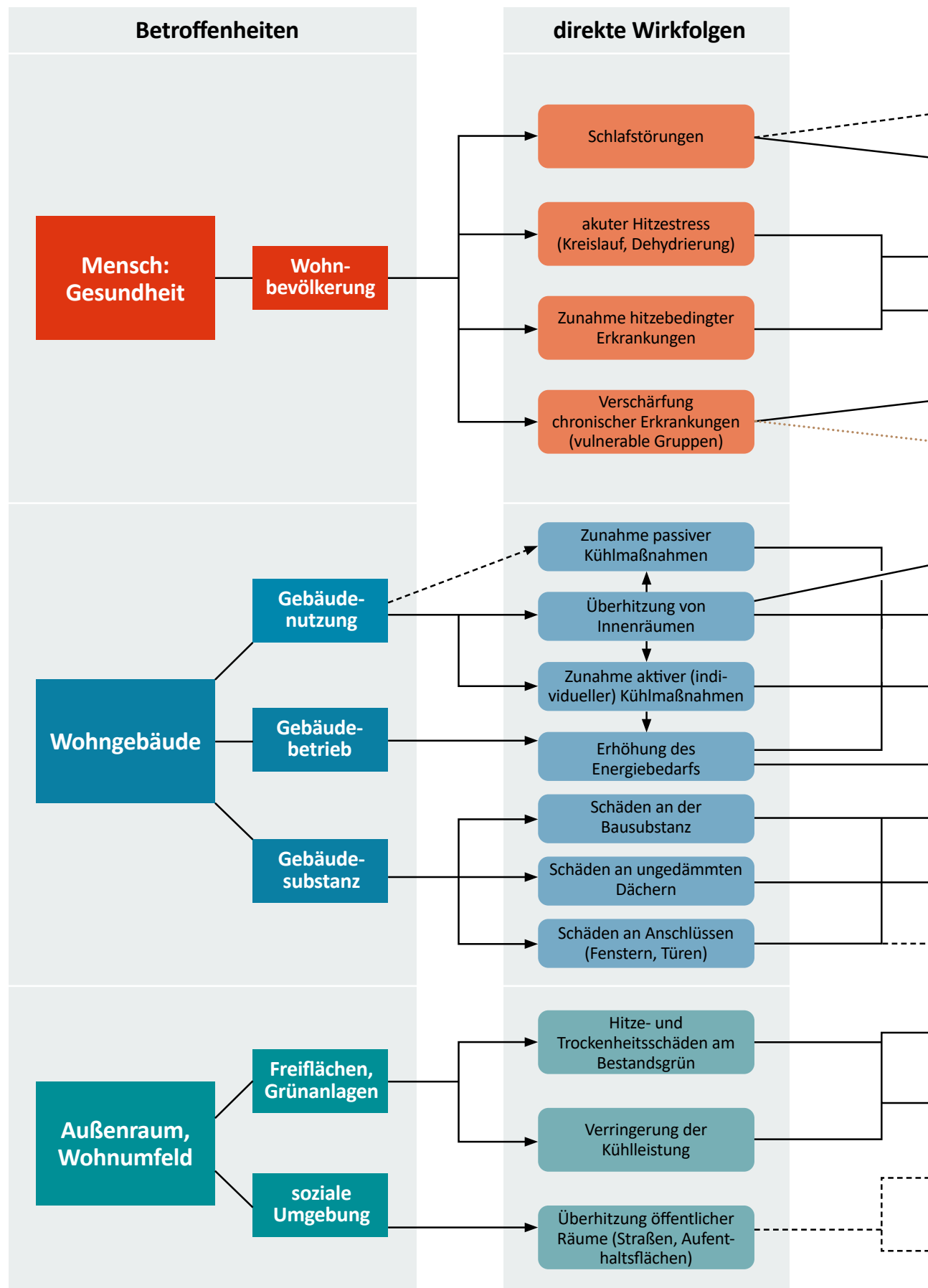
Steigende gesundheitliche Risiken durch hohe Innenraumtemperaturen: Zunehmende Hitzebelastung im Wohnbereich und in Schlafräumen führt bereits ab 24 °C zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Kreislaufproblemen, Schlafstörungen, kognitiven Einschränkungen und erhöhter Mortalität (vgl. Koschenz et al. 2021; Edwards et al. 2025). Hohe bis extreme Innenraumtemperaturen belasten die Thermoregulation, reduzieren die physische Leistungsfähigkeit und erhöhen direkt das Risiko schwerwiegender gesundheitlicher Folgen bis hin zur Sterblichkeit (vgl. Koschenz et al. 2021; Edwards et al. 2025; He et al. 2024: 2158).

Starke Betroffenheit besonders hitzesensitiver und isolierter Personengruppen: Steigende Temperaturen wirken sich besonders stark auf hitzesensitive Gruppen aus. Hierzu zählen vor allem Kinder, Schwangere, ältere Menschen, chronisch Kranke oder einkommensschwache Personen mit wenig Ressourcen zur Anpassung (vgl. Rocha et al. 2024; Matzarakis/Muthers/Graw 2020). Bei den hitzesensitiven Gruppen sind vor allem ältere Menschen stark gefährdet, da sie Hitze oftmals nicht (angemessen) wahrnehmen und Schutzmaßnahmen seltener ergreifen (vgl. Beckmann/Hiete/Beck 2021; Vandentorren et al. 2006; Matzarakis/Muthers/Graw 2020; Hartz et al. 2020; Hartz 2024). Eingeschränkte Mobilität und soziale Isolation verschärfen die Wirkung, da fehlende Unterstützung und Informationsdefizite dazu führen, dass Betroffene ungeschützt hohen Temperaturen ausgesetzt bleiben (vgl. Vandentorren et al. 2006; Lindemann et al. 2017).

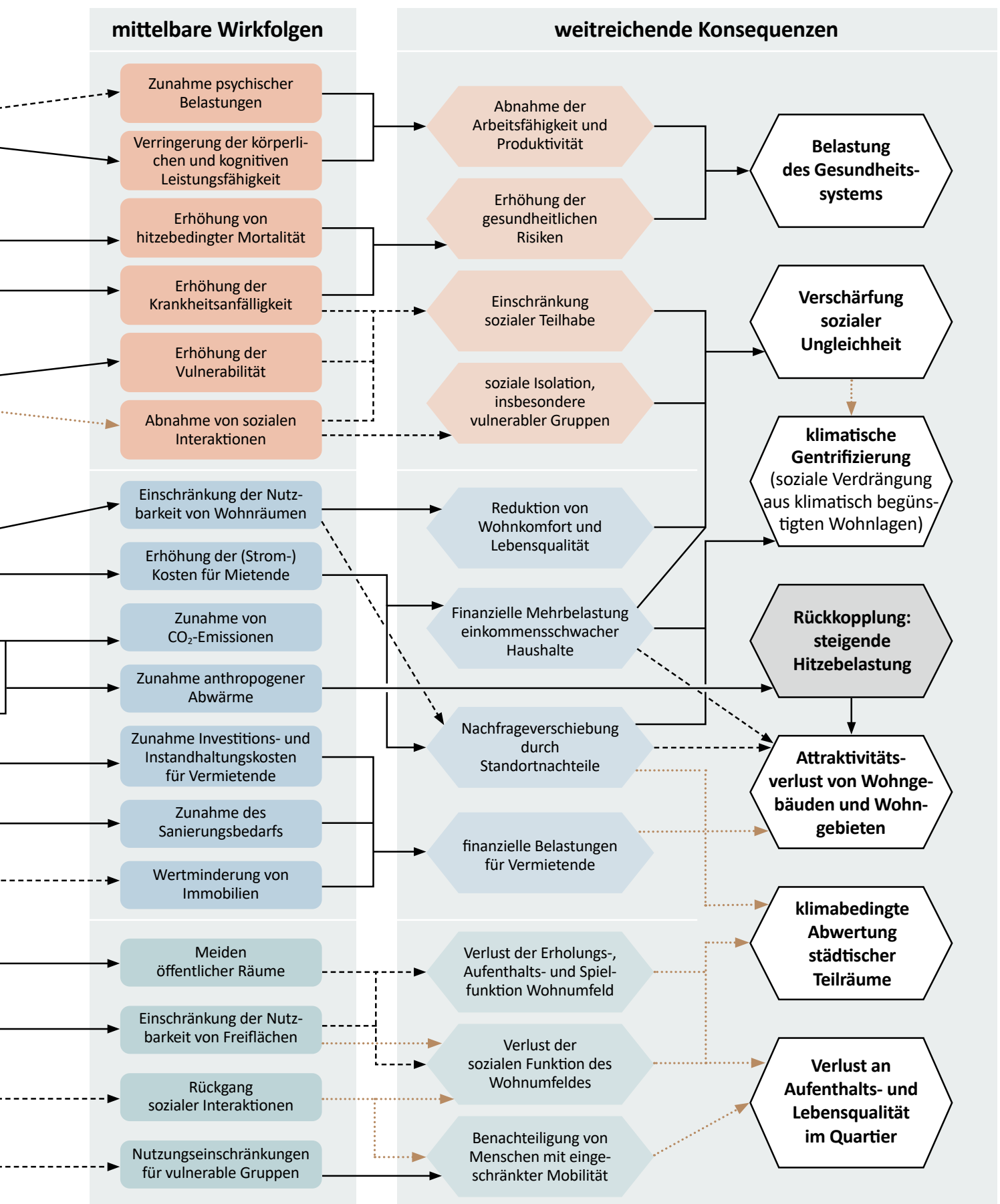
Verminderter Wohnkomfort und eingeschränkte Nutzbarkeit von Wohngebäuden: Die Überhitzung von Innenräumen beeinträchtigt den Wohnkomfort und die Nutzbarkeit bestimmter Räume (z. B. westexponierte Räume, Dachgeschosse) (vgl. LMU 2020). Der damit verbundene Komfortverlust führt oft zu individuellen, teils energieintensiven Kühlmaßnahmen (vgl. Taylor et al. 2023; Li et al. 2019), die mit einem erhöhten Energiebedarf sowie einer Zunahme energiebedingter CO₂-Emissionen einhergehen können (vgl. Zhang et al. 2026; Watkins et al. 2002; Colelli/Wing/De Cian 2023; Lundgren/Kjellstrom 2013). Durch den verstärkten Einsatz aktiver Kühlung wird zudem zusätzliche Abwärme an den Außenraum abgegeben. Dies kann als Rückkopplung zu einer zusätzlichen Erwärmung des Außenraums beitragen, da die abgeführte Wärme an die Umgebung abgegeben wird und lokale Lufttemperaturen erhöht (vgl. Jin et al. 2020; de Munck et al. 2013; Salamanca et al. 2014; Lundgren/Kjellstrom 2013). Gleichzeitig kann der Komfortverlust langfristig zu einer Minderung der Attraktivität von Wohnlagen führen und sich entsprechend auf Nachfrage und Standortbewertung auswirken. Dies kann für die Wohnungswirtschaft sowie private Eigentümerinnen und Eigentümer vielfältige Herausforderungen nach sich ziehen: Neben steigenden Instandhaltungskosten aufgrund von Hitzeschäden können auch Wertminderungen von Immobilien sowie Nachfrageverschiebungen hin zu besser angepassten Lagen und Gebäuden die Folge sein (vgl. Kim/Brown 2025; SMWA 2025).

Hitzebelastung der Wohnbevölkerung als Frage sozialer Gerechtigkeit: Analysen zeigen, dass einkommensschwache Haushalte im Sommer besonders Schwierigkeiten haben, ein komfortables Raumklima aufrechtzuerhalten (vgl. WHO 2019: 38). In schlecht angepassten, überhitzten Gebäuden steigt der Bedarf an aktiven Kühlmaßnahmen wie Klimaanlage oder Ventilatoren, um die Wohnräume nutzbar und gesundheitlich verträglich zu halten (vgl. Taylor et al. 2023: 3). Für einkommensschwache Haushalte führen diese Maßnahmen zu steigenden Kosten, teils übersteigen sie die finanziellen Möglichkei-

Abbildung 9: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“



Quelle: agl



ten, wodurch ein angemessener Hitzeschutz oft nicht realisierbar ist (vgl. Taylor et al. 2023; Jessel/Sawyer/Hernandez 2019). Ungleiche Wohnbedingungen, fehlender Zugang zu Grünflächen sowie eingeschränkte passive Kühlmöglichkeiten (wie z. B. äußerer Sonnenschutz durch Jalousien/Markisen oder nächtliche Querlüftung) verstärken die Belastung zusätzlich und verschärfen bestehende soziale Ungleichheiten (vgl. Mertes/Böse-O'Reilly/Schoierer 2020; Seebaß 2017; Rocha et al. 2024; Santamouris/Kolotkotsa 2015; Großmann et al. 2017). Gesundheitliche Risiken und Schutzmöglichkeiten verteilen sich damit ungleich im Stadtraum (vgl. Chakraborty et al. 2023).

Klimabezogene Gentrifizierung: Ein potenzielles (Extrem-)Szenario könnte eine klimabezogene Gentrifizierung durch zunehmende Hitzebelastung sein, bei der sanierte und kühlere Wohnlagen teurer und nur noch für wohlhabendere Haushalte erschwinglich sind, während einkommensschwächere Gruppen in überhitzten, abgewerteten Quartieren und unsanierten Gebäuden mit einfachem Ausstattungsniveau verbleiben und sozialräumlich ausgegrenzt werden (vgl. Anguelovski et al. 2024; Borsky/Fesselmeyer/Vogelsang 2024). Diese Tendenzen verschärfen sowohl die bereits beschriebenen sozialen Ungleichheiten als auch – infolge von Nachfrageverschiebungen – die weitere Abwertung dieser städtischen Teilräume.

Beeinträchtigung des Wohnumfeldes: Zunehmende Hitzebelastung in Wohngebieten führt zu einer deutlichen Beeinträchtigung des Außenraums und Wohnumfeldes durch reduzierte Kühlleistung, sinkende Aufenthaltsqualität und eine verstärkte Meidung öffentlicher Freiflächen (vgl. Zorn et al. 2021). Besonders vulnerable Gruppen sind davon betroffen, wodurch soziale Funktionen und nachbarschaftliche Interaktionen eingeschränkt und das gemeinschaftliche Leben geschwächt werden. Dadurch werden zugleich Tendenzen zur sozialen Isolation verstärkt (vgl. BMG 2025).

Hitzebedingte Schäden an der Gebäudesubstanz: Thermische Belastung kann zu Schäden an der Gebäudesubstanz, beispielsweise an verschiedenen Bauteilen wie Fassaden, Dächern, Fensteröffnungen und Anschlüssen, führen. Thermische Spannungen verursachen Risse, Verformungen und Undichtigkeiten, wodurch die Substanz und Funktionstüchtigkeit von Gebäuden beeinträchtigt wird (vgl. BBSR 2025; IFB 2023). In der Folge steigen Wartungsaufwand und Instandhaltungskosten spürbar (vgl. BMVBS 2013; SMWA 2025).

6.4 Wirkungsketten im Fokus

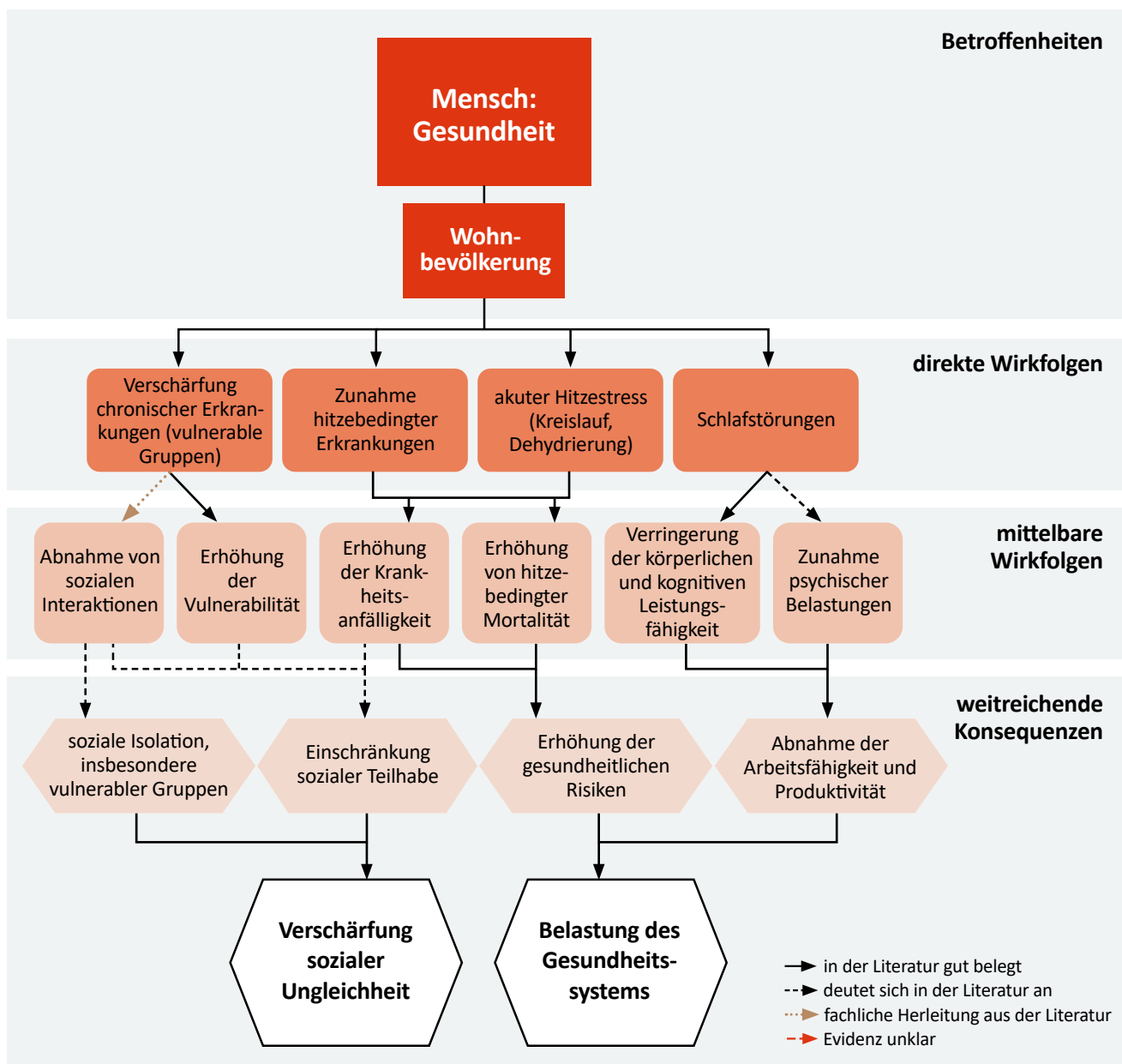
Um die Wirkzusammenhänge beispielhaft zu erörtern, werden nachfolgend drei Wirkungsstränge der Gesamtübersicht in Abbildung 9 erläutert (vgl. Abb. 10 und 11).

Wirkungskette „Gesundheit der Wohnbevölkerung“

In modernen Gesellschaften verbringen Menschen rund 90 % ihrer Zeit in Innenräumen, davon etwa zwei Drittel im eigenen Zuhause (vgl. WHO 2014: 9). Da das Wohnen somit einen zentralen Einflussfaktor auf das Wohlbefinden darstellt, kommt den Auswirkungen zunehmender Hitzebelastung in Wohngebäuden eine besondere Bedeutung für die menschliche Gesundheit zu. Bereits ab Innenraumtemperaturen von etwa 24 °C steigt laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) das gesundheitliche Risiko für hitzebedingte Erkrankungen, insbesondere Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen, wobei vulnerable Gruppen bei Temperaturen ab etwa 26 °C verstärkt belastet sind (vgl. WHO 2018: 46; Tham et al. 2020: 10; Beckmann/Hiete/Beck 2021: 1).

Die Zunahme von Hitzestress sowie hitzebedingter Erkrankungen infolge steigender Hitzebelastung in Innenräumen ist als direkte Folge in der Literatur gut belegt. Insbesondere während längerer Hitzeperioden nehmen körperliche Belastungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen deutlich zu (vgl. Beckmann/Hiete/Beck 2021; Edwards et al. 2025: 14; WHO 2021: 76 ff.). Mehr Tropennächte durch den Klimawandel, längere Hitzewellen und der städtische Wärmeineffekt sowie die klimawandelunangepasste Gestaltung von Wohngebieten und -gebäuden erhöhen die (nächtliche) Hitzebelastung in Innenräumen. Bereits eine Innentemperatur ab 24 °C beeinflusst die Schlafqualität negativ (vgl. Koschenz et al. 2021: 84). Fehlende Abkühlungsphasen verstärken dementsprechend gesundheitliche Risiken und begünstigen Schlafstörungen sowie eine geringere nächtliche Erholung (vgl. Winklmayr et al. 2023; Minor et al. 2022; Krug/Mücke 2018: 73 f.). Hohe Temperaturen verschlechtern chronische Erkrankungen und erhöhen damit das Risiko schwerer gesundheitlicher Folgen (vgl. Beckmann/Hiete/Beck 2021; Koschenz et al. 2021; Matzarakis/Muthers/Graw 2020; Tham et al. 2020).

Abbildung 10: Wirkungskette „Gesundheit der Wohnbevölkerung“ im Vertiefungsszenario Wohngebäude und -quartiere



Quelle: agl

Mittelbare Wirkfolgen können die körperlichen und psychischen Beeinträchtigungen weiter verstärken. Insbesondere die fehlende nächtliche Erholung kann zu psychischer Belastung, verminderten kognitiven Fähigkeiten und eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit führen (vgl. Edwards et al. 2025; Brandt/Heinz 2024; Lindemann et al. 2017; Gebhardt et al. 2023). Gleichzeitig steigt die hitzebedingte Mortalität bereits ab Innentemperaturen von 22 bis 25 °C, wobei besonders kumulierte Wärmebelastungen über mehrere Tage entscheidend sind (vgl. Koschenz et al. 2021; an der Heiden/Buchien/Winklmayr 2025). Zudem erhöht sich die Anfälligkeit für Krankheiten, insbesondere bei Atemwegserkrankungen, Diabetes oder kognitiven Einschränkungen; ältere oder chronisch kranke Menschen sind durch eingeschränkte Thermoregulation und eine teilweise fehlende Wahrnehmung der Risiken besonders gefährdet (vgl. Beckmann/Hiete/Beck 2021; Matzarakis/Muthers/Graw 2020; Tham et al. 2020; Brandt/Heinz 2024). Hitzestress kann darüber hinaus soziale Interaktionen einschränken und die Alltagsbewältigung zusätzlich erschweren (vgl. BMG 2025).

Die Zunahme psychischer Belastungen sowie die Reduktion der Leistungsfähigkeit haben weitreichende Konsequenzen, da sie zu einer grundlegend geringeren Arbeitskapazität und Produktivität führen (vgl. Bauer/Lehmann 2025: 34). Dies kann sowohl im Homeoffice als auch bei allgemeinen Erwerbstätigkeiten zu erheblichen ökonomischen Folgen führen und die in Kapitel 7.3 beschriebenen Belastungen im Arbeitskontext verstärken. Entsprechend bestehen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Belastungen und Vertiefungsszenarien. Die beschriebenen gesundheitlichen Risiken können während akuten Hitzephasen zu einer erheblichen Belastung des Gesundheitssystem führen (vgl. WHO 2021; Bundesärztekammer 2022; Deutscher Bundestag 2025).

Als Folge der Einschränkungen der Alltagsbewegung ziehen sich insbesondere vulnerable Gruppen wie ältere Menschen vermehrt in ihre eigenen vier Wände zurück (vgl. Zorn et al. 2021: 270), was physische Aktivitäten und soziale Teilhabe weiter einschränkt und die Isolation verstärkt (vgl. BMG 2025; Penger/Conrad 2025; Barth 2021). Diese während Hitzephasen verstärkte Isolation, die zusätzlich durch klimaunangepasste Wohnbedingungen und hohe Innenraumbelastungen begünstigt wird, kann weitere negative Folgen nach sich ziehen, darunter eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber Hitzestress (vgl. Jessel/Sawyer/Hernandez 2019: 14) sowie ein gesteigertes Mortalitätsrisiko (vgl. Vandentorren et al. 2006: 588 f.). Besonders betroffen sind dabei Personen, die sich nicht oder nur eingeschränkt selbst helfen können, etwa ältere, psychisch erkrankte oder sozial benachteiligte Menschen (vgl. Barth 2021: 25). Damit verschärfen diese Tendenzen zugleich bestehende soziale Ungleichheiten, da besonders Menschen mit begrenzten Ressourcen aufgrund geringerer Anpassungskapazitäten stärker von Isolation und gesundheitlichen Risiken betroffen sind (vgl. Jessel/Sawyer/Hernandez 2019; Mertes/Böse-O'Reilly/Schoierer 2020: 33, 35; Seebaß 2017: 137).

Wirkungskette „(Wohn-)Gebäudesubstanz“

Als direkte Wirkfolge thermischer Belastung können Schäden an der Gebäudesubstanz entstehen, wobei zahlreiche modifizierende Faktoren die Effekte bestimmen, wie beispielsweise die Lage, Exposition und Umgebung sowie die Bauart (Eigenschaften bezüglich Kühlung, Wärmespeicherung und Abstrahlung) (vgl. BMVBS 2013: 57).

Insbesondere die Bauteile der Gebäudehülle können auf hohe sowie langanhaltende Hitzeeinwirkungen negativ reagieren (vgl. BBSR 2023; Leistner et al. 2023): „Infolge thermischer Längenänderungen können Bauteile Spannungen oder Formveränderungen ausgesetzt sein und dadurch Schäden am Gebäude hervorrufen“ (BBSR 2023: 73). Dies kann sich in thermischen Spannun-

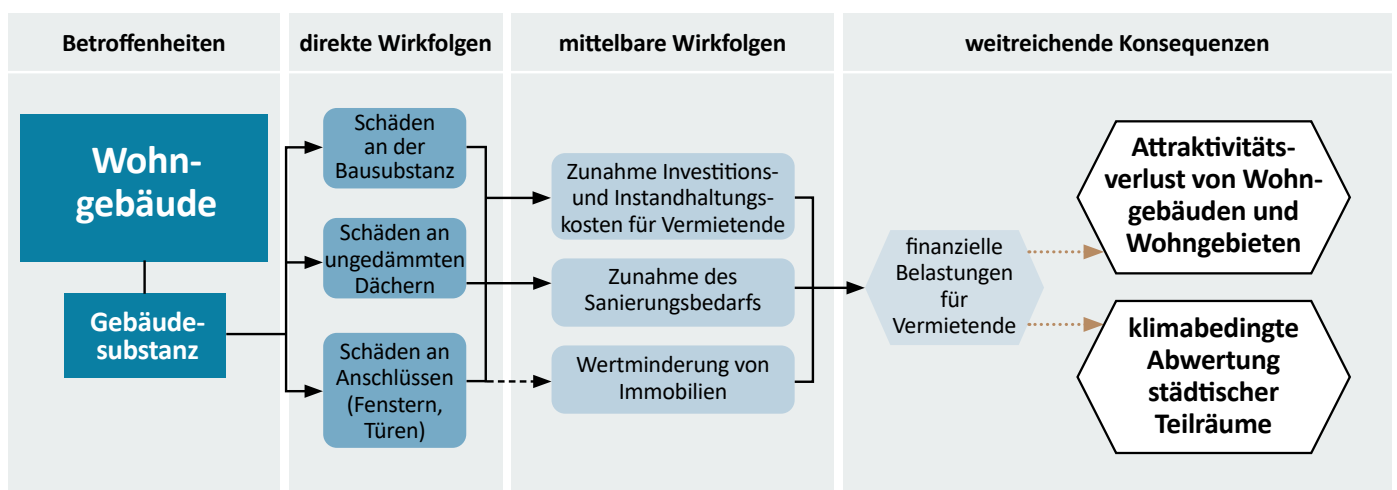
gen, Rissbildungen und Materialermüdung äußern, wie sie insbesondere bei großformatigen Glasscheiben sowie Beton- und Mauerwerksbauteilen auftreten (vgl. BBSR 2023, 2025; Leistner et al. 2023; IFB 2023). Erhöhte Temperaturschwankungen beziehungsweise -intervalle im Tag- und Nachtwechsel verstärken die Effekte (vgl. BBSR 2025). Lagefaktoren wie dichte Bebauung, wenig Grünflächen und eingeschränkte Luftzirkulation erhöhen das Schadensrisiko für Gebäude zusätzlich (vgl. IFB 2023), da sie nachteilige thermodynamische Prozesse begünstigen, insbesondere durch erhöhte Trockenheit, geringere Verschattung und das Fehlen kühlender Luftströme.

Ungedämmte Dächer reagieren ebenfalls empfindlich auf extreme Temperaturen und Sonneneinstrahlung. Dachbahnen können durch UV-Strahlung und Temperaturwechsel schneller altern, sich aufwölben oder Risse bilden, insbesondere an Übergängen zwischen unterschiedlich bestrahlten Flächen (vgl. BBSR 2025: 11). Auch Anschlüsse wie Fenster und Türen sind betroffen: Unterschiedliche Thermodynamiken von Materialien und beweglichen Bauteilen können im Extremfall zu thermischem Glasbruch, Funktionsstörungen oder weiteren Folgeschäden führen (vgl. BBSR 2023, 2025; Stock 2015).

Die potenziellen Schäden bei Hitzeeinwirkung lösen Reparatur- oder Sanierungsbedarfe aus, die eine Beseitigung der defekten Stellen, den Ersatz verschiedener Bauteile sowie eine erweiterte Instandhaltung umfassen (vgl. SMWA 2025) und steigende Kosten bedingen können (vgl. BMVBS 2013: 13). Künftig wird erwartet, dass dies bei der Bewertung von einzelnen Immobilien oder Immobilienportfolios negativ wirken wird, da verstärkt klimabedingte Risiken Angebot, Nachfrage und Marktpreise beeinflussen; insbesondere in extrem hitzegefährdeten (klimaunangepassten) Wohnbestandsgebieten oder bei Wohnbestandsbauten, die bislang nicht an die Auswirkungen des Klimawandels angepasst wurden (vgl. Kim/Brown 2025; SMWA 2025).

Langfristig ergeben sich daraus ökonomische Konsequenzen für Eigentümerinnen und Eigentümer. Dies kann dazu führen, dass Quartiere aufgrund klimabedingter Abwertung von Immobilien an Attraktivität verlieren. Potenzielle Szenarien sind Nachfrageverschiebungen zu weniger hitzebelasteten und geschädigten Gebäuden und Wohngebieten, Preisminderungen bei Mieten (vgl. Hutter et al. 2023: 230) sowie dementsprechende Leerstände (vgl. BMVBS 2013). Die Kombination aus Substanzschäden, erhöhten Kosten und Wertverlusten zeigt, dass Hitzebelastung nicht nur kurzfristige bauliche, sondern auch langfristige wirtschaftliche Folgen für städtische Strukturen hat.

Abbildung 11: Wirkungskette „Wohngebäudesubstanz“ im Vertiefungsszenario Wohngebäude und -quartiere



→ in der Literatur gut belegt --> deutet sich in der Literatur an fachliche Herleitung aus der Literatur -> Evidenz unklar

Quelle: agl

*Unbeschattete
Parkierungs-
flächen?*

Foto: Paulo/pixabay

7 Vertiefungsszenario: Gewerbegebäude und -gebiete

7.1 Beschreibung und Ausgangslage

Das dritte Vertiefungsszenario beleuchtet die potenziellen Auswirkungen zunehmender thermischer Belastung in Gewerbebestandsgebieten und den dort befindlichen Gewerbeeinheiten. In diesen Gebieten treffen unterschiedliche Funktionen zusammen: Sie sind geprägt durch Nutzungstypen mit unterschiedlichen thermischen Bedarfen, wie beispielsweise von Produktionsstätten in Innen- und Außenräumen, Lagerhallen und Logistikbauten, Verwaltungs- und Dienstleistungsgebäuden bis hin zu sensiblen Technikgebäuden. Beim Betrieb dieser Gewerbeeinheiten fallen zudem häufig weitere thermische Lasten durch technische Anlagen an.

Viele Gewerbegebiete, insbesondere ältere Bestandsgebiete, sind durch einen hohen Anteil versiegelter Flächen geprägt; in einigen Gebieten sind dies bis zu 80 % der Gesamtfläche (vgl. DStGB 2022: 17). Charakteristisch sind dabei vor allem großflächige Gebäude, wie Lager- und Produktionshallen, sowie versiegelte Verkehrs- und Lagerflächen im Außenraum. Diese Voraussetzungen begünstigen eine stärkere Erhitzung während den Sommermonaten und eine entsprechende Ausbildung von Wärmeinseln (vgl. DStGB 2022; Verbücheln et al. 2022, 2023; BBSR 2020: 64). Die durch hohe Versiegelung geprägte Bebauung mit defizitärer Grünraumausstattung und Frischluftversorgung erschwert zudem eine ausreichende Durchlüftung der Gebiete (vgl. DStGB 2022: 17). Entsprechend ergibt sich eine grundlegend hohe Hitzebelastung in den Gewerbegebieten sowie eine hohe Betroffenheit bei Hitzewellen.

Die Hitzebelastung bei gewerblicher Nutzung von Außenräumen kann sich durch mangelnde oder fehlende Verschattung verschärfen. Die Innenräume der Gewerbebauten werden in ihrem thermischen Komfort beeinflusst durch die Bauweise, die verwendeten Materialien, die Konstruktionen der Gebäudehülle sowie durch die Innenraumsegmentierungen (vgl. ebd.: 17). Zu den Belastungsfaktoren zählen zudem die Abwärme von Maschinen oder technischen Anlagen (vgl. Schoierer et al. 2021; BAuA 2026). Heterogene Nutzungsmuster mit Büro-, Produktions-, Lager- und Transportbereichen machen eine ganzheitliche Betrachtung der Belastungssituationen auf Ebene des Gewerbegebiets sowie der einzelnen Gewerbeeinheiten erforderlich.

Für Arbeitsstätten bestehen verbindliche rechtliche Anforderungen an den Schutz vor thermischer Belastung. Diese konkretisieren die Pflichten der Arbeitgebenden zur Gefährdungsbeurteilung und zur Umsetzung geeigneter technischer, organisatorischer oder personenbezogener Maßnahmen bei Hitze: Gemäß Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) A3.5 sind bei Raumtemperaturen über 26 °C – in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur – zusätzliche Maßnahmen vorzusehen; ab 30 °C sind auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung wirksame technische und organisatorische Maßnahmen verpflichtend umzusetzen. Wird eine Raumtemperatur von 35 °C überschritten, ist der Raum ohne besondere Schutzmaßnahmen nicht mehr als Arbeitsraum geeignet (vgl. BAuA/BMAS 2022: 6 f.). Die ASR A5.1 adressiert mit diesen Schwellenwerten explizit Arbeitsplätze im Freien (vgl. BAuA/BMAS 2025: 6).

In Kapitel 7.2 und Abbildung 12 visualisieren die Wirkungsketten die Konsequenzen der thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten, in Kapitel 7.3 werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst und in Kapitel 7.4 einzelne Wirkungsketten vertieft dargestellt.

7.2 Wirkungsanalyse „Konsequenzen der thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten“

Zur Darstellung der Auswirkungen zunehmender Hitzebelastung in Gewerbegebieten wurden auf Basis der Literaturrecherche drei zentrale Wirkbereiche analysiert:

- Ein prioritärer Wirkbereich ist die Betroffenheit der **Arbeitsbevölkerung**, wobei spezifisch die gesundheitlichen Auswirkungen sowie, aufgrund des ökonomischen Kontexts, die Folgen für die Leistungsfähigkeit dargestellt werden. Es werden sowohl die Folgen für die Arbeitnehmenden selbst als auch für die gewerblichen Betriebe analysiert.
- Vergleichbar zu den Wohngebäuden wurden auch für **Gewerbegebäude** die Auswirkungen auf Gebäudenutzung, -betrieb und -substanz recherchiert. Hinsichtlich der Gebäudenutzung spielen überhitzte Arbeits- und Lagerräume mit direkten Auswirkungen auf Beschäftigte und Betriebsabläufe eine große Rolle. Beim Gebäudebetrieb können erhöhte Kühl- und Energiebedarfe Einfluss nehmen auf Produktions- und Betriebsprozesse. Bei der Gebäudesubstanz kann Hitzeeinwirkung langfristig Schäden an Gebäuden und technischen Anlagen verursachen.
- Der dritte Wirkbereich betrifft die **Außenräume**. Insbesondere Aspekte der Funktionalität (Lagerung, Transport) sowie der Nutzung als Aufenthaltsraum werden in diesem Kontext berücksichtigt.

7.3 Zentrale Erkenntnisse

Die Auswirkungen im Vertiefungsszenario „Konsequenzen der thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten“ (vgl. Abb. 12) lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Hohe Innenraumbelastung von Gewerbegebäuden: Zunehmende Hitzebelastung bei unzureichender Anpassung sowie zusätzliche interne Wärmeeinträge, insbesondere durch technische Anlagen und Produktionsprozesse, führen in Gewerbegebäuden zu erheblicher thermischer Innenraumbelastung – mit Auswirkungen auf Arbeitnehmende, Produktion und Gebäudesubstanz. Die Temperaturen in Arbeitsräumen und Lagern steigen häufig über 26 °C, teilweise über 30 °C, was den Arbeitskomfort einschränkt, die Nutzbarkeit von Räumen reduziert und den Kühlbedarf erhöht (vgl. Bauer et al. 2022; Bauer/Lehmann 2025; Verbücheln et al. 2023).

Gesundheitliche Folgen für die Beschäftigten: Eine zunehmende Hitzebelastung in Gewerbegebieten wirkt sich zu Lasten der Arbeitnehmenden aus. Die direkten gesundheitlichen Folgen für die Beschäftigten sind in der Literatur gut belegt (vgl. z. B. Bauer et al. 2022; Peters 2024; BAuA 2026): Die Hitze kann akute Erkrankungen wie Kreislaufkollaps oder Hitzschlag auslösen und bestehende chronische Erkrankungen verschlimmern. Dadurch sind Risikogruppen besonders gefährdet. Insbesondere körperlich aktive Arbeit intensi-

viert die Hitzebelastung und führt zu schnellerer Erschöpfung (vgl. Gabriel/Bux 2022; Dehl et al. 2024).

Zunahme von Arbeitsunfällen: Relevant ist besonders die nachweisliche Zunahme von Arbeitsunfällen in Hitzephasen (vgl. Mangelsdorf/Meier 2025; Bauer et al. 2022). Die Zunahme der Arbeitsunfälle sowie der Arbeitsunfähigkeitstage hat erhebliche weitreichende Konsequenzen, wie die Belastung des Gesundheitssystems oder eine potenziell dauerhafte Beeinträchtigung der Gesundheit und Arbeitsfähigkeit der Arbeitnehmenden.

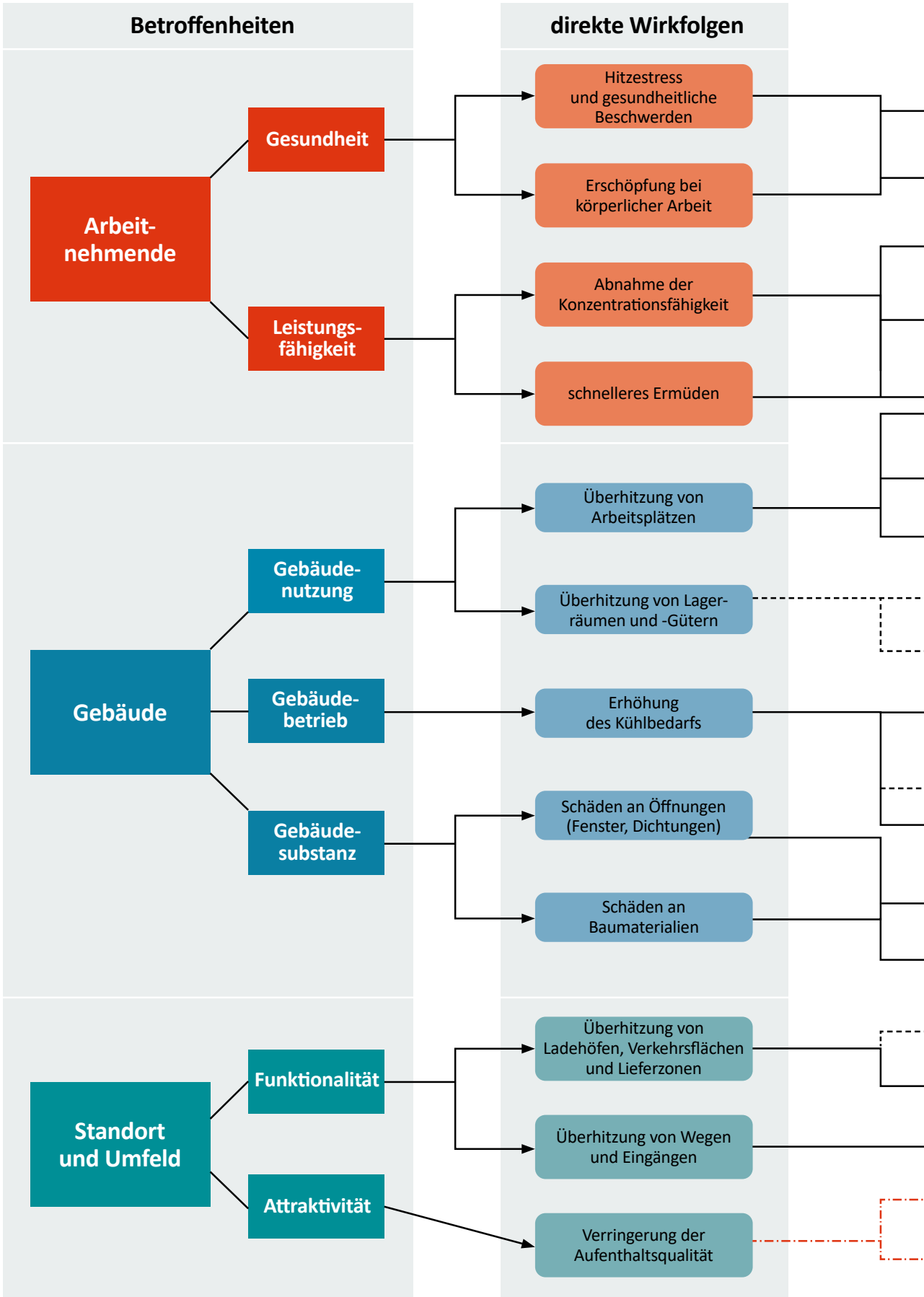
Minderung der Leistungsfähigkeit der Beschäftigten: Neben den direkten gesundheitlichen Folgen führt Hitzestress zudem zu einer abnehmenden Konzentration (direkte Wirkfolge) und damit einer eingeschränkten (v. a. körperlichen) Leistungsfähigkeit (mittelbare Wirkfolge) (vgl. Lösch 2017: 221), was sich in einer erhöhten Fehleranfälligkeit, verlangsamten Arbeitsprozessen und einer reduzierten Arbeitsintensität niederschlägt. In der Folge können Arbeitsabläufe unterbrochen werden, Pausen- und Erholungszeiten zunehmen sowie Qualitätsverluste auftreten, wodurch sich betriebliche Effizienz- und Produktivitätseinbußen ergeben (vgl. z. B. Kjellstrom et al. 2019; Hübler/Klepper 2007; UBA 2022).

Minderung der Produktivität: Im Zuge von Hitzewellen lässt sich eine Zunahme von Krankschreibungen und Ausfällen nachweisen (vgl. Dehl et al. 2024; Schoierer et al. 2021: 97). Die Ausfälle und Produktivitätsverluste (vgl. Kap. 7.4) haben zudem erhebliche ökonomische Folgen. Dazu zählen eine reduzierte Effizienz, Schwächungen und Störungen in Betriebsabläufen, die sich letztlich auf die Wertschöpfung auswirken (vgl. Trenczek et al. 2022; Fitzenberger/Hack 2025).

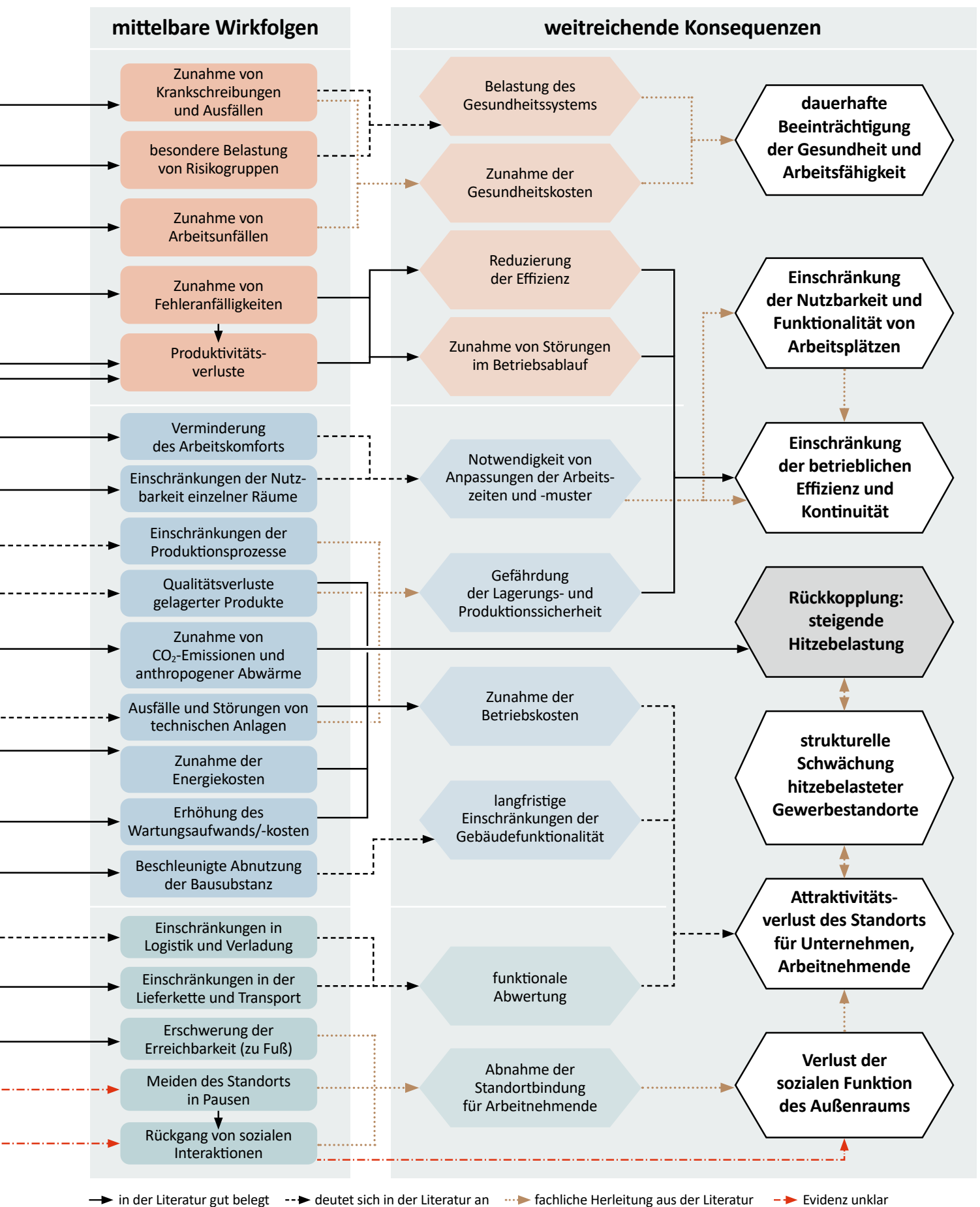
Störungen im Produktionsprozess und steigende Betriebskosten: Lagerräume und temperaturempfindliche Güter sind besonders gefährdet, da hohe Temperaturen Materialschäden, Qualitätsverluste und Funktionsstörungen an Maschinen begünstigen (vgl. Benden et al. 2012; StMUV 2014). Im Produktionsbetrieb führen Hitze und steigender Energiebedarf zu einer höheren Belastung technischer Anlagen, wodurch Störungen und Ausfälle wahrscheinlicher werden (vgl. Benden 2013; Verbücheln et al. 2022). Gleichzeitig steigen der Energieverbrauch, der damit verbundene CO₂-Ausstoß und die Betriebskosten, vor allem durch den erhöhten Kühlaufwand (vgl. UBA 2021b, c; Verbücheln et al. 2023). Die dabei entstehende Abwärme wird an den Außenraum abgegeben und kann dort zu einer zusätzlichen Erwärmung beitragen, wodurch sich die Hitzebelastung im Umfeld weiter verstärken kann (vgl. Jin et al. 2020; Salamanca et al. 2014). Diese Effekte wirken sich mittelbar auf die Effizienz und Zuverlässigkeit betrieblicher Abläufe aus, da Produktionsunterbrechungen, Qualitätsverluste und organisatorische Anpassungen wie Schichtverlagerungen notwendig werden (vgl. Bauer et al. 2022; Verbücheln et al. 2022). Insgesamt führt die Häufung dieser direkten und mittelbaren Wirkungen zu wirtschaftlichen Belastungen und erhöhten Risiken für Unternehmen in den hitzebelasteten Gewerbegebieten (vgl. Benden 2013; Verbücheln et al. 2023).

Schäden an der Gebäudesubstanz: Es besteht die Gefahr von hitzebedingten Bauteilschäden an der Gebäudehülle (vgl. BBSR 2025) sowie Schäden an Anschlüssen und Öffnungen. Diese sind mit einer schnelleren Abnutzung der Bausubstanz und entsprechend kürzeren Lebensdauern sowie vermehrtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand verbunden. Damit steigen – neben Energiekosten und Produktionsverlusten – zugleich die Betriebskosten. Entsprechend sind die potenziellen ökonomischen Nachteile für Unternehmen in hitzebelasteten Gewerbebeständen als ein zentrales Risiko ausbleibender Anpassungsmaßnahmen im Nichthandeln-Szenario „Gewerbe“ anzusehen (vgl. Verbücheln et al. 2023; Trenczek et al. 2022; Benden et al. 2012).

Abbildung 12: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten“



Quelle: agl



Hitzebelastung des gewerblich genutzten Außenraums: Werden keine Anpassungsmaßnahmen ergriffen, besteht das Risiko, dass der Außenraum als Produktions-, Lager-, Verkehrs- oder Lieferraum durch Überhitzung nur eingeschränkt nutzbar ist (vgl. Verbücheln et al. 2022, 2023; StMUV 2014). Für Arbeitnehmende ist die Attraktivität des Außenraums als Pausenstandort oder Treffpunkt für soziale Interaktionen relevant. Hier besteht das Risiko, dass die sozialen Funktionen verloren gehen, da die Standorte gemieden werden und grundlegende soziale Interaktionen während Hitzephasen darunter leiden.

Attraktivitätsverlust der Arbeitsorte: Diese Entwicklungen können durch einen Verlust an Wettbewerbsvorteilen zu einem grundlegenden Attraktivitätsverlust der hitzebelasteten Gewerbegebiete führen. In der Folge können Unternehmen abwandern, was zu Leerständen, Trading-down-Prozessen und einer strukturellen Schwächung der betroffenen Gewerbestandorte führen kann (vgl. Sieber 2020).

7.4 Wirkungsketten im Fokus

Die in Abbildung 12 im Überblick dargestellten Wirkungsketten werden im Folgenden anhand von drei ausgewählten Wirkungssträngen vertiefend erläutert (vgl. Abb. 13 und 14).

Wirkungskette „Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden“

Im Bereich von Gewerbegebieten spielen die potenziellen Auswirkungen und Risiken von Hitze auf die Arbeitnehmenden eine zentrale Rolle. Neben potenziellen gesundheitlichen Belastungen (vgl. Bauer et al. 2022; Peters 2024; BAuA 2026) wirkt sich Hitze auch direkt auf die Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden und im Endeffekt auf die betriebliche Produktivität aus. Betroffen sind hier sowohl Personen, die in einem Büro arbeiten, als auch Personen, die in der Produktion tätig sind oder im Freien arbeiten.

Bei zunehmender Hitzebelastung in Gewerbegebieten treten zunächst unmittelbare physiologische und kognitive Beeinträchtigungen auf. Es kommt zu Konzentrationsmängeln und zu einer geringeren Konzentrationsfähigkeit (vgl. Bux 2023; BAuA 2026). Verstärkt wird dies durch schnelleres Ermüden, das sowohl durch akuten Hitzestress bedingt ist als auch durch nächtliche thermische Belastungen und daraus resultierende Schlafprobleme (vgl. Kap. 6.2; Bux 2023; Dehl et al. 2024). Diese Effekte wirken sich nicht nur kurzfristig auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit aus, sondern können bei anhaltender Belastung auch längerfristige gesundheitliche Folgen nach sich ziehen.

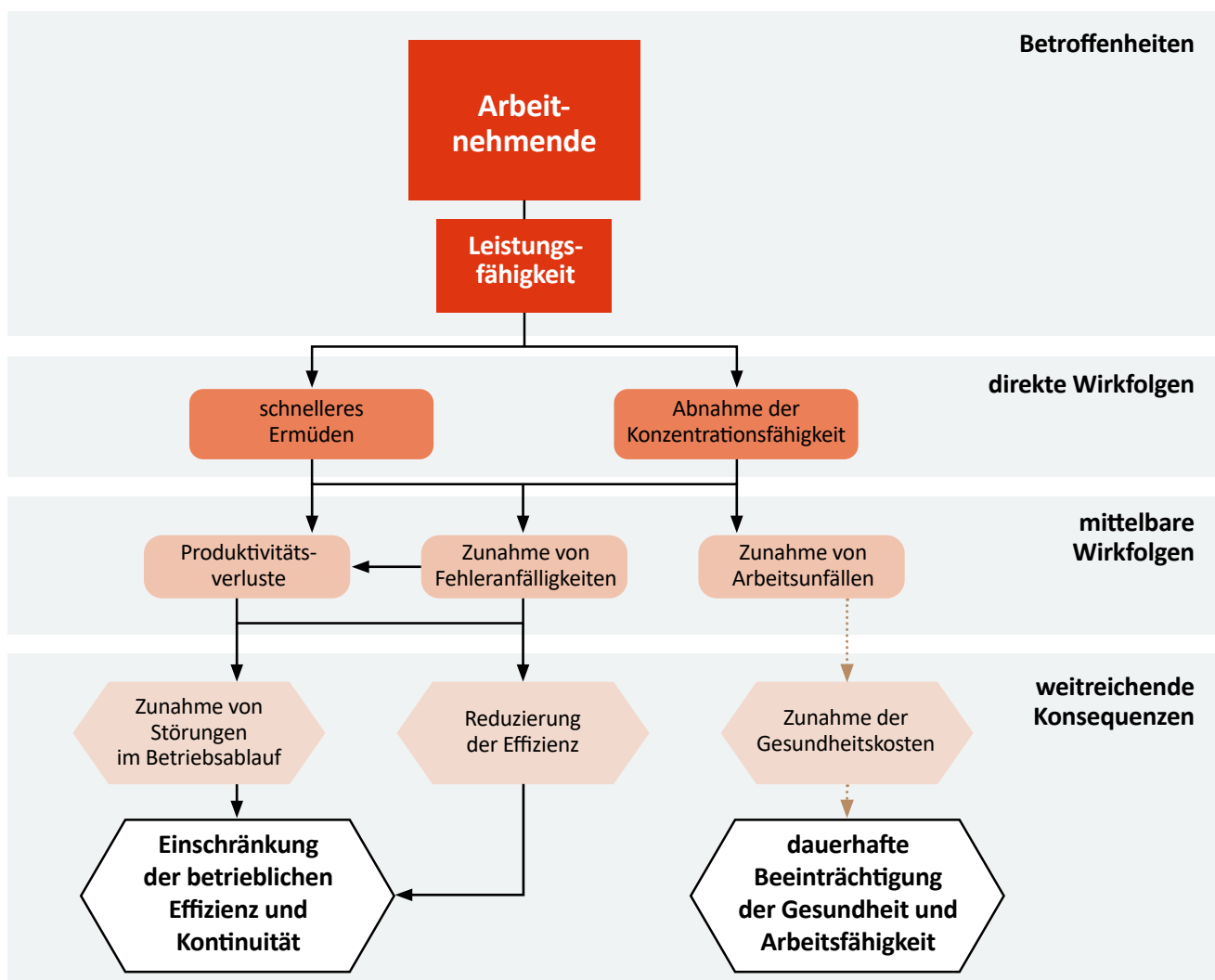
Die Einschränkung der Konzentrationsfähigkeit führt mittelbar zu erhöhter Fehler- und Unfallanfälligkeit. Sinkende Aufmerksamkeitsspannen und verlangsamte Reaktionszeiten beeinträchtigen die Arbeitssicherheit, insbesondere bei Tätigkeiten mit hoher Präzision oder körperlicher Beanspruchung (vgl. UBA 2023; BAuA 2026). Bereits bei Temperaturen über 25 °C zeigen sich signifikante Leistungseinbußen und mehr Fehler (vgl. Lin et al. 2025: 1). Der Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und Arbeitsunfällen ist zudem in der Literatur gut belegt: Mit steigenden Temperaturen nimmt die Zahl der Arbeits- und Wegeunfälle zu, wobei das Risiko an Tagen mit hoher thermischer Belastung besonders ausgeprägt ist (vgl. Bauer et al. 2022: 55; Mangelsdorf/Meier 2025: 31). Beschäftigte im Freien oder in Produktionsumgebungen sind besonders betroffen, da hier körperliche Beanspruchung und Umgebungstemperaturen zusammentreffen (vgl. Bux 2023: 551; Peters 2024: 10).

Die Beeinträchtigungen führen langfristig zu reduzierten Arbeitsleistungen und messbaren Produktivitätsverlusten. Mit steigender Temperatur sinkt die

individuelle Leistungsfähigkeit kontinuierlich: Ab einer Raumtemperatur von etwa 26 °C verringert sich die Arbeitsleistung spürbar, wobei sie bei 33 bis 34 °C um bis zu 50 % abnehmen kann (vgl. Kjellstrom et al. 2019: 13). Es wurden Produktivitätsverluste zwischen 3 % und 12 % festgestellt; bei Temperaturen bis zu 30 °C können Denk- und Schreibfähigkeiten so stark beeinträchtigt sein, dass Büroangestellte nur noch etwa 70 % ihrer Leistung erbringen (vgl. Hübler/Klepper 2007). Studien aus Industrie und Landwirtschaft bestätigen, dass mit steigenden Temperaturen eine sinkende Produktion und häufiger notwendige Arbeitspausen einhergehen (vgl. Bauer et al. 2022: 54 f.; Verbücheln et al. 2023: 18).

Wiederkehrende Hitzebelastungen führen zu Unterbrechungen von Arbeitsabläufen, häufigeren Pausen, Gesundheitsausfällen und insgesamt geringerer betrieblicher Stabilität (vgl. Bauer et al. 2022). Dadurch entstehen Störungen in der Produktionskette und Effizienzeinbußen auf betriebswirtschaftlicher Ebene (vgl. Fitzenberger/Hack 2025: 13). In der Folge erweisen sich zunehmende Hitzebelastungen nicht nur als gesundheitliches, sondern zugleich als wirtschaftliches Risiko für Unternehmen (vgl. Schoierer et al. 2021). Entsprechend können hitzebelastete Standorte an Attraktivität sowohl für die Unternehmen als auch für Arbeitnehmende verlieren.

Abbildung 13: Wirkungskette der „Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden“ im Vertiefungsszenario Gewerbegebäude und -gebiete



→ in der Literatur gut belegt --> deutet sich in der Literatur an ... fachliche Herleitung aus der Literatur -> Evidenz unklar Quelle: agl

Wirkungskette „Betrieb und Nutzung von gewerblich genutzten Gebäuden“

In der Gebäudenutzung führen steigende Temperaturen zunächst zu direkten Wirkfolgen wie der Überhitzung von Arbeitsplätzen in Büroräumen. Untersuchungen zeigen, dass die Temperaturgrenzwerte in vielen Büros deutlich überschritten werden; häufig liegen die Raumtemperaturen über 26 °C, in einem Drittel der Fälle sogar über 30 °C (vgl. Bauer/Lehmann 2025). Dies beeinträchtigt Leistungsfähigkeit, Konzentration und Wohlbefinden der Beschäftigten erheblich und erhöht gleichzeitig den Bedarf an Kühlung (vgl. Verbücheln et al. 2023). Als mittelbare Wirkfolgen der Überhitzung sinkt der Arbeitskomfort und die Nutzbarkeit einzelner Räume wird eingeschränkt. Überhitzte Arbeitsplätze können zeitweise nicht genutzt werden, was zu organisatorischen Einschränkungen führt (vgl. Kap. 7.3).

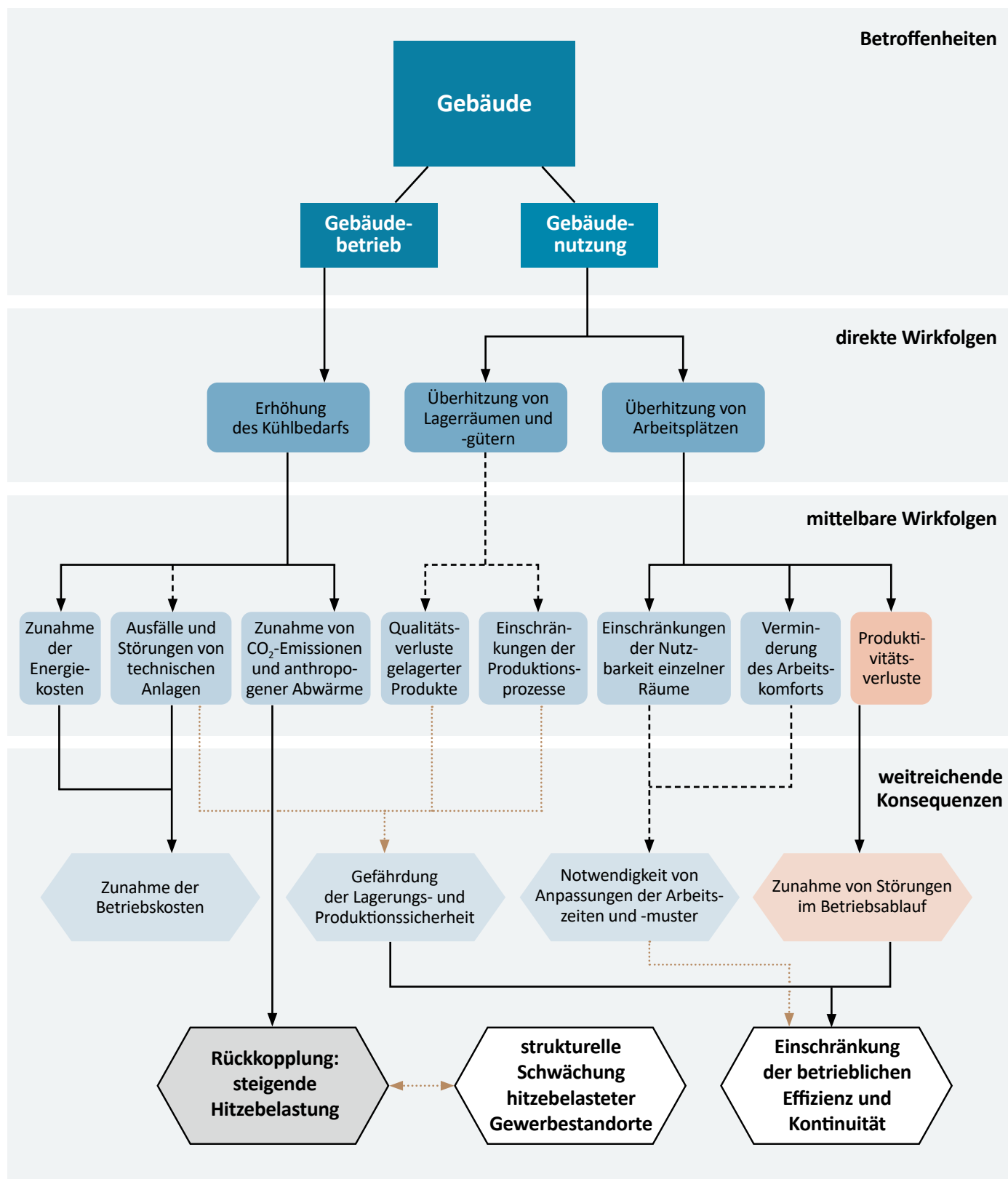
Auch Lagerräume und Lagergüter in Innen- und Außenräumen sind betroffen: Durch hohe Temperaturen können Materialien und Produkte Schaden nehmen, insbesondere bei temperaturempfindlicher Lagerung. Dies betrifft sowohl die Qualität und Haltbarkeit gelagerter Produkte als auch die Funktionsfähigkeit hitzeempfindlicher Maschinen und technischer Anlagen; in der Folge können Betriebsstörungen, Materialschäden und Produktverluste zunehmen (vgl. Benden et al. 2012; StMUV 2014).

Diese Probleme wirken sich sowohl auf die Effizienz als auch auf die Zuverlässigkeit betrieblicher Abläufe aus. Als weitreichende Konsequenzen ergeben sich daraus die Notwendigkeit, Arbeitszeiten und -muster anzupassen, etwa durch Schichtverlagerungen in kühlere Tageszeiten (vgl. Bauer et al. 2022: 84). Gleichzeitig steigt die Gefährdung der Lagerungs- und Produktionssicherheit, wenn Kühlanlagen überlastet sind oder ausfallen, da Produktionsausfälle in Hitzeperioden bei unzureichender Kühlung nicht auszuschließen sind (vgl. Verbücheln et al. 2022). Damit entstehen betriebliche Risiken, die sich langfristig auf die Qualität von Produkten und Prozessen auswirken.

Für den Gebäudebetrieb ergeben sich ebenfalls direkte Wirkfolgen: Durch die Aufheizung von Innenräumen und technischen Anlagen steigt der Kühlbedarf erheblich, was unmittelbar zu einem höheren Energieverbrauch und steigendem CO₂-Ausstoß führt (vgl. UBA 2021c: 72; Verbücheln et al. 2023; Benden et al. 2012). Laut Umweltbundesamt (2021b, c) wird im Zuge des Klimawandels der Bedarf an Kühlenergie in Unternehmen mittel- und langfristig weiter zunehmen. Als mittelbare Wirkfolgen bei intensiver Hitzebelastung können Anlagenausfälle und Störungen technischer Anlagen auftreten, da hohe Temperaturen und ein steigender Strombedarf die technische Belastung von Maschinen, Lüftungs- und Kühlsystemen erhöhen (vgl. Benden 2013; Verbücheln et al. 2022).

Die weitreichenden Konsequenzen äußern sich in steigenden Betriebskosten und wirtschaftlichen Verlusten, insbesondere durch den erhöhten Energie- und Kühlbedarf sowie durch potenzielle Lager- und Produktionsschäden (vgl. StMUV 2014; Benden et al. 2012). Überhitzung und Störungen der Anlagen erhöhen zudem das Risiko von Betriebsunterbrechungen und Qualitätsverlusten, wodurch kumulative wirtschaftliche Belastungen entstehen, die langfristig die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beeinträchtigen können (vgl. Benden et al. 2012; Benden 2013; Verbücheln et al. 2023). Gleichzeitig bestehen Rückkopplungsgefahren durch den steigenden Energiebedarf und die damit verbundene Abwärme, die eine weitere Verstärkung der Hitzebelastung begünstigen können (vgl. Salamanca et al. 2014: 5960 f.).

Abbildung 14: Wirkungskette „Betrieb und Nutzung von gewerblich genutzten Gebäuden“
im Vertiefungsszenario Gewerbegebäude und -gebiete



→ in der Literatur gut belegt

--> deutet sich in der Literatur an

---> fachliche Herleitung aus der Literatur

-> Evidenz unklar

Quelle: agl

8

Übergreifende Schlussfolgerungen

*Was
bedeutet
Nichthandeln?*

Die Analyse der potenziellen Auswirkungen zunehmender Hitzebelastungen in den drei „Nichthandeln“-Szenarien zeigt weitreichende negative Folgen in unterschiedlichen gesellschaftlichen, ökologischen und wirtschaftlichen Bereichen, wenn wirksame Anpassungsmaßnahmen ausbleiben. Dabei können Hitzetrisiken nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind Teil komplexer Zusammenhänge.

Insbesondere die **Zunahme gesundheitlicher Hitzetrisiken** für die Wohnbevölkerung, für Arbeitnehmende und für die Stadtgesellschaft allgemein wird deutlich. Die Folgen reichen von direkten körperlichen und psychischen Beeinträchtigungen über eingeschränkte Leistungsfähigkeit, Unfallanfälligkeit und Produktivität bis hin zu einer Zunahme der Mortalität bei Hitzewellen. Besonders gravierend sind die hohen Risiken für vulnerable Gruppen.

Zunehmender Hitzestress kann zu einer **Verschärfung sozialer Ungleichheiten** in Städten führen. Ursachen hierfür liegen vor allem in den vielfältigen Aus- und Wechselwirkungen von thermischer Belastung in Verbindung mit einer ungleichen räumlichen Verteilung der (Mehrfach-)Belastungen in der Stadt sowie einer differenzierten Vulnerabilität der Stadtbevölkerung gegenüber Hitzestress. Personen und Haushalte mit hoher Hitzesensitivität und gleichzeitig wenig verfügbaren Ressourcen im Umgang mit Hitzetrisiken können sich nur eingeschränkt schützen oder den Hitzebelastungen ausweichen. Dies verstärkt bestehende soziale Ungleichheiten in verschiedenen Kontexten und kann räumliche sowie ökonomische Segregationsprozesse begünstigen.

Thermische Belastung schränkt die Funktionsfähigkeit und Nutzbarkeit von Gebäuden und Infrastrukturen ein. Konkret bedeutet dies Materialermüdung und Funktionsstörungen an Gebäudesubstanz und Infrastrukturen, höhere Instandhaltungs- und Betriebskosten sowie Wertverluste bei Immobilien. Langfristig können damit **strukturelle Veränderungen und Attraktivitätsverluste in stark hitzebelasteten Wohn- und Gewerbegebieten** einhergehen: Bereiche, die überhitzt und schlecht angepasst sind, verlieren sowohl für die Wohnbevölkerung als auch für Unternehmen an Nutzungsmöglichkeiten, Lebensqualität und ökonomischem Wert, während besser angepasste Quartiere tendenziell aufgewertet werden. Diese Tendenzen haben gleichzeitig das Potenzial, die beschriebenen sozialen Ungleichheiten zusätzlich zu verschärfen: Einkommensschwächere Haushalte verbleiben in überhitzten und abgewerteten Quartieren, während wohlhabendere Gruppen in besser angepasste Bereiche abwandern.

Thermische Belastung führt darüber hinaus zu **Funktionsverlusten öffentlicher (Bewegungs-)Räume**. Diese werden zunehmend unattraktiv, da Nutzbarkeit und Aufenthaltsqualität durch Hitzestress abnehmen oder ganz verloren gehen. Diese Wirkfolgen schränken die Mobilität und Bewegung der Stadtbevölkerung sowie soziale Interaktionen und Erholung (gravierend) ein. Das Mobilitätsverhalten verschiedener Verkehrsteilnehmender kann sich durch Hitzestress in Straßenräumen nachhaltig verändern, etwa durch eine Anpassung oder Vermeidung von Wegen oder durch einen verstärkten Rückgriff auf klimatisierte Verkehrsmittel. Besonders vulnerable Gruppen sind aufgrund eingeschränkter Anpassungsmöglichkeiten betroffen, wodurch bestehende soziale Ungleichheiten verstärkt werden. Zugleich führen hitzebelastete Außenräume dazu, dass städtische Teilräume, die ohnehin stärker von Hitze betroffen sind, zusätzlich an Lebensqualität, sozialer Funktion und Attraktivität verlieren.

Die **ökonomischen Folgen** und „Kosten des Nichthandelns“ summieren sich direkt oder indirekt für alle Gesellschaftsbereiche auf: Überhitzte Wohn- und Gewerbegebiete führen zu steigenden Energie- und Betriebskosten, Produktionsausfällen, erhöhtem Wartungsbedarf, Wertverlusten von Immobilien sowie notwendigen individuellen Maßnahmen. Unternehmen, private Haushalte und die öffentliche Hand tragen die finanziellen Belastungen dieser vielfältigen Auswirkungen.

Trotz vielfältiger Forschung und praktischer Umsetzung bleiben weiterhin **relevante Forschungsdefizite** hinsichtlich spezifischer Auswirkungen thermischer Belastung. Dazu zählen beispielsweise detaillierte und kleinräumige Daten zur Innenraumbelastung, Vegetationsbrandrisiken an den Schnittstellen zwischen Grünbestand und technischer Infrastruktur sowie belastbare Erkenntnisse zu langfristigen Schäden an der Gebäudesubstanz durch Bodenaustrocknung und -setzung. Auch die langfristigen und kumulativen Folgen zunehmender Hitzebelastung in Städten sind bislang wenig erforscht.

Insgesamt zeigt sich: Nichthandeln bei steigender Hitzebelastung verschärft gesundheitliche Risiken, trifft vulnerable Gruppen besonders stark, verstärkt soziale Ungleichheiten, führt zu steigenden Kosten und wirtschaftlichen Belastungen und mindert die soziale und funktionale Qualität von Wohn-, Arbeits- und Außenräumen gleichermaßen. Die Auswertung im Rahmen der Studie und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen unterstreichen die Dringlichkeit und Relevanz vorbeugender Maßnahmen zur Hitzevorsorge in den Städten.

Literaturverzeichnis

an der Heiden, M.; Buchien, S.; Winklmayr, C., 2025: DAS: Weiterentwicklung und Harmonisierung des Indikators zur hitzebedingten Übersterblichkeit in Deutschland. Abschlussbericht. Herausgeber: Umweltbundesamt. Umwelt und Gesundheit 04/2025. Berlin/Dessau-Roßlau.

Anguelovski, I.; Kotsila, P.; Lees, L.; Triguero-Mas, M.; Calderon-Argelich, A., 2024: From heat racism and heat gentrification to urban heat justice in the USA and Europe. *Nature Cities*, (2): 8–16.

Barth, M., 2021: Übersicht zu den psychologischen Folgen von sozialer Isolation und von Hitze. In: Kunze, S.; Krimmling, J.; Bolsius, J.; Naumann, T.; Barth, M. (Hrsg.): Minderung sommerlicher Überhitzung in Wohngebäuden. Handlungsanleitung für klimagerechtes Bauen und Sanieren. Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH. Dresden: 23–26.

Basu, R.; Colaninno, N.; Alhassan, A.; Sevtsuk, A., 2024: Hot and bothered: Exploring the effect of heat on pedestrian route choice behavior and accessibility. *Cities*, (155), Artikel 105435.

Basu, R.; Samet, J. M., 2002: Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24. Jg. (2): 190–202.

Batur, I.; Alhassan, V. O.; Chester, M. V.; Polzin, S. E.; Chen, C.; Bhat, C. R.; Pendyala, R. M., 2024: Understanding how extreme heat impacts human activity-mobility and time use patterns. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (136), Artikel 104431.

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2026: Klima. Zugriff: https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung/Gefaehrdungsbeurteilung/Handbuch-Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Arbeitsumgebungsbedingungen/Klima/Klima_dossier?nn=e184f302-7aec-4d0d-b5f9-bf79eb-84b7af [abgerufen am 13.02.2026].

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2022: Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur ASR A3.5. Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA). Ausgabe Juni 2010, zuletzt geändert GMBI 2022: 198.

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2025: Beurteilung der Gefährdungen durch Hitze und Maßnahmen an Arbeitsplätzen in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen im Freien. Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA). Schriftlicher Beschluss des ASTA vom 21.08.2025. Zugriff: https://www.baua.de/DE/Die-BAuA/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/ASTA/pdf/Hitze.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [abgerufen am 24.06.2026].

Bauer, A.; Lehmann, H., 2025: Sommerhitze an Büroarbeitsplätzen: Studie und Handlungsempfehlungen. *DGUV forum*, (7-8): 34–35.

Bauer, S.; Bux, K.; Dieterich, F.; Gabriel, K.; Kienast, C.; Klar, S.; Alexander, T., 2022: Klimawandel und Arbeitsschutz. Herausgeber: BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Baua: Bericht. Dortmund/Berlin/Dresden.

BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2013: Abschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Hitzewellen und Starkregen. Praxis im Bevölkerungsschutz Band 11. Auflage 09/2013. Bonn.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2020: Nachhaltige Weiterentwicklung von Gewerbegebieten. Ergebnisbericht zum ExWoSt-Forschungsfeld. Bonn.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2023: Wissenschaftliche Weiterentwicklung des klimaresilienten und klimaangepassten Bauens im Bauplanungs- und Bauordnungsrecht sowie in technischen Regelwerken und Standards. Forschungsprogramm Zukunft Bau. Bonn.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2025: Risikoszenarien für Gebäude und Bauteile resultierend aus Hitze, Trockenheit und Dürre. Teilprojekt aus: Wissenschaftliche Weiterentwicklung des Klimaangepassten Bauens im Bereich Fachgesetzgebung Forschungsprogramm Zukunft Bau. Bonn.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung, 2026: Urban Heat Labs – Hitzevorsorge in Stadtquartieren und Gebäuden. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/exwoSt/jahr/2024/urban-heat-labs/01-start.html> [abgerufen am 11.02.2026].

Beckedahl, H. J.; Schrödter, T.; Koppers, S.; Mansura, D.; Reutter, O., 2021: Asphaltoberbau und extreme Temperaturen. Herausgeber: BaSt – Bundesanstalt für Straßenwesen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Straßenbau Heft S 156. Bergisch Gladbach.

Beckmann, S. B.; Hiete, M.; Beck, C., 2021: Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments – Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany. *Climate Risk Management*, 32. Jg. (1-2), Artikel 100286.

- Benden, J., 2013: Gewerbeflächen im Klimawandel – Umgang mit Klimatrends und Extremwettern. Zugriff: <https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/037658/index.php> [abgerufen am 13.02.2026].
- Benden, J.; Riegel, C.; Trum, A.; Theißen, A.; Roelen, R.; Wentz, F., 2012: Gewerbeflächen im Klimawandel. Leitfaden zum Umgang mit Klimatrends und Extremwettern. Herausgeber: Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr (ISB) der RWTH Aachen; StädteRegion Aachen. Aachen.
- BMG – Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg.), 2025: Fakten und Grundlagen. Zugriff: <https://hitzeservice.de/fakten-und-grundlagen/> [abgerufen am 20.08.2025].
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2013: ImmoRisk: Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft. Forschungen 159. Bonn/Berlin.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2020: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertenetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019. Berlin.
- Böcker, L.; Dijst, M.; Prillwitz, J., 2013: Impact of everyday Weather on individual Daily travel Behaviours Perspective: A Literature Review. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 33. Jg. (1): 71–91.
- Böll, S. 2018: Stadtbäume der Zukunft. Wichtige Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „Stadtgrün 2021“. Herausgeber: LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Veitshöchheim.
- Böll, S.; Roloff, A.; Bauer, K.; Paeth, H.; Melzerm M., 2021: Trockenstressreaktionen heimischer und nicht-heimischer Stadtbaumarten in Extremsommern. Herausgeber: LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Veitshöchheim.
- Borsky, S.; Fesselmeyer, E.; Vogelsang, L., 2024: Urban heat and within-city residential sorting. *Journal of environmental Economics and Management*, 127. Jg., Artikel 103014.
- Brandt, L.; Heinz, A., 2024: Klimakrise und Psychiatrie. *Der Nervenarzt*, 95. Jg.: 1005–1012.
- Breitner, S.; Pickford, R.; Schneider, A., 2021: Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen: Einfluss auf Morbidität und Mortalität. In: Günster, C.; Klauber, J.; Robra, B.-P.; Schmuker, C.; Schneider, A. (Hrsg.): *Versorgungs-Report Klima und Gesundheit*. Berlin: 105–116.
- Breitner-Busch, S.; Mücke, H.-G.; Schneider, A.; Hertig, E., 2023: Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. *Journal of Health Monitoring*, 8. Jg. (4): 111–131.
- Brune, M., 2016: Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. Herausgeber: GERICS – Climate Service Center Germany. Report 24. Hamburg.
- Bundesärztekammer, 2022: Gesundheitswesen auf Hitzewellen nicht vorbereitet. Zugriff: <https://www.bundesaerztekammer.de/presse/informationsdienste/informationsdienst-baekground/detail/gesundheitswesen-auf-hitzewellen-nicht-vorbereiten> [abgerufen am 19.02.2025].
- Burghard, U.; Helferich, M.; Hille, C.; Tröger, J.; Graf, A.; Dütschke, E., 2025: Radfahren in Zeiten des Klimawandels – macht Hitze das Radfahren (im Alltag) unattraktiver? *Journal für Mobilität und Verkehr*, (23): 22–29.
- Bux, K., 2023: Klimawandel – Hitze – Arbeitsschutz. *Sicher ist Sicher*, 74. Jg.: 550–554.
- Chakraborty, T. C.; Newman, A. J.; Qian, Y.; Hsu, A.; Sheriff, G., 2023: Residential segregation and outdoor urban moist heat stress disparities in the United States. *One Earth*, (6): 738–350.
- Colaninno, N.; Basu, R.; Hosseini, M.; Alhassan, A.; Liu, L.; Sevtsuk, A., 2024: A sidewalk-level urban heat risk assessment framework using pedestrian mobility and urban microclimate modeling. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 52. Jg. (5): 1071–1090.
- Colelli, F. P.; Wing, I. S.; De Cian, E., 2023: Air-conditioning adoption and electricity demand highlight climate change mitigation–adaptation tradeoffs. *Scientific Reports*, 13. Jg., Artikel 4413.
- Cortekar, J.; Groth, M., 2015: Die Relevanz von Klimawandelfolgen für Kritische Infrastrukturen am Beispiel des deutschen Energiesektors. Universität Lüneburg. Working Paper Series in Economics. Nr. 334. Lüneburg.
- Dale A. G.; Frank S. D., 2014: The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. *PLoS ONE*, 9. Jg. (7), Artikel e102996.
- de Munck, C.; Pigeon, G.; Masson, V.; Meunier, F.; Bousquet, P.; Tréméac, B.; Merchat, M.; Poeuf, P.; Marchadier, C., 2013: How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France? *International Journal of Climatology*, (33): 210–227.
- Dehl, T.; Hildebrandt, S.; Zich, K.; Nolting, H.-D., 2024: Gesundheitsreport 2024: Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Hitze. Arbeitswelt im Klimawandel. Herausgeber: Storm, A.; Nürnberg, V. Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung. Band 48. DAK Gesundheit. Hamburg.

Deutscher Bundestag, 2025: Gefahren durch Hitze in der Gesundheitsversorgung. Gesundheit – Antwort – hib 446/2025. Zugriff: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1111698> [abgerufen am 19.02.2025].

DStGB – Deutscher Städte- und Gemeindebund, 2022: Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Berlin.

DWD – Deutscher Wetterdienst, 2026: Stadtklima – die städtische Wärmeinsel. Zugriff: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html [abgerufen am 21.04.2026].

Ebi, K. L.; Capon, A.; Berry, P.; Broderick, C.; de Gear, R.; Havenith, G.; Honda, Y.; Kovats, R. S.; Ma, W.; Malik, A.; Morris, N. B.; Nybo, L.; Seneviratne, S. I.; Vanos, J.; Jay, O., 2021: Heat and Health 1. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet*, (398): 698–708.

Edwards, J. R.; De Roos, A. J.; Hampo, C. C.; Huang, W.; Lincoln, E.; Hoque, S.; Schinasi, L. H., 2025: Residential indoor temperatures and health: A scoping review of observational studies. *Science of the Total Environment*, (979), Artikel 179377.

Emeis, S., 2023: Lokalklimatische Auswirkungen der urbanen Energieversorgung In: DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Stadtklima im Wandel. *Promet Meteorologische Fortbildung* 106. Offenbach: 89–96.

Ena – Energy networks association, 2021: Adaptation to Climate Change Task Group: Gas & Electricity Transmission and Distribution Network Companies. 3rd Round Climate Change Adaptation Report. March 2021. London.

Ettinger, A. K.; Bratman, G. N.; Carey, M.; Herbert, R.; Hill, O.; Kett, H.; Levin, P.; Murphy-Williams, M.; Wyse, L., 2024: Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. *Scientific Reports*, 14. Jg., Artikel 3266.

Fitzenberger, B.; Hack, F., 2025: Sichtbare und mögliche Effekte des Klimawandels auf den deutschen Arbeitsmarkt. Herausgeber: IAB – Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit. IAB Forschungsberichte 8/2025: Aktuelle Ergebnisse aus der Projektarbeit des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung. Nürnberg.

Flämig, H.; Gertz, G.; Mühlhausen, T., 2023: Minderungsstrategien im Personen- und Güterverkehr. In: Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2. Auflage. Berlin: 415–428.

Gabriel, K.; Bux, K., 2022: Arbeitsschutz im Klimawandel – Hitzebelastung durch überwärmte Gebäude in der warmen Jahreszeit. Herausgeber: BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Baua: Fokus. Dortmund.

Gebhardt, N.; van Bronswijk, K.; Bunz, M.; Müller, T.; Niessen, P.; Nikendei, C., 2023: Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland – direkte und indirekte Auswirkungen, vulnerable Gruppen, Resilienzfaktoren. *Journal of Health Monitoring*, 8. Jg. (S4): 132–161.

Großmann, K.; Franck, U.; Heyde, M.; Schlink, U.; Schwarz, N.; Stark, K., 2017: Sozial-räumliche Aspekte der Anpassung an Hitze in Städten. In: Marx, A. (Hrsg.): Klimaanpassung in Forschung und Politik. Leipzig: 199–214.

Haase, D.; Hellwig, R., 2022: Effect of heat and drought stress on the health status of six urban street species in Leipzig, Germany. *Trees, Forests and People*, 8. Jg., Artikel 100252.

Hartz, A.; Saad, S.; Schaal-Lehr, C.; Manderla, B.; Langenbahn, E.; Lichtenberger, E.; Bastian, A.; Bächle, S.; Pfafferott, J., 2020: Vulnerabilitätsanalyse „Hitzestress und menschliche Gesundheit“ am Beispiel der Stadt Reutlingen. KLIMOPASS – Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg. KLIMOPASS-Berichte. Projektnr.: 22-4500.2/190. Saarbrücken/Reutlingen.

Hartz, A.; Saad, S.; Pfafferott, J., 2020: Hitzestress im Außen- und Innenraum der Stadt. Verwundbarkeitsanalyse für die Stadt Reutlingen. *PLANERIN*, (6): 42–44.

Hartz, A.; Saad, S.; Schaal-Lehr, C.; Dörrenbächer, S.; Reichert, K.; Schäfer, L.; Recktenwald, T.; Fleischhauer, M.; Blecking, M.; Dettmar, J.; Dudin, V.; Benden, J.; Erckmann, P.; Rüdiger, A., 2025 (im Erscheinen): Stadtgrün und kommunale Nachhaltigkeit. Klimaanpassung, Innenentwicklung und Flächensicherung. Abschlussbericht. Herausgeber: UBA – Umweltbundesamt. UBA-Texte. Dessau-Roßlau.

Hartz, A., 2024: Vulnerabilität als Schlüsselkonzept in der raumplanerischen Risikoversorge. Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU). Kaiserslautern. [Dissertation].

He, C.; Breitner, S.; Zhang, S.; Huber, V.; Naumann, M.; Traidl-Hoffmann, C.; Hammel, G.; Peters, A.; Ertl, M.; Schneider, A., 2024: Nocturnal heat exposure and stroke risk. *European Heart Journal*, 45. Jg.: 2158–2166.

Helbig, C.; Becker, A. M.; Haufer, A.-L.; Masson, T.; Mohamdeen, A.; Schlink, U., 2024: Individuelle gesundheitsrelevante Umweltexpositionen im Rad- und Fußverkehr – Trends, Auswirkungen und eine Fallstudie zu Resilienz gegenüber Umweltstressoren In: Kabisch, S.; Rink, D.; Banzhaf, E. (Hrsg.): Die Resiliente Stadt. Konzepte, Konflikte, Lösungen. Berlin: 231–246.

- Hertig, E.; Hunger, I.; Kaspar-Ott, I.; Matzarakis, A.; Niemann, H.; Schultze-Droesch, L.; Voss, M., 2023: Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Einführung in den Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023. *Journal of Health Monitoring*, 8. Jg. (S3): 7–35.
- Holldorb, C.; Rumpel, F.; Gerstengarbe, F.-W.; Österle, H.; Hoffmann, P., 2016: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet). Herausgeber: BaSt – Bundesanstalt für Straßenwesen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik Heft V 270*. Bergisch Gladbach.
- Hübler, M.; Klepper, G., 2007: Kosten des Klimawandels: Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Aktualisierte Fassung 07/2007. Kiel/Frankfurt.
- Hurley, A. G.; Heinrich, I., 2023: Assessing urban-heating impact on street tree growth in Berlin with open inventory and environmental data. *Urban Ecosystems*, (27): 359–375.
- Hutter, C.; Eberle, A.; Wöhrle, H.; Neubert, L.; Hausladen, G.; Endres, E.; Klinski, S., 2023: Kühle Gebäude im Sommer. Anforderungen und Methoden des sommerlichen Wärmeschutzes. Herausgeber: Umweltbundesamt. CLIMATE CHANGE 14/2023. Dessau-Roßlau.
- IFB – Institut für Bauforschung e. V., 2023: Studie Klimawandel und Extremwetterereignisse: Schadenentwicklung und Anforderungen an Wohngebäude. Untersuchung im Auftrag des Bauherren-Schutzbundes e. V. Berlin/Hannover.
- Jaag, C.; Schnyder, N., 2019: Bedeutung des Klimawandels für die Infrastrukturen in der Schweiz. Stand der Literatur. Herausgeber: Swiss Economics SE AG. Zürich.
- Jessel, S.; Sawyer, S.; Hernandez, D., 2019: Energy, Poverty, and Health in Climate Change: A Comprehensive Review of an Emerging Literature. *Frontiers in Public Health*, 7. Jg., Artikel 357.
- Jin, L.; Schubert, S.; Salim, M. H.; Schneider, C., 2020: Impact of air conditioning Systems on the Outdoor thermal Environment during Summer in Berlin, Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. Jg. (13), Artikel 4645.
- Karner, A.; Hondula, D. M.; Vanos, J. K., 2015: Heat exposure during non-motorized travel: Implications for transportation policy under climate change. *Journal of Transport & Health*, 2. Jg. (4): 451–459.
- Kim, S. W.; Brown, R. D., 2025: Measuring the impact of the urban microclimate on housing price using the spatial hedonic pricing method: The case study of Mueller, Austin, TX. *Applied Geography*, 174. Jg., Artikel 103483.
- Kjellstrom, T.; Maître, N.; Saget, C.; Otto, M.; Karimova, T., 2019: Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work. Herausgeber: International Labour Organization. Genf.
- Koschenz, M.; Domingo-Irigoyen, S.; Niffeler, M.; Ragetti, M.; Flückiger, B.; Kafadar, M.; Widmer, C.; Wehrli, K., 2021: ResCool: Klimaanpassung von Neu-, Um- und bestehenden Wohnbauten – effiziente Kühlkonzepte. Schlussbericht. Hochschule Luzern. Bern/Luzern.
- Krug, A.; Mücke, H.-G., 2018: Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. *Umwelt + Mensch – Informationsdienst*, (2): 67–79.
- Kunze, S., 2019: Sommerliche Überhitzung in Wohngebäuden – Baukonstruktive und haustechnische Anpassungsmaßnahmen. In: Sieber, L. (Hrsg.): 4. BIH-Treffen 2019 - Interdisziplinäre Forschung - Chancen und Herausforderungen. Dresden: 19–27.
- Kunze, S.; Krimmling, J.; Bolsius, J.; Naumann, T.; Barth, M., 2021: Minderung sommerlicher Überhitzung in Wohngebäuden. Handlungsanleitung für klimagerechtes Bauen und Sanieren. Herausgeber: Sächsische Energieagentur. Dresden.
- Kuttler, W., 2004: Stadtklima: Teil 1: Grundzüge und Ursachen. *Zeitschrift für Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung*, 16. Jg. (3): 187–199.
- Kuttler, W., 2020: Stadtklima: Einführung, Charakteristika, Nachweismöglichkeiten. In: Lozán, J. L.; Breckle, S.-W.; Grassl, H.; Kuttler, W.; Matzarakis, A. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Die Städte. Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO Magazin-Hamburg: 21–27.
- Kuttler, W.; Gross, G., 2023: Charakteristika des Stadtklimas. In: DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Stadtklima im Wandel. *Promet Meteorologische Fortbildung*, (106): 3–14.
- Leistner, P.; Eitle, A.; Krause, P.; Meier, L.; Rösler, H., 2023: Klimaangepasste Gebäude und Liegenschaften. Empfehlungen für Planende, Architektinnen und Architekten sowie Eigentümerinnen und Eigentümer. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. *Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis Band 30*. Bonn.
- Li, H.; Zhao, Y.; Wang, C.; Ürge-Vorsatz, D.; Carmeliet, J.; Bardhand, R., 2024: Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment*, (5), Artikel 554.
- Li, Z.; Jiang, L.; Yu, H.; Wang, J., 2025: The hidden risk in high-temperature urban environments: assessment of metal elements and human health risks of particulate matter at street. *Journal of Hazardous Materials*, 488. Jg., Artikel 137475.

- Li, X.; Zhou, Y.; Yu, S.; Jia, G.; Li, H.; Li, W., 2019: Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *Energy*, 174. Jg.: 407–419.
- Lin, X.; Guo, C.; Wargocki, P.; Tanabe, S. Tham, K.W.; Lan, L., 2025: The effects of temperature on work performance in the typical office environment: A meta-analysis of the current evidence. *Building and Environment*, 269. Jg., Artikel 112488.
- Lindberg, F.; Thorsson, S.; Rayner, D.; Lau, K., 2016: The impact of urban planning strategies on heat stress in a climate-change perspective. *Sustainable Cities and Society*, 25. Jg.: 1–12.
- Lindemann, U.; Stotz, A.; Beyer, N.; Oksa, J.; Skelton, D.A.; Becker, C.; Rapp, K.; Klenk, J., 2017: Effect of Indoor Temperature on Physical Performance in Older Adults during Days with Normal Temperature and Heat Waves. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14. Jg. (2), Artikel 186.
- LMU – Ludwigs-Maximilians-Universität München, Arbeitsgruppe Lokale Passung, 2020: Zusammenfassung der Ergebnisse. *Grüne Stadt der Zukunft: LMU-Studie zur Wohnqualität im Sommer*. München.
- Lösch, M., 2017: Untersuchungen zur kombinierten Wirkung der Stressoren Lärm und Hitze auf Leistung, Stimmung und Sozialverhalten des Menschen. In: Altmeppen, K.-D.; Zschaler, F.; Zademach, H.-M.; Böttigheimer, C.; Müller, M (Hrsg.): *Nachhaltigkeit in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft: Interdisziplinäre Perspektiven*. Eichstätt/Wiesbaden: 217–240.
- Lundgren, K.; Kjellstrom, T., 2013: Sustainability Challenges from Climate Change and Air Conditioning Use in Urban Areas *Sustainability*, 5. Jg.: 3116–3128.
- LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Hrsg.), 2021: Fieberkurve von Stadtbäumen – Vergleichende Untersuchungen zu Hitze- und Trockenstresstoleranz von Klimabäumen und herkömmlichen Straßenbäumen an Hand von kontinuierlichen Temperaturmessungen im Wurzel-, Rinden- und Kronenbereich. Fortführung des Eignungstests von Versuchsbäumen im Klimawandelprojekt „Stadtgrün 2021“. Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. KL/18/03. Veitshöchheim.
- Mangelsdorf, S.; Meier, K., 2025: Der Einfluss von Temperatur auf das Arbeits- und Wegeunfallgeschehen in Deutschland. *DGUV forum*, (7-8): 31–33.
- Martinez-Villa, J. A.; Paquette, A.; Feeley, K. J.; Morales-Morales, P. A.; Messier, C.; Duran, S. M., 2024: Changes in morphological and physiological traits of urban trees in response to elevated temperatures within an Urban Heat Island. *Tree Physiology*, 44. Jg. (12), Artikel tpae145.
- Mathey, J.; Röbler, S.; Lehmann, I.; Bräuer, A.; Goldberg, V.; Kurbjuhn, C.; Westbeld, A. (2011): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3508 821 800) "Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel". Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz. Bonn.
- Matzarakis, A.; Muthers, S.; Graw, K., 2020: Thermische Belastung von Bewohnern in Städten bei Hitzewellen am Beispiel von Freiburg (Breisgau). *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 63. Jg.: 1004–1012.
- McGuire, C.; Naderi, Y.; Gardner, A.; Sharma, M.; Lalit, S.; Jennsen, O.; Page, B.; Long, F.; Adams, M.; Evangelides, C.; Hamilton, N.; Hogarth, R., 2025: Impacts on energy assets from extreme heat and heatwaves. Final Report. Herausgeber: CS-NOW WPG8 (CS-NOW – Climate services for a Net Zero resilient world); UK Government.
- Melnikov, V. R.; Christopoulos, G. I.; Krzhizhanovskaya, V. V.; Lees, M. H.; Sloot, P. M. A., 2022: Behavioural thermal regulation explains pedestrian path choices in hot urban environments. *Scientific Reports*, 12. Jg., Artikel 2441.
- Mertes, H.; Böse-O'Reilly, S.; Schoierer, J., 2020: Umweltgerechtigkeit im Handlungsfeld Klimawandel, Hitze und Gesundheit (Environmental justice in the field of climate change, heat and health). *Umwelt + Mensch Informationsdienst*, (1): 33–38.
- Miao, Q.; Welch, E. W.; Sriraj, P. S., 2019: Extreme weather, public Transport ridership and moderating effect of bus stop shelters. *Journal of Transport Geography*, 74. Jg.: 125–133.
- Minor, K.; Bjerre-Nielsen, A.; Jonasdottir, S.; Lehmann, S.; Obradovich, N., 2022: Rising temperatures erode human sleep globally. *One Earth*, (5): 534–549.
- Nazif-Munoz, J. I.; Gilani, V. N. M.; Rana, J.; Choma, E.; Spengler, J. D.; Cedeno-Laurent, J. G., 2025: The Influence of heatwaves on traffic safety in five cities across Québec with different thermal landscapes. *Injury Epidemiology*, 12. Jg., Artikel 12.
- Ngo, N. S., 2019: Urban bus ridership, income, and extreme weather events. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77. Jg.: 464–475.
- Nissen, K.; Scheffler, J.; Ulbrich, U.; Becker, N.; Rabe, M.; Solle, M.; Dähne, O., 2019: ÖPNV-Wetter: Einfluss des Wetters auf die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs in Berlin am Beispiel der BVG. Abschlussbericht. Herausgeber: Freie Universität Berlin; Berliner Verkehrsbetriebe. Berlin.

- Offermann, M.; Lindner, S.; Reiser, M.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Kocher, D.; Bruse, M.; Cramer, L., 2022: Nachhaltige Gebäudeklimatisierung in Europa. Konzepte zur Vermeidung von Hitzeinseln für ein behagliches Raumklima. Abschlussbericht. Herausgeber: Umweltbundesamt. CLIMATE CHANGE 30/2022. Dessau-Roßlau.
- Penger, S.; Conrad, K., 2025: Erhalt der Mobilität älterer Menschen in urbanen Räumen im Zeichen des Klimawandels: Empirische Befunde zu wahrgenommener Hitzebelastung und möglichen Verhaltensanpassungen. *Gerontologie + Geriatrie*, 58. Jg.: 261–267.
- Percival, G. C., 2023: Heat Tolerance of urban trees – A Review. *Urban Forestry & Urban Gardening*, 86. Jg., Artikel 128021.
- Peters, S., 2024: Wärme- und Hitzebelastung an Arbeitsplätzen. *DGUV Forum*, (5): 9–12.
- Pfafferoth, J., 2003: Passive Kühlung mit Nachtlüftung. Herausgeber: Fachinformationszentrum Karlsruhe. BINE themeninfo I/03. Freiburg/Karlsruhe.
- Pfafferoth, J.; Reißmann, S.; Halbig, G.; Schröder, F.; Saad, S., 2021: Towards a Generic Residential Building Model for Heat–Health Warning Systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. Jg. (24), Artikel 13050.
- Pińskwar, I.; Choryński, A.; Graczyk, D., 2024: Good weather for a ride (or not?): how weather conditions impact road accidents — a case study from Wielkopolska (Poland). *International Journal of Biometeorology*, 68. Jg.: 317–331.
- Pompili, M.; Calcara, L.; Sangiovanni, S., 2021: Heatwaves and underground MV cable joints failures. In: IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. (Hrsg.): International Annual Conference (AEIT) 2021. Mailand: 1–5.
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Uhl, E.; Dahlhausen, J.; Schütze, G.; Perkins, D.; Rötzer, T.; Caldentey, Koike, T.; van Con, T.; Chavanne, A.; du Toit, B.; Forster, K.; Lefer, B., 2017: Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific Reports*, 7. Jg., Artikel 15403.
- Renken, L.; Lehmkuhl, J.; Neumann, J.; Liu, C.; Ulrich, M., 2025: Anpassung der Dimensionierung an den Klimawandel. Herausgeber: BaSt – Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Straßenbau Heft S 219. Bergisch Gladbach.
- Rocha, A. D.; Vulova, S.; Forster, M.; Gioli, B.; Matthews, B.; Helfter, C.; Meier, F.; Steeneveld, G.-J.; Barlow, J. F.; Jarvi, L.; Chrysoulakis, N.; Nicolini, G.; Kleinschmit, B., 2024: Unprivileged groups are less served by green cooling services in major European urban areas. *Nature Cities*, 1. Jg. (6): 424–435.
- Salamanca, F.; Georgescu, M.; Mahalov, A.; Moustauoui, M.; Wang, M., 2014: Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (119): 5949–5965.
- Santamouris, M.; Kolotkotsa, D., 2015: On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe. *Energy and Buildings*, 8. Jg.: 125–133.
- Scherer, D., 2023: Temperatur und Hitze in der Stadt. In: DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Stadtklima im Wandel. *Promet Meteorologische Fortbildung* 106. Offenbach: 15–27.
- Schoierer, J.; Mertes, H.; Deering, K.; Böse-O'Reilly, Quartucci, C., 2021: Hitzebelastungen im Arbeitssetting: die Sicht der Arbeitsmedizin. In: Günster, C.; Klauber, J.; Robra, B.-P.; Schmuker, C.; Schneider, A. (Hrsg.): *Versorgungs-Report Klima und Gesundheit*. Berlin: 89–104.
- Schröder, F.; Gill, B.; Halbig, G.; Mittermüller, J.; Novotny, D.; Teich, T., 2019: Hitze frei in deutschen Wohnungen. Entwicklung deutscher Wohnraumtemperaturen mit intensiveren sommerlichen Hitzewellen. *HLH Band 70 Nr. 9*.
- Seebaß, K., 2017: Who is feeling the heat? *Nature and Culture*, 12. Jg. (2): 137–161.
- Sieber, S., 2020: Grün statt Grau. Klimaanpassung und Stadtnatur – ein Thema für Gewerbegebiete. *Stadt+Grün*, (6): 32–36.
- Siefer, T.; Schütze, C.; Strohbach, 2019: Untersuchung der Regelwerke für den Bahnbetrieb auf Schwachstellen hinsichtlich des zu erwartenden Klimawandels Teil A (Infrastruktur) und Teil B (Energie und Sicherheit / Fahrzeuge). Herausgeber: EBA – Eisenbahn-Bundesamt. EBA-Forschungsbericht 2018-08. Bonn.
- SMWA – Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Klimaschutz, 2025: Klimarisiken in der Wohnungswirtschaft. Zugriff: <https://www.klima.sachsen.de/klimarisiken-in-der-wohnungswirtschaft-27748.html> [abgerufen am 12.08.2025].
- StMUV – Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg.), 2014: Folgen des Klimawandels: Perspektiven für das Baugewerbe, den Handel und die produzierende Wirtschaft. Ein Leitfaden. München.
- Stock, B., 2015: Klimaangepasstes Bauen bei Gebäuden. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. BBSR-Analysen KOMPAKT 02/2015. Bonn.

- Sun, X.; Dong, J., 2022: Stress Response and Safe Driving Time of Bus Drivers in Hot Weather. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. Jg. (15), Artikel 9662.
- Sutter, D.; Petry, C.; Peter, M.; Wunderlich, A., 2020: Verkehr der Zukunft 2060: Auswirkungen des Klimawandels auf die Verkehrsnachfrage. Herausgeber: Schweizerische Eidgenossenschaft. Forschungsprojekt SVI 2011/003 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI). Zürich.
- Taylor, J.; McLeod, R.; Petrou, G.; Hopfe, C.; Mavrogianni, A.; Castano-Rosa, R.; Pelsmakers, S.; Lomas, K., 2023: Ten questions concerning residential overheating in Central and Northern Europe. *Building and Environment*, 234. Jg., Artikel 110154.
- Tham, S.; Thompson, R.; Landeg, O.; Murray, K.A.; Waite, T., 2020: Indoor Temperatures and Health: a global systematic Review. *Public Health*, 179. Jg.: 9–17.
- Theeuwes, N. E.; Steeneveld, G. J.; Ronda, R. J.; Heusinkveld, B. G.; van Hove, L. W. A.; Holstag, A. A. M., 2014: Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, (140): 2197–2210.
- Trapp, J. H.; Petschow, U.; Libbe, J.; Birkmann, J.; Goris, A., 2018: Notwendigkeiten und Ansatzpunkte einer klimaresilienten und zukunftsfähigen Ausgestaltung von Infrastrukturen – Rückschlüsse aus Extremereignisanalysen und aktuellen Infrastrukturplanungen. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Trenczek, J.; Lühr, O.; Eiserbeck, L.; Sandhövel, M.; Ibens, D., 2022: Projektbericht "Kosten durch Klimawandelfolgen": Schäden der Dürre- und Hitzeextreme 2018 und 2019 – Eine ex-post-Analyse. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin.
- TUM – Technische Universität München (Hrsg.), 2021: Grüne und Graue Maßnahmen für die Siedlungsentwicklung. Klimaschutz und Klimaanpassung in wachsenden Städten. München.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.), 2021a: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 1: Grundlagen. CLIMATE CHANGE 20/2021. Dessau-Roßlau.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.), 2021b: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. CLIMATE CHANGE 24/2021. Dessau-Roßlau.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.), 2021c: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland Teilbericht 5: Risiken und Anpassung in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. CLIMATE CHANGE 24/2021. Dessau-Roßlau.
- UBA – Umweltbundesamt, 2022: Klimafolgen: Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-industrie-gewerbe> [abgerufen am 06.08.2025].
- UBA – Umweltbundesamt, 2023: IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/industrie-und-gewerbe/ig-i-1/indikator> [abgerufen am 06.08.2025].
- Vandentorren, S.; Bretin, P.; Zeghnoun, A.; Mandereau-Bruno, L.; Croisier, A.; Cochet, C.; Riberon, J.; Siberan, I.; Declercq, B.; Ledrans, M., 2006: Heat related Mortality: August 2003 Heat Wave in France: Risk Factors for Death of Elderly People Living at Home. *European Journal of Public Health*, 16. Jg. (6): 583–591.
- VCÖ – Mobilität mit Zukunft, 2024: Wie Verkehr die Hitzebelastung in Städten verschärft. VCÖ Factsheet. Wien.
- Verbücheln, M.; Böhnke, R.; Raffer, C.; Bartolovic, V., 2022: Eine neue Herausforderung für Kommunen und Unternehmen. Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Gewerbegebieten. *Ökologisches Wirtschaften*, 3. Jg. (37): 31–37.
- Verbücheln, M.; Raffer, C.; Steinrücke, M.; Böhnke, R.; Bartolovic, V., 2023: Klima.Profit: Stadt und Unternehmen im Dialog. Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten unter besonderen Berücksichtigung der regionalen Wertschöpfung und Zukunftsfähigkeit. Herausgeber: Difu – Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin.
- Voss, K.; Pfafferott, J., 2007: Energieeinsparung contra Behaglichkeit. Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Forschungen Heft 121. Berlin/Bonn.
- Watkins, R.; Palmer, J.; Kolokotroni, M.; Littlefair, P., 2002: The balance of the annual heating and cooling demand within the London urban heat island. *Building Services Engineering Research & Technology*, 23. Jg. (4): 207–213.
- WHO – World Health Organization, 2014: Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments. An evidence-based review prepared for the WHO training workshop „Multiple environmental exposures and risks“. Kopenhagen.
- WHO – World Health Organization, 2018: Housing and Health Guidelines. Genf.
- WHO – World Health Organization, 2019: Environmental health inequalities in Europe Second assessment report. Kopenhagen.

WHO – World Health Organization, 2021: Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. Kopenhagen.

Winklmayr, C.; Matthies-Wiesler, F.; Muthers, S.; Buchien, S.; Kuch, B.; an der Heiden, M.; Mücke, H.-G., 2023: Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. Journal of Health Monitoring, 8. Jg. (S4): 3–34.

Winklmayr, C.; an der Heiden, M., 2022: Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022. Epidemiologisches Bulletin, 42. Jg.: 3–9.

Wyon, D. P.; Wyon, I.; Norin, F., 1996: Effects of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle. Ergonomics, 39. Jg. (1): 61–75.

Zhang, H.; Shan, Y.; Li, R.; Xue, R.; Ma, J.; Kistra, J.; Shi, Z.; Wang, Z.; Zhang, B.; Wang, B.; Fang, S.; Yang, F.; Hubacek, K., 2026: Rising Air-Conditioning Use Intensifies Global Warming. Nature Communications, 17. Jg., Artikel 1961

Zorn, A.; Schäfer, S.; Kurmutz, U.; Köhler, S., 2021: Zugang zu urbanen Grünflächen im Kontext von Hitzeereignissen am Beispiel von Jena. Standort, 45. Jg. (4): 265–271.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Hitzeinseleffekt in Städten	8
Abbildung 2: Sommermittel der Lufttemperatur	9
Abbildung 3: Kennwert „Heiße Tage“	10
Abbildung 4: Wärmeinselintensität (UHI)	11
Abbildung 5: Schema der Wirkungskettenanalyse	15
Abbildung 6: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Straßenräumen“	20
Abbildung 7: Wirkungskette „Infrastrukturen“ im Vertiefungsszenario Straßenräume	22
Abbildung 8: Wirkungskette „Stadtgrün“ im Vertiefungsszenario Straßenräume	25
Abbildung 9: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Wohngebäuden und -quartieren“	30
Abbildung 10: Wirkungskette „Gesundheit der Wohnbevölkerung“ im Vertiefungsszenario Wohngebäude und -gebiete	33
Abbildung 11: Wirkungskette „Wohngebäudesubstanz“ im Vertiefungsszenario Wohngebäude und -gebiete	35
Abbildung 12: Wirkungskette der „Konsequenzen der zunehmenden thermischen Belastung in Gewerbegebäuden und -gebieten“	40
Abbildung 13: Wirkungskette der „Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden“ im Vertiefungsszenario Gewerbegebäude und -gebiete	43
Abbildung 14: Wirkungskette „Betrieb und Nutzung von gewerblich genutzten Gebäuden“ im Vertiefungsszenario Gewerbegebäude und -gebiete	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vertiefungsszenarien und zentrale Wirkfelder	14
---	----