Hochschule Konstanz
Fakultät Bauingenieurwesen

Bachelorthesis

Zur Erlangung des akademischen Grades

BACHELOR OF ENGINEERING (B. ENG.)

Entwicklung einer Maßnahmentoolbox zur Unterstützung der wärmeresilienten Stadtplanung

Vorgelegt von: Martin Klausmann

[redacted]

Studiengang: Bauingenieurwesen

Matrikelnummer: [redacted]

Betreuung: Prof. Dr.-Ing. Michael Bühler

Abgabedatum: 18.02.2022

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS III

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS V

1 EINLEITUNG 1

2 DAS PROJEKT CoKLIMAx 3

2.1 Vorstellung des Projekts (CoKLIMAx) 3

2.2 Zielsetzungen des Projekts (CoKLIMAx) 3

3 KLIMAWANDEL UND HITZEREIGNISSE 5

3.1 Klimawandel und Hitze weltweit 5

3.2 Klimawandel und Hitze in Deutschland 5

3.2.1 Temperaturentwicklung in Deutschland bis heute 6

3.2.2 Prognose für die Temperaturentwicklung in Deutschland 7

3.2.3 Hitze-Extremereignisse 7

3.3 Urban Heat Islands 7

4 AUSWIRKUNGEN VON HITZE 10

4.1 Mensch und Gesundheit 10

4.2 Wirtschaft 12

4.2.1 Krankheitskosten 12

4.2.2 Leistungseinbußen 13

4.3 Gebäude und Infrastruktur 16

4.3.1 Schäden an Gebäuden 16

4.3.3 Schäden an der Infrastruktur 17

5 MASSNAHMENTOOLBOX ZUR STEIGERUNG DER HITZERESILIENZ VON STÄDTEN 18

5.1 Gebäude: 18

5.1.1 Albedoänderung und Nutzung natürlicher Baumaterialien für Gebäudeoberflächen 18

5.1.2 Dachbegrünung 21

5.1.3 Fassadenbegrünung 24

5.1.4 Verschattung von Gebäuden durch Pflanzen 27

5.1.5 Sommerlicher Wärmeschutz 29

5.1.6 Energetische Gebäudesanierung 32

5.1.7 Technische Gebäudekühlung 33

5.2 Öffentlicher Raum: 35

5.2.1 Beschattung des öffentlichen Raumes 35

5.2.2 Aufhellen, Entsiegeln und Hitzeoptimieren von Belägen im Freiraum 38

5.2.3 Bereitstellen von Trinkwasser 42

5.3 Verkehr: 44

5.3.1 Beschattung und Kühlung von Haltestellen und Wartebereichen 44

5.3.2 Klimafreundliche Klimatisierung öffentlicher Verkehrsmittel 46

5.4 Maßnahmen und ihre Bewertungen im Überblick 49

6 SCHLUSSBETRACHTUNG 52

7 QUELLENVERZEICHNIS 54

8 EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG 57

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Geschichte der globalen Temperaturveränderung […] 5

Abbildung 2: Verlauf der Temperatur der Luft und des Oberflächenwassers im Bodensee.....6

Abbildung 3: Prinzipskizze (Wärmeinseleffekt).....8

Abbildung 4: Hitzebedingter Anstieg der Mortalität - Ergebnisse ausgewählter Studien 11

Abbildung 5: Altersstruktur in Konstanz, 2008 und 2019 im Vergleich.....12

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Temperatur 14

Abbildung 7: Hitzebedingter Rückgang der Wertschöpfung pro Jahr im Prognosezeitraum 2071 - 2100 unter alternativen Impaktannahmen.....15

Abbildung 8: Albedowerte verschiedener Oberflächen 19

Abbildung 9: Verschiedene Arten eines Dachaufbaus und deren Kühlleistung 22

Abbildung 10: Hamburger Gründachstrategie: Vision für den Stadtteil Altona 24

Abbildung 11: Intensive Dachbegrünung über der Tiefgarage der Behörde für Umwelt und Energie von Hamburg 24

Abbildung 12: Wirkung von Fassadenbegrünungen.....26

Abbildung 13: Fassadenbegrünung Bürogebäude Magistratsabteilung 48 in Wien.....27

Abbildung 14: Schematische Darstellung einer Gebäudeverschattung durch Bäume 28

Abbildung 15: Bäume beschatten im Sommer die sonnenexponierte Fassade - ein Beispiel aus Köln.....29

Abbildung 16: Mehrfamilienhaus mit außenliegenden Schiebeelementen aus Holz zur Verschattung 30

Abbildung 17: Außenliegende Verschattung durch Rollläden.....30

Abbildung 18: Wärmeschutz in dem Freiburger Stadtteil Vauban mittels Holzlamellen.....31

Abbildung 19: Wärmebilanz: sanierte (rechts) und nicht sanierte Fassade.....33

Abbildung 20: Die Freiburger Universitätsbibliothek verfügt über ein Heiz- und Kühlsystem mittels Betonkerntemperierung 35

Abbildung 21: Temporäre Sonnensegel bieten im Sommer 2017 als Kunstaktion Schatten auf dem Müntserhof in Zürich 36

Abbildung 22: L'Ombrière in Marseille.....38

Abbildung 23: Verschiedene Versiegelungsarten mit unterschiedlichen Wasserdurchlässigkeiten 39

Abbildung 24: Befahrbares Kunststoff-Rasengitter mit Vegetation....40

Abbildung 25: Hitzereduktion über einen reflektierenden Straßenanstrich - das Pilotprojekt 'Coole Pavement' in Los Angeles....41

Abbildung 26: Wasserwerk Trink- und Springbrunnen, Seehalde 11, Konstanz....42

Abbildung 27: Mobiler Trinkwasserbrunnen am Heldenplatz in Wien 43

Abbildung 28: Beschattete Haltestelle und Wartebereich in Freiburg 44

Abbildung 29: Großflächig verlegte Erdwärmekollektoren unter der Bodenplatte einer U-Bahn-Station in Wien....46

Abbildung 30: BVG-Bus mit CO_2-Klimaanlage 48

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

bzw.	beziehungsweise
UHI	Urban Heat Island
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr

1 EINLEITUNG

> *„Der stetige Anstieg der Lufttemperatur führt zu einer nachweislichen Überhitzung der urbanen Lebensräume und zieht erhebliche Belastungen für Mensch und Natur nach sich. Der Klimawandel ist folglich nicht ein rein naturwissenschaftliches Phänomen, sondern wird zu einer immensen globalen wie lokalen Herausforderung, die damit konkret den städtischen Alltag verändern wird"* (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:10).

In diesem Zusammenhang wird sich der Urban-Heat-Island-Effekt in Städten, angetrieben durch den globalen Klimawandel weiter verstärken, „sofern nicht städtebauliche Maßnahmen gesetzt werden, um diese Entwicklung zumindest abzumindern" (Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:5).

Aus diesem Grund soll in dieser Bachelorarbeit im Rahmen des CoKLIMAx-Projekts eine Maßnahmentoolbox für resiliente Stadtplanung erstellt werden. Im Fokusbereich Wärme werden Maßnahmen näher betrachtet, die dazu beitragen können, Städte bezüglich zu erwartender vermehrter Hitzeereignisse zukünftig klimaresilienter zu gestalten.

Eine Auseinandersetzung mit diesem Thema ist besonders deswegen sinnvoll, weil sich der Trend zur Re-Urbanisierung verstärkt, Menschen also wieder vermehrt in Städte ziehen bzw. zukünftig ziehen werden. Aufgrund des Hitzeinseleffekts wird besonders die städtische Bevölkerung von den Auswirkungen von Hitzeereignissen betroffen sein. Hierzu gehören direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen, die Wirtschaft, Gebäude und die Infrastruktur. Deswegen wird es gerade im urbanen Bereich als sinnvoll erachtet Hitze-Resilienz-Maßnahmen zu etablieren (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:10).

Ziel dieser Arbeit ist die Zusammenstellung ausgewählter, konkreter Hitze-Resilienz-Maßnahmen für den städtischen Raum in einer Maßnahmentoolbox. Mithilfe dieser Toolbox sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die Auswirkungen von Hitzeextremereignissen auf den städtischen Raum durch städtebauliche Maßnahmen zu minimieren beziehungsweise zu vermeiden.
Adressaten sollen in erster Linie Behörden auf kommunaler Ebene sein. Diese sollen bezüglich zunehmender Hitzeextremereignisse und ihrer negativen Auswirkungen auf Mensch,

Wirtschaft sowie Gebäude und Infrastruktur, besser vorbereitet bzw. handlungsfähiger gemacht werden.

Im Anschluss an die Einleitung wird im zweiten Kapitel das CoKLIMAx-Projekt, in dessen Rahmen diese Arbeit erstellt wird, vorgestellt. Anschließend befasst sich das dritte Kapitel mit theoretischen Grundlagen zum Thema Klimawandel und Hitzeereignissen weltweit und in Deutschland. Zudem erfolgt die Beschreibung des UHI-Effekts. Die Auswirkungen künftiger Hitze-Extremereignisse auf Mensch und Gesundheit, Wirtschaft sowie Gebäude und Infrastruktur, werden im vierten Kapitel näher erläutert. Danach werden in Kapitel fünf die konkreten Hitzeschutz-Maßnahmen in den Kategorien Gebäude, Öffentlicher Raum und Verkehr beschrieben und bewertet. Abschließend erfolgt im sechsten und letzten Kapitel eine Schlussbetrachtung.

2 DAS PROJEKT CoKLIMAx

2.1 Vorstellung des Projekts (CoKLIMAx)

CoKLIMAx ist ein gemeinsames Projekt der HTWG-Konstanz, der Universität Stuttgart (ILGS), der Stadt Konstanz und des Climate Service Center Germany (GERICS). Auch Forschende der Universität München sind an diesem Projekt beteiligt.

Im Zuge des CoKLIMAx-Projekts sollen Copernicus-Daten sowie lokal vorhandene Daten, zur Planung und Umsetzung von Klimaresilienz-Maßnahmen am Beispiel Konstanz genutzt werden. In diesem Zusammenhang werden insbesondere die Umweltfaktoren Wasser, Wärme und Vegetation berücksichtigt (vgl. Bühler 2021:1; Waid 2021:1).

2.2 Zielsetzungen des Projekts (CoKLIMAx)

Mit 54% leben mehr als die Hälfte der Menschen heute in Städten. Prognosen gehen davon aus, dass diese Zahl bis 2050 stetig wachsen wird. Diese Entwicklung sollte deswegen besondere Beachtung finden, weil die durch den Klimawandel hervorgerufenen Schäden im städtischen Raum besonders gravierend sind. Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und einer engen Bebauung können Extremereignisse, wie Hitzewellen, Sturm oder Hochwasser, große gesundheitliche und wirtschaftliche Schäden verursachen. Beispiele hierfür sind die steigende Zahl an Hitzetoten durch vermehrte Hitzeereignisse oder die Entstehung hoher Kosten durch Sturmschäden an Gebäuden und Infrastruktur. Um derartige Schäden zu vermeiden beziehungsweise zu reduzieren, sind konkrete Anpassungs- und Resilienzmaßnahmen erforderlich. Deswegen ist es wichtig, dass diese in den Kommunen geplant und umgesetzt werden.

Als Planungsgrundlage hierfür dienen den Akteuren auf kommunaler Ebene Umwelt- und Klimadaten welche mit den Copernicus-Daten und -Diensten frei zur Verfügung stehen. Die Praxis zeigt jedoch, dass diese Daten-Dienste von den Kommunen bisher unzureichend genutzt werden. Zu den Gründen hierfür zählen beispielsweise, dass im Moment noch keine einfach nutzbaren Werkzeuge zur Verarbeitung und Auswertung von Copernicus-Daten zur Verfügung stehen. Auch die Schwierigkeit relevante Datensätze zu finden oder der oft nicht leicht ersichtliche Nutzen beziehungsweise Mehrwert für die kommunale Anwendung, können als Gründe genannt werden.

Hieraus resultieren die Zielsetzungen des CoKLIMAx-Projekts. Es sollen zum einen „praxisorientierte technische Werkzeuge für die Bestimmung und Nutzung von Informationen der Copernicus-Daten und -Diensten“ (ebd.:3) entwickelt werden. Zusätzlich geht es darum diverse lokal vorhandene Daten mit den Copernicus-Daten zusammenzuführen, auszuwerten und diese Ergebnisse aufzubereiten und anschaulich zu präsentieren. Diese Daten sollen schließlich die Basis dafür sein „technische und städteplanerische Nutzungsmethoden“ (ebd.:3) bezüglich der Klimaresilienz-Aspekte Wasser, Wärme und Vegetation beispielhaft umzusetzen.

Ziel ist es zudem erfolgreiche Prozessstrukturen für Kommunalverwaltungen zu entwickeln, die die vorhandenen Daten, Werkzeuge und Nutzungsmethoden bei der Entwicklung und Umsetzung konkreter Resilienzmaßnahmen von Gemeinden einbinden.

Im Zuge des Projekts soll schließlich eine Toolbox entwickelt, beispielhaft angewendet und validiert werden, in welcher Daten der Copernicus-Dienste sowie lokale Umwelt- und Wetterdaten der Stadt Konstanz erfasst, kombiniert und nutzbar gemacht werden sollen (vgl. Bühler 2021:2ff).

3 KLIMAWANDEL UND HITZEREIGNISSE

3.1 Klimawandel und Hitze weltweit

Für die Menschheit ist der anthropogene Klimawandel die aktuell größte globale Herausforderung. Der damit einhergehende weltweite Temperaturanstieg ist in der untenstehenden Grafik zu erkennen. Auf diese globale Erwärmung werden unter anderem der steigende Meeresspiegel und häufiger werdende Extremwetterereignisse wie Stürme, Dürren und Waldbrände zurückgeführt.

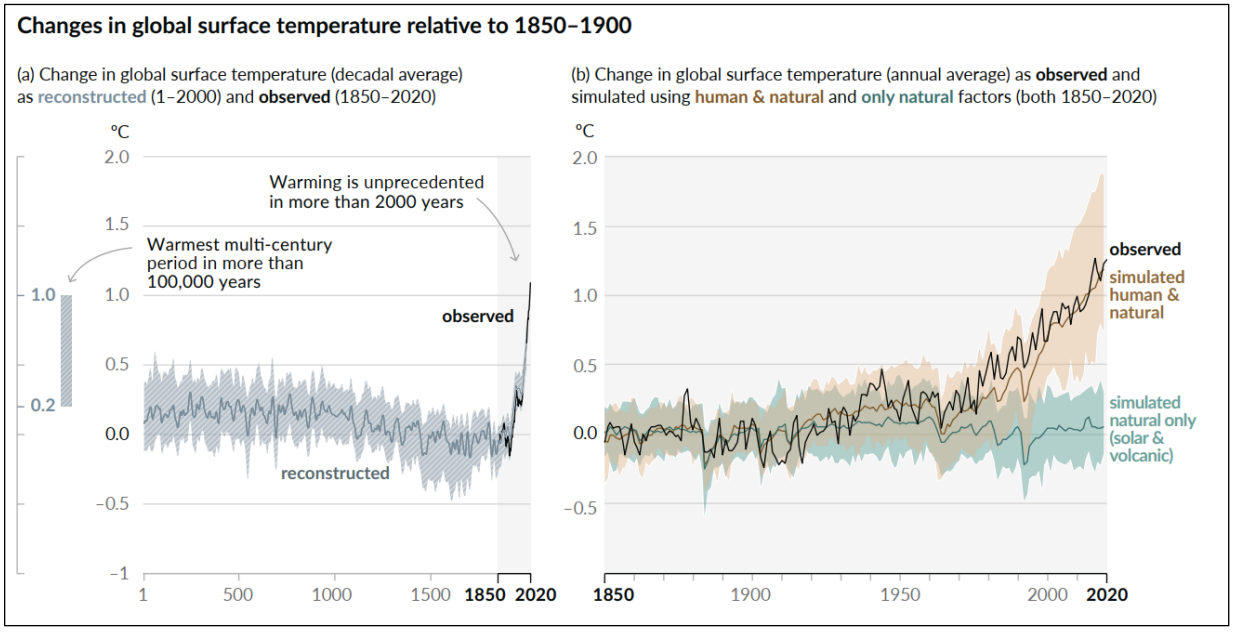

Abbildung 1: Geschichte der globalen Temperaturveränderung […] (Intergovernmental Panel on Climate Change 2021:8)

Betrachtet man die Erwärmung expliziter, wird ersichtlich, dass die globale Oberflächentemperatur im Zeitraum von 2001 bis 2020 durchschnittlich um 0,99°C höher war als in der Zeitspanne von 1850 bis 1900. Bemerkenswert hierbei ist, dass die Temperaturzunahme mit 1,59°C speziell über Land deutlich größer war, als über dem Ozean mit 0,88°C. (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change 2021:6)

3.2 Klimawandel und Hitze in Deutschland

Natürlich werden in Deutschland neben den steigenden Temperaturen auch weitere Extremwetterereignisse und Auswirkungen dem Klimawandel zugeschrieben. Aufgrund der Zielsetzung der Arbeit liegt der Schwerpunkt dieses Gliederungspunkts jedoch ausschließlich

auf dem Aspekt „Wärme“ bzw. Temperatur und entsprechenden Entwicklungen, die auf den Klimawandel zurückgeführt werden.

3.2.1 Temperaturentwicklung in Deutschland bis heute

Auch in Deutschland ist ein Temperaturanstieg zu erkennen. In Baden-Württemberg ist die Jahresmitteltemperatur im Zeitraum von 1901 bis 2016 beispielsweise um 1 °C angestiegen. Dabei ist der größte Anteil dieses Anstieges den letzten 30 Jahre zuzuordnen. Parallelen zur weltweiten Entwicklung sind hier ersichtlich. In den letzten vier Jahrzehnten wurden zudem zahlreiche Hitzerekorde aufgestellt. Alleine die drei Sommer mit den höchstgemessenen Temperaturen liegen mit den Sommern der Jahre 2003, 2018 und 2019 alle im 21. Jahrhundert. (vgl. Deutscher Wetterdienst 2020:1; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2016:7)

Die Stadt Konstanz mit ihren knapp 86.000 Einwohner (Stand 2021) ist im Süden Deutschlands im Bundesland Baden-Württemberg am Bodensee gelegen (vgl. Stadt Konstanz 2021:1). Wie in der unteren Abbildung zu sehen ist, lagen auch hier die „Jahresmittelwerte der Lufttemperatur […] im Zeitraum 1990 bis 2018 im Durchschnitt um 1,3 °C höher als in den rund drei Jahrzehnten davor“ *(*Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2019:1).

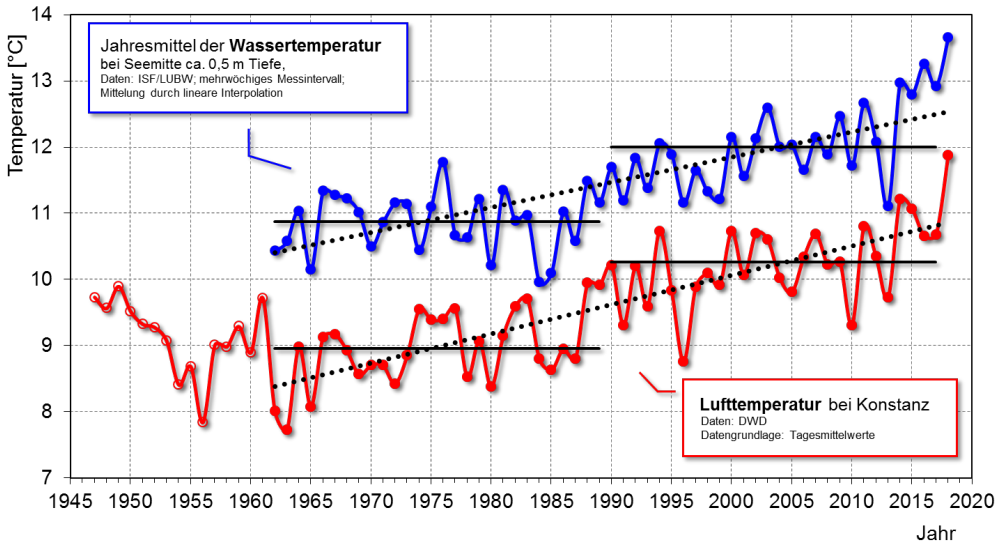

Abbildung 2: Verlauf der Temperatur der Luft und des Oberflächenwassers im Bodensee (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2019:1)

3.2.2 Prognose für die Temperaturentwicklung in Deutschland

Bis 2050 erwartet der Deutsche Wetterdienst eine weitere Temperaturerhöhung von 1,5 °C – 2,5 °C im Sommer und 1,5 – 3,0 °C während des Winters. Dies hat zur Folge, dass sich die Anzahl der Hitzetage (Höchsttemperatur mind. 30 °C) verdoppelt und somit Hitze-Extremereignisse wesentlich häufiger auftreten werden (vgl. Deutscher Wetterdienst 15.12.2021).

3.2.3 Hitze-Extremereignisse

HITZETAGE: Tage mit einer Temperatur von mindestens 30°C definiert unter anderem der Deutsche Wetterdienst (2020:3) als Hitzetage. Die Anzahl solcher Hitzetage ist ein Zeichen für die Zunahme von Hitze. Sie wächst in Deutschland stetig an. Während in Frankfurt am Main beispielsweise zwischen 1961-1990 durchschnittlich noch 6,5 Hitzetage pro Jahr registriert wurden, waren es im Zeitraum 1990-2019 bereits 16,3 Tage im Schnitt. (vgl. Deutscher Wetterdienst 2020:3)

HITZEWELLEN: Auch Hitzewellen nehmen in Deutschland zu. Der Deutsche Wetterdienst (2020:5) definiert sie als Serie von mindestens 14 Tagen an denen die tägliche Maximaltemperatur mindestens 30 °C erreicht. Früher, bis zum Jahr 1990, waren solche Hitzewellen relativ selten. In großen Städten wie beispielsweise Wien, Genf, München und Frankfurt Main treten diese inzwischen jedoch schon etwa alle zwei bis vier Jahre auf. Diese Hitzewellen führen in Städten zu vermehrten Tropennächten in denen die Tiefsttemperatur nicht unter 20°C fällt, da es in den Nächten zu einer geringeren Abkühlung kommt (vgl. Deutscher Wetterdienst 2020:5).

3.3 Urban Heat Islands

„Berechnungen von Klimamodellen prognostizieren eine Zunahme von Hitzeereignissen. Aufgrund des Hitzeinseleffektes gelten Städte als besonders betroffen“ (Pissarskoi 2015:3). Als Hitzeinseleffekt oder auch städtische Wärmeinsel beziehungsweise Urban Heat Islands (UHI) genannt, bezeichnet man den Temperaturunterschied zwischen einer Stadt und ihrem ländlichen Umland. Dieser Temperaturunterschied kann im Extremfall bis zu 10 °C betragen.

Grund hierfür ist, dass sich die Stadt bei Tag stärker aufheizt und in der Nacht weniger abkühlt als ihr Umland. Abbildung 3 veranschaulicht in einer Systemskizze diese Temperaturdifferenz zwischen Innenstadt und dem Umland an einem Sommertag. Insbesondere in der Nacht und während Hitzetagen und Hitzeperioden ist dieser Wärmeinseleffekt besonders ausgeprägt (vgl. Anczykowski, Trippler 2019).

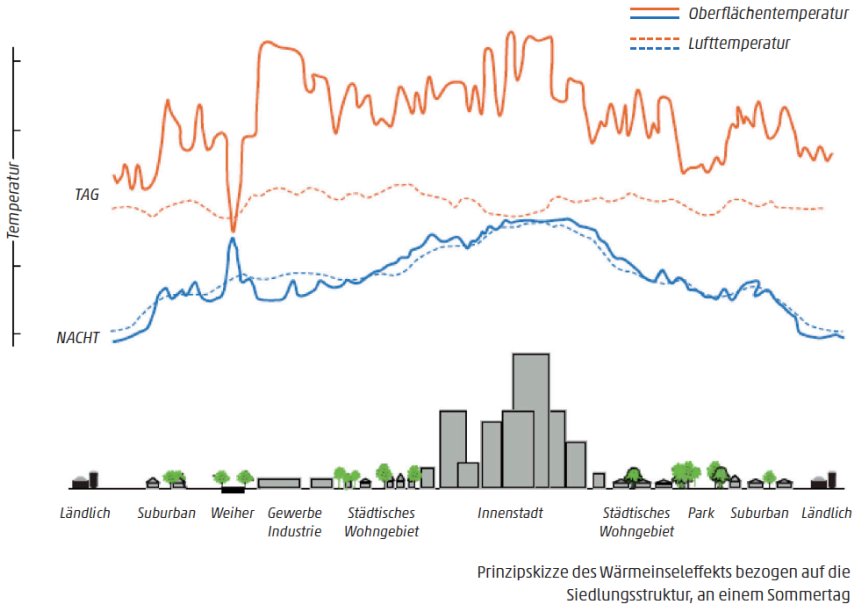

Abbildung 3: Prinzipskizze (Wärmeinseleffekt) (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:18)

Das Phänomen der Urban Heat Islands wird von zahlreichen Faktoren begünstigt. Die tagsüber stattfindende Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung kann durch die Anordnung der Gebäude einer Stadt beispielsweise verstärkt werden. Ist eine zu dichte Bebauung erfolgt, so wird die Luft- bzw. Windzirkulation und somit eine Abkühlung erschwert. Ein Nebeneffekt der dichten Bebauung und der vermehrten Flächenversiegelung ist auch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, welche wiederum geringere Windgeschwindigkeiten und dadurch höhere Temperaturen zur Folge hat. (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:8)

Auch die Gebäudeabmessungen spielen eine wichtige Rolle. Durch den Bau von hohen Gebäuden entsteht eine größere Oberfläche welche wiederum mehr Wärme aufnehmen und halten kann. Die Wände der Gebäude können dabei die direkte Sonneneinstrahlung sowie deren Reflexion von benachbarten Gebäuden aufnehmen. Durch die große Anzahl hoher Gebäude in enger Anordnung kann die Wärme am Abend und bei Nacht nicht optimal

abgegeben werden, da sie zwischen den Wänden reflektiert wird. Diese Wärmeabstrahlung wird durch ein verstärktes, durch Luftverschmutzung verursachtes, Aufkommen von Aerosolen in der Luft zusätzlich behindert. (vgl. ebd.:7)

Die Reflektion der Oberflächen ist ebenso entscheidend. Hierbei ist die Betrachtung der Albedo ausschlaggebend. Hiermit wird das Verhältnis von einfallender zu reflektierter Strahlungsenergie angegeben. Diese Angabe erfolgt in Werten von null bis eins, wobei null einer totalen Absorption und eins einer totalen Reflexion entspricht. Sehr dunkle Oberflächen haben demnach eine sehr niedrige Albedo und sehr helle Oberflächen einen sehr hohen Albedowert. Dunkle Oberflächen mit geringer Albedo können also mehr Strahlung aufnehmen und sich somit stärker aufheizen. Die gängigen Baumaterialien wie Stein und Beton tragen mit ihrer Fähigkeit bei Tag Wärme zu speichern und nachts wieder abzugeben ebenfalls zum Hitzeinseleffekt bei (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:104; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:8)

Auch ein hoher Versiegelungsgrad und somit weniger Vegetation ist entscheidend mitverantwortlich für die Entstehung der Urban Heat Islands, denn Grünflächen sind gegenüber versiegelten Flächen in der Lage viel Feuchtigkeit aufzunehmen. Verdunstet diese Feuchtigkeit bei Hitze entsteht ein kühlender Effekt. Dieser bleibt bei einem hohen Versiegelungsgrad aus. Auch weil auf versiegelten Flächen das Oberflächenwasser schnell abfließt und somit weniger Wasser verdunsten kann. Verbaute Flächen speichern sehr viel Wärme, indem sie Sonneneinstrahlung absorbieren, während dies bei begrünten Flächen durch Verdunstung und zusätzliche Beschattung deutlich weniger der Fall ist (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:7).

Neben der Sonneneinstrahlung, ist für die höheren Temperaturen in der Stadt auch der Mensch, die anthropogene Wärme, verantwortlich, denn Industrie und Verkehr tragen durch die Absonderung von Wärme und Luftschadstoffen zusätzlich zur Erwärmung der städtischen Atmosphäre bei (vgl. ebd.:8).

4 AUSWIRKUNGEN VON HITZE

Wie in den obigen Abschnitten beschrieben, hat

> *„die durch den Klimawandel verursachte globale Erwärmung […] in vielen Regionen der Welt, so auch in Deutschland, eine vermehrte Häufigkeit und Dauer von Hitzeereignissen zur Folge. Hitze kann den menschlichen Organismus gesundheitlich stark belasten und auch für das Gesundheitswesen können Hitzeperioden ein Problem darstellen"* (Straff et al 2017:6).

Zudem können die Produktivität der Wirtschaft sowie die bauliche Umwelt durch diese Entwicklung beeinträchtigt werden. In diesem Kapitel werden deshalb die Auswirkungen von steigenden Temperaturen und vermehrten Hitzeereignissen auf die menschliche Gesundheit, die Wirtschaft sowie Gebäude und Infrastruktur beleuchtet.

4.1 Mensch und Gesundheit

Im Zusammenhang mit anhaltender Hitze wurden „zahlreiche hitzebedingte Krankheitsfälle aufgrund von Dehydrierung, Hitzschlag sowie Herz- und Kreislauferkrankungen" (Straff et al 2017:6) registriert. Weitere vermehrt auftretende Gesundheitsschäden in Verbindung mit sehr hohen Temperaturen sind Flüssigkeitsverlust, Hitzschlag, Hitzeerschöpfung, Sonnenstich, Hitzekollaps, Hitzekrämpfe, Sonnenbrand und Hitzeausschlag. Diese Varianten von Hitzenotfällen können einzeln aber auch kombiniert auftreten.
Zu den Gruppen die grundsätzlich am stärksten durch die Hitze gefährdet sind, gehören alleinstehende ältere und pflegebedürftige Menschen, Säuglinge und Kleinkinder, hilfsbedürftige Menschen mit Gedächtnisstörung, medikamentös behandelte Menschen (Beruhigungsmittel, Blutdrucksenker, entwässernde Medikamente), chronisch Kranke, Menschen mit Fieber, Alkohol- und Drogenabhängige, Behinderte, im Freien Beschäftigte und Sportler (vgl. Mücke 2008: 5ff.).

Grundsätzlich ist folglich festzuhalten, dass Hitzeextremereignisse eine sehr große gesundheitliche Belastung für den menschlichen Körper darstellen mit denen der Körper nicht immer zurechtkommt. Der hitzebedingte Anstieg der Mortalität ist im untenstehenden Diagramm dargestellt. So ist hieraus zu entnehmen, dass der Mortalitätsanstieg in Baden-Württemberg bereits bei einer Temperatur von circa 28°C bei 10% liegt – Tendenz bei höheren Temperaturen deutlich steigend.

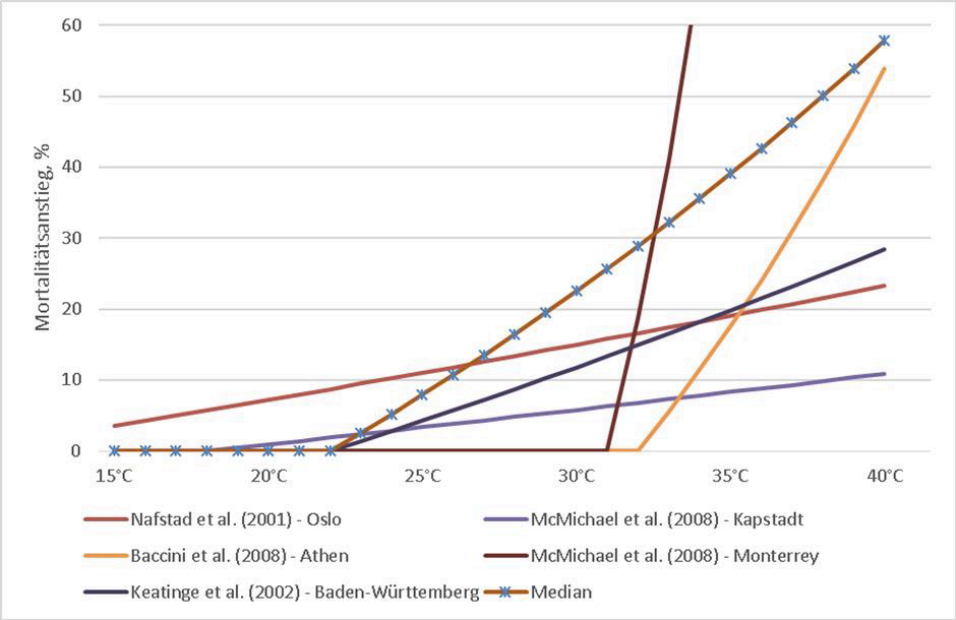

Abbildung 4: Hitzebedingter Anstieg der Mortalität - Ergebnisse ausgewählter Studien (Pissarsko et al 2015:12)

In Zahlen forderten beispielsweise in den Jahren 2003 und 2010 anhaltenden Hitzeperioden in Europa jeweils über 40.000 Todesopfer. Dabei kam Deutschland im Sommer 2003, nach Frankreich (15.000) und Italien (10.000), mit ca. 7.000 registrierten Hitzetoten an dritter Stelle in der Rangliste der meisten Todesopfer (vgl. Mücke 2008: 4ff.).

Das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg führte diesbezüglich in 1.000 Pflegeheimen eine Studie durch. Dieser zufolge nahm, im Vergleich zu vorangegangenen Jahren die Zahl der Verstorbenen um 16% - 24% zu. In der Hochrechnung ergab dies für Baden-Württemberg 1.100 Sterbefälle im Sommer 2003. Schätzungen ergeben, dass diese Zahlen bei steigenden Temperaturen in Zukunft noch deutlich ansteigen könnten. Dabei wird angenommen, dass Ende dieses Jahrhunderts, die Zahl der Menschen die in Deutschland jedes Jahr während Hitzeperioden zusätzlich sterben, schon bei bis zu 8.500 liegen könnte. Ursächlich für diese steigende Zahl an Todesfällen sind Herzinfarkte, Herz-Kreislauferkrankungen, Erkrankungen der Niere sowie Stoffwechselstörungen (vgl. Hübler, Klepper 2007:5; Straff 2017:7; Mücke 2008:4).

Festzuhalten bleibt, dass sich das Risiko aufgrund vermehrter Hitzeextremereignisse zu sterben nicht für jeden Mensch gleichermaßen erhöht hat. Aus den Erkenntnissen zur Hitzewelle vom August 2003 geht hervor, dass besonders Einkommensschwache sowie chronisch kranke Menschen, aber vor allem Menschen über 70 Jahre, hier besonders Frauen, zu den besonders gefährdeten Personengruppen gehörten und vermehrt starben. Vor allem im Hinblick darauf, dass die Menschen nicht nur in Baden-Württemberg immer älter werden,

ist die Risikogruppe der über Siebzigjährigen besonders zu beachten (vgl. Mücke 2008:4; Baba, Tielkes 2020:27).

Die Abbildung unten zeigt, dass im Vergleich zum Jahr 2008 im Jahr 2019 auch in Konstanz deutlich mehr über 75-jährige lebten. (vgl. Stadt Konstanz – Referat Oberbürgermeister 2020:9).

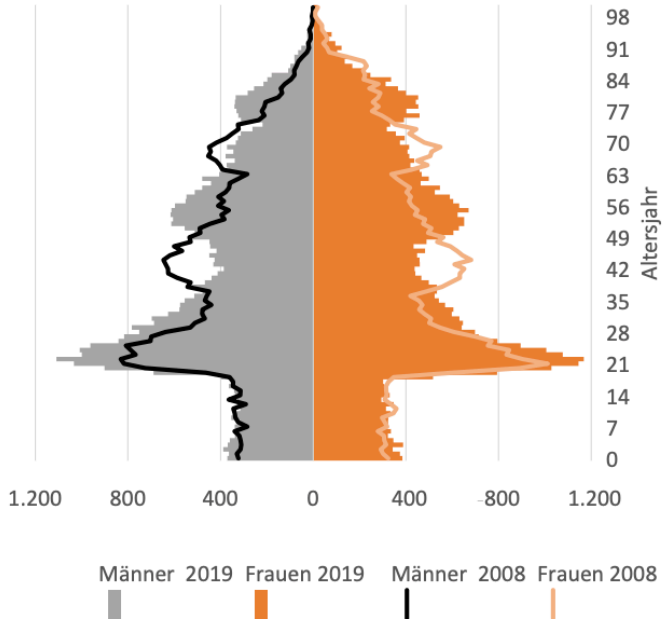

Abbildung 5: Altersstruktur in Konstanz, 2008 und 2019 im Vergleich (Stadt Konstanz – Referat Oberbürgermeister 2020:9)

4.2 Wirtschaft

„Eine größere Hitzebelastung durch den Klimawandel kann […] ökonomische Einbußen zur Folge haben." (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013.1). Diese beziehen sich vor allem auf die Krankheitskosten und auftretende Leistungseinbußen (vgl. Hübler, Klepper 2007:42ff.).

4.2.1 Krankheitskosten

Durch die Zunahme hitzebedingter Erkrankungen (vgl. Abschnitt 4.1 Mensch und Gesundheit) ist zudem mit höheren Krankheitskosten zu rechnen. Hierunter fallen Kosten für Krankenhausaufenthalte ebenso wie für Arztbehandlungen und Medikamente (vgl. Hübler, Klepper 2007:42ff.).

Pissarskoi et al (2015:3) geben in ihrer Fallstudie zur Stadt Köln an, dass Schätzungen zur Folge im optimistischsten Fall jährlich 91, im pessimistischsten Fall 360 zusätzliche Krankenhausaufenthalte zu erwarten sind. Prozentual entspricht das im optimistischsten Szenario einer Zunahme um 0,13%, im pessimistischsten Szenario liegt die prozentuale Zunahme hingeben schon bei 0,50% (vgl. Pissarskoi et al (2015:19).

Hübler und Klepper (2007:42ff) unternehmen den Versuch, die Kosten von Erkrankungen die auf zunehmende Hitze zurückzuführen sind, abzuschätzen. Sie halten dabei fest, dass ihre Berechnung nicht im Einzelnen zu beziffern sind, weswegen sie ihren Schätzungen allgemeine durchschnittliche Krankenhauskosten zugrunde legen.

Sie gehen davon aus, dass die hitzebedingten Krankenhauskosten 2071 bis 2100 pro Jahr durchschnittlich mit 494,7 Millionen Euro zu erwarten sind. Dies ist eine Versechsfachung im Vergleich zum Kontrollzeitraum von 1971 bis 2000.

> *„Dabei entfallen 221,6 Millionen Euro direkt auf zusätzliche Hitzetage unter der Annahme einer unveränderten Bevölkerungsgröße und Bevölkerungsstruktur. 191,0 Millionen Euro kann man dem Alterseffekt unter Berücksichtigung des leichten Rückgangs der Gesamtbevölkerung zurechnen, weil in der Zukunft ein fast doppelt so hoher Anteil älterer Menschen der Hitze ausgesetzt sein wird“* (ebd.:42)

Festzuhalten bleibt allerdings, dass diese oben genannten knapp 500 Millionen Euro nur 0,88% der Krankenhauskosten beziehungsweise 0,27% der Gesundheitskosten in Deutschland entsprechen (vgl. ebd.:42).

4.2.2 Leistungseinbußen

Die immer häufiger auftretenden Hitzetage und Hitzeperioden haben verminderte Leistungsfähigkeit und Einschränkungen der Produktivität bei Produktion und Dienstleistungen zur Folge (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013.1). „Allein schon durch die Einschränkungen der Leistungsfähigkeit an Hitzetagen könnte das Bruttoinlandsprodukt in der Periode 2071 bis 2100 um 0,12 bis 0,48 Prozent reduziert werden“ (Hirschfeld et al 2015:8).

Betroffen von den Leistungseinbußen sind vor allem der tertiäre und der sekundäre Sektor. Betrachtet man zunächst den sekundären Sektor, wird klar:

> *„In der Produktion ist häufig mit einer (Vor-)Belastung durch die Abwärme von Maschinen in Verbindung mit körperlicher Anstrengung zu rechnen, die – je nach Ausstattung des Gebäudes mit Klimaanlagen, Möglichkeiten zur Lüftung etc. – die*

> *Leistungsfähigkeit einschränken* kann“ (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013.1).

Hierdurch nehmen das Verletzungsrisiko und die Fehlerrate zu, die Arbeitsgeschwindigkeit hingegen reduziert sich. Sowohl die höhere Fehlerrate als auch die verminderte Arbeitsgeschwindigkeit ziehen Leistungseinbußen nach sich (vgl. ebd.).

Die Produktionsstätten des sekundären Sektors liegen oft am Stadtrand beziehungsweise im Umland. Die Arbeitsplätze des tertiären Sektors hingegen sind häufig in Innenstädten und so durch den Hitze-Insel-Effekt noch höheren Temperaturen ausgesetzt als die Produktionsstätten des sekundären Sektors. Mit 67,5% aller Erwerbstätigen arbeitet hierzulande ein Großteil der Beschäftigten im Dienstleistungssektor, dem damit größten und wichtigsten Wirtschaftssektor. Er ist deswegen bezüglich der Auswirkungen von Hitzeereignissen besonders zu beachten. (vgl. ebd.).

Untersuchungen ergaben, dass eine Bürotemperatur von 22°C als ideal empfunden wird. Temperaturen von über 24 °C hingegen können das körperliche Wohlbefinden bereits beeinträchtigen, wodurch die Leistungsfähigkeit sinkt (vgl. ebd.). In der untenstehenden Grafik ist die Abnahme der Leistungsfähigkeit spätestens ab einer Temperatur von 25°C zu erkennen.

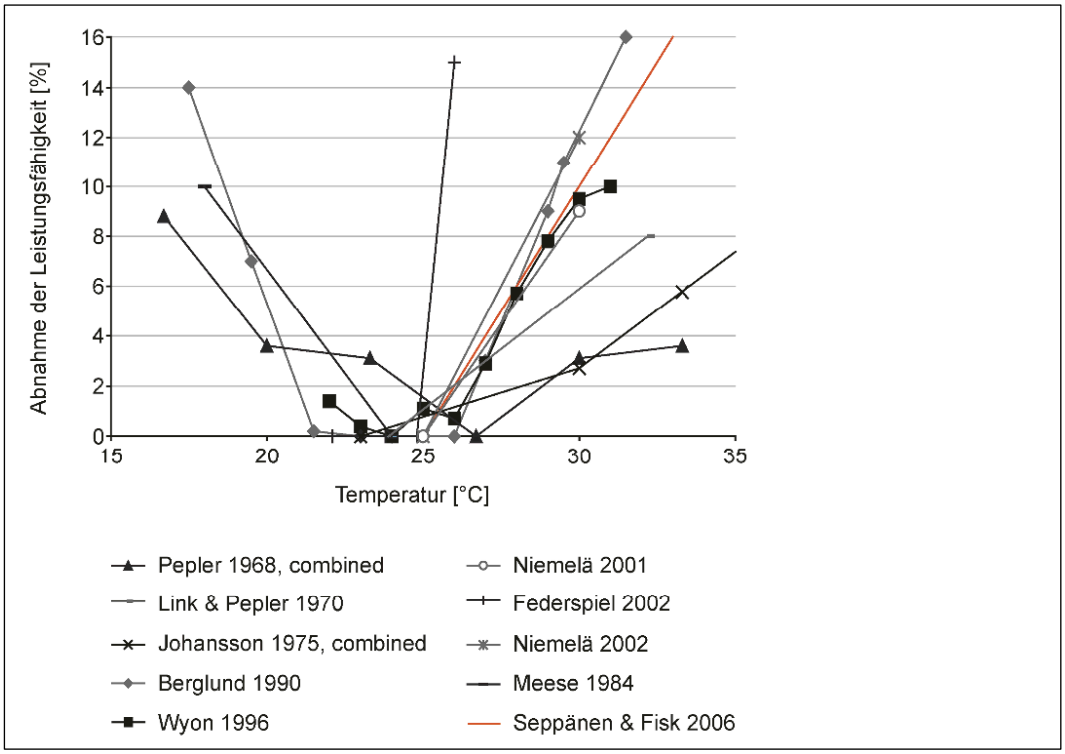

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Temperatur (Weller et al 2016:57)

Ab diesen Temperaturen kommt zu einem Rückgang der Produktivität und somit zu volkswirtschaftlichen Verlusten. Am stärksten ist dieser Effekt bei Arbeitsgebäuden die schlecht gedämmt sind, viele Glasfassaden haben und über keine beziehungsweise unzureichende Kühlsysteme verfügen (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013.1).

Eine Fallstudie für die Stadt Köln untersucht unter anderem den Einfluss von zukünftig immer häufiger auftretenden Hitzeereignissen auf die Produktivität. Dazu wurden, mit einem optimistischen und einem pessimistischen, zwei unterschiedliche Klimaszenarien zugrunde gelegt. Schätzungen ergaben je nach Szenario einen Verlust der jährlichen Produktivität von 26- bis 96 Mio. €. Zudem ist davon auszugehen, dass die Arbeitsproduktivität bei Temperaturen über 25 °C um 2% pro Grad Celsius sinkt. Andere Autoren sprechen bei Temperaturen über 32°C von einem Produktivitätsverlust von nur 3-12%. (vgl. Pissarskoi et al 2015:3ff.; Hübler, Klepper 2007:45).
Mithilfe dieser Werte und unter der Annahme es wäre möglich hitzebedingte Leistungseinbußen direkt in einem niedrigeren Arbeitsoutput zu bewerten, kommt es zu der unten abgebildeten Prognose für den Zeitraum 2071-2100.

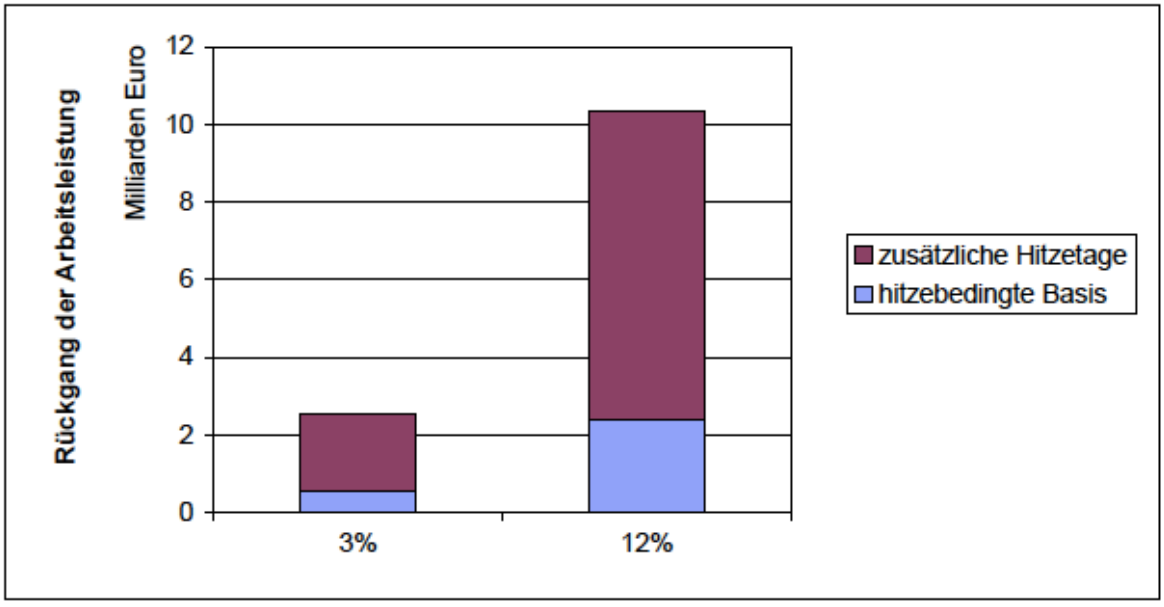

Abbildung 7: Hitzebedingter Rückgang der Wertschöpfung pro Jahr im Prognosezeitraum 2071 - 2100 unter alternativen Impaktannahmen (vgl. Hübler, Klepper 2007:45)

Das Schaubild besagt, dass verglichen mit einem Jahr ohne Hitzetage eine 3 prozentige hitzebedingte Leistungsminderung bei einem Jahr mit Hitzetagen, bei aktuell herrschendem

Klima, bereits einem Verlust von ca. 540 Millionen Euro entspräche. Dies ist im blauen Teil des linken Balkens als hitzebedingte Basis abgebildet. Durch die zunehmende Anzahl an Hitzeereignissen kämen dazu nach dieser Schätzung bis 2100 noch zusätzlich ca. 2 Milliarden Euro Verlust an Sozialprodukt. Dies entspricht dem roten Teil des linken Balkens in der Abbildung.

Legt man höhere Produktivitätseinbußen von etwa 12% zugrunde, so entspräche dies zum heutigen Stand einem Verlust von 2,4 Milliarden Euro. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts würden noch bis zu 8 Milliarden Euro hinzukommen.

Diese groben Schätzungen der in Zukunft durch Hitze verursachten Kosten reichen von 0,03% - 2,8 % des Sozialproduktes des Jahres 2007.

Bemerkenswert ist, dass diese durch Produktivitätsverlust hervorgerufenen Kosten auch bei den niedrigsten Schätzungen noch deutlich höher sind, als die durch Hitze verursachten Krankheitskosten (vgl. Hübler, Klepper 2007:45f).

4.3 Gebäude und Infrastruktur

Zukünftig werden Gebäude und Infrastruktur durch zunehmende Hitzeereignisse stärker gefährdet sein. Im Folgenden wird auf mögliche Schäden näher eingegangen (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013,2).

4.3.1 Schäden an Gebäuden

Durch die steigende Anzahl an Hitzetagen und Hitzewellen und der damit einhergehenden höheren Wärmebelastung kann es insbesondere in Städten zu vermehrten Schäden am Gebäudebestand kommen. Durch den Wechsel von Erwärmung und Abkühlung sowie durch länger anhaltende Höchsttemperaturen, können Schäden wie Bauteilermüdung, Dehnungsrisse, vorzeitige Materialalterung, und Ausfälle technischer Gebäudeausrüstung verursacht werden.

Darüber hinaus nimmt durch die zusätzlich erforderliche Kühlung von Wohn- und Arbeitsgebäuden ihre Wirtschaftlichkeit ab. Dieser zusätzliche Bedarf an Kühlung geht mit einem anwachsenden Energiebedarf einher oder erfordert eine Nachrüstung bzw. Umrüstung einer Klimaanlage, was wiederum zu steigenden Betriebskosten führt.

Zusätzlich zur abnehmenden Rentabilität von Gebäuden trägt die Abwärme von Kühlsystemen zum Wärmeinseleffekt und damit zur Aufheizung des städtischen Raumes bei (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013,2).

Weller et al (2016:53) ist hingegen der Meinung:

> *„Während die meisten klimatischen Einwirkungen direkte, monetär bewertbare Gebäudeschäden verursachen können, ist dies bei sommerlichen Hitzeperioden nicht der Fall. Diese führen im Gegensatz zu Flut- oder Sturmereignissen nur in sehr seltenen Fällen zu materiellen Schäden an der Gebäudesubstanz.“*

4.3.3 Schäden an der Infrastruktur

Auch Verkehrswege werden, durch häufiger auftretende, thermische Schwankungen und erhöhte Durchschnittstemperaturen geschädigt. Hierbei sind insbesondere die Straßen betroffen. Ein verändertes Materialverhalten sowie im Straßenaufbau entstehende Spannungen können vermehrt zu Materialermüdung führen. Zudem kann es häufiger zu Blow-ups (Hitzeaufbrüche/-sprengung) bei Fahrbahndecken aus Beton, Spurrinnenbildung sowie Schäden an Brückenlagern kommen (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2013,2).

5 MASSNAHMENTOOLBOX ZUR STEIGERUNG DER HITZERESILIENZ VON STÄDTEN

Berücksichtigt man die Auswirkungen von Hitze, die im vorherigen Kapitel dargelegt wurden, wird klar, dass insbesondere der Mensch und seine Gesundheit im Mittelpunkt möglicher Hitzepräventionsmaßnahmen stehen muss. Maßnahmen mit diesem Schwerpunkt haben zusätzlich Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und damit die Produktivität des Menschen, was sich wiederum positiv auf die Wirtschaft auswirkt.

Weller et al (2016:53) stellen fest: „Die Einwohner westlicher Industriestaaten halten sich während eines Jahres im Durchschnitt fast 90% in Gebäuden auf […]. Die restliche Zeit verbringen sie in Verkehrsmitteln oder im Freien."

Angesichts dieser Tatsachen liegt nahe, dass im Folgenden schwerpunktmäßig ausgesuchte Hitzeschutzmaßnahmen, die Gebäude betreffen, betrachtet werden. Hierbei soll das Augenmerk dieser Arbeit auf konkreten Maßnahmen liegen, die im Gebäudebestand Anwendung finden können und sich positiv auf die Gesundheit von Menschen, die sich im Gebäude aufhalten (Wohnen/Arbeiten) auswirken.

Zu beachten ist hierbei auch, dass ein Gebäude durch solche Hitzeschutzmaßnahmen einerseits eine Aufwertung erfährt, andererseits aber durch sie auch die Bausubstanz geschützt wird.

Zusätzlich zu den Maßnahmen, die auf den Gebäudebestand abzielen, sollen auch einige ausgewählte Hitzepräventionsmaßnahmen die den öffentlichen Raum beziehungsweise den Verkehr und den darin agierenden Menschen betreffen, in den folgenden Punkten berücksichtigt werden.

5.1 Gebäude:

5.1.1 Albedoänderung und Nutzung natürlicher Baumaterialien für Gebäudeoberflächen

BESCHREIBUNG: Sind Gebäude starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt, so ist unter anderem die Beschaffenheit ihrer Oberflächen entscheidend dafür, wie viel Strahlungsenergie dabei aufgenommen wird und somit wie stark sich der Baukörper aufheizt.

Helle Oberflächen haben ein höheres Reflexionsvermögen und somit eine höhere Albedo als dunkle. Dies ist in der untenstehenden Abbildung zu erkennen.

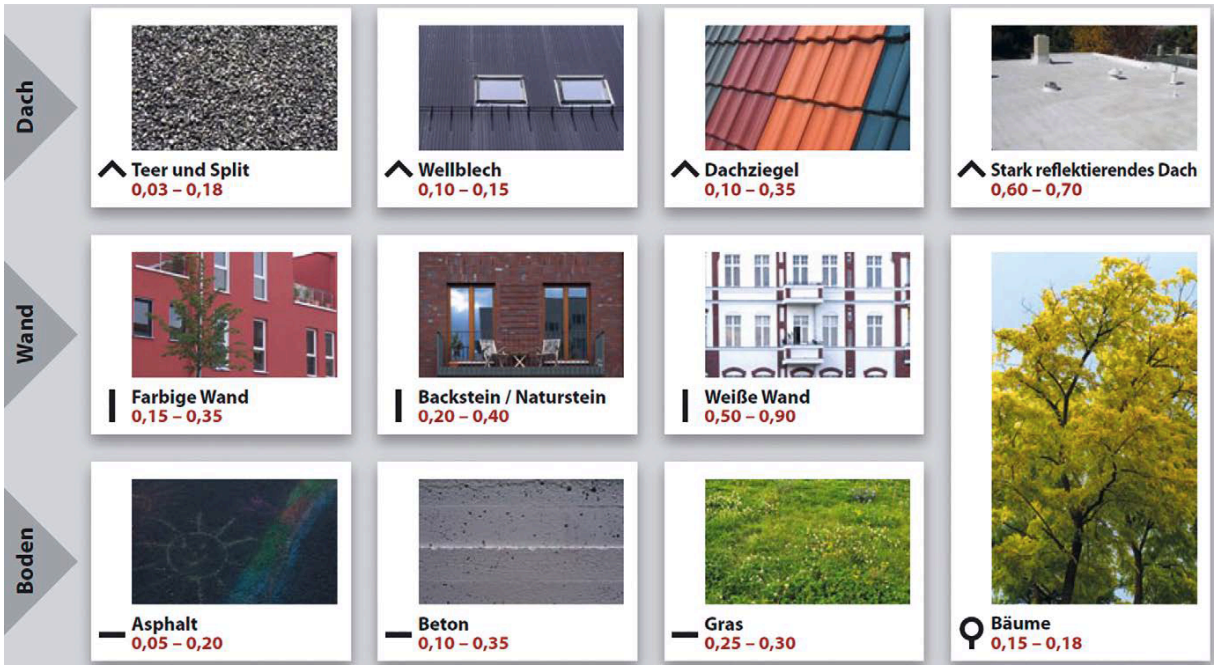

Abbildung 8: Albedowerte verschiedener Oberflächen (Weber et al 2018:72).

Helle Fassaden und Dächer absorbieren folglich weniger Strahlung, dadurch werden das Gebäude und die angrenzenden Luftschichten im Außenraum weniger stark erwärmt und somit der städtische Hitzeinseleffekt abgemildert (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:104).

Die Verwendung natürlicher Baustoffe wie Holz und Naturstein an Gebäudeoberflächen hat ebenfalls positive Auswirkungen auf das Stadtklima. Sie haben im Gegensatz zu Materialien wie beispielsweise Metall oder Asphalt eine geringere Wärmeleitfähigkeit und können weniger von der eingetragenen Energie bzw. Wärme speichern. Damit wird ebenfalls eine geringere Erwärmung des Gebäudes und dessen Umgebung erreicht (vgl. Weber et al 2018:72).

Die Verwendung heller Farben und natürlicher Baustoffe können sowohl beim Neubau als auch bei der Sanierung von Bestandsgebäuden Anwendung finden. Bei Neubauten kann besonders an der Südseite mit hellen Farben an der Fassade eine große Wirkung erzielt werden, da dort die höchste Sonneneinstrahlung erfolgt. Noch größeres Potential ergibt sich jedoch bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Hier kann durch entsprechende Maßnahmen die Albedo der bestehenden Fassaden oder Dächer deutlich erhöht werden (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:104).

ZIEL: Zusammenfassend geht es bei der Aufhellung von Fassaden und der Verwendung natürlicher Baustoffe also darum die Reflexion der Sonnstrahlung zu erhöhen und die Energieaufnahme zu minimieren. Dies trägt dazu bei den Hitzeinseleffekt abzumildern (vgl. Weber et al 2018:72).

HERAUSFORDERUNGEN: Insbesondere bei einer Sanierung von Bestandsgebäuden kann der Denkmalschutz der Aufhellung von Fassaden und der Verwendung natürlicher Baustoffe im Wege stehen, da sich die Vorgaben zum Denkmalschutz bezüglich Farbe und Material und die Ideen zur klimaangepassten Stadtgestaltung widersprechen können. Hier ist eine Sanierung anzustreben, die obige Maßnahmen im Rahmen der bestehenden Vorgaben verwirklicht.
Auch die Einschränkung architektonischer Gestaltungsfreiheit beziehungsweise die Einflussnahme auf die Gestaltung von Oberflächen auf privatem Grund werden als mögliche Herausforderungen genannt, wenn Vorgaben zu Farbe und Material von Fassaden und Dächern implementiert werden.
Als weitere Herausforderung ist zu nennen, dass helle Fassadenflächen tagsüber blenden können. Dabei kann es zusätzlich zu Aufheizungen durch Mehrfachreflexionen kommen. Durch die Mischung von Materialien und die Verwendung verschiedener Helligkeitsgrade, kann dieser Effekt abgemildert bzw. ihm entgegengewirkt werden.
Festzuhalten ist weiterhin, dass es zu einem Zielkonflikt zwischen wärmeangepasster Stadtplanung und dem Wunsch nach einer hohen Energieeffizienz und der solaren Wärmegewinnen im Winter kommen kann (vgl. Weber et al 2018:72; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:37).
Ein weiterer Aspekt liegt auf der Hand: Hat die Sanierung von Bestandsgebäuden ausschließlich das Ziel ein Gebäude klimaangepasster zu gestalten, fallen natürlich zusätzlich Kosten an. Wird ein Gebäude ohnehin saniert, ist vermutlich nicht immer mit höheren Kosten zu rechnen (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:105).
Zuletzt gibt die Stadt Freiburg (2019:105) in ihrem Klimaanpassungskonzept die Instandhaltung sowie die Pflege und Reinigung als Herausforderungen dieser Maßnahme an.

SYNERGIEN: Neben den oben genannten Zielen, hat die Anwendung dieser Maßnahmen an Gebäuden noch weitere positive Aspekte. Dazu gehören ein verbessertes Gebäudeklima, Energieeinsparungen bei Klimaanlagen sowie eine höhere Wohn- und Lebensqualität der

Bewohner (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:39).

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
+	++	+	++	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.2 Dachbegrünung

BESCHREIBUNG: Dachbegrünungen haben positive Auswirkungen auf die klimatischen Verhältnisse im Inneren der begrünten Gebäude sowie auf das städtische Klima im Außenraum. Für die Umsetzung solcher Dachbegrünungsmaßnahmen eignen sich besonders Flachdächer. Grundsätzlich können aber alle Dächer mit einer Dachneigungen bis 45° begrünt werden. Dafür muss im Vorfeld eine Prüfung der Statik erfolgen.

Bei Gründächern wird zwischen zwei unterschiedlichen Ausführungen unterschieden: Extensive und Intensive Dachbegrünung.

Extensive Dachbegrünungen weisen eine dünne Substratschicht und eine rasenartige, wenig anspruchsvolle Vegetation auf. Diese besteht häufig aus Sukkulenten[1] und niedrigen Gräsern. Hierbei erfolgt entweder eine Initialpflanzung oder die Dachfläche wird einem spontanen Bewuchs überlassen. Im Anschluss ist die extensive Variante nur noch mit einem geringen Pflegeaufwand verbunden. Aus dem flacheren Aufbau ergeben sich geringere Lasten weshalb sich diese Art der Begrünung besonders gut bei Bestandsgebäuden im Nachhinein umsetzen lässt.

Gegensätzlich dazu bestehen **Intensive Dachbegrünungen** aus mehreren Substratschichten und einer höheren Vegetation. Abhängig von der verfügbaren Fläche und von der Begehbarkeit des Daches können dabei Gartenflächen mit Bäumen, Sträuchern Teichen, Sumpfzonen und Wegen umgesetzt werden. Sind Teiche und Sumpfzonen vorhanden, spricht

[1] Pflanzen die Wasser in ihren Pflanzenteilen speichern (z.B. Kakteen).

man dabei von einem blaugrünen Dach. In der Regel ist hierbei eine regelmäßige Pflege, Bewässerung und Düngung der Dachbegrünung erforderlich. Insbesondere bei der intensiven Form ist eine massive Bauweise des jeweiligen Gebäudes zwingend erforderlich.
Eine wasserdichte Dachbedeckung sowie ein Schutz gegen Durchwurzelung sind im Übrigen Voraussetzungen für beide Arten der Begrünung. (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:118f.; Weber et al 2018:64).

ZIELE: Dachbegrünungen erhöhen den Anteil von Grünflächen in Städten und tragen mit ihrer kühlenden Wirkung zu einer Verbesserung des Klimas bei. Gründächer sind zudem in der Lage Wasser zu speichern. Dessen Verdunstung führt zu einer Abkühlung der Luft oberhalb der Dachfläche. Zusätzlich verbessert sich das Innenraumklima im Gebäude und der Kühlbedarf im Sommer wird reduziert (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:118; Weber et al 2018:64).
Die tatsächliche Kühlleistung eines begrünten Dachs ist im Übrigen von der Art seines Aufbaus abhängig. Dabei gilt, wie unten abgebildet, je höher das Grünvolumen und der Wasseranteil bzw. die Wasserspeicherkapazität desto höher die Leistung.

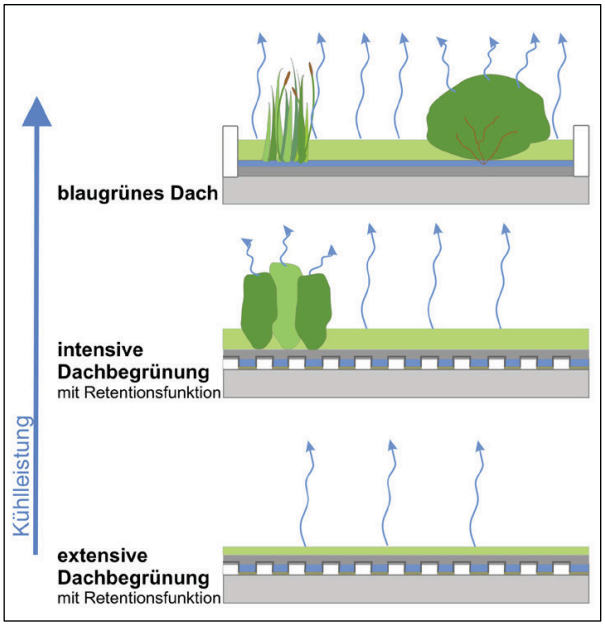

Abbildung 9: Verschiedene Arten eines Dachaufbaus und deren Kühlleistung (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119)

Erfolgt die Begrünung nur vereinzelt so findet die Abkühlung fast ausschließlich und nur unmittelbar über und unter der jeweiligen Dachfläche statt. Werden jedoch sehr viele Dächer

begrünt, wird angenommen, dass dies einen maßgeblichen Effekt auf den städtischen Hitze-Insel-Effekt hat (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:118).

HERAUSFORDERUNGEN: Zu den Herausforderungen bei der Umsetzung dieser Maßnahme zählen unter anderem die Berücksichtigung des Denkmalschutzes und die Erfüllung der statischen Anforderungen. Hinzu kommt die Einflussnahme auf Dachflächen, die sich in privatem Besitz befinden. Des Weiteren kann es in Kombinationen mit Photovoltaikanlagen bei unsachgemäßer Ausführung zu Ertragsverlusten der Anlage durch Verschmutzung oder Verschattung kommen. Darüber hinaus muss besonders bei intensiver Begrünung ein erhöhter Pflegeaufwand betrieben werden, welcher mit Mehrkosten verbunden ist (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:64).

SYNERGIEN: Gründächer tragen vor allem in ihrer intensiven Form zum Erhalt der Biodiversität in Städten bei. Durch sie werden zusätzliche Lebensräume für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten geschaffen. Außerdem wird ein Teil des Regenwassers auf dem Dach gebunden und kann dort verdunsten. Dadurch kommt es zu einer Einsparung bei den Niederschlagswassergebühren und zu einer Entlastung des Kanal- und Kläranlagensystems.
Überdies kommt es zu einer geringeren Abflussgeschwindigkeit des Wassers bei Starkregenereignissen was wiederum zu geringeren Schäden durch Überflutung führt.
Ein weiterer vorteilhafter Nebeneffekt sind Energieeinsparungen. Durch die Dämmwirkung des Gründachaufbaus fallen im Winter weniger Heizkosten an, während im Sommer durch die Hitzeschutzwirkung Kosten für eine Klimatisierung eingespart werden.
Zuletzt kommt es zu einer Minderung des städtischen Lärms. Hierbei gilt je höher der Substrataufbau desto größer ist die schalldämmende Wirkung. Auch der Pflanzenbewuchs der Begrünung ergänzt die Dämpfung des Lärmpegels (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:64).

PRAXISBEISPIEL: Die Hamburger Gründachstrategie hat die Zielsetzung insgesamt 100ha Dachfläche mit intensiver oder extensiver Begrünung zu versehen. In diesem Zusammenhang soll die stadtklimatische und wasserwirtschaftliche Wirkung von Dachbegrünungen weiter untersucht werden. In den Abbildungen 10 und 11 sind beispielhaft die Vision der

Gründachstrategie für den Stadtteil Altona, sowie die bereits begrünte Tiefgarage der Behörde für Umwelt und Energie von Hamburg zu sehen (vgl. Weber et al 2018:65)

Abbildung 10: Hamburger Gründachstrategie: Vision für den Stadtteil Altona (Weber et al 2018:65)

Abbildung 11: Intensive Dachbegrünung über der Tiefgarage der Behörde für Umwelt und Energie von Hamburg (Weber et al 2018:65)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
++	++	++	++	++

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.3 Fassadenbegrünung

BESCHREIBUNG: „Der planmäßige und kontrollierte Bewuchs geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden mit Pflanzen wird als Fassadenbegrünung bezeichnet“ (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:120). Fassadenbegrünungen sind besonders in städtischen Gebieten, in denen eine andere Form der Begrünung entweder unerwünscht oder nicht umsetzbar ist, eine sehr gute Option den zunehmenden Hitzeereignissen entgegenzuwirken (vgl. Weber et al 2018:66).

Bei der Begrünung von Fassaden wird grundsätzlich zwischen einer erdgebundenen und einer fassadengebundenen Form unterschieden. Welche davon zum Einsatz kommt ist von den Eigenschaften des jeweiligen zu begrünenden Gebäudes abhängig. Um Schäden an Gebäude oder Begrünung zu verhindern, gilt es dabei Aspekte des Aufbaus, wie die Art der Bepflanzung, Befestigungsmethode und die anstehende Last, sowie Aspekte der Pflege, wie Pflanzenschnitt

und Bewässerung zu beachten (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:120).

Die Bepflanzung mit Rank- und Kletterpflanzen erfolgt bei der **erdgebundenen Form** direkt im angrenzenden Erdboden. Hierbei ist es möglich die Pflanzen selbstklimmend an der Fassade oder an Gerüsten oder Seilen emporwachsen zu lassen. Diese Form erfordert verhältnismäßig wenig Pflege. Wie viel aber tatsächlich bewässert werden muss, hängt von der Niederschlagsmenge und der Bodenqualität ab.

Die Ausführung **wandgebundener** Begrünung kann horizontal in Pflanzkästen oder Kübeln, oder aber vertikal in Substratmodulen erfolgen. Verglichen mit der erdgebundenen Form ist hier ein höherer Pflegeaufwand erforderlich und es müssen Bewässerungsvorrichtungen eingeplant werden. Vorteilhaft hingegen ist die Unabhängigkeit vom Standort der wandgebundenen Form. Um möglichst geringe Lasten zu erzeugen, kommen hierbei Substrate zum Einsatz, welche die Eigenschaft besitzen, bei geringem Eigengewicht möglichst viel Wasser aufnehmen und speichern zu können. Um die Wasser- und Nährstoffversorgung dieser Form der Begrünung zu gewährleisten wird häufig eine Tröpfchenbewässerung verwendet (vgl. Weber et al 2018:66).

ZIELE: Durch Fassadenbegrünung kann sowohl das Außenraumklima in Bodennähe als auch das Klima im Innenraum positiv beeinflusst werden. Die Pflanzen der Begrünung haben durch Verdunstung eine Kühlwirkung, sie erzeugen Schatten und bilden eine isolierende Luftschicht zwischen sich und dem Gebäude. Dies bewirkt eine reduzierte Wärmeaufnahme des Gebäudes sowie eine reduzierte Abgabe von Wärme an die Umgebung. Ein begrüntes Gebäude heizt sich dadurch im Sommer deutlich weniger auf. Wie unten in Abbildung 12 dargestellt, können hiermit beispielsweise mit der bodengebundenen Begrünungsvariante sehr gute Ergebnisse erzielt werden (vgl. ebd.:66).

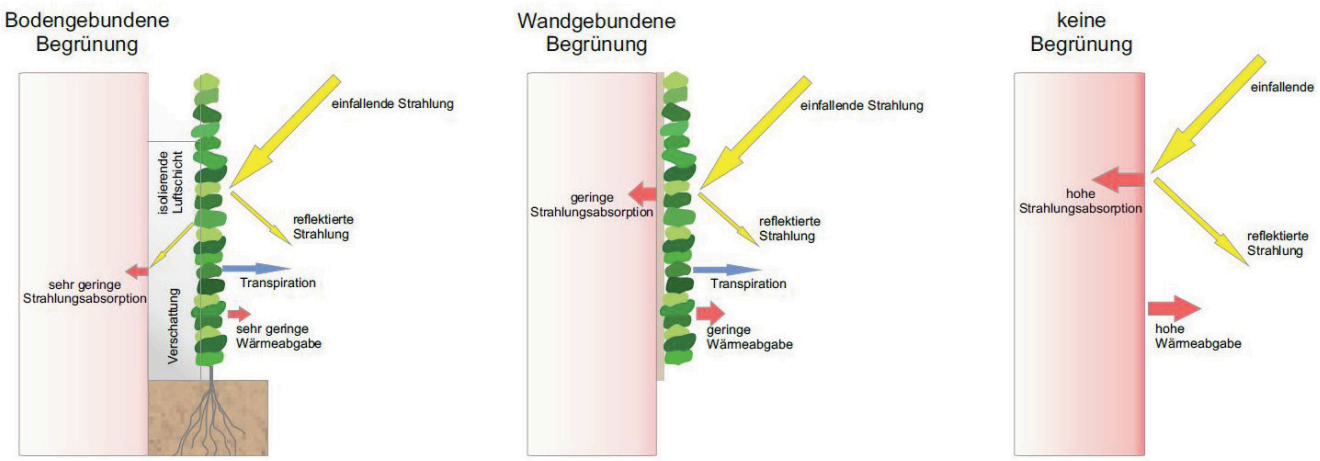

Abbildung 12: Wirkung von Fassadenbegrünungen (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:121)

HERAUSFORDERUNGEN: Fassadenbegrünungen müssen gepflegt werden und besonders die wandgebundene Form erfordert regelmäßige Bewässerung. Ebenso müssen bei der Planung einer solchen Begrünungsmaßnahme die Vorgaben des Denkmalschutzes berücksichtigt werden (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 2015:65).

SYNERGIEN: Neben der Kühlwirkung im Sommer wirkt eine Fassadenbegrünung im Winter wärmedämmendend. Darüber hinaus fungiert sie als Luft- und Schadstofffilter und wirkt sich positiv auf die Biodiversität aus. Zusätzlich wird durch die Bepflanzung die Bausubstanz geschützt und aufgewertet sowie Schall gemindert. Außerdem kann eine kombinierte Photovoltaikanlage von der kühlenden Wirkung der Begrünung profitieren (vgl. ebd.:65).

PRAXISBEISPIELE: Das unten abgebildete Foto (Abbildung 13) zeigt ein Praxisbeispiel einer wandgebundenen Fassadenbegrünung. Es handelt sich hierbei um das Bürogebäude der Magistratsabteilung 48 in Wien. Ziel dieses Projekts war eine Sanierungsmaßnahme des Ziegelbaus ohne konventionelle Wärmedämmung. Bereits ein Jahr nach der Umsetzung konnte eine Reduktion des Wärmeverlustes im Winter um bis zu 50 % gemessen werden. Außerdem entsprach die Kühlleistung der Begrünung durch Verdunstung im Sommer der von etwa 45 Klimakühlgeräten mit jeweils 3000 Watt Kühlleistung und 8 Stunden Betriebsdauer. Darüber hinaus wurde die Oberflächentemperatur der begrünten Gebäudehülle deutlich gesenkt. Messungen ergaben Temperaturunterschiede von bis zu 15 °C zwischen Begrünung und dem unbegrünten Sockelbereich (vgl. Enzi, Scharf 2021:15f.).

Abbildung 13: Fassadenbegrünung Bürogebäude Magistratsabteilung 48 in Wien (Weber et al 2018:67)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
++	+	++	++	++

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.4 Verschattung von Gebäuden durch Pflanzen

BESCHREIBUNG: Die Verschattung von Gebäuden durch Bäume, Sträucher oder Hecken kann die Aufheizung eben dieser im Sommer deutlich reduzieren. Für eine solche Beschattung sind generell alle Laubgehölze geeignet, vorausgesetzt sie erreichen eine gewisse Höhe und eignen sich für den jeweiligen Standort. Besonders geeignet sind Bäume mit großen Kronen. Es sollte zudem darauf geachtet werden, dass die gewählte Baumart an das zu erwartende städtische Klima angepasst ist. Dabei ist insbesondere die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegen Hitze, Trockenheit, Winterfrost und Kälte zu berücksichtigen (vgl. Weber et al 2018:68; Neht 2020:46).

Während im Sommer die Verschattung erwünscht ist, soll sich, wie unten in Abbildung 14 dargestellt, das Gebäude im Winter durch die Sonneneinstrahlung erwärmen. Deshalb sind immergrüne Gehölze für die Beschattung eher ungeeignet (vgl. Weber et al 2018:68).

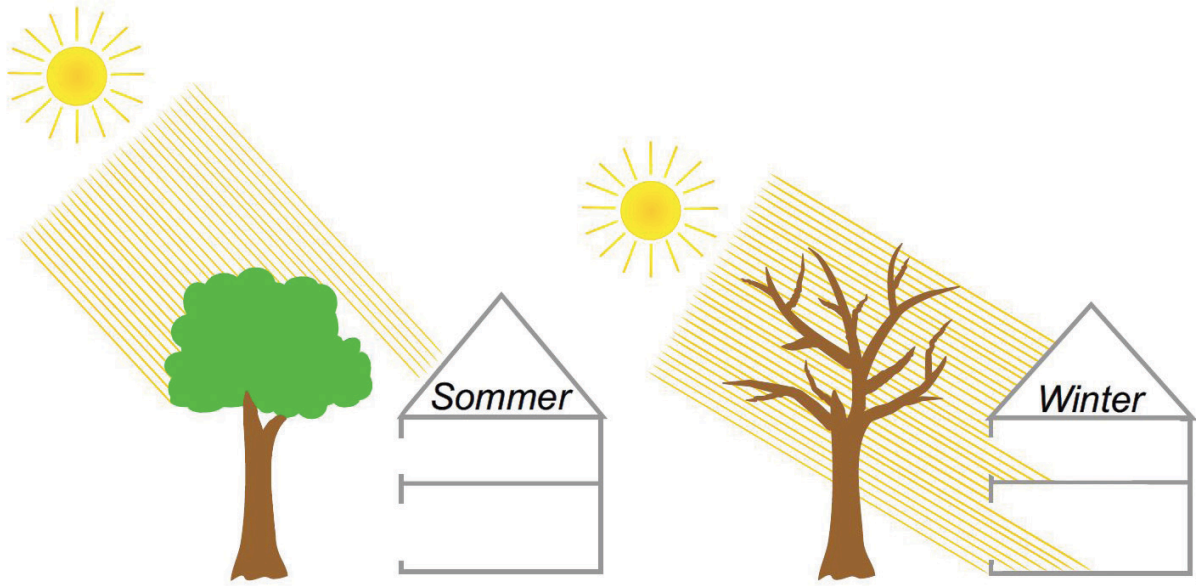

Abbildung 14: Schematische Darstellung einer Gebäudeverschattung durch Bäume (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:123).

ZIELE: Ziel von Gebäudebeschattung ist es, die Wärmeaufnahme und -speicherung eines Gebäudes zu reduzieren. Der Wärmeaufnahme über Dach, Fassaden und Fenster soll dabei durch den Schattenwurf von Bäumen entgegengewirkt werden. Generell sind diese Maßnahmen an Süd- und Westfassaden am sinnvollsten, aber im städtischen Raum kann aufgrund diffuser Strahlung auch eine Beschattung der Nordseite wirkungsvoll sein. Erfolgt die Beschattung durch Gehölze so entsteht durch deren Transpiration (Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen) eine zusätzliche Kühlwirkung auf den Baukörper (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:68 & 122).

HERAUSFORDERUNGEN: Zu den Herausforderungen bei Gebäudeverschattung zählen unter anderem die Anforderungen des Denkmal- und des Brandschutzes, Sichteinschränkungen der Bewohner durch Bäume, Sträucher oder Hecken, sowie die Auswahl geeigneter Baumarten (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:123).

SYNERGIEN: Besonders bei der natürlichen Beschattung durch Pflanzen (Bäume, Hecken, Sträucher) entstehen zahlreiche Synergieeffekte. Dazu zählen die Verbesserung der Luftqualität, die Erhöhung der biologischen Vielfalt (Biodiversität), die Lärmmindernde Wirkung und der Schutz vor Hochwasser durch die Speicherung von Niederschlagswasser (vgl. ebd.:123).

PRAXISBEISPIEL: Ein Beispiel aus Köln zeigt in Abbildung 15 die Beschattung einer Fassade durch Bäume.

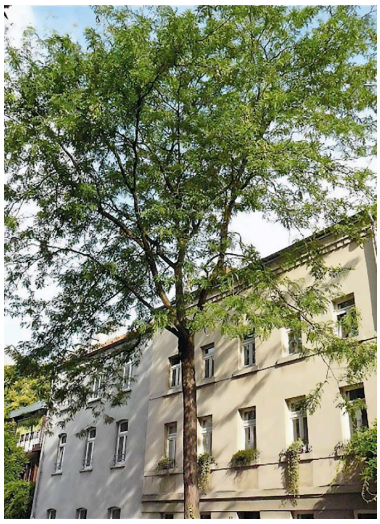

Abbildung 15: Bäume beschatten im Sommer die sonnenexponierte Fassade - ein Beispiel aus Köln (Weber et al 2018:68)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
++	+++	++	++	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.5 Sommerlicher Wärmeschutz

BESCHREIBUNG: Beim sommerlichen Wärmeschutz sind Dach, Fassaden und Fensterflächen, die Gebäudeelemente deren Abkühlungspotentiale ganzheitlich genutzt werden sollen. Mit Blick auf Dach und Fassade hat die Auswahl der Baumaterialien und der Dämmstoffe entscheidenden Einfluss darauf, wie viel Wärme ins Gebäude gelangt, beziehungsweise gespeichert wird.

Um die Innenraumtemperatur möglichst gering zu halten, ist die Umsetzung des sommerlichen Wärmeschutzes bei Fenster- und Glasflächen besonders wirksam. Vor allem außen liegende Sonnenschutzelemente sind dabei sehr effektiv. Hierbei kommen zahlreiche konstruktive Lösungen in Frage. Dazu zählen beispielsweise flexible Roll-, Klapp- oder Schiebeläden, Vertikallamellen, Vertikal-, oder Fallarmmarkisen, Jalousien und Sonnensegel

(vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:70 & 124). Abbildungen 16 und 17 zeigen beispielhaft außenliegende Schiebeelemente aus Holz zur Verschattung beziehungsweise den Wärmeschutz von Fenstern durch Rollläden.

Abbildung 16: Mehrfamilienhaus mit außenliegenden Schiebeelementen aus Holz zur Verschattung (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) 2017:31)

Abbildung 17: Außenliegende Verschattung durch Rollläden (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) 2017:31)

Eine weitere Möglichkeit des sommerlichen Wärmeschutzes bietet der Einbau von Sonnenschutzverglasungen oder -folien. Innenliegende Schutzmaßnahmen sind zwar grundsätzlich weniger effektiv, können jedoch zum Beispiel bei Einschränkungen aus Gründen des Denkmalschutzes eine gute Alternative darstellen. Dazu zählen unter anderem Vertikallamellen, Jalousien und Vorhänge.

Neben den oben genannten Maßnahmen fällt auch eine regelmäßige Lüftung der Räume durch die Bewohner unter Umsetzung sommerlichen Wärmeschutzes. Gelüftet werden sollte während der Nacht und am frühen Morgen, wenn die Außen- unter der Innenraumtemperatur liegt (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:124).

ZIELE: Im Wesentlichen geht es beim sommerlichen Wärmeschutz darum, während des Sommers ein angenehmes Innenraumklima zu gewährleisten. Ein zu starkes Aufheizen des Gebäudes soll, bei einem zeitgleich niedrigen Energieverbrauch durch Kühlung, verhindert werden (vgl. Weber et al 2018:124).

HERAUSFORDERUNGEN: Um sommerlichen Hitzeschutz an Gebäuden umsetzen zu können, müssen Auflagen des Brand- sowie des Denkmalschutzes berücksichtigt werden (vgl. ebd.:124).

SYNERGIEN: Durch die Schutzmaßnahmen wird die Wärmeaufnahme eines Gebäudes reduziert, was wiederum zu einer Senkung der Energiekosten führt, die für Gebäudekühlung aufgewendet werden müssen (vgl. ebd.:125).

PRAXISBEISPIEL: In Abbildung 18 handelt es sich um ein Wohnhaus im Freiburger Stadtteil Vauban, bei dem die Verschattung, mit manuell verschiebbaren Elementen mit Holzlamellen, für jede Wohneinheit individuell erfolgen kann.

Abbildung 18: Wärmeschutz in dem Freiburger Stadtteil Vauban mittels Holzlamellen (ebd.:125).

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
0 / (+)	+	0	+++	++

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.6 Energetische Gebäudesanierung

BESCHREIBUNG: Die Dämmung von Außenwänden, Dach, Keller-Außenwänden und Kellerdecken sowie die Sanierung von Fenstern und der Heizungsanlage sind geeignete Maßnahmen im Zuge einer energetischen Sanierung. Um neben einer Kälte- auch eine gute Hitzeschutzwirkung zu erreichen, ist unter anderem die Wahl der richtigen Dämmmaterialien von großer Bedeutung. Eine geringe Wärmeleitfähigkeit, eine hohe Wärmespeicherkapazität und eine hohe Rohdichte sind Eigenschaften eines Dämmstoffes, die bewirken, dass im Sommer die Wärme außerhalb und im Winter die Wärme im Gebäude gehalten wird.
Eine hohe Wärmespeicherkapazität sorgt dafür, dass während des Tages bei Hitzeereignissen die Wärme nur sehr langsam aufgenommen und wieder abgegeben wird. Dadurch bleibt es im Innenraum bei niedrigeren Temperaturen. Kühlt es nachts ab, so wird die gespeicherte Wärme wieder an die Umgebung abgegeben (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:128; Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) 2017:30).

ZIEL(E): Das Ziel einer energetischen Gebäudesanierung ist die Senkung des Energiebedarfes einer Immobilie durch technische und bauliche Maßnahmen. Mit dieser Klimaschutzmaßnahme soll der Energieverbrauch durch Heizung, Warmwasser, Kühlung, und Lüftung reduziert werden (vgl. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) 2017:30).

HERAUSFORDERUNGEN: Bei der energetischen Gebäudesanierung müssen unter anderem die Bestimmungen des Denkmalschutzes und des Brandschutzes berücksichtigt werden. Mögliche Hemmnisse resultieren auch aus hohen Investitionskosten und der Einflussnahme auf die Bauten auf privatem Grund (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:129; Weber et al 2018:71).

SYNERGIEN: Eine Sanierungsmaßnahme hat nicht nur positive Auswirkungen auf das Wohnklima, sie verbessert darüber hinaus den Feuchtigkeitsschutz sowie den Brandschutz und sorgt für einer Verlängerung der Lebenszeit des Gebäudes. Zusätzlich ist eine Verbesserung des Schallschutzes zu erwarten (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:119; Weber et al 2018:129).

PRAXISBEISPIEL: In der untenstehenden Abbildung 19 wird die Gebäudethermografie eines zur Hälfte sanierten Hauses dargestellt. Hierbei werden mithilfe einer Wärmebildkamera die energetischen Verluste bei Beheizung oder Klimatisierung sichtbar gemacht.

Abbildung 19: Wärmebilanz: sanierte (rechts) und nicht sanierte Fassade (Weber et al 2018:71)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
++	+	++	+++	++

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.1.7 Technische Gebäudekühlung

BESCHREIBUNG: Technische oder aktive Gebäudekühlsysteme sind ein wichtiger Bestandteil der Klimaanpassung. Sie kommen dort zum Einsatz wo passive Maßnahmen wie beispielsweise eine energetische Gebäudesanierung oder Verschattungselemente am Gebäude nicht ausreichen oder erst gar nicht zur Anwendung kommen können.

Hierbei sollte, falls möglich, auf die Verwendung von herkömmlichen Klimaanlagen verzichtet werden, da diese mit einem hohen Energieverbrauch und dem Einsatz von klimaschädlichem Kühlmittel eine schlechte Ökobilanz aufweisen. Zudem tragen sie mit ihrer Abwärme zu einer

zusätzlichen Erwärmung ihrer Umgebungsluft bei (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:126; Weber et al 2018:71).

Zu den klimafreundlicheren Varianten der aktiven Kühlung zählt die kontrollierte Wohnraumlüftung, bei welcher maschinelle Be- und Entlüftungssysteme zum Einsatz kommen. Ferner können auch solarthermische Elemente, die im Winter zu Heizzwecken genutzt werden, im Sommer zur Kühlung eingesetzt werden. Weitere ressourcenschonende Möglichkeiten sind die Nutzung von adiabater Abluftkühlung bei der Regenwasser zum Einsatz kommt oder die Nutzung von Erdkälte durch eine Wärmepumpe. Ein weiteres Beispiel von Erdkältenutzung ist die Thermische Bauteilaktivierung oder auch Betonkerntemperierung. Hierbei werden Rohrsysteme in der Bewehrungslage von Betonbauteilen eingebaut, in denen Wasser zirkuliert. Die während einer Hitzeperiode tagsüber entstehende Wärme wird über das Rohrsystem durch Sonden oder Pfähle nachts an das Erdreich abgegeben (Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:66; Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:126).

ZIEL(E): Technische oder aktive Gebäudekühlung hat die Reduktion der Wärmebelastung von Innenräumen bei Hitzeereignissen zum Ziel (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:126).

HERAUSFORDERUNGEN: Zu den Herausforderungen der aktiven Gebäudekühlung gehört unter anderem die Auswahl technischer klimaneutraler Lösungen die möglichst den Anforderungen des Klimaschutzes sowie der Kimaanpassung gerecht werden (vgl. ebd.:127).

SYNERGIEN: Der Einsatz von klimaschonenden aktiven Kühltechniken führt zu einer Senkung der für die Innenraumkühlung von Gebäuden anfallenden Energiekosten (vgl. ebd.:127).

PRAXISBEISPIEL: Im Zuge der Sanierung der in Abbildung 20 zu sehenden Universitätsbibliothek Freiburg wurde ein Heiz- und Kühlsystem eingeplant, bei dem die Gebäudekühlung über Betonkerntemperierung funktioniert und Kälte aus Tiefbrunnenwasser genutzt wird.

Abbildung 20: Die Freiburger Universitätsbibliothek verfügt über ein Heiz- und Kühlsystem mittels Betonkerntemperierung (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:127)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
0 / (-)	+	0	+++	++

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.2 Öffentlicher Raum:

5.2.1 Beschattung des öffentlichen Raumes

BESCHREIBUNG: Mit Beschattungsmaßnahmen wird die Hitzebelastung an Sommertagen auf öffentlichen Plätzen reduziert. Weil durch den Schattenwurf weniger direkte Sonne auf diese in der Regel versiegelten Flächen fällt, heizen sich diese dadurch deutlich weniger auf. In der Folge wird weniger Wärme gespeichert und bei Nacht wieder abgegeben. So wird die nächtliche thermische Belastung der angrenzenden Gebäude gemindert. Zu diesen öffentlichen Aufenthaltsbereichen zählen Straßen, Geh- und Fahrradwege, Stadtplätze sowie Freizeit- und Sportanlagen. Die Verschattung kann durch Bäume oder Sträucher, Gebäudeanbauten, Kleinbauten oder den großflächigen Einsatz künstlicher Materialien erfolgen.

Ist die Beschattung durch Bäume oder Sträucher möglich, so sollten möglichst großkronige Arten ausgewählt werden, da durch ein hohes Grünvolumen auch eine große Schattenwirkung erzielt werden kann. Weitere positive Aspekte dieser Variante sind die Verbesserung des städtischen Mikroklimas und die Kühlfunktion von Bäumen durch die Verdunstung von Wasser. Ist die Pflanzung von Bäumen, aus Gründen wie Platzmangel für Wurzeln oder Kronen, nicht oder nicht ausreichend möglich, so gibt es für gebäudenahe und -ferne Freiflächen zahlreiche alternative Optionen.

Befinden sich die zu beschattenden Flächen in der Nähe von Gebäuden so kommen technische oder bauliche beziehungsweise temporäre oder permanente Lösungen in Frage. Arkaden, Vordächer, Anbauten und Überdachungen von Passagen gehören zu den Möglichkeiten gebäudenahe Wege und Plätze dauerhaft zu Beschatten. Temporäre Beschattung hingegen kann unter anderem durch Markisen oder Sonnensegel umgesetzt werden (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:100; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78). Abbildung 21 zeigt beispielhaft ein temporäres Sonnensegel welches im Zuge einer Kunstaktion auf dem Münsterhof in Zürich installiert wurde.

Abbildung 21: Temporäre Sonnensegel bieten im Sommer 2017 als Kunstaktion Schatten auf dem Müntserhof in Zürich (Weber et al 2018:74)

Die Beschattung Gebäudeferner Freiflächen wie Stadtplätze, große Parkplätze oder Sportanlagen kann durch Photovoltaikanlagen, Pergolen, Flugdächer, Pavillons oder Sonnensegel erfolgen (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:100; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78).

ZIEL(E): Durch die Beschattung von öffentlichen Freiflächen, sollen gesundheitlich unbedenkliche Aufenthaltsbereiche für Stadtbewohner und Touristen, während Hitzeperioden geschaffen und zudem die Aufenthaltsqualität im Freien gesteigert werden (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:100; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78).

HERAUSFORDERUNGEN: Einer Beschattung durch Bäume kann der mangelnde Raum für Wurzeln und Kronen im Wege stehen. Außerdem können horizontale Beschattungselemente und geschlossene Kronendächer den vertikalen Luftaustausch und damit die Wiederabgabe von Strahlungsenergie sowie den Abtransport von Luftschadstoffen behindern. Ferner kann es durch bauliche Elemente im Winter zu einer ungewollten Beschattung von Gebäudeteilen kommen (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:100; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78).

SYNERGIEN: Zu den Synergieeffekten der Baumbeschattung zählen unter anderem der verbesserte Lärmschutz, die luftreinigende Wirkung und der Erhalt der Biodiversität. Bauliche Maßnahmen hingegen, bieten zusätzlichen Schutz vor Regen und Schnee. In ihrer Gesamtheit tragen alle Beschattungsmaßnahmen in öffentlichen Bereichen zu einer Verbesserung der Lebensqualität und des Wohlbefindens der Menschen im urbanen Raum bei (vgl. Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:100; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78).

PRAXISBEISPIEL: Da am Vieux Port in Marseille aus städtebaulichen Gründen keine Begrünungsmaßnahmen umgesetzt werden können, wurde dort ein Kunstobjekt zur Beschattung installiert. Bei der unten abgebildeten L‘Ombrière handelt es sich um ein vollverspiegeltes Dach auf schlanken Stützen, welches den Menschen sowohl vor der sommerlichen Hitze als auch vor Regen Schutz bietet (vgl. Weber et al 2018:75).

Abbildung 22: L'Ombrière in Marseille (Weber et al 2018:75)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
+	++	+	0	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.2.2 Aufhellen, Entsiegeln und Hitzeoptimieren von Belägen im Freiraum

BESCHREIBUNG: Dunkle und versiegelte Oberflächen verstärken den Hitzeinseleffekt in Städten. An heißen Sommertagen nehmen öffentliche Plätze und Verkehrsflächen sehr viel Wärme auf und speichern diese. Durch die nächtliche Wärmeabgabe kann vor allem bei dichter Bebauung keine ausreichende Abkühlung mehr stattfinden.

Durch den Einsatz von hellen und reflektierenden Materialien mit geringer Wärmespeicherkapazität auf Oberflächen kann folglich eine Aufheizung des öffentlichen Raumes reduziert werden. Um helle Oberflächen zu erhalten, sollten Asphaltflächen möglichst reduziert werden. Stattdessen wäre es ideal vermehrt auf Materialien wie hellen Beton oder Naturstein zurückzugreifen. Dies liegt darin begründet, dass sich Platten- oder Pflasterbeläge

aus diesen Materialien aber auch schottergebundene Decken deutlich weniger aufheizen als beispielsweise Gussasphalt.

Für die thermischen Eigenschaften von Oberflächenbelägen ist neben der Helligkeit auch die Materialstruktur von entscheidender Bedeutung. Die Umsetzung von Entsiegelungs- oder Teilentsiegelungsmaßnahmen reduziert beispielsweise die Aufheizung während des Tages und sorgt dafür, dass sowohl eine Verdunstung als auch eine Versickerung des Oberflächenwassers stattfinden kann. In Abbildung 23 sind unterschiedliche Arten der Versiegelung mit ihrer Durchlässigkeit in Prozent dargestellt.

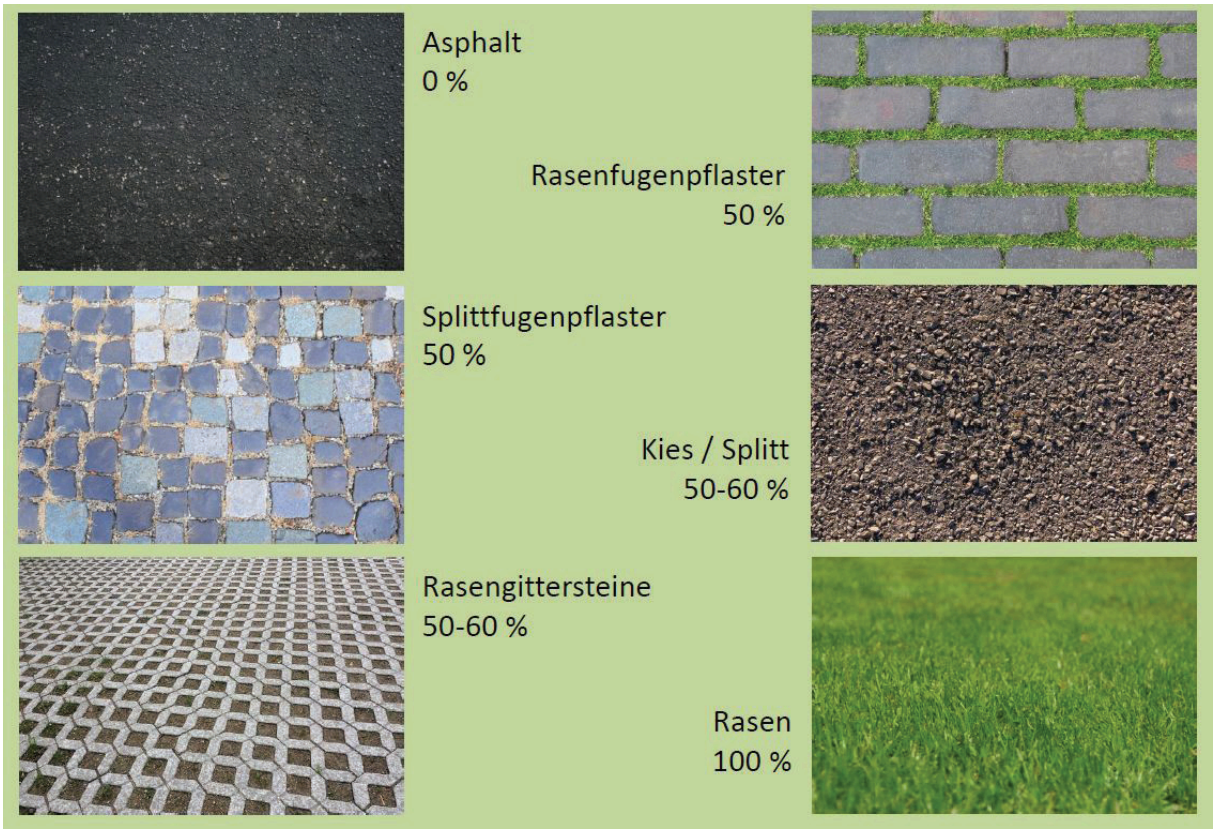

Abbildung 23: Verschiedene Versiegelungsarten mit unterschiedlichen Wasserdurchlässigkeiten (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:117)

Für eine Entsiegelung finden sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten wie beispielsweise Parkplätze, Hofflächen oder Zufahrten. Im Zuge einer solchen Maßnahme können unter anderem offenporiger Asphalt, Schotterdecken, Schotterrasen oder Rasengittersteine eingesetzt werden (siehe auch Abbildung 23). Wie Abbildung 24 zeigt können auch Kunststoff-Rasengitter als befahrbarer offener Oberflächenbelag eingesetzt werden (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:36)

Abbildung 24: Befahrbares Kunststoff-Rasengitter mit Vegetation (ebd.:36)

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich eine Materialkombination aus hellen Farben, einer hohen Oberflächenrauigkeit und einer hohen Porosität am besten eignet, um die Oberflächentemperatur sowie die gespeicherte Energie gering zu halten und das Regenwassermanagement zu optimieren (vgl. ebd.:36).

ZIEL(E): Mit der Aufhellung und Entsiegelung öffentlicher Flächen soll einer übermäßigen Aufheizung des städtischen Raumes entgegengewirkt und somit auch der Hitzeinseleffekt abgemildert werden (vgl. ebd.:36).

HERAUSFORDERUNGEN: Wasserdurchlässige Beläge können oft nur auf Parkplätzen zum Einsatz kommen, da ihnen die mechanische Eignung für Verkehrsflächen meist fehlt. Außerdem steht ihrem Einsatz gelegentlich die Barrierefreiheit und deren Kriterien im Weg. Zudem sind geeignete Oberflächenmaterialien wie Pflaster teurer als beispielsweise Asphalt. Bei hellen Oberflächen, kann sich zudem eine Reflexion auf angrenzende dunkle Gebäude, in Form von unerwünschter Aufheizung, negativ auswirken (vgl. ebd.:36).

SYNERGIEN: Durch ihre Versickerungs- und Verdunstungsfähigkeit, können helle Beläge wie Plattenbeläge im Sandbett oder Schotterdecken, zusätzlich zu einer Abkühlung der Umgebung beitragen. Darüber hinaus sind sie aufgrund ihrer Wiederverwendbarkeit eine nachhaltige Alternative.
Weitere Synergieeffekte dieser Maßnahmen sind unter anderem die Erhöhung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum und die Erhöhung der Lebensqualität in dicht

besiedelten Gebieten. Zusätzlich werden öffentliche Räume und damit die Stadt in der sie sich befinden attraktiver für den Tourismus. (vgl. ebd.:36)

PRAXISBEISPIEL: Mit dem Pilotprojekt ‚Coole Pavement' hat Die Stadt Los Angeles als Hitzepräventionsmaßnahme begonnen, Straßen mit hellen, reflektierenden Anstrichen zu überziehen. Abbildung 25 zeigt beispielhaft Arbeiter die an diesem Pilotprojekt beschäftigt sind (vgl. Weber et al 2018:73).

Abbildung 25: Hitzereduktion über einen reflektierenden Straßenanstrich - das Pilotprojekt 'Coole Pavement' in Los Angeles (ebd.:73)

Aufgrund erster Erkenntnisse aus diesem Projekt kommt die amerikanische Umweltbehörde zu der Annahme, dass sich die Temperatur einer Stadt um bis zu 0,6°C senken ließe, wenn 35% ihrer Straßen mit einem reflektierenden Belag versehen werden würden (vgl. ebd.:73).

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
++	+	0	0	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.2.3 Bereitstellen von Trinkwasser

BESCHREIBUNG: In den Sommermonaten und besonders während Hitzeperioden ist die Bereitstellung von Trinkwasser im öffentlichen Raum von großer Bedeutung. Diese Bereitstellung soll in Form der Installation einer Vielzahl von Trinkwasserbrunnen erfolgen. Solche öffentlich zugänglichen Trinkbrunnen sind in den meisten Großstädten bereits vorhanden. Weil aber Intensität und Häufigkeit von Hitzeereignissen stetig zunehmen, soll die Anzahl der Brunnen dem steigenden Bedarf an Trinkwasser angepasst werden.

Sinnvolle Standorte solcher Trinkbrunnen sind beispielsweise Verkehrsknotenpunkte öffentlicher Verkehrsmittel, Parks, Spielplätzen und Hundezonen sowie Bereiche in der Nähe der Radinfrastruktur.

Diese Trinkwasserbrunnen können wie in Abbildung 26 dargestellt fest installiert oder als mobile Brunnen eingesetzt werden. Außerdem ist auch eine temporäre Einrichtung als Wasserspender auf Hydranten möglich (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:70).

Abbildung 26: Wasserwerk Trink- und Springbrunnen, Seehalde 11, Konstanz (Marketing & Tourismus Konstanz GmbH 2022)

ZIEL(E): Ziele dieser Maßnahme sind unter anderem die Erhöhung der Aufenthalts- und Lebensqualität in Städten. Vor allem aber soll die Gesundheit der Menschen während andauernder Hitzewellen Erhalten und Verbessert werden (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:70).

HERAUSFORDERUNGEN: Zu den Herausforderungen bei der Umsetzung dieser Maßnahme zählen, dass der temporäre Einsatz von Hydranten als Wasserspender gewisse Gegebenheiten erfordert. Beispielsweise ist eine bestimmte Gehwegbreite notwendig, welche nicht immer

vorhanden ist. Außerdem ist ein Ablauf oder eine Sickermulde für die Installation eines Trinkwasserbrunnens zwingend erforderlich. Zudem besteht Rutschgefahr in der unmittelbaren Umgebung (vgl. ebd.:70)

SYNERGIEN: Wird der Brunnen derart gestaltet, dass es zu einem oberirdischen Abfluss und zu einer späteren Versickerung des Wassers kommt, wird damit zu einer erhöhten Aufenthaltsqualität und einem gesteigerten Wohlbefinden der Einwohner und Touristen im öffentlichen urbanen Raum beigetragen (vgl. ebd.:70).

PRAXISBEISPIEL: Abbildung 27 zeigt einen mobilen Trinkwasserbrunnen am Heldenplatz in Wien. Es handelt sich dabei um einen von über 900 Trinkwasserbrunnen die in der Stadt betrieben werden (vgl. ebd.: 70).

Abbildung 27: Mobiler Trinkwasserbrunnen am Heldenplatz in Wien (ebd.:70)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
0	+++	0	0	0

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.3 Verkehr:

5.3.1 Beschattung und Kühlung von Haltestellen und Wartebereichen

BESCHREIBUNG: An Haltestellen und in Wartebereichen des ÖPNV[2] halten sich häufig sehr viele Menschen über längere Zeit auf, beziehungsweise müssen sich dort aufhalten. Deshalb ist es von großer Bedeutung in diesen Bereichen vermehrt Hitzepräventionsmaßnahmen umzusetzen.

Handelt es sich dabei um offene Haltestellen, so kommen, um diese klimatisch zu entlasten, konstruktive Beschattungsmaßnahmen sowie die Beschattung durch Bäume oder Büsche in Frage. Besonders kombiniert stellen das in der Regel vorhandene Wartehäuschen und Bäume oder sonstige Formen der Begrünung eine sehr effektive Lösung dar (siehe Abbildung 28). Vorausgesetzt die Platzverhältnisse lassen es zu, können auf diese Weise und mit der Ergänzung von Sitzgelegenheiten, ausreichend beschattete Sitzplätze für die Wartenden zur Verfügung gestellt werden. Wird Vegetation zur Beschattung eingesetzt, so trägt diese durch entstehende Verdunstungskühle zusätzlich zur Klimatisierung der Umgebung bei. Im Wartehäuschen kann zudem durch das Aufbringen von Sonnenschutzfolie die direkte Einstrahlung reduziert werden (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:77; Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:138).

Abbildung 28: Beschattete Haltestelle und Wartebereich in Freiburg (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:139)

[2] Öffentlicher Personennahverkehr

Die Kühlung von geschlossenen oberirdischen Haltestellen oder U-Bahn-Stationen kann beispielsweise durch Fernkälte oder andere energieeffiziente Kühlmethoden erfolgen (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:77).

ZIEL(E): Durch die Realisierung dieser Maßnahme sollen Haltestellen und Wartebereiche des ÖPNV klimatisiert und somit die thermische Belastung auf die Menschen, die sich dort aufhalten, reduziert und die Aufenthaltsqualität verbessert werden. Zudem wird der ÖPNV gefördert was wiederum indirekte positive Klimaeffekte nach sich zieht (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:77; Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:138).

HERAUSFORDERUNGEN: Zu den Herausforderungen bei der Kühlung von geschlossenen Stationen zählt der erhöhte Energieverbrauch, der beispielsweise durch die Nutzung von Fernkälte entsteht. Hinzu kommt bei Fernkälte der Kälteverlust bei langen Transportwegen. Bei offenen Haltestellen ist die Pflanzung von Bäumen nur unter der Voraussetzung möglich, dass genügend Raum für Wurzeln und Kronen vorhanden ist. Hinzu kommt, dass für die Anlagen zusätzliche Kosten für Pflege- und Instandhaltung entstehen (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78; Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:139).

SYNERGIEN: Die konstruktive Beschattung offener Haltestellen bietet neben dem erwünschten Hitzeschutz einen zusätzlichen Witterungsschutz vor Regen oder Schnee. Ferner führt diese Maßnahme zu einer vermehrten Nutzung des ÖPNV, was sich positiv auf das Klima auswirkt. Wird Vegetation zur Verschattung genutzt, so ergeben sich daraus weitere positive Effekte wie die Ausweitung des Baumbestandes, die Verbesserung der Luftqualität, der Erhalt der Biodiversität und der Wasserrückhalt (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:78; Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019:139).

PRAXISBEISPIEL: In U-Bahn-Stationen mehrerer Wiener Linien wurden Erdwärmeanlagen verbaut. Diese sind in der Lage durch Nutzung von Geothermie die Stationen im Winter zu heizen und im Sommer zu kühlen. In der heißen Jahreszeit wird die auftretende Hitze über

Wände und Fußboden in die Erde abgeleitet. So kann ohne den Einsatz einer herkömmlichen Klimaanlage eine angenehme Raumtemperatur erreicht werden. Abbildung 29 zeigt Erdwärmeabsorberelemente die in Wänden und Bodenplatten der Stationen verlegt wurden (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:77).

Abbildung 29: Großflächig verlegte Erdwärmekollektoren unter der Bodenplatte einer U-Bahn-Station in Wien (ebd.:77)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
+	+	++	0	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.3.2 Klimafreundliche Klimatisierung öffentlicher Verkehrsmittel

BESCHREIBUNG: Neben der Kühlung und Beschattung von Haltestellen ist auch eine Klimatisierung der Verkehrsmittel von entscheidender Bedeutung. Im Sommer entstehen in Bussen schnell sehr hohe Temperaturen. Gründe dafür sind die großflächigen Fenster, viele Personen, die sich auf engem Raum aufhalten und Türen, die regelmäßig geöffnet und geschlossen werden müssen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit Klimaanlagen einzusetzen. Die meisten Stadtbusse verfügen mittlerweile über solche Anlagen, welche jedoch fast ausschließlich noch mit dem klimaschädlichen Kältemittel Tetraflourethan (R134a) betrieben werden. Dieses Treibhausgas ist 1430-mal klimaschädlicher als Kohlendioxid. Weil es sich bei

Busklimaanlagen um keine hermetisch geschlossenen Systeme handelt, verlieren diese im Durchschnitt jährlich 15% ihres Kältemittels und verstärken damit den Treibhauseffekt. Eine klimafreundliche und zukunftsfähige Alternative bietet hier der Einsatz von CO_2-Klimaanlagen. Aufgrund der in Zukunft weiter steigender Höchsttemperaturen, sollte die Leistung der Klimaanlagen den zu erwartenden Verhältnissen angepasst und zeitgleich eine Reduktion von Treibhausgas-Emissionen angestrebt werden. Ergänzend dazu sind passive Kühlmaßnahmen wie das Aufbringen von wärmereflektierenden und beschattenden Folien sinnvoll.
Um das Aufheizen von Bussen während Standzeiten zu verhindern, sollten nicht nur Haltestellen, sondern auch Buswartepunkte wie Betriebshöfe und Endstationen vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden. Dies kann durch bauliche Maßnahmen oder Vegetation erfolgen.
Bei der Klimatisierung von städtischen Bahnfahrzeugen wie S- und U-Bahnen, kommt ebenfalls noch überwiegend klimaschädliches Kältemittel zum Einsatz. Auch hier sollte schnellstmöglich eine Umstellung auf klimafreundlichere Systeme angestrebt werden. Anlagen, die mit dem Kältemittel CO_2 arbeiten, sowie Kaltluft-Klimaanlagen können hierbei alternativ zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu CO_2-Klimaanlagen, welche bisher noch relativ selten sind, werden Kaltluft-Klimasysteme in ICE-Zügen schon seit mehreren Jahren erfolgreich eingesetzt (vgl. Stadt Münster – Amt für Grünflächen, Umwelt und Nachhaltigkeit 2015:136; Umwelt Bundesamt 2019:1; Umwelt Bundesamt 2020:1).

ZIEL(E): Mit der klimafreundlichen Klimatisierung öffentlicher Verkehrsmittel sollen Fahrgäste und Fahrzeugführer vor Hitzeeinwirkung und ihren negativen Folgen geschützt werden. Außerdem ist das Ziel damit die Aufenthaltsqualität in öffentlichen Verkehrsmitteln zu verbessern und somit den ÖPNV attraktiver werden zu lassen (vgl. Stadt Münster – Amt für Grünflächen, Umwelt und Nachhaltigkeit 2015:136.

HERAUSFORDERUNGEN: Die Verwendung von Klimaanlagen führt zu einem höheren Energieverbrauch und es wird Abwärme freigesetzt. Zudem ist auf bestimmten Linien bei zu häufigem Öffnen und Schließen der Türen kein effizienter Einsatz der Anlage mehr möglich (vgl. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 2015:79).

SYNERGIEN: Eine Klimatisierung der Verkehrsmittel trägt zu einer Verbesserung des Wohlbefindens und der Lebensqualität von Einwohnern und Touristen bei (vgl. ebd.: 79).

PRAXISBEISPIEL: Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) gingen im Juli 2010 mit gutem Beispiel voran, indem sie als einer der ersten in Deutschland und Europa, eine Flotte von sieben Linienbussen mit CO_2-Klimaanlagen ausstatteten. Diese Technik kann auch bei Hybridbussen eingesetzt werden. Seit 2018 sind zudem Elektrobusse mit dieser Art Klimaanlagen auf dem Markt. Diese verfügen über Wärmepumpen und funktionieren mit dem Kältemittel CO_2. Abbildung 30 zeigt einen Bus der Berliner Verkehrsbetriebe, der über eine CO_2-Klimaanlage verfügt (vgl. Umwelt Bundesamt 2019:1).

Abbildung 30: BVG-Bus mit CO_2-Klimaanlage (ebd.:1)

BEWERTUNG:

Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
-	+	0 / (-)	0	+

(+ positiv, 0 neutral, - negativ)

5.4 Maßnahmen und ihre Bewertungen im Überblick

Maßnahme	Ziel(e)	Heraus-forderungen	Synergien	Praxisbeispiel	Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
4.1.1 Albedoänderung & natürliche Baumaterialien	- Reflexion erhöhen - Energieaufnahme minimieren - Hitzeinseleffekt abmildern	- Denkmalschutz - Einschränkung architektonischer Gestaltungsfreiheit - Einflussnahme auf Privatbesitz - Blendwirkung & Mehrfachreflexionen - Konflikt mit hoher Energieeffizienz und solarer Wärmegewinnung im Winter - Kosten - Instandhaltung, Pflege und Reinigung	- Verbessertes Gebäudeklima - Energieeinsparung bei Klimaanlagen - Höhere Wohn- und Lebensqualität		+	++	+	++	+
4.1.2 Dachbegrünung	- Erhöhung Grünflächenanteil - Kühlende Wirkung - Verbesserung Innenraumklima - Reduktion von Kühlbedarf im Sommer	- Denkmalschutz - Statische Anforderungen - Einflussnahme auf Privatbesitz - Kombination mit Photovoltaik - Pflegeaufwand & Mehrkosten	- Erhalt der Biodiversität - Einsparungen bei Niederschlagswassergebühr - Entlastung des Kanal- und Klärsystems - geringere Abflussge-schwindigkeit bei Starkregenereignissen - Energieeinsparung durch Dämmwirkung - Minderung städtischen Lärms	Hamburg	++	++	++	++	++
4.1.3 Fassaden-begrünung	- Kühlende Wirkung - Verbesserung Innenraumklima - Reduktion von Kühlbedarf im Sommer	- Pflegeaufwand - Bewässerung - Denkmalschutz	- Energieeinsparung durch Dämmwirkung - Luft- und Schadstofffilter - Erhalt der Biodiversität - Schutz der Bausubstanz - Schallreduktion	Wien	++	+	++	++	++

(Bewertung: + positiv, 0 neutral, - negativ)

Maßnahme	Ziel(e)	Heraus-forderungen	Synergien	Praxisbeispiel	Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
4.1.4 Verschattung von Gebäuden durch Bäume	- Reduzierte Aufheizung und Wärmespeicherung eines Gebäudes - Kühlwirkung durch Transpiration der Bäume	- Denkmalschutz - Brandschutz - Einschränkung der Aussicht - Auswahl geeigneter Arten	- Verbesserung der Luftqualität - Erhalt der Biodiversität - Lärmminderung - Hochwasserschutz	Köln	++	+++	++	++	+
4.1.5 Sommerlicher Wärmeschutz	- Reduzierte Aufheizung und Wärmespeicherung eines Gebäudes - Verbesserung Innenraumklima	- Denkmalschutz - Brandschutz	- Senkung der Energiekosten für aktive Gebäudekosten	Freiburg	0 / (+)	+	0	+++	++
4.1.6 Energetische Gebäude-sanierung	- Senkung des Energiebedarfes	- Denkmalschutz - Brandschutz - Kosten - Einflussnahme auf Bauten auf privatem Grund	- Verbessertes Wohnklima - Feuchteschutz - Brandschutz - Längere Lebenszeit des Gebäudes - Schallschutz		++	+	++	+++	++
4.1.7 Technische/ aktive Gebäudekühlung	- Reduktion von Hitzebelastung in Innenräumen	- Anforderungen des Klimaschutzes - Auswahl klimaneutraler Lösungen	- Senkung der Kühlkosten durch klimaschonende Lösungen	Freiburg	0 / (-)	+	0	+++	++
4.2.1 Beschattung und Kühlung des öffentlichen Raumes	- Schaffung von gesundheitlich unbedenklichen Aufenthaltsräumen - Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Freien	- Platzmangel für Kronen und Wurzeln von Bäumen - Behinderung des vertikalen Luftaustausches - Ungewollte Beschattung von Gebäuden im Winter	- Lärmschutz - Luftreinigung - Erhalt der Biodiversität - Witterungsschutz - Verbesserung von Lebensqualität und Wohlbefinden	Marseille	+	++	+	0	+

(Bewertung: + positiv, 0 neutral, - negativ)

Maßnahme	Ziel(e)	Heraus-forderungen	Synergien	Praxisbeispiel	Auswirkungen auf UHI-Effekt	Durchführbarkeit inklusive Kosten	Auswirkungen auf Stadtklima	Auswirkungen auf Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden	Potenzial für Konstanz
4.2.2 Aufhellen, Entsiegeln und Hitzeoptimieren von Belägen im Freiraum	- Reduktion der Aufheizung des öffentlichen Raumes - Reduktion UHI-Effekt	- Eignung für Verkehrsflächen - Barrierefreiheit - Kosten - Reflexion auf Gebäude	- Nachhaltigkeit - Kühlung durch Verdunstungsfähigkeit - Versickerungsfähigkeit	Los Angeles	++	+	0	0	+
4.2.3 Bereitstellen von Trinkwasser	- Erhalt und Verbesserung der Gesundheit - Erhöhung der Aufenthalts- und Lebensqualität	- Gegebenheiten für Hydranten als Wasserspender - Ablauf muss vorhanden sein - Rutschgefahr	- Erhöhte Aufenthaltsqualität - Tourismusförderung	Konstanz	0	+++	0	0	0
4.3.1 Beschattung und Kühlung von Haltestellen und Wartebereichen	- Reduktion der Thermischen Belastung - Erhöhung der Aufenthaltsqualität - Förderung des ÖPNV	- Energieverbrauch durch Kühlung (geschlossene Stationen) - Platzmangel für Kronen und Wurzeln von Bäumen - Pflege und Instandhaltung	- Witterungsschutz - Klimaverbesserung durch Förderung des ÖPNV - Ausweitung Baumbestand - Verbesserte Luftqualität - Erhalt der Biodiversität - Wasserrückhalt	Wien	+	+	++	0	+
4.3.2 Klimafreundliche Klimatisierung öffentlicher Verkehrsmittel	- Hitzeschutz von Fahrgästen und Fahrzeugführern - Erhöhung der Aufenthaltsqualität - Förderung des ÖPNV - Klimaschutz	- Höherer Energieverbrauch - Abwärme - Ineffizienz durch Öffnen und Schließen der Türen	- Verbesserung von Wohlbefinden und Lebensqualität	Berlin	-	+	0 / (-)	0	+

(Bewertung: + positiv, 0 neutral, - negativ)

6 SCHLUSSBETRACHTUNG

In dieser Arbeit wurden die weltweite und lokale Temperaturerhöhung sowie die stetig zunehmende thermische Belastung in Städten thematisiert. Weil Städte durch den UHI-Effekt besonders betroffen sind, wurden ausgewählte Maßnahmen aufgezeigt, mit denen sie in Zukunft resilienter gegen zunehmende Hitzeereignisse gestaltet werden können.

Es wurde herausgearbeitet, dass diese Maßnahmen dabei nicht alle universell wirksam sind. So wirken sich beispielsweise nicht alle in dieser Arbeit aufgezeigten Maßnahmen positiv auf den Hitzeinsel-Effekt und auf das Stadtklima aus. Einige zielen hauptsächlich auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen ab. Hier besteht jedoch auch eine besonders große Handlungsnotwendigkeit (vgl. 4.1).

Eine Maßnahme wie der sommerliche Wärmeschutz an Gebäuden, hat neben ihrem Hauptziel das Aufheizen eines Gebäudes möglichst zu verhindern, noch eine gewisse Kühlwirkung auf die unmittelbare Umgebung. Wohingegen die Bereitstellung von Trinkwasser, ausschließlich dem Erhalt der Gesundheit und der Erhöhung der Aufenthalts- und Lebensqualität von Stadtbewohnern und Besuchern dient.

Die Technische Gebäudekühlung und die Klimatisierung von Verkehrsmitteln sind gegebenenfalls notwendige Ergänzungen zu den genannten passiven Hitzeschutz-Maßnahmen. Sie haben an Hitzetagen bzw. in Hitzeperioden für die menschliche Gesundheit besonderen Nutzen, verstärken jedoch den UHI-Effekt, da jede Klimaanlage Abwärme produziert und damit zu einer Erwärmung beiträgt. Werden jedoch klimafreundliche moderne Kältemittel eingesetzt, so hat die aktive Kühlung von Gebäuden und Verkehrsmitteln zumindest keine negativen Auswirkungen auf das Stadtklima.

Besonders positiv auf UHI-Effekt und Stadtklima wirken sich Begrünungsmaßnahmen aus. Dachbegrünungen zum Beispiel steigern zusätzlich, bei einer guten Umsetzbarkeit und vergleichsweise moderaten Kosten, noch den Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden. Fassadenbegrünungen hingegen sind bei ähnlich guten Eigenschaften jedoch teurer in der Anschaffung und im Unterhalt.

Für die Stadt Konstanz sind grundsätzlich für alle dieser ausgesuchten Maßnahmen Potentiale vorhanden. Herausforderungen bei gebäudebezogenen Maßnahmen ergeben sich hier beispielsweise aus den Anforderungen des Denkmalschutzes dem unter anderem die historische Altstadt seit 1982 unterliegt (vgl. Stadt Konstanz 2021:4). Maßnahmen wie die Beschattung von Gebäuden, des öffentlichen Raumes und Wartebereichen des ÖPNV durch

Bäume und die Bereitstellung von Trinkwasser kommen in Konstanz bereits flächendeckend zur Anwendung. Es wird jedoch in Zukunft in regelmäßigen Abständen zu überprüfen sein, ob diese noch den, sich durch die steigenden Temperaturen veränderten, Anforderungen entsprechen.

Allgemein wird aufgrund der weltweiten und lokalen Temperaturentwicklung die Umsetzung von neuen Hitze-Resilienzmaßnahmen jeglicher Art, sowie die Anpassung derer die bereits zum Einsatz kommen, in deutschen Städten eine sehr große Rolle spielen, um auch zukünftig hohen Wohn- und Arbeitskomfort und eine hohe Lebensqualität gewährleisten zu können.

7 QUELLENVERZEICHNIS

Anczykowski, Niklas; Trippler, Simon (2019): Städtische Wärmeinseln. Online verfügbar unter https://14-tage-wettervorhersage.de/news/thema/190830/, zuletzt geprüft am 06.01.2022.

Baba, Ludger; Tielkes Constantin (2020): Bevölkerungsvorausrechnung bis 2040. Kleinräumige Bevölkerungsvorausrechnung Stadt Konstanz. Konstanz. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/statistik/bevoelkerung, zuletzt geprüft am 08.01.2022.

Bühler, Michael (2021): Vorhabensbeschreibung CoKLIMAx. Konstanz

Deutscher Wetterdienst (2021): Klimawandel - Ein Überblick. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Deutscher Wetterdienst (2020): Aus extrem wurde normal: Sommer in Deutschland, der Schweiz und Österreich immer heißer. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20200702_dach.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) [Hrsg.] (2017): Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen. Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung. Köln. Online verfügbar unter https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/241301/1/DM17033173.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2022-

Enzi, Vera; Scharf, Bernhard (2021): Das Haus im „grünen Pelz“. Bürogebäude der MA 48, Einsiedlergasse 2, Wien 5. Online verfügbar unter https://gruenstattgrau.at/wp-content/uploads/2018/10/ma48_f_umweltundplanung.pdf, zuletzt geprüft am 08.02.2022.

Hirschfeld, Jesko et al (2015) Kosten des Klimawandels und der Anpassung an den Klimawandel aus vier Perspektiven. Impulse der deutschen Klimaökonomie zu Fragen der Kosten und Anpassung. Online verfügbar unter https://www.fona.de/medien/pdf/Hintergrundpapier_Forum_Kosten.pdf?m=1548322391&, zuletzt geprüft am 11.01.2022.

Hübler, Michael; Klepper, Gernot (2007): Kosten des Klimawandels. Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Online verfügbar unter https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/Michael_Huebler/2kosten-des-klimawandels-die-wirkung-steigender-temperaturen-auf-gesundheit-und-leistungsfahigkeit/Kosten_des_Klimawandels_WWF_IfW.pdf, zuletzt geprüft am 08.01.2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021): Klimawandel 2021 Naturwissenschaftliche Grundlagen. Zusammenfassung für politische Entscheidungsfindung. Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Übersetzung des Originals aus dem Englischen. Online verfügbar unter https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGI-SPM_de.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2013.1): Schutzgut Wirtschaft. Geringere Produktivität bei Produktion und Dienstleistung. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/schutzgut-wirtschaft, zuletzt geprüft am 08.01.2022.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2013.2): Schutzgut bauliche Umwelt. Mehr Schäden durch Hitze an Straßen und Gebäuden. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/schutzgut-bauliche-umwelt, zuletzt geprüft am 11.01.2022.

Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 [Hrsg.] (2015): Urban Heat Islands. Strategieplan Wien. Online verfügbar unter https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uhi-strategieplan-druck.pdf, zuletzt geprüft am 06.01.2022

Marketing & Tourismus Konstanz GmbH (2022): Konstanzer Trinkwasserbrunnen. Online verfügbar unter https://www.konstanz-info.com/planen-buchen/vor-ort-unterwegs/trinkwasserbrunnen, zuletzt geprüft am 11.02.2022.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg [HRSG] (2016): Klimawandel in Baden-Württemberg. Fakten-Folgen-Perspektiven. 4. Auflage. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/83026, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Mücke, Hans-Guido (2008): Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3519.pdf, zuletzt geprüft am 08.01.2022.

Neht, Alice Dorothea-Franziska (2020): Etablierung einer kombinierten Hitze- und Starkregenvorsorge.Online verfügbar unter http://publications.rwth-aachen.de/record/807870/files/807870.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2022.

Pissarskoi, Eugen et al (2015): Abschätzung von Kosten und Nutzen der Anpassung an Hitzeereignisse. Fallstudie für die Stadt Köln. Berlin. Online verfügbar unter https://www.oekonomie-klimawandel.de/data/oekl/user_upload/Dateien/KNA_Hitze_Koeln_VorgehenErgebnisse_final.pdf, zuletzt geprüft am 06.01.2022.

Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt [Hrsg.] (2019): Klimaanpassungskonzept. Ein Entwicklungskonzept für das Handlungsfeld „Hitze“. Online verfügbar unter https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/documents_E-1465143323/freiburg/daten/bauen/stadtplanung/Klimaanpassung/201013_KLAK_Bericht-digital.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2022.

Stadt Konstanz – Referat Oberbürgermeister (2020): Bevölkerungsvorausrechnung bis 2040.Kleinräumige Bevölkerungsvorausrechnung Stadt Konstanz. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/statistik/bevoelkerung, zuletzt geprüft am 14.02.2022.

Stadt Konstanz (2021): Konstanz in Zahlen 2021. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/statistik, zuletzt geprüft am 14.02.2022.

Stadt Münster – Amt für Grünflächen, Umwelt und Nachhaltigkeit (2015): Klimaanpassungskonzept. Online verfügbar unter https://www.stadt-muenster.de/fileadmin/user_upload/stadt-muenster/67_klima/pdf/Klimaanpassungskonzept.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2022.

Straff, Wolfang et al (2017): Handlungsempfehlung für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf, zuletzt geprüft am 08.01.2022.

Umwelt Bundesamt (2020 Klimaanlagen in Bahnfahrzeugen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/klimaanlagen-in-auto-bus-bahn/klimaanlagen-in-bahnfahrzeugen, zuletzt geprüft am 11.02.2022.

Umwelt Bundesamt (2019): Umweltfreundliche Klimaanlagen in Bussen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/klimaanlagen-in-auto-bus-bahn/umweltfreundliche-klimaanlagen-in-bussen, zuletzt geprüft am 11.02.2022.

Waid, Esteban (2021): HTWG will mit Satelliten gegen Klimafolgen vorgehen. In: Südkurier Nr. 236 (2021). Online verfügbar unter https://www.htwg-konstanz.de/fileadmin/pub/hochschule/personen/michael.buehler/PDFs/2021_10_12_HTWG_will_mit_Satelliten_gegen_Klimafolgen_vorgehen_Suedkurier_Konstanz_CoKLIMAx.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2021.

Weller, Bernhard et al (2016): Baukonstruktion im Klimawandel. Wiesbaden.

Weber, Cordula et al (2018): Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Online verfügbar unter https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-in-staedten.html, zuletzt geprüft am 18.01.2022.

8 EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hochschule Konstanz
Fakultät Bauingenieurwesen

Anlage zur Bachelor-Thesis von

Martin Klausmann

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis selbständig angefertigt und die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben habe.

Rottweil, 18.02.2022 _____

(Ort, Datum) (Unterschrift)