



Bachelorarbeit

Einsatzmöglichkeiten von grün-blauen Infrastrukturen zur Klimaanpassung im Wohnungsbau und in der Quartiersentwicklung

Anna Carmen Breuer, 751633
Anna.C.Breuer@stud.h-da.de



Freigabevermerk

Die vorgelegte Bachelorarbeit mit dem Titel „Einsatzmöglichkeiten von grün-blauen Infrastrukturen zur Klimaanpassung im Wohnungsbau und in der Quartiersentwicklung“ beinhaltet vertrauliche Informationen und Daten.

In dieser Freigabeversion der Bachelorarbeit vom 14.07.2020 wurden sämtliche Hinweise auf konkrete Anwendungsbeispiele und vertrauliche Informationen anonymisiert oder entfernt. Somit kommt es, vor allem in Kapitel 5, teilweise zu Lücken im Text. Des Weiteren wurden in dieser Version einige Verbesserungen und Korrekturen vorgenommen, die in der ursprünglichen Arbeit noch nicht enthalten waren.

BACHELORARBEIT

Anna Carmen Breuer

Einsatzmöglichkeiten von grün-blauen Infrastrukturen zur Klimaanpassung im Wohnungsbau und in der Quartiersentwicklung

Angesichts vielerorts angespannter Wohnungsmärkte steht die Notwendigkeit zur schnellen Schaffung zusätzlichen, bezahlbaren Wohnraums im Fokus, insbesondere auch durch Nachverdichtung. Erforderliche Aspekte der Klimaanpassung bleiben dabei vielfach unberücksichtigt. Hinzu kommt, dass Lösungen für Konflikte zwischen den Zielen Klimaschutz und Klimaanpassung (z.B. Flächenkonkurrenzen PV-Anlagen und Dachgärten) gefunden sowie für die mögliche Nutzung von Synergien (z.B. Effizienzsteigerung PV-Anlagen durch Kombination mit extensiver Dachbegrünung) gehoben werden müssen. Die Wohnungswirtschaft ist ein dabei ein wichtiger Akteur, insbesondere wenn Maßnahmen im Bestand angegangen werden sollen: Nachverdichtungsmaßnahmen und energetische Sanierungen bieten grundsätzlich gute Gelegenheitsfenster, um Klimaanpassungsmaßnahmen im Wohnungsbestand zu realisieren. Jedoch mangelt es an guten Beispielen für die Wohnungswirtschaft, wie Klimaanpassung mittels Nutzung blau-grüner Infrastrukturen wirtschaftlich umgesetzt **und gleichzeitig** Klimaschutzziele erreicht, Wohnqualität gesteigert, Bezahlbarkeit von Wohnraum sichergestellt sowie Flächennutzungskonkurrenzen mittels Multicodierung von Freiflächen begegnet werden kann. Bisherige Leitfäden und Analysetools richten sich v.a. an Kommunen, Kooperationspotenziale zwischen Kommune und Wohnungswirtschaft werden nur selten beleuchtet.

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Frau Breuer soll für konkrete Nachverdichtungs- und Sanierungsbereiche überprüft werden, wie der Einsatz blau-grüner Infrastrukturelemente zur Verbesserung der kleinklimatischen Situation und der Aufenthaltsqualität im Quartier in Ergänzung der bestehenden Planungen beitragen kann. Fachlich soll sich die Untersuchung auf den Themenkomplex „Urban Heat Island“ und damit auf den Einfluss von blauen und grünen Infrastrukturen auf die Temperaturentwicklung im Quartier fokussieren.

Hierzu sollen zunächst bestehende Leitfäden zum Einsatz blauer und grüner Infrastrukturen sowie ergänzendes Material aus Umsetzungsvorhaben und Studien ausgewertet und eine Übersicht über die verschiedenen Maßnahmen erstellt werden. Diese soll neben der Kurzbeschreibung der Maßnahmen vor allem die Schnittstellen, Synergien (Effizienzsteigerung von PV, Schließung natürlicher Wasserkreislauf und Kühlung, ...) und Konfliktpotenziale (Flächenkonkurrenzen, bauliche Anpassungserfordernisse, ...) zu anderen sektorbezogenen Maßnahmen (energetische Sanierung, Wohnraumschaffung, Biodiversitätserhalt, Verdunstungsflächen, ...) fokussieren.

In einem nächsten Schritt ist eine Entscheidungshilfe zur Auswahl geeigneter Maßnahmen für die verschiedenen Teilbereiche zu entwickeln und mit diesem eine beispielhafte Auswahl von Maßnahmen für ein Anwendungsgebiet vorzunehmen. Hierbei sollen sowohl die Interessen der Wohnungswirtschaft, der Mieterschaft als auch der Kommune berücksichtigt werden. Entsprechende Daten können über das betreuende Fraunhofer-Institut oder andere Kooperationspartner bezogen oder über ergänzende Erhebungen ermittelt werden. Die Wirkungen der gewählten Maßnahmen hinsichtlich Klimaschutz und Klimaanpassung (mit besonderem Fokus auf Temperaturwirkungen) sowie auf die Wohnqualität im Gebiet sowie in angrenzenden Bereichen sollen abgeschätzt werden.

Zur Lösung dieser Aufgaben sind die folgenden Arbeitsschritte vorgesehen:

1. Literaturstudie zu blauen und grünen Infrastrukturen und Klimaanpassungsmaßnahmen im Kontext der Hitzeproblematik im urbanen Raum
2. Auswertung bestehender Leitfäden und Materialien zum Einsatz blauer und grüner Infrastrukturen sowie Erfahrungen aus Umsetzungsprojekten
3. Systematisierung von blauen und grünen Infrastrukturen nach Voraussetzungen zur Implementierung, Wirkungen sowie nach Schnittstellen zu den Sektoren Energie, Verkehr und baulicher Substanz (Maßnahmenkatalog)
4. Entwicklung einer zweistufigen Entscheidungshilfe zur Auswahl von Maßnahmen der blauen und grünen Infrastruktur für verschiedene Anwendungsgebiete
 - a. Erste Stufe: Entscheidungsbaum zur Identifizierung möglicher Maßnahmen
 - b. Zweite Stufe: Vergleichende Bewertung der Maßnahmen als Auswahlhilfe
5. Exemplarische Anwendung des Tools am Beispiel eines konkreten Anwendungsgebietes zur Empfehlung von Maßnahmen
6. Abschätzung der Wirkungen der ausgewählten Maßnahmen auf Klimaschutz und Klimaanpassung (mit Fokus auf Temperaturwirkungen) sowie Aufenthaltsqualität im Modellgebiet und im näheren Umfeld

Die Arbeit und eine separate Zusammenfassung (Executive Summary) sind in dreifacher Ausfertigung gedruckt und gebunden sowie als ungeschützte elektronische Version (z.B. PDF) abzugeben. Als Layout soll die zur Verfügung gestellte Vorlage verwendet werden. Es ist ein Abstract in englischer Sprache zu verfassen. Die Arbeit ist in einem Kolloquium in Form eines Vortrags mit anschließender Diskussion zu präsentieren und zu verteidigen.

Ausgabe der Arbeit: 18.02.2020

Abgabe der Arbeit: 12.05.2020

Kolloquium: 15.05.2020

Referentin:

Prof. Dr. Birte Frommer


FB Bauingenieurwesen

Hochschule Darmstadt

Korreferentin:

Dr.-Ing. Susanne Bieker

Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

FACHBEREICH BAUINGENIEURWESEN	
BACHELORARBEIT	
STUDIENGANG UMWELTINGENIEURWESEN	
NACHHALTIGE SIEDLUNGSPLANUNG	
THEMA DER ARBEIT	Einsatzmöglichkeiten von grün-blauen Infrastrukturen zur Klimaanpassung im Wohnungsbau und in der Quartiersentwicklung
VERFASSER / VERFASSERIN	Anna Carmen Breuer
MATRIKELNUMMER	751633
REFERENT	Prof. Dr.-Ing. Birte Frommer Hochschule Darmstadt
KORREFERENT	Dr.-Ing. Susanne Bieker Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI Karlsruhe
AUSGABEDATUM	18.02.2020
ABGABEDATUM	12.05.2020
<p>Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Quellenverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Das gilt auch für Quellen, die ich selbst für andere Zwecke erstellt habe. Die Zeichnungen oder Abbildungen in der Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen. Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfung oder Prüfungsbehörde eingereicht worden. Mir ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch vorliegt, der zur Exmatrikulation führen kann, wenn sich die vorstehende Erklärung als unrichtig erweist.</p>	
Datum: 12.05.2020	Unterschrift des Verfassers / der Verfasserin: 
Die Arbeit umfasst	96 Seiten und 1 Pläne/Anlagen

Kurzfassung

In Städten herrscht, bedingt durch eine starke Verdichtung, wenig Vegetation, einen hohen Versiegelungsgrad und eine hohe Bevölkerungsdichte, ein anderes Klima als im ländlichen Raum. Ein Teil davon ist die städtische Wärmeinsel, welche beschreibt, dass die Lufttemperatur, vor allem nachts, in Städten deutlich schlechter abkühlt als im Umland. Daraus resultiert, dass es in Städten generell wärmer ist als im Umland. Dieser Effekt wird durch die Folgen des Klimawandels verstärkt werden. Des Weiteren leben weltweit immer mehr Menschen in Städten, wodurch die Zahl, der von schlechtem städtischen Klima Betroffenen, steigt. Mit Hilfe verschiedener Maßnahmen ist eine Klimaanpassung und somit eine Verminderung der Hitzeentwicklung in Städten möglich. Grün-blaue Infrastruktur ist ein Teil davon, da sie durch Evapotranspiration und Verschattung ein kühlender Effekt erzielen kann. Es gibt eine große Anzahl an grün-blauer Infrastruktur, dazu zählen unter anderem Gebäudebegrünung, Grünflächen, Bäume, grüne Gleise, Entsiegelung und offene Wasserflächen. Jede dieser Maßnahmen lässt sich nochmals in Unterkategorien aufteilen, wodurch eine Vielzahl von Maßnahmen entsteht. Um diese Möglichkeiten übersichtlicher zu gestalten und zu systematisieren, wurde im Zuge dieser Bachelorarbeit eine Entscheidungshilfe zur Einsetzbarkeit grün-blauer Infrastruktur zur Klimaanpassung im Wohnungsbau und in der Quartiersentwicklung entwickelt. Mit dieser kann in einem ersten Schritt durch einen Entscheidungsbaum geprüft werden, welche Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur für ein Gebiet möglich sein könnten. Anschließend wird durch eine Bewertungsmatrix dargestellt werden, welche Wirkung diese Maßnahmen auf die städtische Wärmeinsel haben. Außerdem enthält sie zu jeder Maßnahme einen kurzen Steckbrief, der die wichtigsten Informationen zusammenfasst. Sie bietet einen guten Einstieg in das Thema und die Möglichkeit, aus der großen Anzahl der Maßnahmen ein individuelles Maßnahmenpaket zusammen zustellen, welches dann durch Fachplaner geprüft werden kann. Diese Entscheidungshilfe kann zukünftig noch durch weitere Themengebiete des Stadtklimas erweitert werden, wie beispielsweise den urbanen Wasserhaushalt. Diese Entscheidungshilfe wurde vor allem für die Zielgruppe Wohnungswirtschaft entwickelt, da diese sich bisher wenig mit dem Einsatz grün-blauer Infrastruktur auseinandergesetzt hat. Dies wäre jedoch sehr sinnvoll, da auch für die Wohnungswirtschaft Klimaanpassung ein Thema mit steigender Relevanz ist. In einem Anwendungsbeispiel an einem realen Projekt wurde die Anwendbarkeit der Entscheidungshilfe geprüft und für gut befunden. Offen bleibt die Frage, ob die Entscheidungshilfe tatsächlich funktioniert, also ob die ausgewählten Maßnahmen wirklich umsetzbar sind.

Abstract

In cities prevails another climate than in the rural area due to rapid urbanization, few vegetation, high sealing and a high population density. A part of this is the urban heat island. This means that at night the air temperature in cities cools down significantly inferior than in the surrounding areas. As a result, it is in general warmer in cities than in the surrounding areas. This effect will further intensify, as a result of the climate change. Furthermore all around the world more and more people will be living in cities. This leads to an increasing number of people who will be affected by the negative urban climate. A climate adaption and therefore a decrease of heat development in cities might be possible through several measures. Green-blue infrastructure is a part of those measures and can achieve a cooling effect through evapotranspiration and shading. There is a high number of green-blue infrastructure, for example green roofs and facades, grassland, trees, green rails, reducing of the sealing and open water areas. Each measure can be subdivided into subcategories. The result is a multitude of possibilities. As a part of this bachelor thesis, a decision-help for the applicability of green-blue infrastructure for climate adaptation in residential construction and district development was developed to systemize and clarify the measures. In a first step it can be checked with the decision-tree, which measures of the green-blue infrastructure are within the realms of possibility in a certain area. Moreover an evaluation matrix shows the possible impacts on the urban heat island by those measures. Furthermore the decision-help contains a short profile of each measure that summarizes the most important information. It is a good introduction in to the subject and it gives the possibility to create an individual package of measures out of this multitude of measures. This package of measures can be proved by specialist planners. In the future, the decision-help can be expanded by other subjects of urban climates, for example urban water balance. This decision-help was developed for the target group housing industry. They haven't dealt with the applicability of green-blue infrastructure so far but it might be a good idea, due to the fact that climate adaption gains relevance for the housing industry. The applicability was proved by an application example of a real project and evaluated as good. But there is still the question if the decision-help works, insofar as the selected measures are really realizable.

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	IX
II.	Tabellenverzeichniss.....	X
III.	Abkürzungsverzeichniss	X
1	Einführung.....	1
1.1	Problematik	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Methodik	2
1.4	Übersicht der Bachelorarbeit	3
2	Grundlagen Stadtklima	4
2.1	Stadtklima	4
2.2	Städtische Wärmeinsel.....	4
2.3	Identifikation besonders hitzegefährdeter Stadtgebiete	6
2.4	Zukünftige städtische Entwicklungen und der Klimawandel	6
3	Einfluss von grüner und blauer Infrastruktur auf das Stadtklima	10
3.1	Definition und Funktion grün-blauer Infrastruktur	10
3.2	Hitzeregulierende Wirkung (Stand der Forschung)	11
3.2.1	Gebäudebegrünung	12
3.2.2	Bäume	12
3.2.3	Grünflächen	13
3.2.4	Grüne Gleise	14
3.2.5	Frischluffflächen und -schneisen	14
3.2.6	Entsiegelung.....	14
3.2.7	Offene Wasserflächen	15
3.2.8	Springbrunnen / Wasserspiele.....	15
3.2.9	Grüne Hinterhöfe.....	15
3.3	Zwischenfazit	15
4	Entscheidungshilfe zu Einsetzbarkeit von grün-blauer Infrastruktur.....	17
4.1	Aufbau und Funktion	17
4.1.1	Identifikation besonders hitzegefährdeter Gebiete	17
4.1.2	Entscheidungsbaum	17
4.1.3	Bewertungsmatrix	18

4.1.4	Maßnahmensteckbriefe	19
4.2	Entwicklungsprozess	21
4.3	Erweiterungsmöglichkeiten	22
5	Anwendungsbeispiel	24
5.1	24
5.2	26
5.2.1	Anwendung des Entscheidungsbaums	27
5.2.2	Wirkungsabschätzung	33
5.3	34
5.3.1	Anwendung des Entscheidungsbaums	34
5.3.2	Wirkungsabschätzung	40
5.4	Vergleich von Anwendung im Bestand und in der Neuplanung	41
6	Diskussion	43
7	Fazit	45
8	Literaturverzeichnis	IV
9	Anhang	A
9.1	Entscheidungsbaum	B
9.2	Bewertungsmatrix	L
9.3	Maßnahmensteckbriefe	M
10	Digitaler Anhang	KK

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht der Bachelorarbeit (Breuer 2020).....	3
Abbildung 2 Problematik von Stadtklima (Breuer 2020).....	4
Abbildung 3 Stadtklima (Breuer 2020)	4
Abbildung 4 Wahrscheinliche Veränderung der Anzahl heißer Tage 2011-2060 (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung 2012).....	8
Abbildung 5 Wirkungsweise von grün-blauer Infrastruktur (Breuer 2020).....	11
Abbildung 6 Aufbau der Entscheidungshilfe (Breuer 2020)	17
Abbildung 7 Schematische Darstellung der Unübersichtlichkeit des ersten Entwurfs des Entscheidungsbaums (Breuer 2020).....	21
Abbildung 8	25
Abbildung 9	25
Abbildung 10.....	26
Abbildung 11 Entscheidungsbaum Überblick Gebiet 1	27
Abbildung 12 Astausschnitt Begrünte Gleise Gebiet 1	28
Abbildung 13 Ast Dachbegrünung 1 Gebiet 1	28
Abbildung 14 Ast Dachbegrünung 2 Gebiet 1	29
Abbildung 15 Ast Fassadenbegrünung Gebiet 1	30
Abbildung 16 Ast Bäume Gebiet 1	30
Abbildung 17 Ast Entsiegelung Gebiet 1	31
Abbildung 18 Ast Grünflächen Gebiet 1	31
Abbildung 19 Ast Offene Wasserflächen Gebiet 1	32
Abbildung 20 Ast Hinterhöfe Gebiet 1	32
Abbildung 21 Entscheidungsbaum Übersicht Gebiet 2	34
Abbildung 22 Astausschnitt Grüne Gleise Gebiet 2	35
Abbildung 23 Ast Dachbegrünung 1 Gebiet 2	35
Abbildung 24 Ast Dachbegrünung 2 Gebiet 2	36
Abbildung 25 Ast Fassadenbegrünung Gebiet 2	37
Abbildung 26 Ast Bäume Gebiet 2	37
Abbildung 27 Ast Entsiegelung Gebiet 2	38
Abbildung 28 Ast Grünflächen Gebiet 2.....	38
Abbildung 29 Ast Offene Wasserflächen Gebiet 2.....	39
Abbildung 30 Ast Hinterhöfe Gebiet 2.....	39
Abbildung 31 Entscheidungsbaum Übersicht.....	B
Abbildung 32 Ast Dachbegrünung 1.....	C
Abbildung 33 Ast Dachbegrünung 2.....	D
Abbildung 34 Ast Fassadenbegrünung	E
Abbildung 35 Ast Bäume	F
Abbildung 36 Ast Entsiegelung	G
Abbildung 37 Ast Grünflächen	H
Abbildung 38 Ast Begrünte Gleise.....	I
Abbildung 39 Ast Offene Gewässer	J
Abbildung 40 Ast grüne Hinterhöfe.....	K

Abbildung 41 Extensive Dachbegrünung (Photo by Annie Spratt on Unsplash)	M
Abbildung 51 Intensive Dachbegrünung (Photo by chuttersnap on Unsplash)	P
Abbildung 43 Intensive Dachbegrünung	P
Abbildung 53 Bodengebundene Fassadenbegrünung (Photo by Ethan Kent on Unsplash) ...	R
Abbildung 45 Bodengebundene Fassadenbegrünung	R
Abbildung 46 Wandgebundene Fassadenbegrünung (Photo by Sebastian Khanlo on Unsplash).....	T
Abbildung 56 Stadtbäume (Photo by chuttersnap on Unsplash)	V
Abbildung 57 Stadtbäume (Photo by Siniz Kim on Unsplash)	V
Abbildung 58 "Sunglass-Umbrella"(Lenzhölzer 2010, S. 153).....	X
Abbildung 50 CityTree Model 2020	X
Abbildung 60 Kopfsteinpflaster (Photo by Luiz Eduardo Alves da Silva on Unsplash)	Y
Abbildung 52 Leicht entsiegelte Fläche	Y
Abbildung 62 Kleine Grünfläche (Photo by Karolis Vaičiulis on Unsplash)	Z
Abbildung 54 Kleine Grünfläche	Z
Abbildung 55 Photo by Brett Jordan on Unsplash	AA
Abbildung 65 Grüngürtel (Photo by Jurriaan Snickers on Unsplash)	BB
Abbildung 57 Grüngürtel	BB
Abbildung 59 Rasengleis.....	DD
Abbildung 67 Rasengleis (Breuer 2020)	DD
Abbildung 69 Offene Wasserfläche 2 (Pixabay 2016)	GG
Abbildung 61 Offene Wasserfläche 1(Gaida 2019)	GG
Abbildung 71 Fontänen (Photo by VE Jose G. Ortega Castro MX on Unsplash)	II
Abbildung 63 Springbrunnen	II
Abbildung 73 Grüner Hinterhof (Photo by Daniel Zurnau on Unsplash)	JJ
Abbildung 65 Grüner Hinterhof	JJ

Piktogramme: gezeichnet von Anna C. Breuer

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau der Bewertungsmatrix	19
Tabelle 2: Legende Bewertungsmatrix.....	19
Tabelle 3: Aufbau der Maßnahmensteckbriefe	20
Tabelle 4: Maßnahmenübersicht	20
Tabelle 5: Mögliche Maßnahmen in Gebiet 1	33
Tabelle 6: Mögliche Maßnahmen in Gebiet 2	40
Tabelle 7 Bewertungsmatrix Gebiet 1 (Bestand)	42
Tabelle 8 Bewertungsmatrix Gebiet 2 (Planung)	42
Tabelle 9: Bewertungsmatrix.....	L

III. Abkürzungsverzeichniss

[°C] = Grad Celsius

[cm] = Zentimeter

[m] = Meter

[m²] = Quadratmeter

[m³] = Kubikmeter

[ha] = Hektar

[kg] = Kilogramm

1 Einführung

Das folgende Kapitel fasst kurz die Problematik, die dieser Bachelorarbeit zu Grunde liegt, und die daraus resultierende Zielsetzung zusammen. Des Weiteren wird die Methodik zum Erreichen der Zielsetzung erläutert und eine Übersicht über die vorliegende Arbeit gegeben.

1.1 Problematik

In Städten herrscht ein anderes Klima als im Umland. Ein Unterschied ist die städtische Wärmeinsel, welche beschreibt, dass es in Städten im Durchschnitt wärmer ist als in ländlichen Gebieten. Ursachen dafür sind unter anderem die Bebauungsstruktur und der hohe Versiegelungsgrad in urbanen Gebieten (Steinrücke 2010, 9f.). Auf das Thema Stadtklima und dessen Entstehung wird in den Kapiteln 2.1 und 2.2 näher eingegangen. In Kombination mit den Auswirkungen des Klimawandels kann es in Städten in Zukunft und schon heute zu extremen Hitzebelastungen für die Bewohner kommen. Dies mindert die Lebensqualität und gefährdet die Gesundheit (Kuttler 2004, S. 187). Grün-blaue Infrastruktur kann als klimaanpassende Maßnahme eingesetzt werden, um unter anderem die Hitzebelastung in Gebäude und Gebieten zu reduzieren (Bundesamt für Naturschutz 2017, S. 3). Weltweit, und somit auch in Deutschland, wachsen die Städte und gewinnen zunehmend an Bevölkerung. Somit steigt auch die Zahl der Menschen, die von dem nachteiligem Stadtklima betroffen sind (statista 2019b, 2019c). Für diese wachsende Bevölkerung wird neuer Wohnraum benötigt. Es ist sinnvoll, den Einsatz grün-blauer Infrastruktur bereits in der Planung zu bedenken. Ein nachträgliches Ergänzen in den Bestand ist möglich, aber häufig schwieriger umzusetzen. Gerade die Wohnungswirtschaft, die unter anderem altersgerechte Wohnungen schaffen will (GdW 2020), also Wohnraum für eine der am stärksten von Hitzestress gefährdeten Bevölkerungsgruppe, sollte sich mit dem Thema Klimaanpassungen und dem Einsatz grün-blauer Infrastruktur auseinandersetzen. Bisherige Leitfäden zu dem Thema richteten sich jedoch nur an die Kommunen.

1.2 Zielsetzung

Diese Bachelorarbeit soll dazu beitragen, im Zuge der Klimaanpassung und des Klimaschutzes, die Vorteile grün-blauer Infrastruktur für die Bewohner und die Wohnungswirtschaft hervorzuheben. Der Schwerpunkt wird hierbei auf dem Thema Hitzentwicklung liegen. Andere Vorteile, die grün-blaue Infrastruktur mit sich bringt, werden ebenfalls benannt. Des Weiteren soll die Einsetzbarkeit verschiedener grün-blauer Infrastrukturmaßnahmen aufgezeigt werden. Um der Wohnungswirtschaft die Einsatzmöglichkeiten näher zu bringen, soll eine Entscheidungshilfe entwickelt werden, mit deren Hilfe passende Maßnahmen für konkrete Projekte ausgewählt werden können. Diese können beim Neubau oder im Zuge einer Sanierung umgesetzt werden. Die Entscheidungshilfe setzt sich zusammen aus einem Entscheidungsbaum, einer Bewertungsmatrix und einem Maßnahmenkatalog. Der Entscheidungsbaum soll die Anzahl der Maßnahmen auf die bau- und raumtechnisch Möglichen reduzieren. In der Bewertungsmatrix soll die Wirksamkeit der Maßnahmen deutlich und verglichen werden.

Dazu ergänzend sollen die angefertigten Maßnahmensteckbriefe einen Überblick über die Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur geben.

1.3 Methodik

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in vier Abschnitte. In den Kapiteln 1-3 wird in die Arbeit und die Themen eingeführt. Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Erläuterung des entwickelten Entscheidungsbaums, der Bewertungsmatrix und des Maßnahmenkatalogs. Danach wird in Kapitel 5 die Entscheidungshilfe auf ein Beispielgebiet angewendet. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Arbeit in Kapitel 6 diskutiert. Die Entscheidungshilfe befindet sich vollständig im Anhang.

Zur Erarbeitung wurde als erster Schritt eine Literaturrecherche zum Thema Stadtklima im Allgemeinen durchgeführt. Diese erfolgte zum größten Teil über Google Scholar mit passenden Suchbegriffen. Ergänzt wurde dies durch Literatursuchen in den Onlineportalen der Bibliothek der TU Darmstadt und der hochschule_darmstadt und des Springer Verlags. Mit der darüber erhaltenen Literatur und der Ergänzung aktueller Daten zum Thema Klimawandel und Stadtentwicklung ließen sich die Grundlagen zu dem Thema zusammenfassen.

Das Ergebnis der Literaturrecherche war außerdem, dass es bereits mehrere, gut strukturierte Leitfäden zum Thema „Anpassung an den Klimawandel durch grüne und blaue Infrastruktur“ gibt, wie beispielsweise das *Handbuch Stadtklima* vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Steinrücke 2010), die *Städtebauliche Klimafibel* des Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012) und der *Stadtentwicklungsplan Klima* der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011). Diese dienten als Orientierungshilfe, um den Maßnahmenkatalog aufzubauen. Um die Steckbriefe detaillierter zu füllen, waren jedoch nochmals spezifischere Recherchen zu den einzelnen Maßnahmen nötig. Auch hier wurden wieder die oben genannten Quellen genutzt. Als Informationsgrundlage dienten die Leitfäden, aber auch Forschungsarbeiten, Skripte des BfN, wissenschaftliche Publikationen und Herstellerangaben zu den einzelnen Maßnahmen.

Nach dem Fertigstellen der Maßnahmensteckbriefe konnten, aufgrund der erforderlichen Rahmenbedingungen, Kriterien zur Anwendbarkeit ermittelt werden, welche in einem Entscheidungsbaum festgehalten wurden. Genauere Informationen zur Funktion des Entscheidungsbaumes finden sich in Kapitel 4.1.2.

Zum Erstellen der Bewertungsmatrix konnte zu einem großen Teil auf die vorherigen Rechercheergebnisse zurückgegriffen werden. Durch die zuvor in den Maßnahmensteckbriefen festgehaltenen Wirkungen der verschiedenen Maßnahmen ließen sich die verschiedenen Wirkkategorien definieren. Genauere Informationen zu Aufgabe und Funktion der Bewertungsmatrix finden sich in Kapitel 4.1.3

Letztendlich wurde in Kapitel 5 die entwickelte Entscheidungshilfe auf ein Beispielgebiet so angewendet, wie in der Theorie vorgesehen. Die dafür erforderlichen Daten wurden vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung Karlsruhe zur Verfügung gestellt

und aus Satellitenbildern und Luftaufnahmen abgeschätzt. Abschließend folgte eine kritische Beurteilung der Ergebnisse und der Anwendbarkeit der Entscheidungshilfe in Kapitel 6

1.4 Übersicht der Bachelorarbeit



Abbildung 1 zeigt, wie aus Literaturrecherche und den Grundlagenkapiteln die Entscheidungshilfe mit ihren drei Bestandteilen entsteht. Die Bewertungsmatrix und der Entscheidungsbaum resultieren außerdem aus den in den Maßnahmensteckbriefen enthaltenen Daten. Auf die Entscheidungshilfe folgt eine Anwendung, auf die eine kritische Überprüfung und Diskussion folgt. Eine mögliche Überarbeitung der Entscheidungshilfe aufgrund der Ergebnisse aus der kritischen Überprüfung wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt.

Abbildung 1 Übersicht der Bachelorarbeit (Breuer 2020)

2 Grundlagen Stadtklima

Die Problematik von Stadtklima setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. Zu betrachten sind dabei vor allem die städtische Wärmeinsel, die wachsende Bevölkerungen in den Städten und die zu erwartenden Folgen des Klimawandels.



Abbildung 2 Problematik von Stadtklima (Breuer 2020)

2.1 Stadtklima

In urbanen Gebieten entstehen andere klimatische und lufthygienische Bedingungen als im ländlichen Raum. In Städten ist es beispielsweise häufig wärmer und die Luftqualität ist schlechter als im Umland. Hervorgerufen wird dieses veränderte Klima durch den hohen Versiegelungsgrad, die dichte Bebauungsstruktur, die wenige Vegetation und die hohe Anzahl an Emittenten in der Stadt. Bezeichnet wird dies als Stadtklima. Viele Faktoren des Stadtklimas wirken sich negativ auf die Gesundheit des Menschen und die Umwelt aus und lassen sich zu folgenden Problemfeldern zusammenfassen: städtische Wärmeinsel, städtisches Windfeld, städtischer Niederschlag, städtische Luftfeuchtigkeitsverhältnisse, städtische Luftqualität (Kuttler 2004, S. 194; Steinrück 2010, 9 f.).

2.2 Städtische Wärmeinsel

Die städtische Wärmeinsel bezeichnet den Effekt, dass es in Städten wärmer ist, als im unbebauten Umland. Berichtet wurde von diesem Effekt bereits 1833 vom britischen Chemiker und Meteorologen Luke Howard in seinem Buch „The climate of London“ (Cohen 2011, S.xix). Dieser Effekt beinhaltet, dass die Jahresdurchschnittstemperatur



in Städten 1 bis 4 °C höher liegt als im unbebauten Umland. Besonders groß ist

Abbildung 3 Stadtklima (Breuer 2020)

der Temperaturunterschied in windschwachen und unbewölkten Nächten, wenn es in Großstädten um bis zu 12 °C wärmer sein kann als in der Umgebung (Kuttler 2004, 189 f.;

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 26; Böhm et al. 2016, S. 20; Malberg 2007, S. 356). Außerdem kommt es in Städten zu einem veränderten Temperaturverlauf. Die Luft in den Städten braucht abends deutlich länger zum Abkühlen als die Luft im Umland (Malberg 2007, S. 356). Auch aufs Jahr gesehen lassen sich Unterschiede im Temperaturverlauf erkennen. So verkürzen sich die Frostzeiten in Städten und die Vegetationsphasen beginnen früher und halten länger an. Im Sommer können die Temperaturen in urbanen Gebieten tagsüber häufiger über 30 °C steigen und nachts nicht unter 20 °C fallen. Bleiben die Temperaturen auch nachts bei über 20 °C, wird von „tropischen Nächten“ gesprochen. Nach dem deutschen Wetterdienst (DWD) traten solche Nächte in Deutschland von 1961-1999 im Schnitt einmal pro Jahr auf. Im Jahr 2015 wurden in Frankfurt jedoch bereits zwölf Tropennächte aufgezeichnet (Deutscher Wetterdienst). Diese andauernden hohen Temperaturen, ohne Erholung in der Nacht, sind belastend für den menschlichen Körper und können sich negativ auf die Gesundheit auswirken (Kuttler 2004, S. 190).

Zur Entstehung dieses Effektes tragen viele Faktoren bei. Die städtische Wärmeinsel resultiert unter anderem daraus, dass die Nachtluft in Städten langsamer abkühlt als im Umland. Viele Baustoffe haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität. Das bedeutet, dass sie die Sonnenstrahlung absorbieren und als Wärme speichern, anstatt sie zu reflektieren. Somit erhitzt sich die Umgebungsluft und es erhöht sich die Temperatur in den Gebäuden (Steinrücke 2010, S.9). Hinzu kommt der Grad an Reflektion einer Oberfläche. Dieser wird durch den Albedo-Wert beschrieben. Je höher der Wert, desto größer der Anteil an reflektierter Strahlung. So haben weiße Wände einen Albedo von über 65 % und haben somit auch eine geringere Oberflächentemperatur als Asphalt oder Beton, deren Albedo bei unter 20 % liegt. Des Weiteren kühlen asphaltierte Flächen und Gebäude im Stadtzentrum nachts deutlich schlechter ab als unversiegelte Flächen und Bauwerke im Umland (Kuttler 2004, 195 f.). Somit sind die Bewohner der Städte nicht nur tagsüber draußen, sondern auch nachts in den Gebäuden, von der Hitze belastet. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Baustruktur von Städten. Schattenwurf von Gebäuden kann eine zu starke Aufheizung von Oberflächen vermeiden. Eine sehr enge Bebauung kann jedoch auch dazu beitragen, dass die Oberflächen und somit auch die Umgebungsluft, schlechter abkühlen können. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Lufttemperatur ist der Versiegelungsgrad. Pro 10 % Zuwachs des Versiegelungsgrades steigt die Temperatur im Vergleich zum unversiegelten Umland um 0,2 °C (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, 27ff.). Deutsche Großstädte erreichen einen Versiegelungsgrad von circa 50 %. In Innenstadtbereichen kann er zum Teil jedoch auch bei 100 % liegen (Kuttler 2004, S. 194). Folglich kann es in Innenstädten zu extremen Hitzeereignissen kommen. Zusätzlich zur Wärme aus Sonnenstrahlung werden Städte durch anthropogene Wärmeproduktion erhitzt. Dies beinhaltet thermische Emissionen aus Kraftfahrzeugantrieben, Industrieanlagen sowie Gebäudeheizung und -kühlung. Der Wärmestrom steigt mit wachsender Einwohnerdichte und Pro-Kopf-Verbrauch (Kuttler 2004, S. 197).

2.3 Identifikation besonders hitzegefährdeter Stadtgebiete

Die Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel sind im ganzen Stadtgebiet unterschiedlich stark und die Bewohner der einzelnen Gebiete können unterschiedlich gut mit dem Hitzestress umgehen. Somit lassen sich besonders hitzegefährdete Problemgebiete in Städten identifizieren. Sollte eine Klimaanpassung der gesamten Stadt nicht möglich sein, sollte bei diesen Gebieten begonnen werden.

Zu den besonders hitzegefährdeten Gebieten können sehr dicht bebaute Gebiete gezählt werden. Je dichter ein Gebiet bebaut ist, desto höher ist der Versiegelungsgrad, desto stärker tritt die städtische Wärmeinsel auf. Gebiete mit einem geringen Grünflächenanteil können ebenfalls den hitzegefährdeten Gebieten zugeordnet werden. Ein weiteres Kriterium ist die Bevölkerungsdichte. Je mehr Menschen in einem Gebiet leben, desto mehr Menschen sind von der Hitze betroffen. Besonders schlecht mit der Hitze umgehen können Neugeborene und alte Menschen, die über 65 Jahre alt sind. Somit sind Gebiete mit einem hohen Altersdurchschnitt ebenfalls den besonders hitzegefährdeten Gebieten zuzuordnen (Steinrücke 2010, S. 18; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 35).

Um Informationen über das Stadtklima zu erhalten und besonders hitzegefährdete Gebiete zu identifizieren, können meteorologische Daten erhoben oder Simulationen durchgeführt werden. Es kann jedoch auch auf bereits vorhandene Daten in Form von Klimakarten zurückgegriffen werden. Diese stellen meteorologische und klimatische Informationen standortbezogen dar (Steinrücke 2010, S. 16). Es steht eine Vielzahl an Kartenwerken für verschiedene Regionen in unterschiedlichen Maßstäben zur Verfügung. Der *Deutsche Klimaatlas* stellt das Klima in ganz Deutschland und für die einzelnen Bundesländer dar. Außerdem zeigt er diverse Simulationen für die zukünftige Entwicklung des Klimas in Deutschland (Deutscher Wetterdienst 2020). Eine Betrachtung in größerem Maßstab bieten beispielsweise der *Klimaatlas Region Stuttgart* oder die *Klimakarten Ruhr*. Diese enthalten detailliertere Informationen und Planungshinweise und zeigen Gebiete in der Region an, in denen die klimatischen Bedingungen besonders nachteilig sind (Verband Region Stuttgart 2008, S. 159; Regionalverband Ruhr 2020).

2.4 Zukünftige städtische Entwicklungen und der Klimawandel

Städte sind in den letzten Jahrzehnten zu einem beliebten Wohnort geworden. Immer mehr Menschen ziehen aus dem ländlichen Raum weg in urbanere Gebiete. In 2018 lebten weltweit 55 % der Menschen in Städten (statista 2019d). In Deutschland waren es 2017 sogar bereits 77% (statista 2019a). Auch zukünftig ist noch mit einem Anstieg zu rechnen. Prognosen zur Folge werden 2050 68% der Weltbevölkerung und 84 % der deutschen Bevölkerung in Städten leben (statista 2019c, 2019b). Andere Prognosen zeigen, dass wie die Bevölkerungszahlen in den Städten, auch die globale Jahresdurchschnittstemperatur steigen wird.

Seit Beginn der Industrialisierung erwärmt sich das Klima der Erde. Der durch den Menschen verursachte erhöhte Ausstoß an Treibhausgasen hat einen großen Teil zu dieser Erwärmung beigetragen, weswegen man von einem anthropogenen Klimawandel spricht.

Beobachtungen zeigen, dass weltweit die jährliche Durchschnittstemperatur der Luft gestiegen ist, Gletscher und Schnee zu schmelzen beginnen und Extremereignisse wie Hitzewellen oder Starkniederschlag häufiger werden (Umweltbundesamt 2016). Bis 2100 ist mit einem globalen Temperaturanstieg von 1,8 bis 4 °C zu rechnen. Ein so schneller Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur ist sehr ungewöhnlich und kann gravierende Einflüsse auf die Umwelt haben. Sollte ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um 2 °C erfolgen, kann es zu einer gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems kommen. Der Weltklimarat (IPCC) empfiehlt eine maximale Erhöhung von 1,5 °C (Umweltbundesamt 2019). Um dies zu erreichen, dürfen die weltweiten Emission bis 2020 noch steigen, müssen danach aber bis 2050 unter die Hälfte des Niveaus von 1990 sinken. 2019 lag die Zunahme an klimaschädlichen Gasen noch bei 0,6 % (Zeit Online 2019). Das reicht nicht, um die empfohlenen Ziele des Weltklimarats zu erreichen. Doch auch wenn dieses Ziel noch erreicht wird, wird es zu Veränderungen im globalen und regionalen Klima kommen. Die Meeresspiegel werden durch das Abschmelzen der Pole steigen, extreme Hitzewellen und Starkniederschläge werden häufiger und Kälte und Frost geringer. In Europa werden die Veränderungen, vor allem die negativen, am stärksten im Süden eintreten. Die Durchschnittstemperatur wird sich im Vergleich zu 1990 um 1,0 bis 5,0 °C erhöhen. Im Süden Frankreichs und der iberischen Halbinsel ist eine Erhöhung um 6 °C möglich. Es kommt zu einer Zunahme an Hitzewellen und Trockenperioden. Diese sind intensiver und dauern länger. Besonders stark werden diese unter anderem in Süd-Griechenland, der iberischen Halbinsel und Mitteleuropa auftreten. Starkregenereignisse werden in ganz Europa häufiger auftreten. Der jährliche Niederschlag nimmt jedoch nur in Nordeuropa zu. In Südeuropa werden die Niederschläge seltener und Dürreperioden häufiger (Umweltbundesamt 2013). Angesichts dieser zu erwartenden Veränderungen ist eine Klimaanpassung dringend nötig.

Diese Veränderungen sind auch in den Städten spürbar. Alle Problemfelder des städtischen Klimas, vor allem die städtische Wärmeinsel und der städtische Niederschlag, werden durch den zu erwartenden Klimawandel verstärkt. Durch die Erhöhung der Durchschnittstemperatur steigt der Hitzestress in den Städten. Die Anzahl an Tagen mit einem Temperaturmaximum von 25 °C, einem sogenannten Sommertag, wird steigen und die Anzahl der Tage mit einem Temperaturmaximum von 30°C, den „heißen Tagen“, wird ebenfalls steigen (Steinrücke 2010). Die KlimafolgenOnline Karten des Postdam-Insitut für Klimfolgen simuliert wahrscheinliche Klimaveränderungen in Deutschland für die nächsten 100 Jahre. Abbildung 4 zeigt einen Anstieg auf bis zu 25 „heiße Tage“ pro Jahr in einigen Regionen Deutschlands, unter anderem auch Ballungsräumen wie dem Ruhrgebiet oder dem Rhein-Main-Neckar-Gebiet.

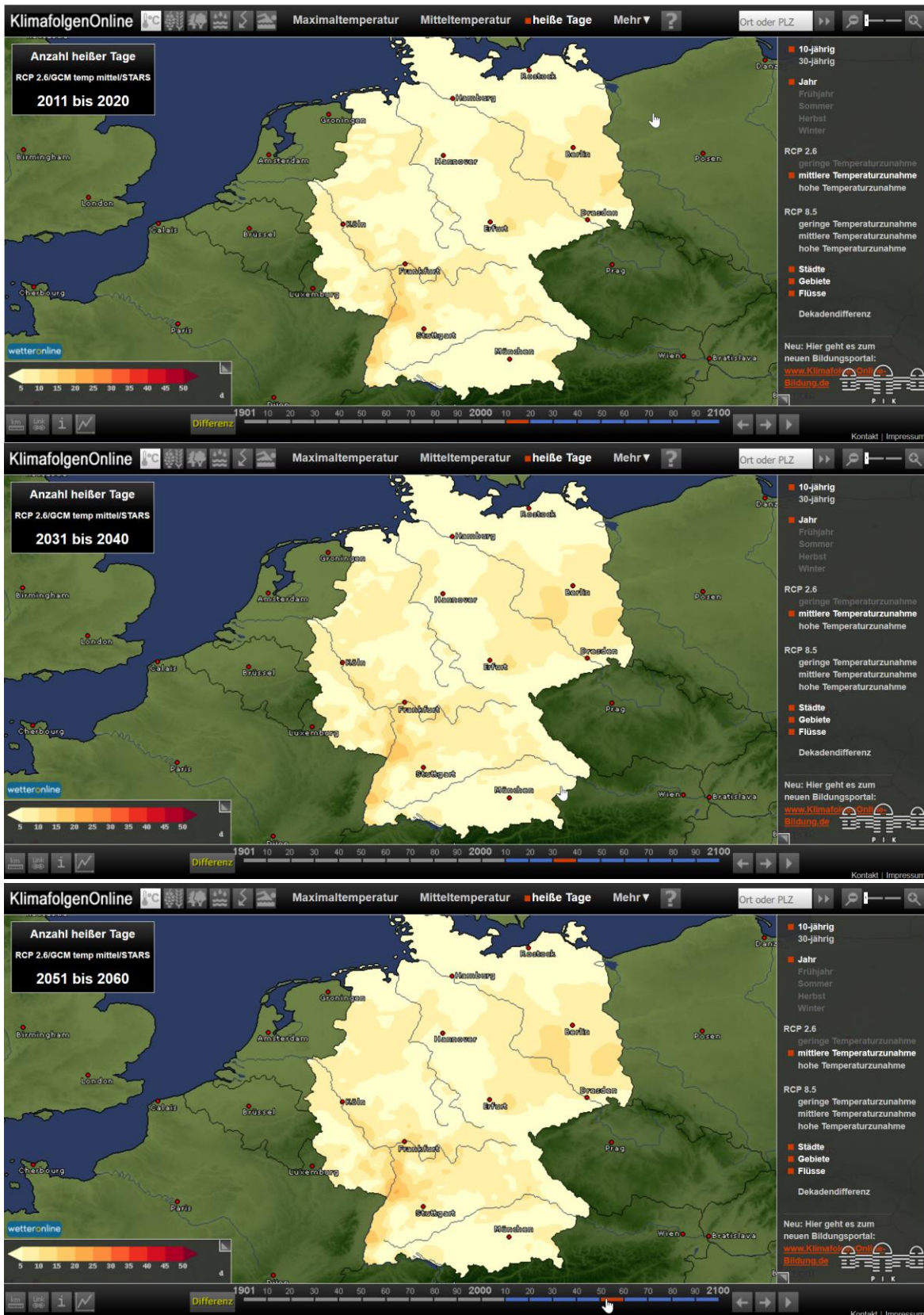


Abbildung 4 Wahrscheinliche Veränderung der Anzahl heißer Tage 2011-2060 (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung 2012)

Der Anstieg solcher Extremtemperaturen hat eine erhöhte Mortalität und Morbidität zur Folge. Äußerst betroffen vom Hitzestress sind Neugeborene und alte Menschen, deren Anteil in der Bevölkerung Prognosen nach weiter steigen wird (statista 2020). Besonders belastend für den Körper sind langanhaltende Hitzewellen, wie sie im Zuge des Klimawandels zu erwarten sind (Steinrücke 2010, S. 11). Des Weiteren kann die Nachtluft in Städten bei so hohen Temperaturen noch schlechter abkühlen als es bereits durch die städtische Struktur gegeben ist.

Vor dem Hintergrund, dass immer mehr Menschen in Städten leben werden und die Lebensbedingungen durch die zu erwartenden Folgen des Klimawandels unangenehmer und gesundheitsschädlich werden können, ist es notwendig, Städte an die Klimaänderung anzupassen. Städte sollten auch in Zukunft noch lebenswert sein.

3 Einfluss von grüner und blauer Infrastruktur auf das Stadtklima

Klimaanpassung kann unter anderem durch den Einsatz grün-blauer Infrastruktur erfolgen. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Definition von grün-blauer Infrastruktur und der Wirkung dieser.

3.1 Definition und Funktion grün-blauer Infrastruktur

Grün-blaue Infrastruktur umfasst die Güter und Leistungen von Natur und Landschaft. Diese beinhaltet die biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Klima, Luft und ihre Wechselwirkungen untereinander. Genau wie die graue, technische Infrastruktur erbringt die grüne Infrastruktur Leistungen, die der Mensch nutzen kann. Im Gegensatz zur grauen Infrastruktur fallen jedoch weniger Betriebskosten an. Die Leistungen von grüner Infrastruktur werden als Ökosystemleistungen bezeichnet und sind multifunktional. Bezogen auf den städtischen Raum profitieren die Menschen vor allem von den regulierenden Leistungen des urbanen Grüns wie Klimaregulierung oder Wasserrückhaltekapazität (Mayer und Schiller 2017, S. 10; Böhm et al. 2016, S. 22). Grüne Infrastruktur trägt außerdem zu einem besseren Stadtbild bei und schafft mehr Raum für Gemeinschaft. Sie hat positiven Einfluss auf das Wohlbefinden der Gesellschaft, die Biodiversität und die Gesundheit der Menschen, bietet Platz zur Erholung und fördert somit die Lebensqualität in der Stadt (Böhm et al. 2016, S. 22; Mayer und Schiller 2017, S. 39; Europäische Kommission 2013, S. 4).

Die EU-Kommission definiert Grüne Infrastruktur folgendermaßen:

„Grüne Infrastruktur (GI): ein strategisch geplantes Netzwerk natürlicher und naturnaher Flächen mit unterschiedlichen Umweltmerkmalen, das mit Blick auf die Bereitstellung eines breiten Spektrums an Ökosystemdienstleistungen angelegt ist und bewirtschaftet wird und terrestrische und aquatische Ökosysteme sowie andere physische Elemente in Land- (einschließlich Küsten-) und Meeresgebieten umfasst, wobei sich grüne Infrastruktur im terrestrischen Bereich sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum befinden kann.“ (Europäische Kommission 2013, S. 3)

Der Begriff „Grüne Infrastruktur“ umfasst also nicht, wie der Name vermuten lässt, nur Naturgüter die explizit grün sind, sondern auch blaufarbige Güter wie beispielsweise Wasserflächen. Im Folgenden wird deshalb der Ausdruck grün-blaue Infrastruktur verwendet.

Grün-blaue Infrastrukturen in Städten sind unter anderem Stadtbäume, Grünflächen, Freiflächen, Wasserflächen, Gebäudebegrünung, grüne Gleise, offene Wasserflächen und Springbrunnen.

3.2 Hitzeregulierende Wirkung (Stand der Forschung)

Die hitzeregulierende Wirkung von grüner Infrastruktur, also pflanzlicher Infrastruktur, erfolgt durch Transpiration, Evaporation und Verschattung. Durch Verdunstung von Wasser kühlen Pflanzen vor allem nachts ihre Umgebungsluft und die unter sich befindende Oberfläche ab. Dies wird als Transpiration beschrieben. Die Verdunstung von freien Oberflächen, wie Grünflächen oder Wasserflächen, wird als Evaporation beschrieben. Zusammengefasst wird von Evapotranspiration gesprochen. Durch das Blattwerk findet zudem ein Verschattungseffekt statt, welcher ebenfalls ein Aufheizen der Oberflächen vermindert und somit zu einer geringeren Umgebungstemperatur beiträgt (R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha 2019, S. 24; Schmauk 2019, 22f.).

Blaue Infrastruktur kühlt durch die Verdunstung von Wasser, bei der Wärmeenergie verbraucht wird, wodurch ein kühlender Effekt entsteht. Des Weiteren erwärmt sich Wasser aufgrund seiner hohen Speicherkapazität und geringer Wärmeleitfähigkeit langsamer als die Lufttemperatur. Allerdings kühlt es auch langsamer wieder ab. Somit haben Wasserflächen tagsüber einen kühlenden Effekt auf ihre Umgebung. Nachts jedoch können sie durch ihr verlangsamtes Abkühlen die städtische Wärmeinsel verstärken (Hagen et al. 2010, S. 18; Warmuth und Göldner 2018, 10f.; Steinrücke 2010, S. 38).

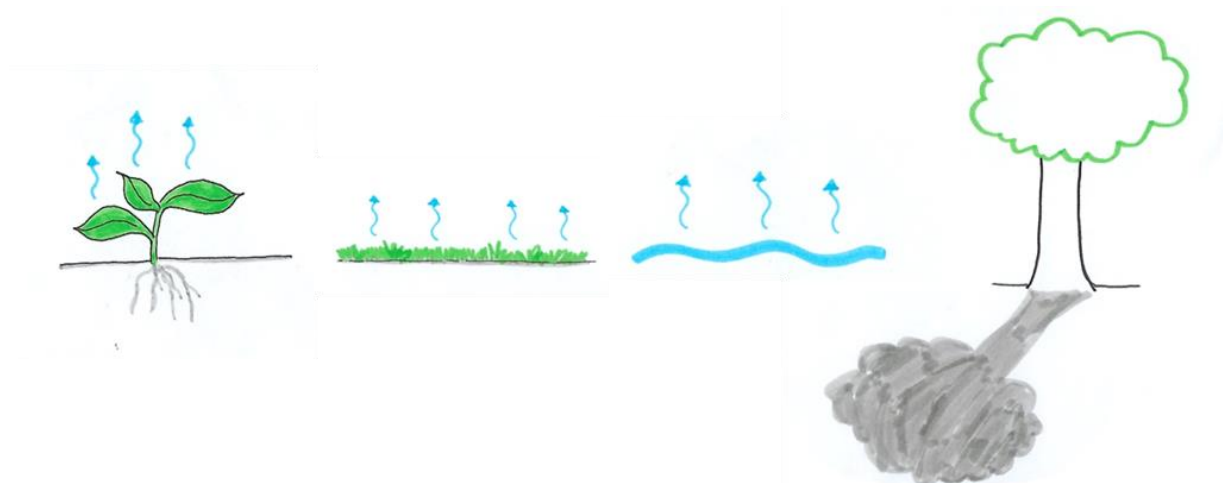


Abbildung 5 Wirkungsweise von grün-blauer Infrastruktur (Breuer 2020)

Wenn die Umgebungs- und Raumtemperatur durch grün-blaue Infrastruktur gesenkt werden kann, sinken folglich auch die Kosten für Gebäudekühlung, da weniger Kühlenergie benötigt wird.

Jede Art der grün-blauen Infrastruktur wirkt unterschiedlich stark. Die Wirkung von verschiedenen grün-blauen Infrastrukturen wurde in Forschungen untersucht. Die Ergebnisse dieser Forschungen werden im Folgenden dargestellt.

3.2.1 Gebäudebegrünung

Dachbegrünung wirkt sich hauptsächlich auf die Temperatur im jeweiligen Gebäude aus. Nur bei einem großen Anteil an Gründächern in einem Gebiet ist eine positive Auswirkung auf das Mikroklima möglich (Steinrücke 2010, S. 36).



Aufgrund des hohen Flächenanteils von Dächern in Städten kann Dachbegrünung eine Option sein, um einen gebietsweiten Kühlungseffekt zu erreichen (R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha 2019, S. 23). Aber auch dann beträgt die Kühlung der Umgebungsluft nur 1 °C (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40). Begrünte Dächer sind jedoch tagsüber kühler als Dächer mit Bitumen oder Asphalt als Belag (Schmauk 2019, S. 21). Durch die Transpiration des Bewuchses wird die Aufheizung des Daches vermindert und somit auch das Aufheizen der Luft in den darunterliegenden Räumen. Im Winter verhindert die Begrünung ein zu starkes Absinken der Raumtemperatur (Steinrücke 2010, S. 36). Somit können Energiekosten beim Heizen und Kühlen von Gebäuden gespart werden (Cohen 2011, S. 241). Untersuchungsergebnisse aus 2010 zeigten, dass die Dachtemperatur in Sommer durch intensive Dachbegrünung um 27 °C gesenkt werden konnte (Stahr und Hinz 2011, S. 620). Im Vergleich zu Dachpappe konnten sogar Oberflächentemperaturunterschiede von bis zu 70 °C festgestellt werden (Kuttler 2011, S. 5).

Durch die Evatranspiration und die verschattende Wirkung von Fassadenbegrünung kann ebenfalls die Raumtemperatur im Sommer gesenkt werden und im Winter die Abkühlung vermindert werden (Steinrücke 2010, S. 37). Begrünte Fassaden können im Sommer um bis zu 10 °C kühler sein als unbegrünte Wände (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 38). Des Weiteren kann Fassadenbegrünung die bodennahe Lufttemperatur in bis zu 2 Metern Höhe um 1,5 C° abkühlen. Beide Effekte sind jedoch nur bei einem flächigen Bewuchs möglich (Schmauk 2019, S. 22; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40).

3.2.2 Bäume

Schattenspendende Bäume haben einen signifikanten Einfluss auf die Umgebungstemperatur und das Temperaturempfinden der Menschen. Durch das dichte Blattwerk gelangt weniger Sonnenstrahlung, wodurch das Aufheizen der Oberflächen reduziert wird. In Kombination mit der Kühlung durch Verdunstung ist die Umgebungstemperatur von Stadtbäumen in bis zu 2 m Höhe 5-10 °C niedriger. Selbst im Umfeld lässt sich eine Temperatursenkung der Luft von 1-3 °C feststellen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 37; Schmauk 2019, S. 23; Armson et al. 2012, S. 254).



Bäume brauchen jedoch mindestens 12 m³ Erdraum zum Wurzeln (Moser et al. 2017, S. 103). Sollte dieser Raum in hochversiegelten und dicht bebauten Gebieten nicht gegeben sein, bieten sich künstliche Bäume an.

So ist beispielsweise der CityTree der Firma greencity solutions, nach Herstellerangaben, durch Moose in der Lage, die Luft zu reinigen und die Umgebungsluft durch Transpiration um 15 C° zu kühlen (Splittgerber et al., S. 302). Der Sunglass-Umbrella, nach der Idee von Sandra Lenzhölzer, bietet die Möglichkeit der Verschattung durch eine Baumkrone aus Glas, welches sich bei Sonneneinstrahlung verdunkelt. Des Weiteren könnte dieser Baum Schutz vor Regen spenden (Lenzhölzer 2010, S. 153).

3.2.3 Grünflächen

Grünflächen erhitzen sich in der Sonne weniger als Asphalt- oder Betonflächen. Untersuchungen ergaben, dass die Oberflächentemperatur von Asphalt tagsüber bis zu 15 C° höher sein können als die von Grünflächen (Armson et al. 2012, S. 252). Die starke Erhitzung von versiegelten Oberflächen unter Sonneneinstrahlung trägt unter anderem, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, zur Bildung der städtischen Wärmeinsel bei (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 29). Deswegen können Grünflächen diesem Effekt entgegen wirken. Am kühlfsten war die Oberflächentemperatur tagsüber bei Untersuchungen von Armson et. al auf kleinen Grünflächen(0,1 ha). Diese waren nur 3 C° wärmer als die Lufttemperatur, wohingegen bei großen Grünflächen(7,8 ha) die Oberflächentemperatur zum Teil deutlich höher war als die Lufttemperatur. Daraus folgt der Schluss, dass viele, kleinere, über die Stadt verteilte, verknüpfte Grünflächen tagsüber die größte Wirkung gegen die städtische Wärmeinsel haben (Armson et al. 2012, S. 252; Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 199). Den größten Einfluss haben Grünflächen jedoch nachts, wenn durch ihre rasche Abkühlung und die Evapotranspiration die „Park Cool Island“, also kalte Luft, entsteht, die der städtischen Wärmeinsel entgegen wirkt (Spronken-Smith 1994, S. 171). Diese kühlende Wirkung kann über die Fläche des Parks hinauswirken. Untersuchungen von Upmanis zeigten, dass die klimatische Fernwirkung mit der Größe des Parks zusammenhängt. Je größer der Park ist, desto weiter ist die Ausbreitung der klimatischen Fernwirkung. In dieser Untersuchung hatte allerdings erst ein Park mit einer Fläche von 156 ha eine klimatische Fernwirkung von über einem Kilometer. (Upmanis et al. 1998, S. 698). Die Stärke des Park-Cool-Island-Effekts hängt allerdings von sehr vielen weiteren Faktoren ab, wie der umliegenden Bebauung, dem regionalen Klima und dem Sky-View-Faktor (Spronken-Smith 1994, 171 f.; Upmanis et al. 1998, 698 f.). Aufgrund dessen lassen sich keine quantitativen Aussagen treffen, die pauschal aussagen, wie viele Quadratmeter Grünfläche welche kühlende Wirkung haben.



3.2.4 Grüne Gleise

Durch die Begrünung von Gleisen entstehen neue innerstädtische Grünflächen, ca. 1 ha je 4 km begrünem Gleis. Diese zusätzliche Grünfläche hat ähnliche Effekte wie die in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Grünflächen. Durch Verschattung und Evapotranspiration wird das Erhitzen des Gleisbettes verringert und somit auch die Umgebungstemperatur gesenkt. Da Rasengleise eine höhere Vegetationsschicht haben und stärker begrünt sind als Sedumgleise (Kappis et al. 2015, S. 65), könnten Rasengleise eine geringfügig größere kühlende Wirkung haben als Sedumgleise. Wie stark, hängt jedoch von vielen Faktoren ab, wie der Strecke der begrüneten Gleise, der Begrünungsart und der Klimazone. Mit einer klimatischen Fernwirkung ist nicht zu rechnen, da die Grünflächen nicht groß genug sind (Vgl. Kapitel 3.2.3). Neben dem kühlenden Effekt kann durch die Begrünung 50 bis 70 % des Niederschlages zurück gehalten werden (Kappis et al. 2015, S. 64).



3.2.5 Frischluftflächen und -schneisen

Naturbelassene Freiflächen, wie natürliche Wälder und Wiesen, aber auch große Parks, produzieren nachts Kaltluft. Die Menge an Kaltluft, die die Stadt erreicht, hängt von der Größe der Fläche und der Qualität der Transportwege ab. Um die Luft in die Städte zu transportieren und die städtische Wärmeinsel zu vermindern, werden so genannte Frischluftschneisen benötigt. Liegt ein Gebiet unterhalb einer Fläche, die Kaltluft produziert, fließt die entstandene Frischluft automatisch nach unten, in Richtung des Gebiets. Der Weg dorthin darf jedoch nicht blockiert sein, beispielsweise durch geschlossene Bebauung. Um einen Luftaustausch in Städten gewährleisten zu können, ist die Erhaltung solcher Kaltluftproduktionsflächen und den entsprechenden Schneisen notwendig. Um dies zu erreichen, sollten freie oder freiwerdende Flächen im Stadtgebiet auf ihre stadtbelüftende Funktion geprüft und freigehalten werden und nicht neu bebaut werden. Dies kann durch festlegen von Bebauungsgrenzen und Freihaltung von klimarelevanten Flächen im Bebauungsplan geschehen. Es ist zwar Aufgabe der kommunalen Planung einen Bebauungsplan aufzustellen, das Thema kann aber auch von Bauunternehmen in der Planung eines Gebietes bedacht werden, damit durch passende Bebauung eine gute Durchlüftung des Gebietes möglich ist (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, 221f.; Steiner 2010, 33,37).

3.2.6 Entsiegelung

Die Erhöhung der Oberflächentemperatur hängt eng mit dem Versiegelungsgrad einer Fläche zusammen, da auf hochversiegelten Flächen keine Pflanzen wachsen können und kein Wasser versickern kann. Somit fehlen die kühlenden Effekte von Verdunstung von Vegetation und Oberflächen. Je 10 % Versiegelungsgrad steigt die Lufttemperatur um 0,2 °C (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 27). Deswegen kann durch Entsiegelung die Oberflächentemperatur und somit die Umgebungstemperatur gesenkt werden. Entsiegelung von Flächen kann zu einer Temperatursenkung von bis zu 2 °C führen. Bei über 80 prozentiger Entsiegelung ist sogar eine Temperatursenkung von bis zu 7 °C in 2 Metern Höhe möglich (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S.37, 40).



Gerade Flächen mit einer geringen Verkehrsbelastung, wie beispielsweise Hinterhöfe, bieten sich gut zur Entsiegelung an.

3.2.7 Offene Wasserflächen

Zur Wirkung von offenen Wasserflächen auf die Umgebungstemperatur und vor allem die nächtlichen Temperaturen gibt es bisher wenige Forschungen. In Messung konnte jedoch eine Temperatursenkung der Umgebungsluft von circa 4 °C festgestellt werden. Je weiter sich von der Wasserfläche entfernt wird, desto geringer wird der Effekt (Xu et al. 2010, S. 1076).



3.2.8 Springbrunnen / Wasserspiele

Dadurch, dass das Wasser bewegt wird, kommt es zu einer größeren Verdunstungsleistung und somit zu einem stärkeren Kühlungseffekt als bei stehenden Gewässern. Da es geringere Wassermengen sind, als bei offenen Gewässern, wirken Springbrunnen dem nächtlichen Abkühlen der Stadt deutlich geringer entgegen (Steinrücke 2010, S. 38).



3.2.9 Grüne Hinterhöfe

Die größte Wirkung grün-blauer Infrastruktur lässt sich durch die Kombination möglichst vieler Maßnahmen erreichen. So kann eine Kombination aus Albedoerhöhung, Entsiegelung, Stadtbäumen und Gebäudebegrünung einen Temperaturunterschied von 7 °C ausmachen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40). In Städten bietet es sich an, dies durch grüne Hinterhöfe zu erreichen. Die in den Kapiteln 3.2.1, 3.2.2 und 3.2.6 beschriebenen Maßnahmen lassen sich gemeinsam in Hinterhöfe integrieren. Somit wird nicht nur die Umgebungstemperatur gesenkt, es werden auch Orte im urbanen Raum mit hoher Aufenthaltsqualität geschaffen, ohne dafür neue Flächen ausweisen zu müssen. Je mehr Hinterhöfe in einem Gebiet „grün“ gestaltet sind, desto größer ist der zu erwartende kühlende Effekt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40).



3.3 Zwischenfazit

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass grün-blaue Infrastruktur eine kühlende Wirkung auf Oberflächen-, Raum- und Umgebungstemperaturen hat. Diese sind jedoch, je nach Klimazone, Bebauungsstruktur und anderen Umgebungsbedingungen unterschiedlich und lassen sich nicht pauschalisieren. Um genaue Aussagen über die Wirkung von grün-blauer Infrastruktur zu treffen, reichen die vorhandenen Forschungsergebnisse nicht aus. Es sind noch weitere Forschungen dazu aus allen Klimazonen nötig, um Ergebnisse zu vergleichen und eventuell allgemeingültig anwendbare Maßstäbe zu finden. Für eine Abschätzung der genauen Wirkung auf ein konkretes Gebiet benötigt es aber außerdem zusätzlich eine Klimamodellierung, beispielsweise mit dem Programm Envimet. Dadurch ist eine genauere Simulation des Mikroklimas und der Wirkung grün-blauer Infrastruktur möglich (ENVI_MET 2020).

Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen insgesamt, dass grün-blaue Infrastruktur einen positiven Beitrag zum Stadtklima leisten kann. Sie sollte also vermehrt in Städte integriert werden und bereits in der Planung mit bedacht werden. Um den Einstieg dafür zu erleichtern und ein Überblick über mögliche Maßnahmen zu geben, wird im Folgenden eine entwickelte Entscheidungshilfe zum Einsatz grün-blauer Infrastruktur vorgestellt.

4 Entscheidungshilfe zu Einsetzbarkeit von grün-blauer Infrastruktur

Die Entscheidungshilfe ist der Hauptteil dieser Arbeit. Im Folgenden werden die Anwendung, die Entwicklung und die Erweiterungsmöglichkeiten dieser erläutert.

4.1 Aufbau und Funktion

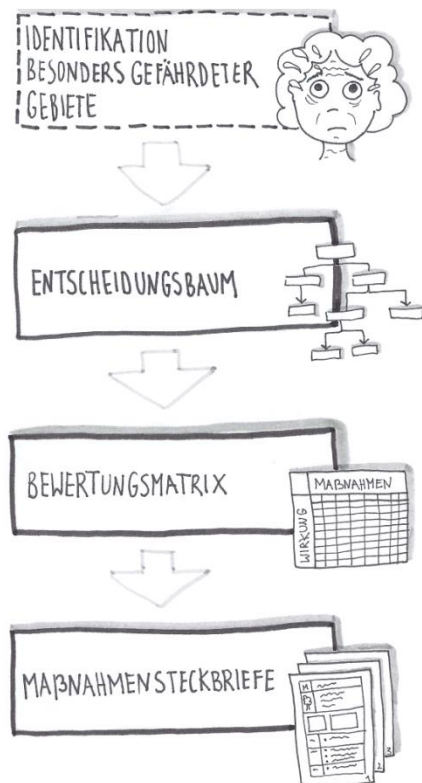


Abbildung 6 Aufbau der Entscheidungshilfe (Breuer 2020)

Die entwickelte Entscheidungshilfe soll Verantwortlichen der Wohnungswirtschaft helfen, bereits im Prozess der Planung eines Gebietes festzustellen, welche Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur integrierbar sind, um der Hitzeentwicklung im Gebiet entgegen zu wirken. Die Entscheidungshilfe ist, wie in Abbildung 6 dargestellt, vierstufig, wobei die erste Stufe optional ist. Sie wird systematisch von oben nach unten abgearbeitet. Zunächst wird das zu betrachtende Gebiet festgelegt. Darauf folgt die Abarbeitung des Entscheidungsbaums und der Bewertungsmatrix. Weiter Informationen können im Anschluss noch den Maßnahmensteckbriefen entnommen werden.

Die Entscheidungshilfe ist so aufgebaut, dass sie in Zukunft durch andere Problemfelder des Stadtklimas ergänzt werden kann.

4.1.1 Identifikation besonders hitzegefährdeter Gebiete

Das Ziel dieser ersten optionalen Stufe ist es, „Hot Spots“ im Gebiet zu identifizieren, die besonders gefährdet sind. Wenn nicht genügend Kapazitäten zur Verfügung stehen, um das ganze Gebiet oder die ganze Stadt zu betrachten, können die in Kapitel 2.3 beschriebenen Problemgebiete als erstes in Angriff genommen werden. Bei der Identifikation dieser Gebiete können die ebenfalls in Kapitel 2.3 beschriebenen Klimakarten verwendet werden.

4.1.2 Entscheidungsbaum

Der Entscheidungsbaum soll dazu dienen, festzustellen welche Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur aus platztechnischer und bautechnischer Sicht möglich sind. Dafür muss im ersten Schritt das Blatt „Entscheidungsbaum Übersicht“ auf Seite B bearbeitet werden. Da sich die Wirkung der Maßnahmen teilweise auf Gebäudekühlung beschränkt und nur wenig Einfluss auf die Kühlung der Umgebungstemperatur im Gebiet hat (vgl. Kapitel 3.2), ist die erste zu beantwortende Frage, was die Zielsetzung der Maßnahmen sein soll: Kühlung im Gebäude oder Kühlung im Außenraum? Sollte beides das Ziel sein, muss der Entscheidungsbaum zweimal bearbeitet werden. Die zweite Frage, die in jedem Fall

beantwortet werden muss, ist die Frage nach der unbebauten Fläche. Dieses Kriterium wurde als besonders ausschlaggebend erachtet, da viele Maßnahmen, ohne die zur Verfügung stehende Freifläche nicht umsetzbar sind, unabhängig von der Motivation oder den finanziellen Mitteln. Abhängig von der Zielsetzung und der Größe der unbebauten Fläche kommen unterschiedliche Maßnahmen in Frage. Aufgrund dessen erhält der Befragte ein individuelles Paket an grünmarkierten „Ästen“ (vgl. Abbildung 31, S.B). Jeder der vorgeschlagenen Äste muss separat bearbeitet werden, um die jeweiligen Maßnahmen auf technische Machbarkeit zu prüfen. Diese Äste befinden sich im Anhang auf den Seiten C - K. Eine Ausnahme bildet der Ast „Grüne Gleise“ Für begrünte Gleise ist nicht das Kriterium „unbebaute Fläche im Gebiet“ ausschlaggebend, sondern ob Gleise durch das Gebiet verlaufen. Somit muss dieser Ast bearbeitet werden, sobald sich für das Ziel „Hitze im Außenraum verringern“ entschieden wurde. Er befindet sich auf Seite I. Wird ein Feld mit einer grün oder blau umrandeten Maßnahme erreicht, ist diese Maßnahme im betreffenden Gebiet technisch möglich. Stellen sich alle Maßnahmen eines Astes als in diesem Gebiet technisch nicht möglich heraus, wird ein Feld mit der Aufschrift „ENDE“ erreicht. Wenn alle „Äste“ aus dem individuellen Paket bearbeitet wurden, ergibt sich eine Liste der möglichen Maßnahmen. Eine weitere Ausnahme bildet die Maßnahme M8 Springbrunnen / Wasserspiele. Für diese sind außer der benötigten Fläche keine anderen Rahmenbedingungen zu erfüllen, weswegen sie ohne weitere Bearbeitung als mögliche Maßnahme genannt wird.

Die als technisch möglich bewerteten Maßnahmen können sich im Einzelfall, wenn sie durch einen Fachplaner genauer betrachtet werden, natürlich trotzdem noch als nicht machbar herausstellen. Dies kann zurückgeführt werden auf die individuellen Rahmenbedingungen, die in diesem Entscheidungsbaum nicht beachtet wurden. Jedoch bietet der Entscheidungsbaum die Möglichkeit, die große Anzahl an Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur auf eine übersichtlichere Anzahl zu reduzieren, in dem die Maßnahmen, die definitiv nicht möglich sind, von vorneherein ausgeschlossen werden. Somit kann sich intensiver mit der Umsetzung der Maßnahmen auseinander gesetzt werden, die möglich sein könnten.

4.1.3 Bewertungsmatrix

Nach Erhalten der Liste der Maßnahmen, die platztechnisch und bautechnisch möglich sind, kann in einer Bewertungsmatrix abgelesen werden, inwiefern sie dazu beitragen die städtische Wärmeinsel zu reduzieren, und wie stark die jeweiligen Maßnahmen wirken. Tabelle 1 zeigt den Aufbau der Bewertungsmatrix in der Kurzversion. Zur Darstellung wurde eine siebenstufige Farbskalierung gewählt, diese ist in Tabelle 2 dargestellt. In der aktuellen Version der Bewertungsmatrix ist noch keine negative Wertung nötig. Im Anhang auf Seite L findet sich mit Tabelle 1Tabelle 9 die ausführliche Bewertungsmatrix mit den ausgeschriebenen Maßnahmen.

Tabelle 1: Aufbau der Bewertungsmatrix

			Maßnahme																
			M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M1.5	M2.1	M2.2	M3	M4.1	M4.2	M4.3	M5	M6.1	M6.2	M7	M8	M9
Wirkung	Verringern der Urban Heat Island	Kühlung der Raumtemperatur im Gebäude																	
		Kühlung der Umgebungsluft																	
		klimatische Fernwirkung																	
		Frischlufthproduktion																	
		Kaltluftproduktion																	
		Verminderung der Aufheizung von Oberflächen																	
	Urbaner Wasserhaushalt	Regenwasserspeicherkapazität																	
		Versickerungskapazität																	
		Schutz vor Regen																	
		Entlastung der Kanalisation																	
	Weiteres	Stärkung der Biodiversität																	
		Leistungssteigerung von Photovoltaik																	
		Bindung von Luftschadstoffen																	
		Lärminderung																	
		Steigerung der Aufenthaltsqualität																	

Tabelle 2: Legende Bewertungsmatrix

	keine Wirkung		
	geringe positive Wirkung		geringe negative Wirkung
	mittlere positive Wirkung		mittlere negative Wirkung
	hohe positive Wirkung		hohe negative Wirkung
	Wirkung vorhanden (nicht näher betrachtet)		

Der Bewertung liegt die Annahme zugrunde, dass die Maßnahmen korrekt umgesetzt werden. So muss beispielsweise die Fassadenbegrünung flächig vorhanden sein, um ihre Wirkung zu entfalten. Generell hat die Literaturrecherche jedoch gezeigt, dass die Wirkung von grün-blauer Infrastruktur nicht allgemeingültig genau benannt werden kann. Es handelt sich hierbei um „natürliche“ Infrastruktur, die von sehr vielen Faktoren beeinflusst wird. Deswegen sind die Ergebnisse dieser Bewertungsmatrix nicht als allgemeingültig zu betrachten, da sie abhängig von individuellen Rahmenbedingungen sind. Aber diese Bewertungsmatrix dient als Orientierungshilfe, da sich definitiv Unterschiede zwischen der Wirkung der verschiedenen Maßnahmen feststellen lassen.

4.1.4 Maßnahmensteckbriefe

In den Maßnahmensteckbriefen finden sich alle Informationen wieder, die zur Entwicklung des Entscheidungsbaums berücksichtigt wurden. Nach Erhalten der Liste mit Maßnahmen, die technisch im Gebiet möglich sind und der Wirkungsbewertung, lassen sich in den Steckbriefe alle Fakten zu Wirkung, Rahmenbedingungen und anderen Informationen in Kürze nachlesen.

Tabelle 3: Aufbau der Maßnahmensteckbriefe

MXY	
Beschreibung Piktogramm	
Beispielfoto	
Wirkung/Synergien	
Rahmenbedingungen	
Risiken/Konfliktpotenziale	
Hilfestellungen	

In Tabelle 3 ist der Aufbau der Maßnahmensteckbriefe zu sehen. In der Zeile „Wirkung“ werden neben der hitzeregulierenden Wirkung noch weitere Effekte und mögliche Synergien der jeweiligen Maßnahme erwähnt. Unter dem Punkt „Hilfestellungen“ finden sich Ideen und Ansätze, die bei der weiteren Planung und Umsetzung der Maßnahme hilfreich sein können. Unter jedem Punkt befinden sich stichwortartige Informationen zu den Themen. Ist ein Feld leer, konnten dazu keine genaueren Informationen im Zuge der Literaturrecherche gefunden.

Tabelle 4 zeigt alle Maßnahmen, die als Ergebnis beim Durchgehen des Entscheidungsbaums als technisch mögliche Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur aufgezählt werden könnten. Die Maßnahmen „Gebäudebegrünung“, „Bäume“, „Grünflächen“ und „Grüne Gleise“ wurden aufgrund unterschiedlicher technischer Anforderung und Wirksamkeit der verschiedenen Ausführungsformen in einzelne Maßnahmen unterteilt. Die Funktionsweise ist jedoch innerhalb jeder Gruppe gleich.

Tabelle 4: Maßnahmenübersicht

M1.1	Gebäudebegrünung – Extensive Dachbegrünung
M1.2	Gebäudebegrünung – Einfach-intensive Dachbegrünung
M1.3	Gebäudebegrünung – intensive Dachbegrünung
M1.4	Gebäudebegrünung – Bodengebundene Fassadenbegrünung
M1.5	Gebäudebegrünung – Wandgebundene Fassadenbegrünung
M2.1	Bäume – Stadtbäume
M2.2	Bäume – Künstliche Bäume

M3	Entsiegelung
M4.1	Grünflächen – Kleine Parkanlagen
M4.2	Grünflächen – Große Parkanlagen
M4.3	Grünflächen – Grüngürtel
M5	Prüfauftrag: Frischluftflächen und -schneisen
M6.1	Grüne Gleise – Rasengleis
M.6.2	Grüne Gleise – Sedumgleis
M7	Offene Wasserflächen
M8	Springbrunnen / Wasserspiele
M9	Grüne Hinterhöfe

4.2 Entwicklungsprozess

Auf Grundlage der in Kapitel 1.3 beschriebenen Literaturrecherche entwickelte sich die zuvor beschriebene Entscheidungshilfe.

Der Entwicklungsprozess war jedoch nicht so geradlinig, wie die fertige Entscheidungshilfe anzuwenden ist. Nach Fertigstellen eines Maßnahmensteckbriefes, wurde der zu dieser Maßnahme führende Entscheidungsbaumast entworfen. So entstand im ersten Entwurf zu

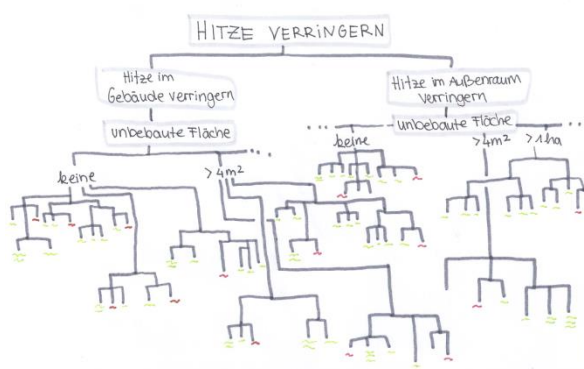


Abbildung 7 Schematische Darstellung der Unübersichtlichkeit des ersten Entwurfs des Entscheidungsbaums (Breuer 2020)

jeder Maßnahme ein eigener Entscheidungsbaum. Da viele Maßnahmen mehrfach bei unterschiedlichen unbebauten Flächengrößen möglich sind, ergab sich ein sehr großer Entscheidungsbaum, dessen Darstellung als schwierig und unübersichtlich erschien. In Abbildung 7 wird dies schematisch dargestellt.

Bei einer erneuten Betrachtung der verschiedenen Äste ließ sich feststellen, dass sie nach der benötigten unbebauten Fläche in Gruppen sortiert werden können. Daraufhin ergab sich eine deutlich übersichtlichere Darstellung, die nach der Frage „unbebaute Fläche“ nur noch die jeweiligen zu bearbeitenden Äste anzeigt. Diese können dann individuell als Einzelblätter entnommen werden. Die Struktur des Entscheidungsbaums hat sich also über den Bearbeitungsprozess hin verändert. Begonnen bei einer groben Skizze, über die Idee einen über DIN A0 großen Entscheidungsbaum anzufertigen, ist es letztendlich doch eine sehr kompakte Versionen geworden, die sich variabel, entsprechend der Rahmenbedingungen, zusammensetzen lässt. Die Quellen der im Entscheidungsbaum

enthaltenen Daten werden im Entscheidungsbaum nicht angezeigt. Dazu wurde sich im Sinne der Übersichtlichkeit entschieden. Alle verwendeten Daten lassen sich mit Quellen in den Maßnahmensteckbriefen finden.

Die Bewertung in der Bewertungsmatrix erfolgte aufgrund des durch Literaturrecherche ermittelten aktuellen Wissensstands zur Wirkung grün-blauer Infrastruktur. Die gefunden Literatur ließ sich in Leitfäden, Forschungsergebnisse und andere wissenschaftliche Publikationen unterscheiden. Bei der Literaturrecherche ergab sich, dass es bereits ähnliche Tabellen und Matrizen zum Vergleich von grün-blauer Infrastruktur gibt. Diese wurden bei der Erarbeitung dieser Bewertungsmatrix ebenfalls beachtet, wie der *Future Cities Adaption Compass* von Future Cities 2014 oder der Leitfaden „Die Kopplungsmöglichkeiten von grünen, grauen und blauen Infrastrukturen mittels raumbezogener Bausteine“ des Forschungsverbundes netWORKS, 2019. Zum Teil ließen sich konkrete Zahlen nennen, um die Wirkung zu bemessen. Da jedoch für die meisten Maßnahmen keine quantitativen Angaben gemacht werden konnten, wurde sich im Sinne der Vergleichbarkeit für eine qualitative Bewertung entschieden. Soweit konkrete Zahlen zur Wirkung vorhanden waren, sind diese in Kapitel 3.2 aufgeführt. Bei der Darstellung der unterschiedlichen Wirksamkeit, wurde sich für eine siebenstufige Farbskalierung entschieden, da dies bei der großen Anzahl an Informationen am übersichtlichsten erschien und die größten Wirkungen auf einen Blick erkannt werden können. Zuvor wurde über eine Skalarstellung von +++, ++, + nachgedacht, diese ließen sich in dieser großen Tabelle optisch jedoch sehr schwer unterscheiden. Es wurde eine siebenstufige statt einer dreistufigen Farbskala gewählt, damit auch negative Wirkungen dargestellt werden können. Bisher ist dies noch nicht nötig. Wenn die Bewertungsmatrix in Zukunft erweitert wird, könnte es aber sein, dass Maßnahmen auf einige Aspekte einen positiven Einfluss haben auf andere hingegen einen negativen.

Auch der Aufbau der Steckbriefe hat sich entwickelt. Die ersten Versionen waren mehrere Seiten umfassende, ausführliche Steckbriefe. Im Sinne der Übersichtlichkeit und in Bezug auf die Zielgruppe Wohnungswirtschaft wurde sich entschieden, die Steckbriefe deutlich kürzer zu fassen und in ihnen nur die wichtigsten Informationen festzuhalten. Erklärung zur kühlenden Funktion der verschiedenen Maßnahmen wurden in ein eigenes Kapitel (Kapitel 3.2) ausgelagert. Der Inhalt der Maßnahmensteckbriefe wurde ebenfalls öfter noch verändert und ergänzt, vor allem wenn sich durch weitere Recherche zu Maßnahmen noch Informationen fanden, die auch andere Maßnahmen betreffen.

4.3 Erweiterungsmöglichkeiten

Wie zu Beginn des Kapitels schon erwähnt, kann die Entscheidungshilfe in Zukunft erweitert und ausgebaut werden.

Der Entscheidungsbaum kann durch weitere Äste erweitert werden. In dieser Arbeit wurde vorrangig das Ziel „Städtischer-Wärmeinsel-Effekt verringern / Hitze reduzieren“ betrachtet. Sollten andere Problemfelder, wie beispielsweise der urbane Wasserhaushalt hinzukommen, ist „Städtischer-Wärmeinsel-Effekt verringern / Hitze reduzieren“ nicht mehr das Oberziel, sondern ein Unterziel des neuen Oberziels „Stadtklima verbessern“. Darunter können dann

auch weitere Unterziele eingeordnet werden und somit neue Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Der Entscheidungsbaum muss dann allerdings in mehreren Durchgängen bearbeitet werden.

Die Bewertungsmatrix lässt sich zukünftig um weitere Maßnahmen und stadtklimatische Wirkungen erweitern, wie es in Tabelle 1 und Tabelle 9 schon begonnen wurde. Ergänzend zu der Bewertungsmatrix könnten noch weitere Matrizen erstellt werden. Es würde sich anbieten, Synergien zwischen Maßnahmen der Hitzereduzierungen und anderen Wirkungen darzustellen, wie Leistungssteigerung der Photovoltaik oder Steigerung der Aufenthaltsqualität. Des Weiteren könnten die verschiedenen Maßnahmen gegenüber gestellt werden, ob sie sich gegenseitig fördern oder behindern.

Zu jeder neuen Maßnahme lässt sich ein neuer Maßnahmensteckbrief anfertigen. Sollten Synergien zwischen Maßnahmen mit verschiedenen Oberzielen bestehen, könnte dies dann mit Maßnahmenkürzel im Steckbrief vermerkt werden.

Alles in allem bietet es sich an, die Entscheidungshilfe bei wachsenden Datenmengen zu programmieren. Der aktuelle Aufbau dient eher als Struktogramm und Datengrundlage um eine excelbasierte Abfrage zu programmieren. Dann müsste der Entscheidungsbaum auch nicht mehr so häufig bearbeitet werden, sondern die Abfrage könnte in einem Zug stattfinden. Die Maßnahmensteckbriefe könnten dann am Ende der Abfrage als Ergebnis verlinkt werden.

5 Anwendungsbeispiel

Alle Daten für dieses Kapitel sind, wenn nicht anders gekennzeichnet, aus den zur Verfügung gestellten Projektdaten des Projekts ██████████ entnommen.

Im Folgenden wird die Anwendbarkeit der Entscheidungshilfe an zwei Beispielgebieten aus einem Beispielquartier demonstriert und getestet. Dafür wird systematisch, entsprechend der Entscheidungshilfe vorgegangen und die jeweiligen Entscheidungen werden begründet. Letztendlich wird eine Auswahl möglicher Maßnahmen für beide Gebiete präsentiert und die Wirkung dieser Maßnahmen abgeschätzt. Die Gebiete unterscheiden sich vor allem im Planungsstand. Deshalb wird sich zeigen, ob es einen Unterschied macht, ob die Entscheidungshilfe an einem Bestandsgebiet oder in der Planung angewendet wird. Über die Anwendbarkeit, mögliche Problemstellen und Verbesserungsmöglichkeiten wird im anschließenden Kapitel 6 reflektiert und diskutiert.

5.1

Abbildung 8

Abbildung 9

5.2

Dieses Gebiet wird im Folgenden nur noch durch Gebiet 1 beschrieben.

Abbildung 10

5.2.1 Anwendung des Entscheidungsbaums

Bei diesem Anwendungsbeispiel werden beide Unterziele „Hitze im Gebäude verringern“ und „Hitze im Außenraum verringern“ betrachtet.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden zusätzlich zum erklärenden Text alle Wege auf dem Entscheidungsbaum farblich markiert. Für eine bessere Lesbarkeit werden der Entscheidungsbaum und die Äste im Anhang empfohlen.

Aufgrund des Rahmenplans und der Luftbilder lässt sich, wie zuvor erwähnt, abschätzen, dass die unbebaute Fläche in Gebäudenähe über 4 m² beträgt. Folglich müssen für das Unterziel „Hitze im Gebäude verringern“ die Äste Bäume, Dachbegrünung 1, Entsiegelung, Fassadenbegrünung und Hinterhöfe bearbeitet werden. Es lässt sich ebenfalls abschätzen, dass die unbebaute Fläche im Gebiet über einen 1 ha umfasst. Somit kommen aus dem Unterziel „Hitze im Außenraum vermeiden“ noch die zu bearbeitenden Äste Grünflächen, Dachbegrünung 2 und Wasserflächen und die Maßnahme M8 Springbrunnen / Wasserspiele hinzu.

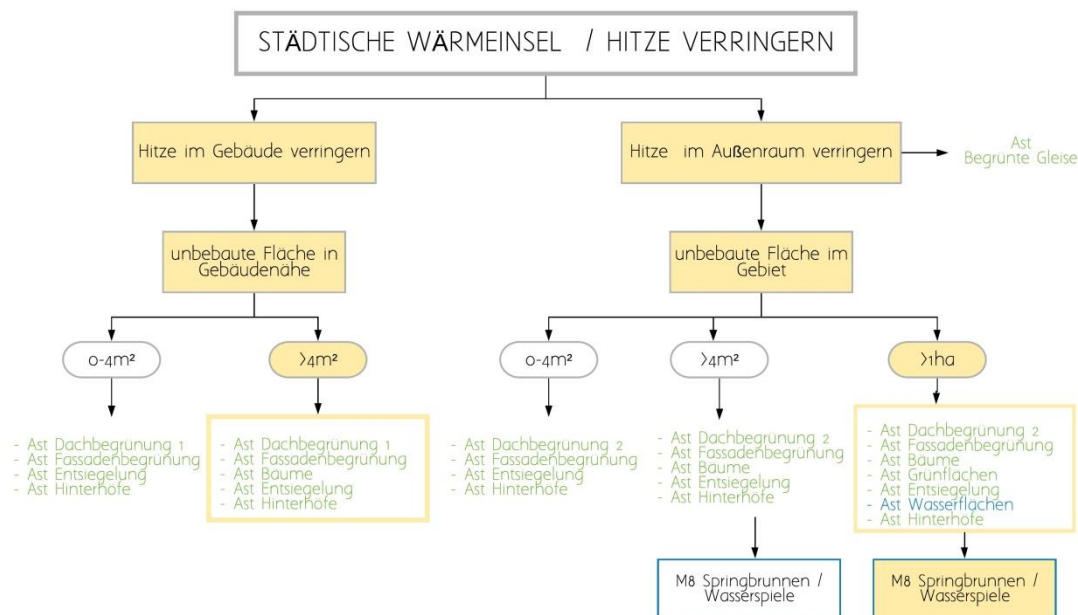


Abbildung 11 Entscheidungsbaum Überblick Gebiet 1

Ast Grüne Gleise

Im zu betrachtenden Gebiet befinden sich keine Gleise. Somit entfällt die Maßnahme Begrünte Gleise.

Gleise.

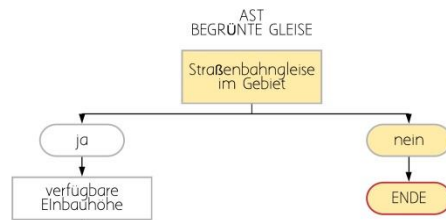


Abbildung 12 Astausschnitt Begrünte Gleise Gebiet 1

Ast Dachbegrünung 1

Aufgrund der vorliegenden Daten kann die Frage nach der Dachneigung mit $<5^\circ$ beantwortet werden. Da, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, nur noch Gründächer „ohne statische Belastung“ möglich sind, wird sich für eine verfügbare Traglast von über 70 kg/m^2 entschieden. Somit kommt nur M1.1 Extensive Dachbegrünung in Frage.

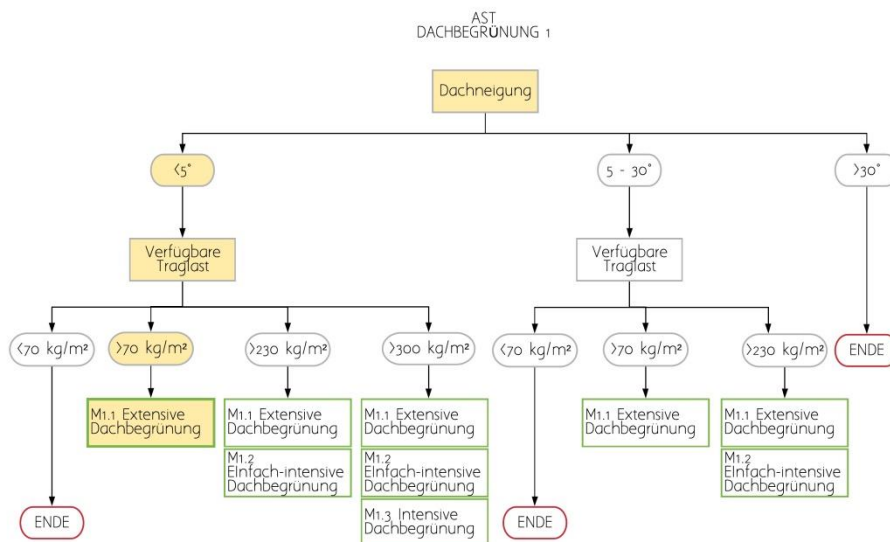
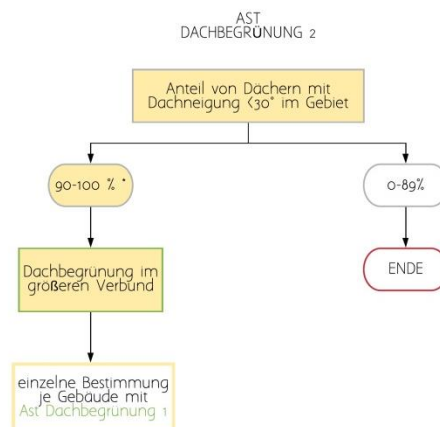


Abbildung 13 Ast Dachbegrünung 1 Gebiet 1

Ast Dachbegrünung 2

Nahezu alle Gebäude im Gebiet haben eine Dachneigung von $<3^\circ$. Somit ist Dachbegrünung im größeren Verbund möglich und damit auch eine kühlende Wirkung auf die Umgebungstemperatur. Dies ist keine zusätzliche Maßnahme zu den eben genannten Maßnahmen der Dachbegrünung. Die mögliche flächendeckende Anzahl von Gründächern sollte jedoch in der Wirkungsabschätzung mit bedacht werden.



* Prozentuale Annahmen um "viel" und "wenig" zu definieren

Abbildung 14 Ast Dachbegrünung 2 Gebiet 1

Ast Fassadenbegrünung

Aufgrund von Fotos des Viertels lässt sich abschätzen, dass die Möglichkeit für Boden- und Wasseranschluss zumindest an einigen Bestandsgebäuden möglich wäre. Bei den drei Neubauten ist dies auch möglich, wenn nicht bis zum Gebäuderand vollständig versiegelt wird. Die Fotos der Bestandsgebäude deuten darauf hin, dass einige Gebäude eine außenliegende Dämmschicht haben. Generell kann bei den Bestandsgebäuden auch von rissigen Fassaden ausgegangen werden. Deswegen kommt bei den Bestandsgebäuden wahrscheinlich nur M1.5 flächige, wandgebundene Fassadenbegrünung in Frage. Bei den Neubauten kann von einer rissfreien, stabilen Fassade ausgegangen werden. Somit kommen M1.4 flächige, bodengebunden Fassadenbegrünung und M1.5 flächige, wandgebundene Fassadenbegrünung in Frage. Wird die Fassadenbegrünung an allen möglichen Gebäuden umgesetzt, besteht die Möglichkeit zur Kühlung der Umgebungsluft.

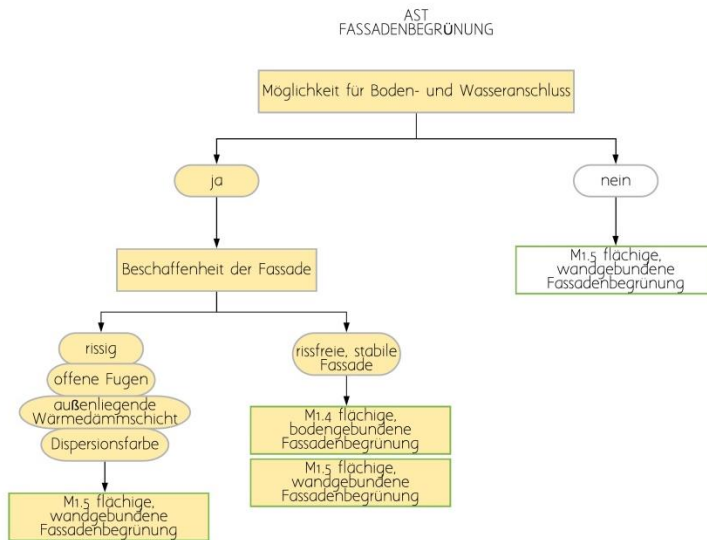


Abbildung 15 Ast Fassadenbegrünung Gebiet 1

Ast Bäume

Die Frage nach dem verfügbaren Erdraum lässt sich aufgrund fehlender Datengrundlagen zu Kabel- und Leitungsverläufen und sonstiger Bebauung im Erdraum nicht beantworten. Da das für die Maßnahme M2.2 künstlicher Baum irrelevant ist, kommen diese auf jeden Fall in Frage. Zu M2.1 Stadtbäume lässt sich sagen, dass aufgrund der vielen Freiflächen im Gebiet Stadtbäume durchaus eine Option sind. Die konkreten Standorte müssen genauer geprüft werden. In diesem Zuge kann auch geprüft werden, wie hoch der Grundwasserstand ist und ob eine zusätzliche Bewässerung von vorneherein notwendig ist. Wenn diese Daten vorliegen, kann der Ast vollständig bearbeitet werden.

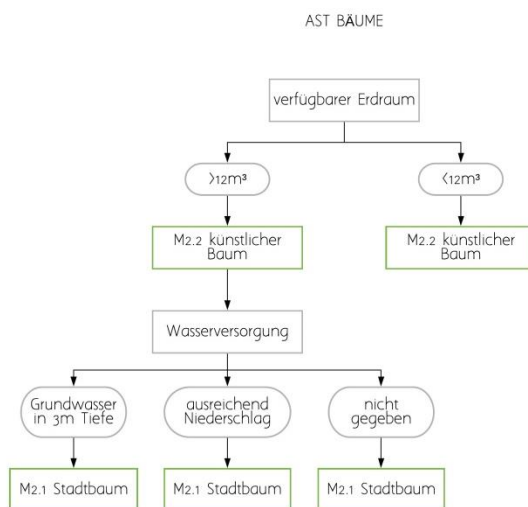


Abbildung 16 Ast Bäume Gebiet 1

Ast Entsiegelung

Für die circa 2 ha Fläche, die bebaut sind oder als Straße genutzt werden, kommt Entsiegelung nicht in Frage. Es befinden sich dort jedoch einige Parkplätze. Satellitenbilder (Google Maps) und Luftbilder (euroluftbild.de 2017) deuten darauf hin, dass es sich bei den restlichen Freiflächen um unversiegelte Rasenfläche handelt. Zu Qualität des Sickerwassers konnte keine Aussage getroffen werden. Trotzdem kann die Maßnahme M3 Entsiegelung in dem Sinne angewendet werden, dass die Flächen unversiegelt bleiben und die vorhandenen Parkplätze entsiegelt werden können.

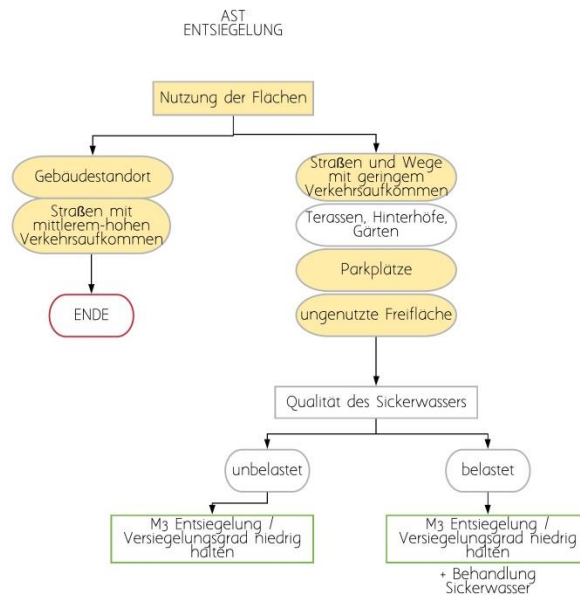


Abbildung 17 Ast Entsiegelung Gebiet 1

Ast Grünflächen

Die circa 6 ha ungenutzte Freifläche verteilt sich über das gesamte Gebiet. Sie sollte im Zuge von M 4.3 als Grüngürtel erhalten bleiben.

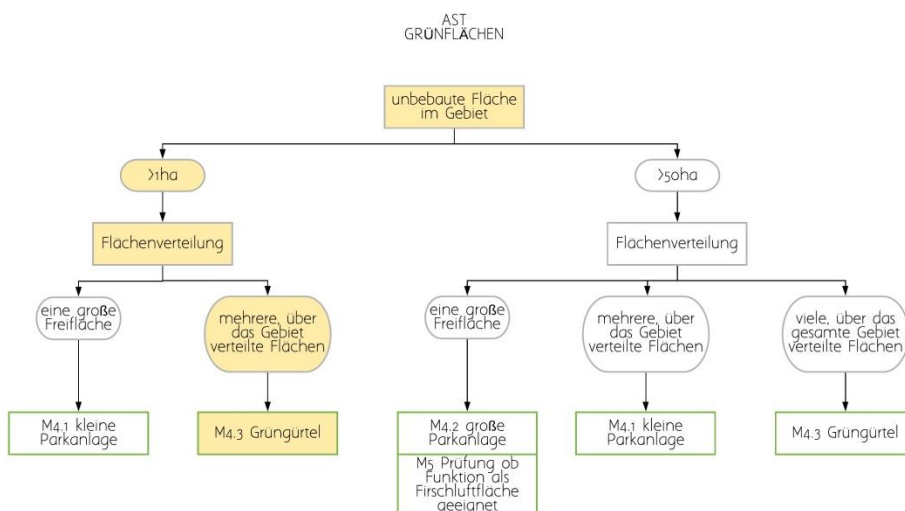


Abbildung 18 Ast Grünflächen Gebiet 1

Ast Wasserflächen

Aktuell sind keine offenen Wasserflächen im Gebiet vorhanden. Es ist Platz vorhanden um neue offene Wasserflächen zu schaffen.



Abbildung 19 Ast Offene Wasserflächen Gebiet 1

Ast Hinterhöfe

Die Luftbilder zeigen, dass es keine Hinterhöfe gibt, sondern die Gebäude im Allgemeinen von Grünflächen umgeben sind.

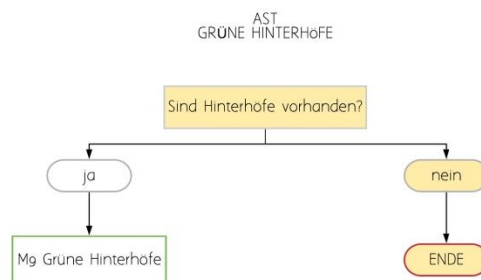


Abbildung 20 Ast Hinterhöfe Gebiet 1

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der in Gebiet 1 bautechnisch und raumtechnisch möglichen Maßnahmen um die Hitze in Gebäuden und im Außenraum zu verringern. Diese können nun in der Bewertungsmatrix verglichen werden.

Tabelle 5: Mögliche Maßnahmen in Gebiet 1

M1.1	Gebäudebegrünung – Extensive Dachbegrünung
M1.4	Gebäudebegrünung – Bodengebundene Fassadenbegrünung
M1.5	Gebäudebegrünung – Wandgebundene Fassadenbegrünung
M2.1	Bäume – Stadtbäume
M2.2	Bäume – Künstliche Bäume
M3	Entsiegelung
M4.3	Grüngürtel
M7	Offene Wasserflächen
M8	Springbrunnen / Wasserflächen

5.2.2 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung basiert auf der in Kapitel 4.1.3 beschriebenen Bewertungsmatrix, deren Daten in Kapitel 3.2 zu finden sind. Alle folgenden Aussagen zur Wirkungsabschätzung beziehen sich auf diese Daten.

Beide Ausführungsformen der Fassadenbegrünungen haben eine hohe positive Wirkung auf die Kühlung der Raumluft, es ist also auf die Wirkung bezogen irrelevant, für welche Ausführungsform sich entschieden wird. Die extensive Dachbegrünung, die als einzige Ausführungsform der Dachbegrünung in Frage kommt, hat jedoch nur eine geringe positive Wirkung auf die Kühlung der Raumluft. Gleiches gilt für die Stadtbäume. Die restlichen möglichen Maßnahmen haben darauf gar keinen Einfluss. Auf die Kühlung der Raumluft ist also durch die möglichen Maßnahmen eine mittlere positive Wirkung zu erwarten.

In der Kategorie Verminderung der Aufheizung von Oberflächen haben alle möglichen Maßnahmen eine mittlere positive Wirkung, außer M7 und M8. Diese haben lediglich eine geringe positive Wirkung. Deutlich wird ebenfalls die hohe positive Wirkung von Stadtbäumen und künstlichen Bäumen und die mittlere positive Wirkung von Grüngürteln auf die Kühlung der Umgebungsluft. Offene Wasserflächen hingegen haben drauf gar keinen Einfluss. Alle restlichen Maßnahmen haben eine geringe Wirkung in Bezug auf Kühlung der Umgebungsluft. Außerdem hat ein Grüngürtel eine geringe positive Wirkung auf die Kalt- und Frischluftproduktion. Da die Verminderung des Aufheizens von Oberflächen eng mit der Erhitzung der Umgebungsluft zusammen hängt, ist insgesamt ebenfalls eine mittlere positive Wirkung auf die Kühlung der Umgebungsluft zu erwarten. Bei einer großen Anzahl von Bäumen könnte auch eine stärkere positive Wirkung möglich sein. Des Weiteren ist zu beachten, dass, wie in Kapitel 3.2.9 beschrieben, die gemeinsame Wirkung von

Maßnahmenkombination höher ist, als die von einzelnen Maßnahmen. Es sollten also, wenn möglich, alle möglichen Maßnahmen umgesetzt werden.

5.3

Das Gebiet wird im Folgenden nur noch als Gebiet 2 beschrieben.

5.3.1 Anwendung des Entscheidungsbaums

Aufgrund des Rahmenplans und der Sattelitenbilder lässt sich abschätzen, dass die unbebaute Fläche in Gebäudenähe über 4 m² beträgt. Folglich müssen für das Unterziel „Hitze im Gebäude verringern“ die Äste Bäume, Dachbegrünung 1, Entsiegelung, Fassadenbegrünung und Hinterhöfe bearbeitet werden. Es lässt sich ebenfalls abschätzen, dass die unbebaute Fläche im Gebiet über einen 1 ha umfasst. Somit kommen aus dem Unterziel „Hitze im Außenraum vermeiden“ noch die zu bearbeitenden Äste Grünflächen, Dachbegrünung 2 und Wasserflächen und die Maßnahme M8 Springbrunnen / Wasserspiele hinzu.

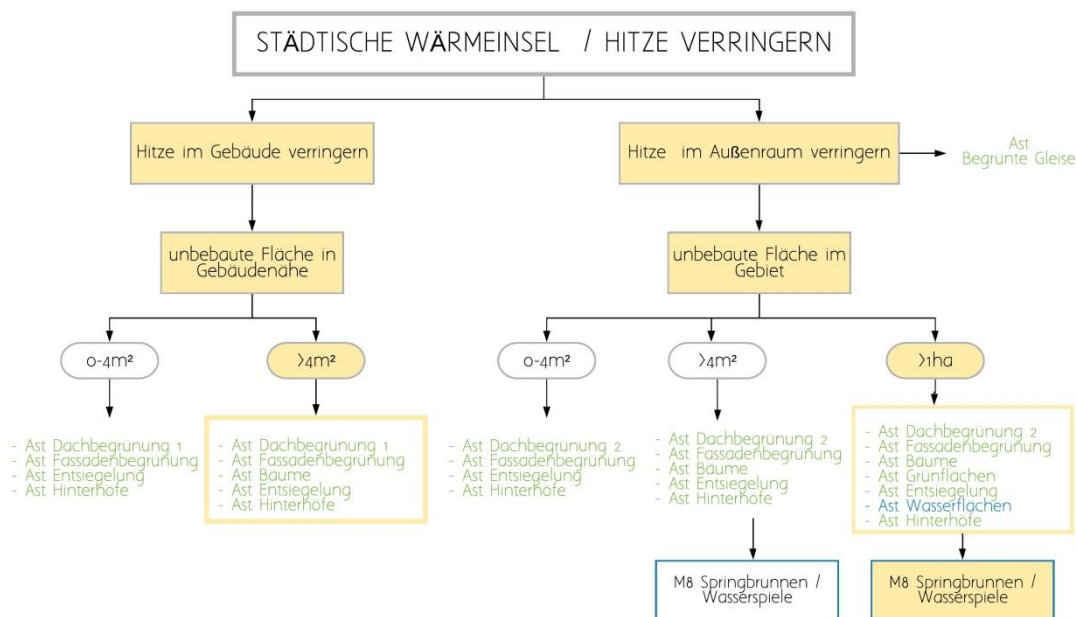


Abbildung 21 Entscheidungsbaum Übersicht Gebiet 2

Ast Grüne Gleise

Im zu betrachtenden Gebiet befinden sich keine Gleise. Somit entfällt die Maßnahme Grüne Gleise.

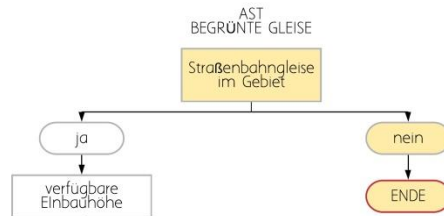


Abbildung 22 Astausschnitt Grüne Gleise Gebiet 2

Ast Dachbegrünung 1

Aufgrund der vorliegenden Daten kann die Frage nach der Dachneigung mit $<5^\circ$ beantwortet werden. Da, wie zuvor erwähnt, in der Planung noch viel möglich ist, wurde vom besten Szenario ausgegangen und eine verfügbare Traglast von $> 300 \text{ kg/m}^2$ angesetzt. Somit sind die Maßnahmen M1.1 Extensive Dachbegrünung, M1.2 Einfach-intensive Dachbegrünung und M1.3 Intensive Dachbegrünung möglich.

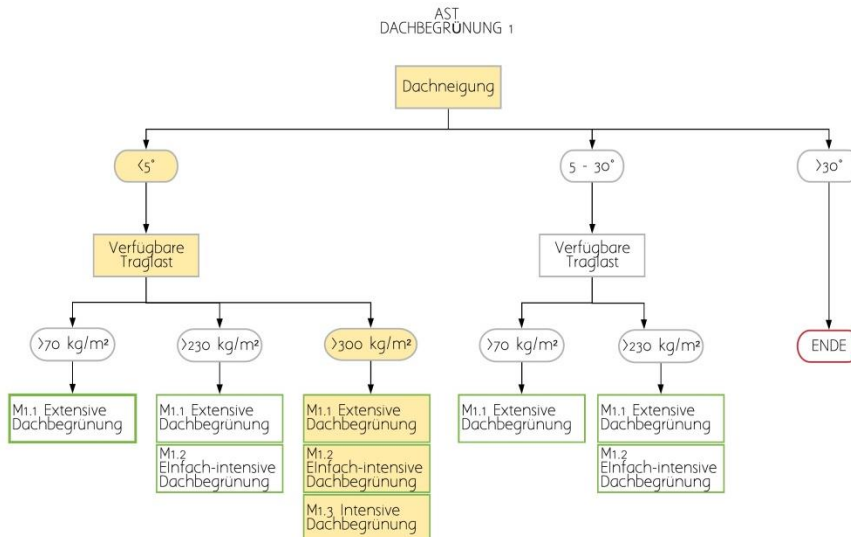
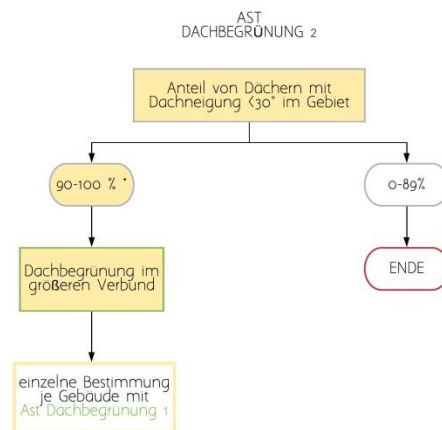


Abbildung 23 Ast Dachbegrünung 1 Gebiet 2

Ast Dachbegrünung 2

Nahezu alle Gebäude im Gebiet haben eine Dachneigung von $<3^\circ$. Somit ist Dachbegrünung im größeren Verbund möglich und damit auch eine kühlende Wirkung auf die Umgebungsluft. Dies ist keine weitere Maßnahme zusätzlich zu den eben genannten Maßnahmen der Dachbegrünung. Die mögliche flächendeckende Anzahl von Gründächern sollte jedoch in der Wirkungsabschätzung mit bedacht werden



* Prozentuale Annahmen um 'viel' und 'wenig' zu definieren

Abbildung 24 Ast Dachbegrünung 2 Gebiet 2

Ast Fassadenbegrünung

Es wird angenommen, dass in der Neuplanung bedacht wird, Boden- und Wasseranschluss für Fassadenbegrünung mit einzuplanen. Des Weiteren wird bei Neubauten von einer rissfreien, stabilen Fassade ausgegangen. Somit sind die Maßnahmen M1.4 flächige bodengebundene Fassadenbegrünung und M1.5 flächige wandgebundene Fassadenbegrünung möglich.

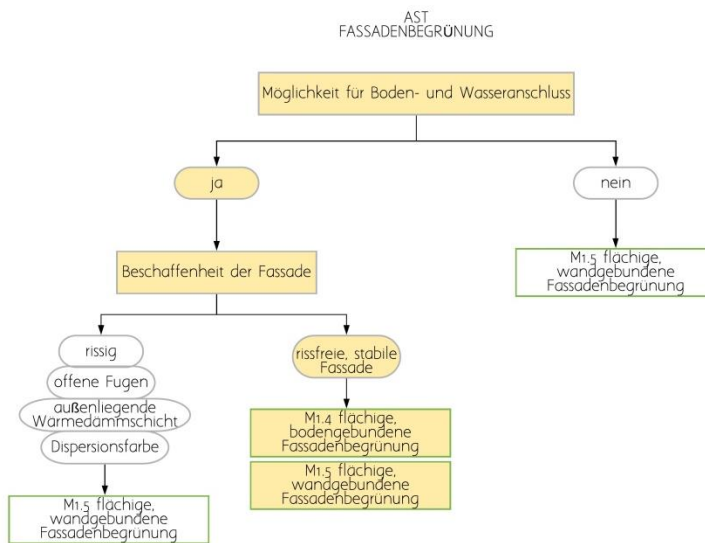


Abbildung 25 Ast Fassadenbegrünung Gebiet 2

Ast Bäume

Die Frage nach dem verfügbaren Erdraum lässt sich aufgrund fehlender Datengrundlagen zu Kabel- und Leitungsverläufen und sonstiger Bebauung im Erdraum nicht beantworten. Da das für die Maßnahme M2.2 künstlicher Baum irrelevant ist, kommen diese auf jeden Fall in Frage. Zu M2.1 Stadtbäume lässt sich sagen, dass aufgrund der vielen Freiflächen im Gebiet Stadtbäume durchaus eine Option sind. Die konkreten Standorte müssten genauer geprüft werden. In diesem Zuge kann auch geprüft werden, wie hoch der Grundwasserstand ist und ob eine zusätzliche Bewässerung von vorneherein notwendig ist. Wenn diese Daten vorliegen, kann der Ast vollständig bearbeitet werden.

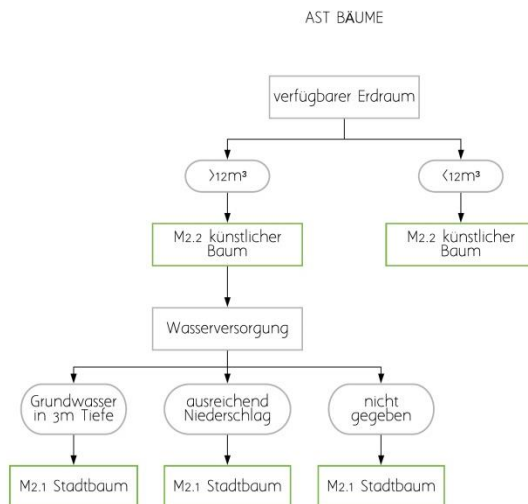


Abbildung 26 Ast Bäume Gebiet 2

Ast Entsiegelung

Für die circa 0,5 ha Fläche, die bebaut werden oder als Straße genutzt werden, kommt Entsiegelung nicht in Frage. Zu Qualität des Sickerwassers konnte keine Aussage getroffen werden. Trotzdem kann die Maßnahme M3 Entsiegelung in dem Sinne angewendet werden,

dass die Freiflächen unversiegelt bleiben und neu geplante Wege, Terrassen, Hinterhöfe, Gärten und Parkplätze nur gering versiegelt werden.

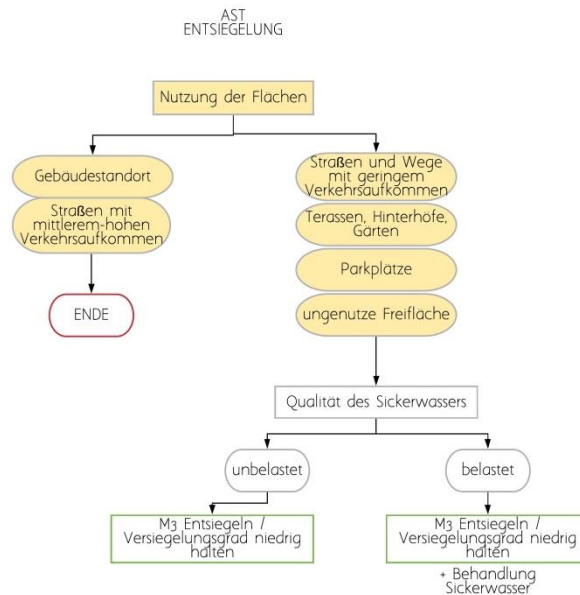


Abbildung 27 Ast Entsiegelung Gebiet 2

Ast Grünflächen

Die circa 1 ha große ungenutzte Freifläche verteilt sich über das gesamte Gebiet. Sie sollte im Zuge von M 4.3 als Grüngürtel erhalten bleiben.

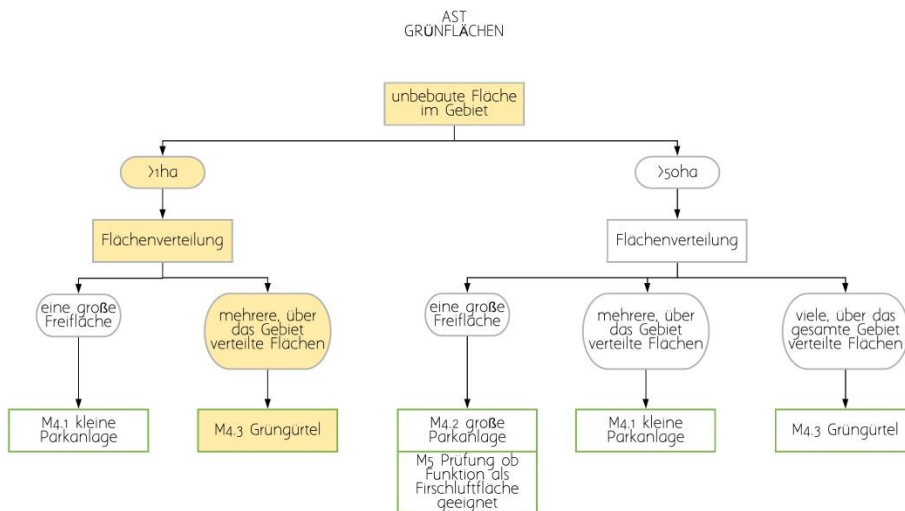


Abbildung 28 Ast Grünflächen Gebiet 2

Ast Wasserflächen

Aktuell sind keine offenen Wasserflächen im Gebiet vorhanden. Es ist Platz vorhanden um neue offene Wasserflächen zu schaffen.



Abbildung 29 Ast Offene Wasserflächen Gebiet 2

Ast Hinterhöfe

Die Luftbilder zeigen, dass es keine Hinterhöfe gibt, sondern die Gebäude im Allgemeinen von Grünflächen umgeben sind.

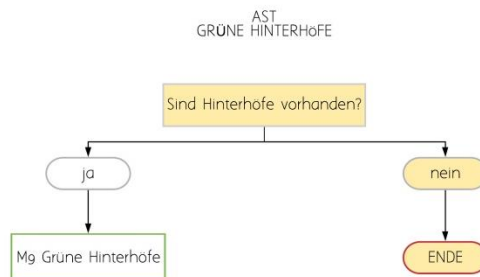


Abbildung 30 Ast Hinterhöfe Gebiet 2

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der in Gebiet 2 bautechnisch und raumtechnisch möglichen Maßnahmen um die Hitze in Gebäuden und im Außenraum zu verringern. Diese können nun in der Bewertungsmatrix verglichen werden.

Tabelle 6: Mögliche Maßnahmen in Gebiet 2

M1.1	Gebäudebegrünung – Extensive Dachbegrünung
M1.2	Gebäudebegrünung – Einfach-intensive Dachbegrünung
M1.3	Gebäudebegrünung – Intensive Dachbegrünung
M1.4	Gebäudebegrünung – Bodengebundene Fassadenbegrünung
M1.5	Gebäudebegrünung – Wandgebundene Fassadenbegrünung
M2.1	Bäume – Stadtbäume
M2.2	Bäume – Künstliche Bäume
M3	Entsiegelung
M4.3	Grüngürtel
M7	Offene Wasserflächen
M8	Springbrunnen / Wasserflächen

5.3.2 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung basiert auf der in Kapitel 4.1.3 beschriebenen Bewertungsmatrix, deren Daten in Kapitel 3.2 zu finden sind. Alle folgenden Aussagen zur Wirkungsabschätzung beziehen sich auf diese Daten.

M1.1, M1.2 und M1.3 haben eine geringe bis hohe positive Wirkung auf die Kühlung im Gebäude. Der größte mögliche Effekt wäre mit dem Einsatz von M1.3 intensiver Dachbegrünung zu erwarten, vor allem in Kombination mit Fassadenbegrünung. In Bezug auf die kühlende Wirkung ist die Ausführungsform der Fassadenbegrünung irrelevant. Stadtbäume haben zusätzlich ebenfalls einen geringen positiven Effekt auf die Kühlung der Raumluft. Durch den Einsatz der bestmöglichen Maßnahmen kann somit eine hohe positive Wirkung auf die Kühlung im Gebäude erwartet werden.

In der Kategorie Kühlung der Umgebungsluft ist besonders die hohe positive Wirkung von Stadtbäumen hervorzuheben. Entsiegelung und Grüngürtel haben darauf eine mittlere positive Wirkung. Die restlichen Maßnahmen haben nur einen geringen positiven Einfluss auf die Kühlung der Umgebung, abgesehen von M7 Offene Wasserflächen. Diese haben darauf gar keine Wirkung. Außerdem trägt der Grüngürtel geringfügig zur Frisch- und Kaltluftbildung bei. In der Kategorie Verminderung der Aufheizung von Oberflächen habe alle möglichen Maßnahmen einen mittleren positiven Einfluss, außer M7 und M8. Diese haben lediglich eine geringe positive Wirkung. Da die Verminderung des Aufheizens von Oberflächen eng mit der Erhitzung der Umgebungsluft zusammen hängt, ist insgesamt ebenfalls eine mittlere positive

Wirkung auf die Kühlung der Umgebungsluft zu erwarten. Bei einer großen Anzahl von Bäumen könnte auch eine stärkere positive Wirkung möglich sein. Des Weiteren ist zu beachten, dass, wie in Kapitel 3.2.9 beschrieben, die gemeinsame Wirkung von Maßnahmenkombination höher ist, als die von einzelnen Maßnahmen. Es sollten also, wenn möglich, alle möglichen Maßnahmen umgesetzt werden.

5.4 Vergleich von Anwendung im Bestand und in der Neuplanung

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Entscheidungshilfe der zwei Gebiete sind folgende: In Gebiet 2, dem Gebiet, welches sich noch in der Planung befindet, ist die Anzahl der genannten möglichen Maßnahmen größer als bei Gebiet 1. In Gebiet 2 ist eine stärkere positive Wirkung auf die Kühlung der Raumtemperatur möglich. Dabei ist jedoch folgendes zu beachten. In Gebiet 2 ist lediglich eine größere Auswahl an Maßnahmen gegeben. In beiden Gebieten lässt sich die gleiche Anzahl an Möglichkeiten umsetzen. In Gebiet 2 besteht jedoch noch die Möglichkeit, aus den Maßnahmen der Dachbegrünung und der Fassadenbegrünung zwischen den verschiedenen Ausführungsformen zu wählen (vgl. 4.1.4). Das ist in Gebiet 1 nicht mehr möglich. Daraus resultiert auch die mögliche stärkere positive Wirkung auf die Kühlung der Raumluft. In Gebiet 1 ist aufgrund der Statik der Bestandsgebäude nur noch extensive Dachbegrünung möglich, also die Ausführungsform mit der geringsten Wirkung. Da in Gebiet 2 die Konstruktion der Gebäude noch Planung ist, sind auch andere, wirksamere Gebäudebegrünungen möglich. Wenn die Gebäude von Anfang an mit der einer Traglast von über 300 kg/m² konzipiert werden, ist der Einsatz von intensiver Dachbegrünung möglich. Dadurch kann ein stärkerer kühlender Effekt im Gebäude erzeugt werden.

Durch dieses Anwendungsbeispiel lässt sich nicht allgemeingültig sagen, welche Unterschiede es macht, zu welchem Zeitpunkt der Planung die Entscheidungshilfe angewendet wird. Dies hängt sehr von den allgemeinen Rahmenbedingungen des Gebiets ab. Es wird jedoch deutlich, dass die Auswahlmöglichkeiten der Ausführungsformen und somit auch die resultierenden Wirkungen auf das Stadtklima, größer sind, je früher im Planungsprozess die Entscheidungshilfe angewendet wird.

Tabelle 7 Bewertungsmatrix Gebiet 1 (Bestand)

		Maßnahme									
		M1.1	M1.4	M1.5	M2.1	M2.2	M3	M4.3	M7	M8	
Wirkung	Vermindern der städtischen Wärmeinsel	Kühlung der Raumtemperatur im Gebäude									
		Kühlung der Umgebungsluft									
		Verminderung der Aufheizung von Oberflächen									
		klimatechnische Fernwirkung									
		Frisch- und Kaltluftproduktion									
	Urbaner Wasserhaushalt	Regenwasserspeicherkapazität									
		Versickerungskapazität									
		Schutz vor Regen									
		Entlastung der Kanalisation									
	Weiteres	Stärkung der Biodiversität									
		Leistungsteigerung von Photovoltaik									
		Bindung von Luftschadstoffen									
		Lärminderung									
		Steigerung der Aufenthaltsqualität									

Tabelle 8 Bewertungsmatrix Gebiet 2 (Planung)

		Maßnahme										
		M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M1.5	M2.1	M2.2	M3	M4.3	M7	M8
Wirkung	Vermindern der städtischen Wärmeinsel	Kühlung der Raumtemperatur im Gebäude										
		Kühlung der Umgebungsluft										
		Verminderung der Aufheizung von Oberflächen										
		klimatechnische Fernwirkung										
		Frisch- und Kaltluftproduktion										
	Urbaner Wasserhaushalt	Regenwasserspeicherkapazität										
		Versickerungskapazität										
		Schutz vor Regen										
		Entlastung der Kanalisation										
	Weiteres	Stärkung der Biodiversität										
		Leistungsteigerung von Photovoltaik										
		Bindung von Luftschadstoffen										
		Lärminderung										
		Steigerung der Aufenthaltsqualität										

6 Diskussion

Abschließend stellt sich die Frage, ob die entwickelte Entscheidungshilfe anwendbar ist, ob sie funktioniert und an welcher Stelle noch Verbesserungsbedarf besteht. Eine große Herausforderung bestand darin, dass die in Kapitel 5 beschriebene Anwendung nur aufgrund von Luftbildern, Plänen und Informationen Dritter erfolgen konnte. Je besser die Datengrundlage ist, desto einfacher lässt sich der Entscheidungsbaum bearbeiten und umso genauer sind die Ergebnisse. Da die Daten teilweise nicht ausreichend waren, konnten nicht alle erforderlichen Fragen beantwortet werden. Eine Ortsbegehung wäre ebenfalls hilfreich gewesen. Diese war jedoch nicht möglich. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Vertreter der Wohnungswirtschaft sich besser mit dem betreffenden Gebiet auskennen und bereits vor Ort waren. Im Bearbeitungsprozess wurden außerdem folgende Problemstellen erkannt:

Einige Äste, wie Bäume und Entsiegelung, konnten nicht vollständig bearbeitet werden, da die benötigten Daten nicht vorhanden waren (vgl. Kapitel 5). Die Bearbeitung war durch Abschätzung der benötigten Parameter jedoch trotzdem möglich.

Es wirkt unrealistisch, dass Springbrunnen im Gegensatz zu allen anderen Maßnahmen keine weiteren Rahmenbedingungen erfordern, als den benötigten Platz. Bei der Literaturrecherche wurden keine weiteren Informationen dazu gefunden. Es besteht aber die Möglichkeit, dass der Entscheidungsbaum an dieser Stelle korrigiert werden muss, falls weitere Rahmenbedingungen bekannt werden. Dies trifft natürlich auf alle Maßnahmen zu, aber da zu Springbrunnen noch keine weiteren Rahmenbedingungen definiert wurden, ist die Wahrscheinlichkeit hier hoch.

Der für den Ast Dachbegrünung 2 getroffenen prozentualen Annahme liegen keinen Daten zu Grunde. Sie wurde angenommen um „viel“ und „wenig“ zu konkretisieren, da bei der Literaturrecherche dazu keine genauen Angaben gefunden wurden. Dies sollte in Zukunft überarbeitet werden.

Dass die kühlende Wirkung auf die Umgebungsluft von Dachbegrünungen nur im großen Verbund auftritt und nicht bei einzelnen Gebäuden wird in der Bewertungsmatrix nicht deutlich. Hier müsste in Zukunft noch über eine bessere Darstellung nachgedacht werden.

Alles in allem konnte der Entscheidungsbaum jedoch gut auf die Beispielgebiete angewendet werden und es konnte eine Liste mit dort technisch möglichen Maßnahmen erstellt werden. In der Bewertungsmatrix war abschließend gut zu erkennen, welche der möglichen Maßnahmen die größte Wirkung hat. Um eine abschließende Aussage treffen zu können, ob die Entscheidungshilfe funktioniert, wäre eine genauere Planung der als möglich erachteten Maßnahmen durch einen Fachplaner notwendig. Sollte sich bei dieser Überprüfung keine dieser Maßnahmen als tatsächlich umsetzbar erweisen, sollte darüber nachgedacht werden, ob die angewendeten Kategorien im Entscheidungsbaum ausreichend sind, um die realen Bedingungen abzubilden oder ob eine solche Vereinfachung überhaupt möglich ist. Des Weiteren stellt sich dann die Frage, ob die Anwendung der entwickelten Entscheidungshilfe, obwohl sie gut zu bearbeiten ist, überhaupt sinnvoll ist.

Es spricht einiges dafür. Obwohl die Ergebnisse unpräzise sind und die Möglichkeit besteht, dass nach genauerer Prüfung keine genannte Maßnahme möglich ist, bietet die Entscheidungshilfe einen guten ersten Einstieg in das Thema grün-blaue Infrastruktur. Der Entscheidungsbaum hilft, sich ein Bild davon zu machen, welche Rahmenbedingungen nötig sind. Unter Umständen könnte dadurch deutlich werden, dass viele Bedingungen bereits gegeben sind und dass zur Umsetzung einiger Maßnahmen nicht mehr viel nötig wäre. Durch das selber Bearbeiten könnte sich intensiver mit dem Thema beschäftigt werden, als wenn ein Text kurz überflogen wird. Das nach Bearbeitung des Entscheidungsbaums entstehende Maßnahmenpaket hilft, die Masse an Maßnahmen der grün-blauen Infrastruktur zu sortieren und einen Überblick zu geben. Allerdings ist die Wirkungsabschätzung durch die Bewertungsmatrix unpräzise, da sie nur auf der qualitativen Wirkungsbewertung der einzelnen Maßnahmen basiert. Eine exaktere Wirkungsprognose wäre nur mit Hilfe von Modellierungen und Berechnungen möglich. Dies ist jedoch zeitaufwändiger, kostenintensiver und komplexer. Die Bewertungsmatrix hingegen bietet die Möglichkeit, die Wirkung der Maßnahmen einfachverständlich, sofort darzustellen und ist somit ebenfalls gut geeignet für einen ersten Einstieg in das Thema. Die Bewertungsmatrix zeigt auf einen Blick die Wirkung von grün-blauer Infrastruktur und in den Steckbriefen wird kurz und knapp das Wichtigste zusammengefasst. Die ganze Entscheidungshilfe soll durch ihre Struktur und Einfachheit dazu beitragen, dass die Wohnungswirtschaft mehr über den Einsatz grün-blauer Infrastruktur nachdenkt und das Thema nicht von vorneherein abgelehnt wird, weil es zu aufwändig erscheint.

7 Fazit

Die große Anzahl der bei der Literaturrecherche gefundenen Leitfäden zu grün-blauer Infrastruktur zeigt, dass das Thema kein neues ist. Schon vielfach wurden Systematisierungen, Sortierungen und Bewertungen von grün-blauer Infrastruktur vorgenommen. In Hinsicht auf den Klimawandel gewinnt der Einsatz von grün-blauer Infrastruktur nun zunehmend an Relevanz. Häufig waren die Adressaten dieser Leitfäden jedoch nur die Kommunen und nicht die Wohnungswirtschaft. Mit dieser Bachelorarbeit wurde eine Entscheidungshilfe entwickelt, die ihren Anwendern nicht nur mögliche Maßnahmen sortiert und präsentiert, sondern auch bei der Auswahl dieser hilft.

Die beispielhafte Anwendung zeigte, dass diese Entscheidungshilfe gut bearbeitbar, wahrscheinlich anwendbar und sehr gut geeignet ist, um einen ersten Überblick zu bekommen und die Vertreter der Wohnungswirtschaft mit der Einsetzbarkeit von grün-blauer Infrastruktur in Kontakt zu bringen. Hoffentlich kann sie dazu beitragen, dass die Wohnungswirtschaft grün-blaue Infrastruktur als Klimaanpassungsmaßnahme mehr in ihren Quartieren einsetzt. Da es sich hierbei um viele Wohnungen und Gebäude in Deutschland handelt, könnte das Stadtklima vieler Quartiere und das Leben und Wohnen vieler Menschen dadurch verbessert werden, (GdW 2020) heute und zukünftig.

Wichtig zu sagen ist noch, dass nicht nur die grün-blaue Infrastruktur als Maßnahme gegen Hitzeentwicklung in Frage kommt. Allein schon die Gebäudeausrichtung und die Wirkung der Wandfarbe können einen großen Unterschied machen (Steinrücke 2010, S. 38). (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40). Um Das Klima der Städte zu verbessern und städtischen Wärmeinseln entgegen zu wirken, muss also der Blickwinkel erweitert werden. Mit Kombinationen vieler Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen, die unterschiedlich, aber gemeinsam wirken, könnte es möglich sein, die Städte an den Klimawandel anzupassen und sie auch in Zukunft lebenswert zu erhalten. Grün-blaue Infrastruktur ist ein Teil davon.

8 Literaturverzeichnis

Armson, D.; Stringer, P.; Ennos, A. R. (2012): The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 11 (3), S. 245–255. DOI: 10.1016/j.ufug.2012.05.002.

bauwion.de (2018): 614 Wasserdurchlaesssige Belaege. Online verfügbar unter <https://www.bauwion.de/wissen/aussenraum/befestigte-flaechen/614-wasserdurchlaesssige-belaege>, zuletzt geprüft am 20.02.2020.

Böhm, Jutta; Böhme, Christa; Bunzel, Arno; Kühnau, Christina; Landua, Detlef; Reinke, Markus (2016): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben "Entwicklung von naturschutzfachlichen Zielen und Orientierungswerten für die planerische Umsetzung der doppelten Innenentwicklung sowie als Grundlage für ein entsprechendes Flächenmanagement" (FKZ 3513 82 0500). Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 444). Online verfügbar unter https://www.bfn.de/0502_skriptliste.html.

Breuste, Jürgen (2019): Die Grüne Stadt. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Bundesamt für Naturschutz (2017): Urbane grüne Infrastruktur – Grundlage für attraktive und zukunftsfähige Städte. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz.

Cohen, Nevin (2011): Green cities. An A-to-Z guide. Los Angeles: Sage (The Sage reference series on green society, 4). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.4135/9781412973816>.

Deutscher Wetterdienst: Tropennacht. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102672&lv3=102802>, zuletzt geprüft am 18.03.2020.

Deutscher Wetterdienst (2020): Deutscher Klimaatlas. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, zuletzt geprüft am 20.04.2020.

Dickhaut; Wolfgang, Eschenbach; Annette (2019): Entwicklungskonzept Stadtbäume. Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. Hg. v. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut (HafenCity Universität Hamburg), Prof. Dr. Annette Eschenbach (Universität Hamburg).

ENVI_MET (2020): Modell für das Stadtklima. Online verfügbar unter <https://www.envi-met.com/de/>, zuletzt geprüft am 13.04.2020.

Enzi, Vera (2010): Fassadenbegrünungen- Innovation und Chance. Hg. v. Universität für Bodenkultur Wien.

euroluftbild.de (2017): Luftbildjournalisten in Perfektion. Online verfügbar unter <https://www.luftbildsuche.de/search.php?text=Weitmar&total=59&page=0&d=1>, zuletzt geprüft am 17.04.2020.

Europäische Kommission (2013): Grüne Infrastruktur (GI) - Aufwertung des europäischen Naturkapitals.

Gaida, Michael (2019): pixabay. Online verfügbar unter <https://pixabay.com/de/photos/architektur-geb%C3%A4ude-stadt-modern-4418026/>, zuletzt geprüft am 28.02.2020.

GdW (2020): Die Wohnungswirtschaft. Hg. v. GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V. Online verfügbar unter <https://www.gdw.de/die-wohnungswirtschaft/>, zuletzt geprüft am 27.03.2020.

Google Maps: Google Maps. Online verfügbar unter <https://www.google.de/maps/place/Weitmar,+Bochum/@51.4491017,7.1547069,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x47b8dfcf6e2722af:0x527f28131579790!8m2!3d51.4475883!4d7.1862595>, zuletzt geprüft am 17.04.2020.

greencity solutions: Wir bringen Natur in die Stadt. Online verfügbar unter <https://greencitysolutions.de/nutzen/#section2main>, zuletzt geprüft am 24.02.2020.

Hagen, K.; Stiles, R.; Trimmel, H. (2010): Wirkungszusammenhänge Freiraum und Mikroklima. Hg. v. Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie.

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (2018): Hessische Bauordnung (HBO) 2018.

Kaczmarczyk, Christel; Kuhr, Harald; Schmidt, Arne; Schmidt, Jürgen; Strupp, Petra (2010): Bautechnik für Bauzeichner. Zeichnen - Rechnen - Fachwissen ; mit Tabellen. 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9391-8>.

Kappis, Christel; Schreiter, Hendrikje; Reichenbacher, Karsten (2015): Grünes Gleis - Stand und Überblick. Ein Beitrag des Grüngleisnetzwerks. In: *Eurailpress* (6). Online verfügbar unter <http://www.werkstadtmobilitaet.de/portfolio/artikel-gruenes-gleis.pdf>, zuletzt geprüft am 25.02.2020.

Kistemann, Thomas (2014): Wie urbane Wasserflächen die Gesundheit fördern. In: *Nachrichten der ARL* (4).

Kuttler, Wilhelm (2004): Stadtklima. In: *UWSF - Z Umweltchem Ökotox* 16 (3), S. 187–199. DOI: 10.1065/uwsf2004.03.078.

Kuttler, Wilhelm (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. In: *Environmental Sciences Europe*.

Lenzhölzer, Sandra (2010): Designing atmospheres. Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. @Wageningen, Univ., Diss., 2010.

Malberg, Horst (2007): Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Martens, Andrea; Zinecker, Anette (2012): Springbrunnen - ein städtisches Extremhabitat als Entwicklungsgewässer von *Sympetrum fonscolombii*. In: *Libellula* (31), S. 211–221.

- Mayer, Florian; Schiller, Jens (2017): Bundeskonzept Grüne Infrastruktur; Grundlagen des Naturschutzes zu Planungen des Bundes. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz.
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (Hg.) (2012): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Möller, Constantin (2017): Leitfaden zu den Ergebnissen des Projektes KURAS. Hg. v. kuras.
- Moser, Astrid; Rötzer, Thomas; Pauleit, Stephan; Pretzsch, Hans (2017): Stadtbäume: Wachstum, Funktionen und Leistungen - Risiken und Forschungsperspektiven. In: *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 188.
- Pfoser; Verfasser (Nicole); Jenner; Verfasser (Nathalie); Henrich; Verfasser (Johanna) et al. (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. Hg. v. Technische Universität Darmstadt.
- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2012): Klimafolgen Online. Online verfügbar unter <http://www.klimafolgenonline.com/>, zuletzt geprüft am 18.03.2020.
- R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha (2019): Wirkungen der grünen Stadt. Studie zur Abbildung des aktuellen Wissenstands im Bereich städtischer Bergünungsmaßnahmen. Hg. v. Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie.
- Regionalverband Ruhr (2008): Klimakarten. Online verfügbar unter <https://klima.geoportal.ruhr/>, zuletzt geprüft am 09.04.2020.
- Regionalverband Ruhr (2020): Klimakarten Metropole Ruhr. Online verfügbar unter <https://klima.geoportal.ruhr/>, zuletzt geprüft am 20.04.2020.
- Schmauk, Sebastian (2019): Dach- und Fassadenbegrünung –neue Lebensräume im SiedlungsbereichFakten, Argumente und Empfehlungen. BfN-Skript 538. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2011): Stadtentwicklungsplan Klima – Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern.
- Splittgerber, V.; Saenger, P.; City Solutions GmbH: The CityTree: a vertical plant wall. In: J.W.S Longhurst, C. Capilla, C.A Brebbia und J. Barnes (Hg.): *Air Pollution XXIII*, S. 295–304.
- Spronken-Smith, Rachel A. (1994): Energetics and cooling in urban parks. Hg. v. The University of British Columbia.
- Stadt Bochum (2018): Statistisches Jahrbuch der Stadt Bochum2018.
- Stahr, Michael; Hinz, Dietrich (2011): Sanierung und Ausbau von Dächern. Grundlagen - Werkstoffe - Ausführung. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden (Praxis). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-8137-3>.

statista (2019a): Grad der Urbanisierung in Deutschland bis 2017. Hg. v. statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/662560/umfrage/urbanisierung-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

statista (2019b): Prognose zum Anteil von Stadt- und Landbewohnern in den Weltregionen bis 2050. Hg. v. statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/870960/umfrage/prognose-zum-anteil-von-stadt-und-landbewohnern-in-den-weltregionen/>, zuletzt geprüft am 22.02.2020.

statista (2019c): Prognose zum Anteil von Stadt- und Landbewohnern in Deutschland bis 2050. Hg. v. statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167166/umfrage/prognose-des-bewohneranteils-nach-wohnstandort-seit-1990/>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

statista (2019d): Urbanisierung: Anzahl der Stadtbewohner in den Weltregionen im Jahr 2018. Hg. v. statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/870841/umfrage/urbanisierung-anzahl-der-stadtbewohner-in-den-weltregionen/>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

statista (2020): Entwicklung der Altersstruktur in Deutschland von 1950-2010 und Prognose bis 2060. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/543299/umfrage/entwicklung-und-prognose-der-altersstruktur-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 18.03.2020.

Steinrücke, Ulrich (2010): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräumen zur Anpassung an den Klimawandel. Hg. v. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Umweltbundesamt (2013): Globale Klimaänderungen bis 2100. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/zu-erwartende-klimaaenderungen-bis-2100>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

Umweltbundesamt (2016): Klimawandel. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

Umweltbundesamt (2019): EU-Klimapolitik am Paris-Abkommen ausrichten. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/eu-klimapolitik-am-paris-abkommen-ausrichten>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

Upmanis, Hillevi; Eliasson, Ingegärd; Lindqvist, Sven (1998): The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). In: *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* (18), S. 681–700.

Verband Region Stuttgart (2008): Klimaatlas Region Stuttgart 2008. In: *Schriftreihe Verband Region Stuttgart* (26).

Warmuth, Clara; Göldner, Melanie (2018): Urbane Stillgewässer als Anpassungsmaßnahme gegen Hitzestress. Hg. v. Technische Universität Berlin.

Winker, Martina; Frick-Trzebitzky, Fanny; Matzinger, Andreas; Schramm, Engelbert; Stieß, Immanuel (2019): Die Kopplungsmöglichkeiten von grüner, grauer und blauer Infrastruktur mittels raumbezogenen Bausteinen. Hg. v. Forschungsverbund netWORKS.

Xu, Jingcheng; Wei, Qiaoling; Huang, Xiangfeng; Zhu, Xiaoyan; Li, Guangming (2010): Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer. In: *Building and Environment* 45 (4), S. 1072–1080. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.10.025.

Zeit Online (2019): Weltweite CO2 Emission steigt langsamer. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2019-12/studie-wachstum-co2-emission-weltweit-2019>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.

9 Anhang

Anhangsverzeichnis	Seite
Entscheidungsbaum Übersicht	B
Ast Dachbegrünung 1	C
Ast Dachbegrünung 2	D
Ast Fassadenbegrünung	E
Ast Bäume	F
Ast Entsiegelung	G
Ast Grünflächen	H
Ast Begrünte Gleise	I
Ast Offene Gewässer	J
Ast grüne Hinterhöfe	K
Bewertungsmatrix	L
M1.1 Gebäudebegrünung – Extensive Dachbegrünung	M
M1.2 Gebäudebegrünung – Einfach-intensive Dachbegrünung	O
M1.3 Gebäudebegrünung – Intensive Dachbegrünung	P
M1.4 Gebäudebegrünung – Bodengebundene Fassadenbegrünung	R
M1.5 Gebäudebegrünung – Wandgebundene Fassadenbegrünung	T
M2.1 Bäume – Stadtbäume	V
M2.2 Bäume – Künstliche Bäume	X
M3 Entsiegelung	Y
M4.1 Grünflächen – Kleine Parkanlagen	Z
M4.2 Grünflächen – Große Parkanlagen	AA
M4.3 Grüngürtel	BB
M5 Frischluftflächen & -schneisen	CC
M6.1 Rasengleise	DD
M6.2 Sedumgleise	FF
M7 Offene Wasserflächen	GG
M8 Springbrunnen	II
M9 Grüne Hinterhöfe	JJ

9.1 Entscheidungsbaum

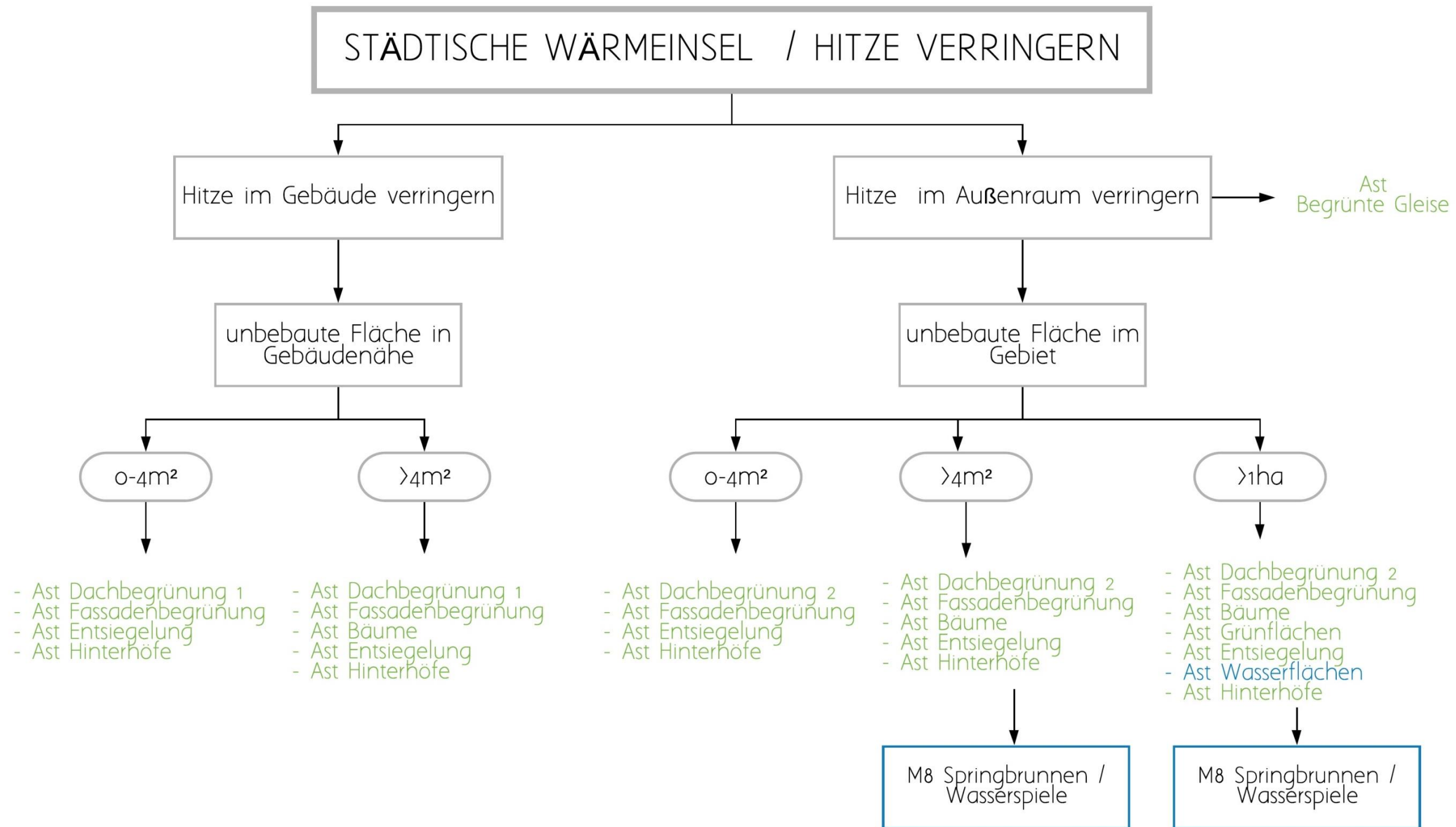


Abbildung 31 Entscheidungsbaum Übersicht

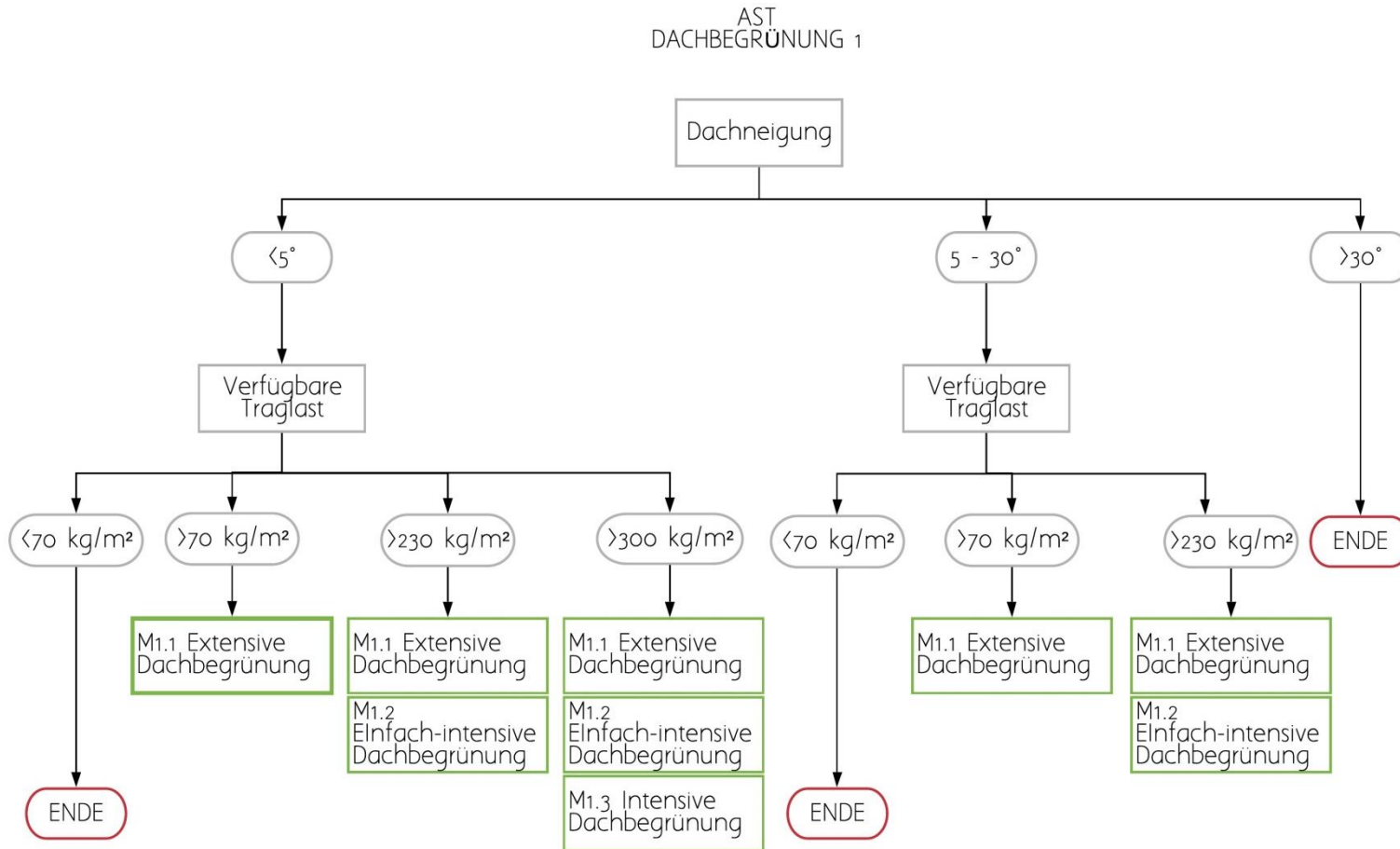
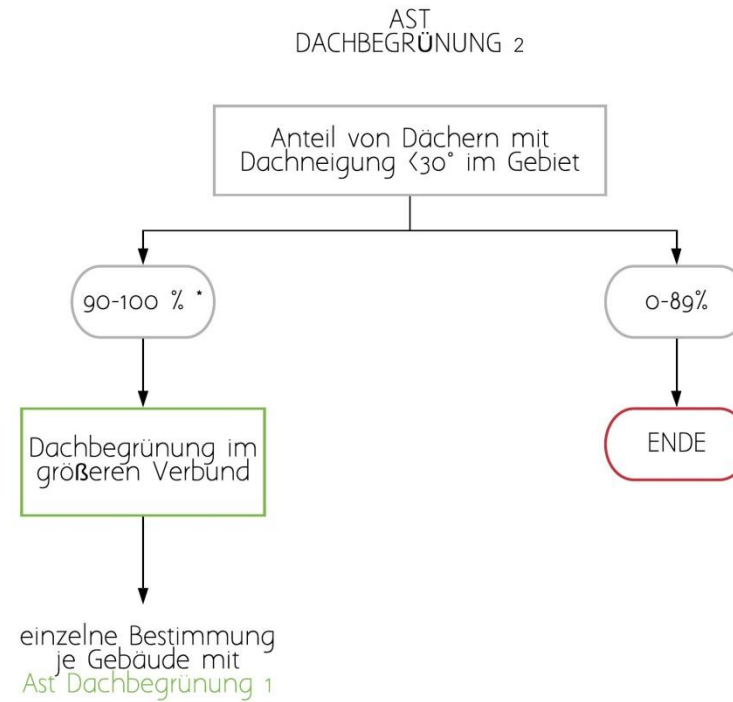


Abbildung 32 Ast Dachbegrünung 1



* Prozentuale Annahmen um "viel" und "wenig" zu definieren

Abbildung 33 Ast Dachbegrünung 2

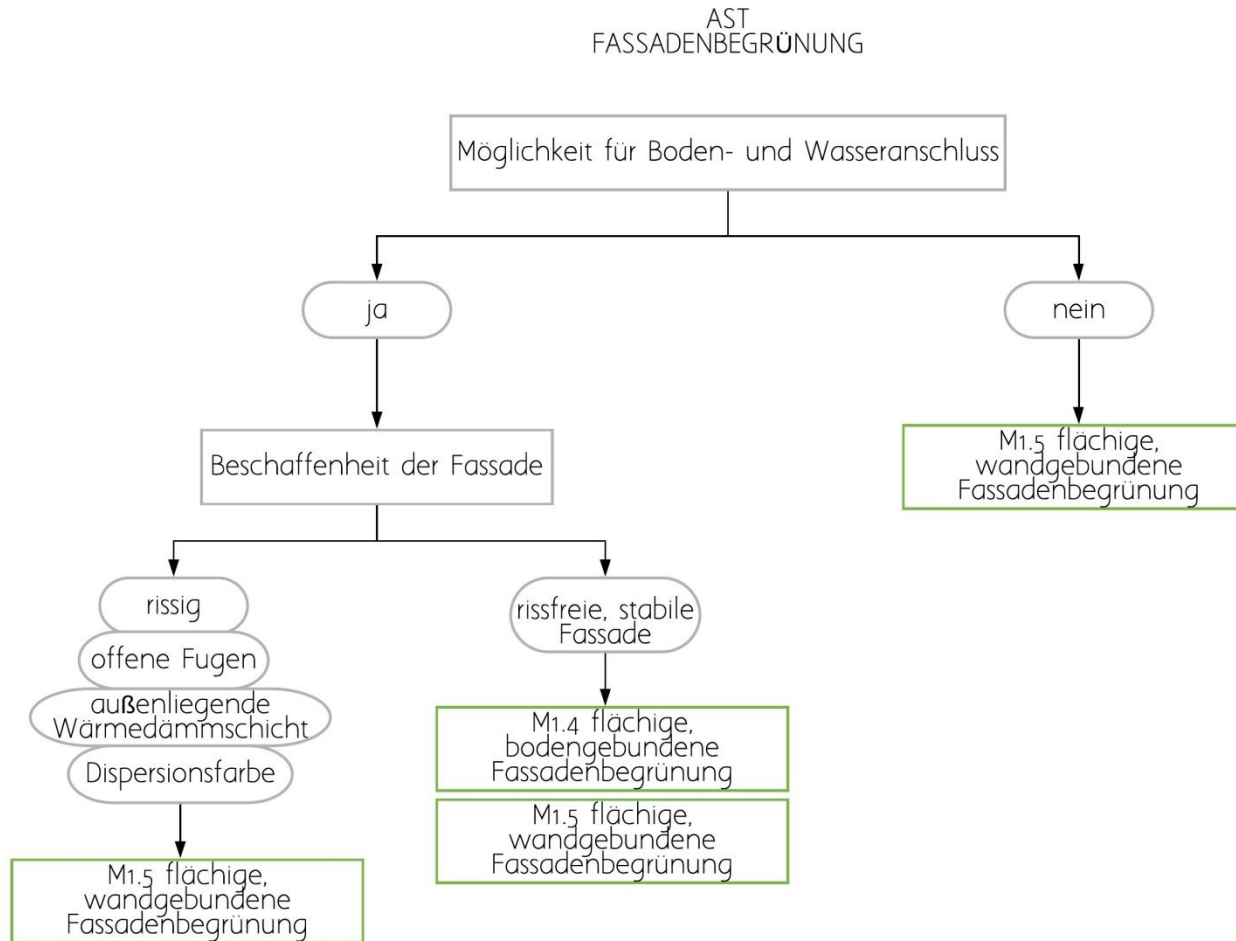


Abbildung 34 Ast Fassadenbegrünung

AST BÄUME

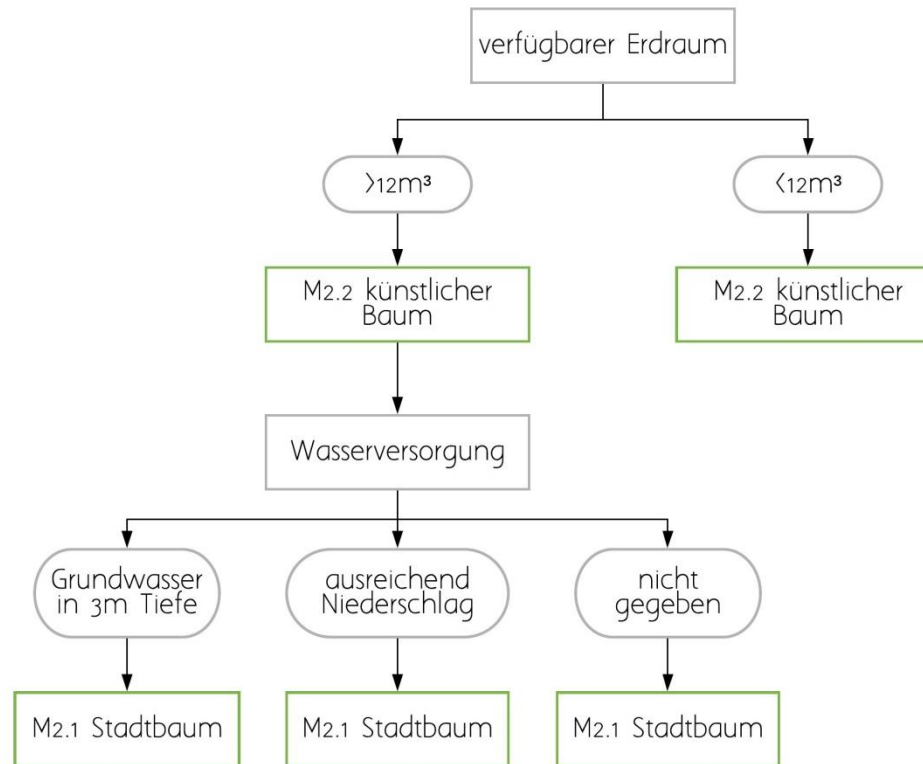


Abbildung 35 Ast Bäume

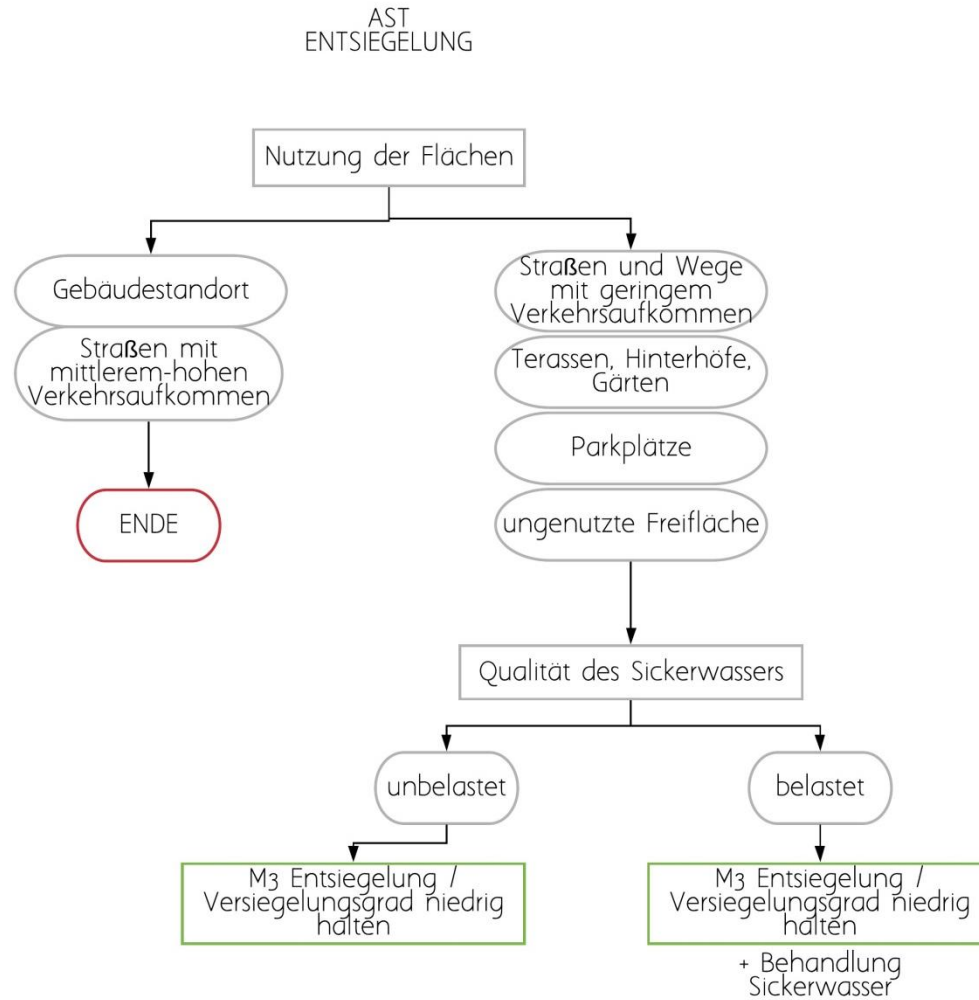


Abbildung 36 Ast Entsiegelung

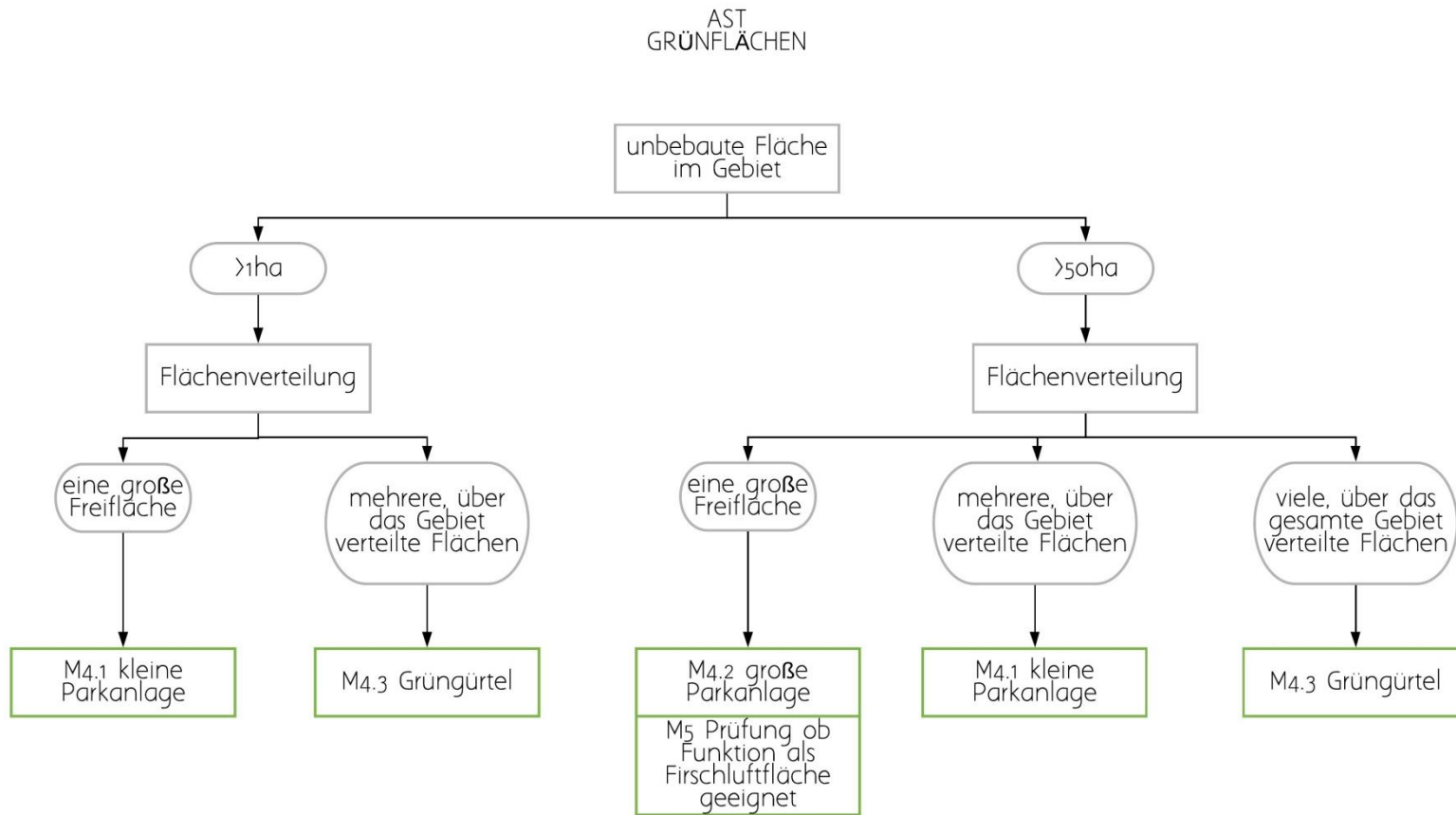


Abbildung 37 Ast Grünflächen

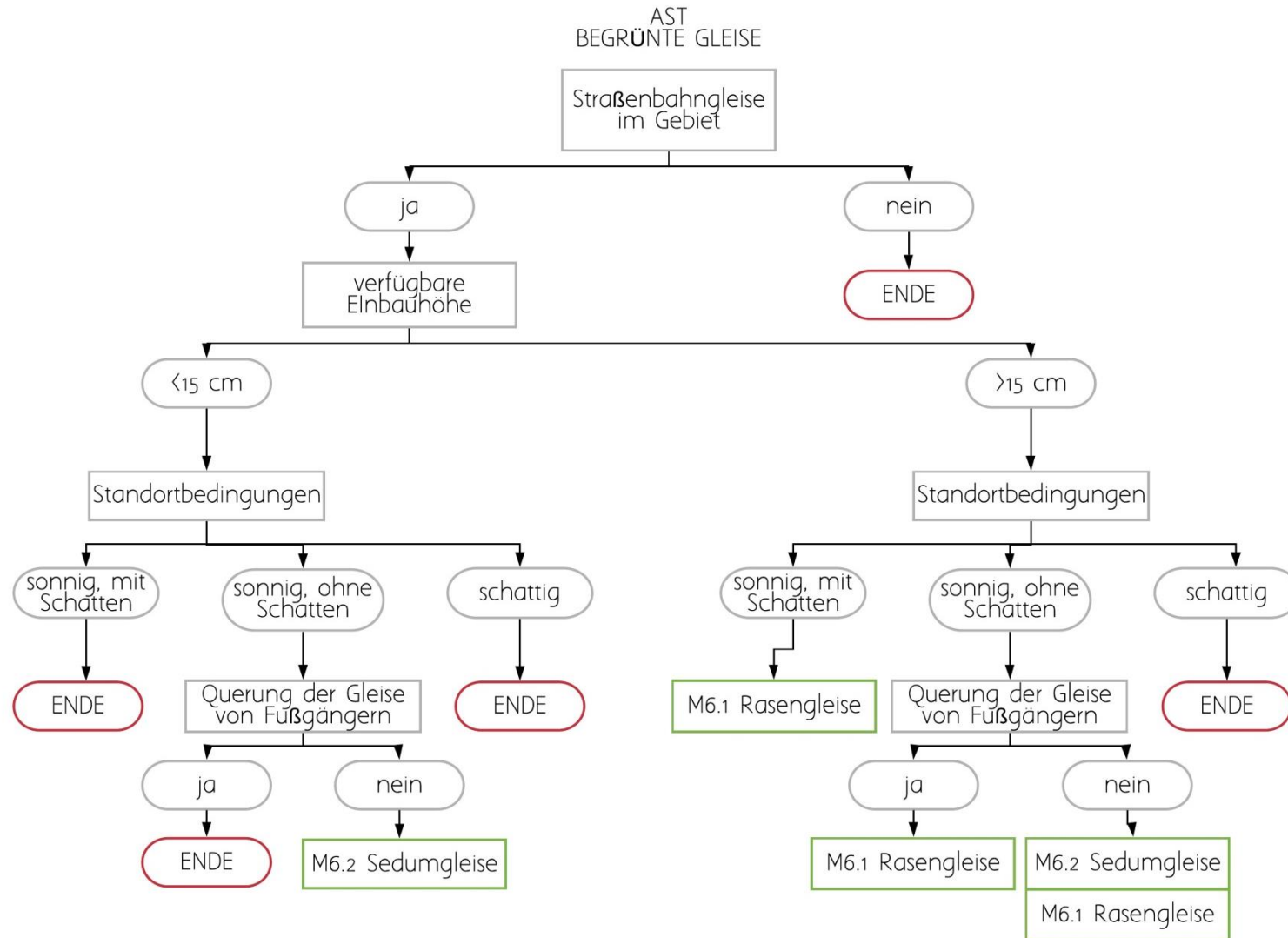


Abbildung 38 Ast Begrünte Gleise



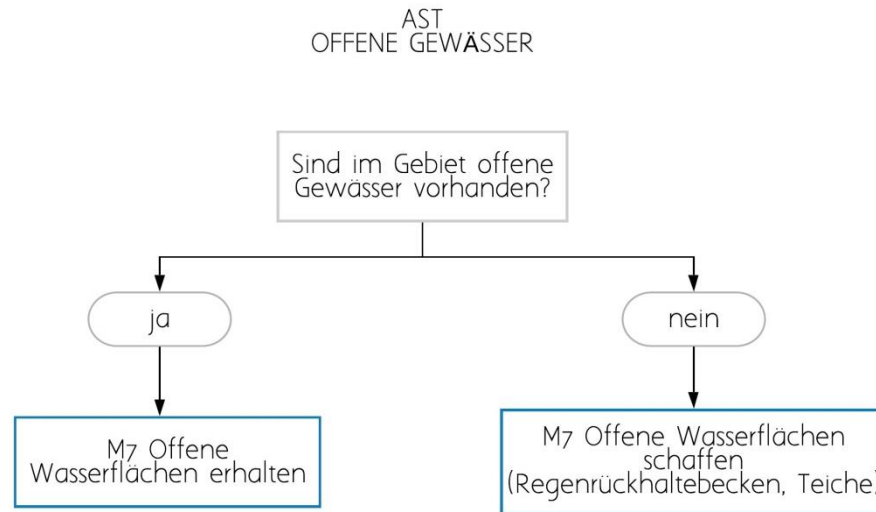


Abbildung 39 Ast Offene Gewässer

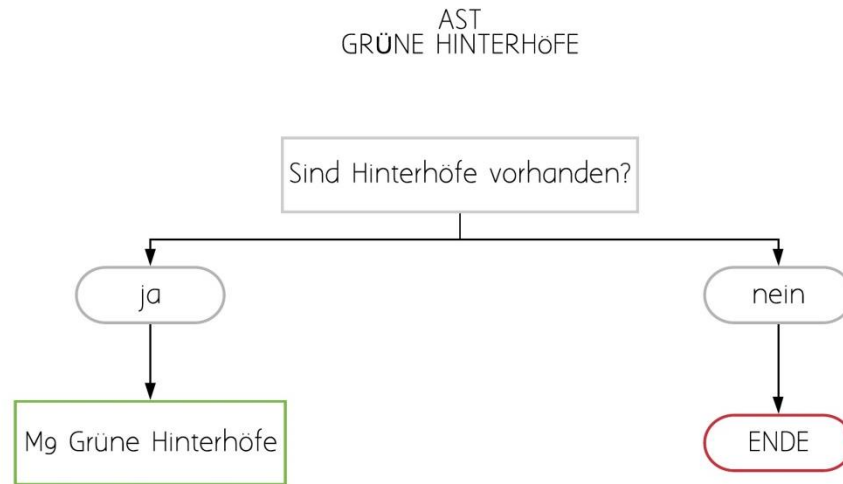


Abbildung 40 Ast grüne Hinterhöfe

9.3 Maßnahmensteckbriefe

M1.1 Gebäudebegrünung – Extensive Dachbegrünung

Beschreibung



Gründächer sind die kleinsten Flächen grüner Infrastruktur im urbanen Raum. ¹Auch wenn in einem Gebiet nur noch wenig Freiflächen zur Verfügung stehen, lässt sich durch die Begrünung von Dächern ein klimatischer Effekt erzielen.²

Die **extensive Dachbegrünung** zeichnet sich durch einen flachen Substrataufbau, ein geringes Gewicht und wenig Pflegeaufwand aus. Somit können auch Dächer von Gebäuden mit geringer Traglast, wie Garagen oder Gartenhäuschen, mit extensiver Dachbegrünung begrünt werden.



Abbildung 41 Extensive Dachbegrünung (Photo by Annie Spratt on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Raumluft im Gebäude ¹
- Im größeren Verbund Kühlung der Umgebungsluft ¹³
- Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung ⁴
- Finanziellen Vorteile und Leistungssteigerung von Photovoltaikanlagen ⁵
- Bindung von Luftschadstoffen ⁶
- Lärminderung ⁶
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁷

¹ Steinrücke 2010, S. 36.

² Schmauk 2019, S. 21.

³ R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha 2019, S. 23.

⁴ Schmauk 2019, S. 33.

⁵ Stahr und Hinz 2011, S. 625.

⁶ Schmauk 2019, S. 35.

Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbar bei Dachneigung von 0° – 30°, Abrutschsicherung ab 20° notwendig • Traglast von 70 – 230 kg/m² erforderlich • 5-15 cm hoher, einschichtiger Substrataufbau • Nur trockenresistente, niedrigwüchsige Vegetation möglich • Wenig bis keine Pflege notwendig^{8 9}
Risiken / Konfliktpotenziale	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung von Gründächern im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserreserven
Hilfestellungen	

⁷ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

⁸ Schmauk 2019, S. 9.

⁹ Stahr und Hinz 2011, S. 612.

M1.2 Gebäudebegrünung – Einfach-intensive Dachbegrünung

<p>Beschreibung</p> 	<p>Gründächer sind die kleinsten Flächen grüner Infrastruktur im urbanen Raum¹⁰. Auch wenn in einem Gebiet nur noch wenige Freiflächen zur Verfügung stehen, lässt sich durch die Begrünung von Dächern ein klimatischer Effekt erzielen.¹¹</p> <p>Durch den höheren Substrataufbau bei einfach-intensiven Gründächern sind neben niedrigwüchsigen Pflanzen auch kleine Stauden als Bepflanzung möglich.</p>
<p>Wirkung/Synergien</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlung der Raumluft im Gebäude¹⁰ • Im größeren Verbund Kühlung der Umgebungsluft^{10 12} • Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung¹³ • Finanziellen Vorteile und Leistungssteigerung von Photovoltaikanlagen¹⁴ • Bindung von Luftschadstoffen¹⁵ • Lärminderung¹⁵ • Steigerung der Aufenthaltsqualität¹⁶
<p>Rahmenbedingungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbar bei Dachneigung von 0° – 30°, Abrutschsicherung ab 20° notwendig • Traglast von 230- 250 kg/m² erforderlich¹⁷ • 15-25 cm hohe ein- oder mehrschichtiger Substrataufbau¹⁸ • Ggfs. Mäh- und Schnitarbeiten erforderlich¹⁷
<p>Risiken / Konfliktpotenziale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung von Gründächern im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserreserven
<p>Hilfestellungen</p>	

¹⁰ Steinrücke 2010, S. 36.

¹¹ Schmauk 2019, S. 21.

¹² R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha 2019, S. 23.

¹³ Schmauk 2019, S. 33.

¹⁴ Stahr und Hinz 2011, S. 625.

¹⁵ Schmauk 2019, S. 35.

¹⁶ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

¹⁷ Schmauk 2019, S. 9.

¹⁸ Stahr und Hinz 2011, S. 617.

M1.3 Gebäudebegrünung – intensive Dachbegrünung

Beschreibung



Gründächer sind die kleinsten Flächen Grüner Infrastruktur im urbanen Raum¹⁹. Auch wenn in einem Gebiet nur noch wenige Freiflächen zur Verfügung stehen, lässt sich durch die Begrünung von Dächern ein klimatischer Effekt erzielen²⁰.

Intensive Dachbegrünung zeichnet sich durch einen deutlich höheren Substrataufbau und eine damit verbundene schweres Gewicht aus. Dadurch ist eine gartenähnliche Bepflanzung von Dächern möglich. Diese erbringt mehr Ökosystemleistung, ist aber auch pflegeintensiver als andere Dachbegrünungen.^{21 22}



Abbildung 43 Intensive Dachbegrünung
(Photo by chuttersnap on Unsplash)



Abbildung 42 Intensive Dachbegrünung
(Photo by chuttersnap on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Raumluft im Gebäude¹⁹
- Im größeren Verbund Kühlung der Umgebungsluft im Gebiet^{19 23}
- Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung²⁴
- Regenwasserspeicherkapazität von 70 -100 % und Entlastung der Kanalisation.^{19 25}
- Finanziellen Vorteile und Leistungssteigerung von Photovoltaikanlagen²⁶
- Bindung von Luftschadstoffen²⁷
- Lärminderung²⁷
- Steigerung der Aufenthaltsqualität²⁸

¹⁹ Steinrücke 2010, S. 36.

²⁰ Schmauk 2019, S. 21.

²¹ Schmauk 2019, 9f.

²² Stahr und Hinz 2011, 618,621.

²³ R. Stangl, A. Medl, B. Scharf, U. Pitha 2019, S. 23.

²⁴ Schmauk 2019, S. 33.

²⁵ Schmauk 2019, S. 10.

²⁶ Stahr und Hinz 2011, S. 625.

²⁷ Schmauk 2019, S. 35.

²⁸ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none">• Traglast über 300 kg/m² erforderlich ^{25 29}• 25-80 cm hoher mehrschichtiger Substrataufbau ³⁰• Nur bei Dachneigung unter 5° möglich ²⁵• Hoher Pflegeaufwand nötig
Risiken / Konfliktpotenzial	<ul style="list-style-type: none">• Bewässerung von Gründächern im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserreserven
Hilfestellungen	

²⁹ Stahr und Hinz 2011, S. 612.

³⁰ Stahr und Hinz 2011, S. 617.

M1.4 Gebäudebegrünung – Bodengebundene Fassadenbegrünung

Beschreibung



Durch Fassadenbegrünung kann die Raumtemperatur im Sommer gesenkt werden und im Winter die Abkühlung vermindert werden³¹. Des Weiteren kann Fassadenbegrünung die bodennahe Lufttemperatur in bis zu 2 Metern Höhe um 1,5 °C abkühlen.^{32 33}

Bodengebunden Fassadenbegrünung wurzelt direkt im Boden. Aufgrund dessen ist in den meisten Fällen keine zusätzliche Bewässerung nötig. Sie lässt sich mit der Dachbegrünung zu einem durchgängigen Netz verknüpfen.³⁹



Abbildung 45 Bodengebundene Fassadenbegrünung
(Photo by Alexey Shikov on Unsplash)



Abbildung 44 Bodengebundene Fassadenbegrünung
(Photo by Ethan Kent on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Raumluft im Gebäude³¹
- Kühlung der Umgebungsluft^{32 33}
- Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung³⁴
- Bindung von Luftschadstoffen^{35 36}
- Lärminderung³⁵
- Steigerung der Aufenthaltsqualität³⁷

³¹ Steinrücke 2010, S. 37.

³² Schmauk 2019, S. 22.

³³ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40.

³⁴ Schmauk 2019, S. 33.

³⁵ Schmauk 2019, S. 35.

³⁶ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 37.

³⁷ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Boden- und Wasseranschluss muss vorhanden sein ³⁸ • Standfeste, rissfreie Fassade³⁸ • Ranksysteme benötigen eine Kletterhilfe³⁹ • Regelmäßiger Rückschnitt notwendig⁴⁰
Risiken / Konfliktpotenziale	<ul style="list-style-type: none"> • Steigende Brandgefahr bei zunehmender Pflanzenmenge⁴⁰ • Bewässerung im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserressourcen • Unberechtigte Vorbehalte von Bewohnern wegen Insekten im Bewuchs⁴¹
Hilfestellungen	Zur Auswahl passender Bepflanzung und weitere Informationen: „Gebäude Begrünung Energie – Potenziale und Wechselwirkungen“ (Pfoser et al. 2013)

³⁸ Pfoser et al. 2013, S. 39.

³⁹ Schmauk 2019, S. 11.

⁴⁰ Pfoser et al. 2013, S. 42.

⁴¹ Enzi 2010, S. 88.

M1.5 Gebäudebegrünung – Wandgebundene Fassadenbegrünung

Beschreibung



Durch Fassadenbegrünung kann die Raumtemperatur im Sommer gesenkt werden und im Winter die Abkühlung vermindert werden⁴². Des Weiteren kann Fassadenbegrünung die bodennahe Lufttemperatur in bis zu 2 Metern Höhe um 1,5 °C abkühlen.^{43 45}

Wandgebundenen Fassadenbegrünung wurzelt in an der Wand angebrachten Containern oder Pflanzenwänden. Durch die Anbringung von Pflanzenmodulen ist eine sofortige und flächige Begrünung möglich.⁴⁴



Abbildung 46 Wandgebundene Fassadenbegrünung (Photo by Sebastian Khanlo on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Raumluft im Gebäude⁴²
- Kühlung der Umgebungsluft^{43 45}
- Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung⁴⁶
- Bindung von Luftschadstoffen^{47 48}
- Lärminderung⁴⁷
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁴⁹

⁴² Steinrück 2010, S. 37.

⁴³ Schmauk 2019, S. 22.

⁴⁴ Schmauk 2019, S. 12.

⁴⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40.

⁴⁶ Schmauk 2019, S. 33.

⁴⁷ Schmauk 2019, S. 35.

⁴⁸ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 37.

⁴⁹ Mayer und Schiller 2017, S. 39.



Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none">• Bewässerung notwendig⁵⁰• Statik muss geprüft werden⁵⁰• Schutz der Fassade vor Feuchte und Durchwurzelung ggfs. notwendig⁵⁰
Risiken / Konfliktpotenziale	<ul style="list-style-type: none">• Bewässerung im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserressourcen• Bedenken von Bewohnern wegen Insekten im Bewuchs⁵¹
Hilfestellungen	Zur Auswahl passender Bepflanzung und weitere Informationen: „Gebäude Begrünung Energie – Potenziale und Wechselwirkungen“ S.270 ff.(Pfoser et al. 2013)

⁵⁰ Pfoser et al. 2013, S. 39.

⁵¹ Enzi 2010, S. 88.

M2.1 Bäume - Stadtbäume

Beschreibung



Stadtbäume spenden Schatten und zusammen mit der Transpiration der Bäume kann die Aufheizung der Umgebungsluft und der Oberfläche vermindert werden.^{52 53} Durch Stadtbäume kann lokal die Lufttemperatur in bis zum 2m Höhe um bis zu 6 C° gesenkt werden⁵⁴. Zu finden sind sie überall im Stadtgebiet; an Straßen, in Parks, auf Friedhöfen und in Hinterhöfen.⁵⁵



Abbildung 47 Stadtbäume (Photo by chuttersnap on Unsplash)



Abbildung 48 Stadtbäume (Photo by Siniz Kim on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Umgebungsluft^{52 53}
- Steigerung der Aufenthaltsqualität und Biodiversität⁵³
- Bindung von Luftschadstoffen⁵⁶
- Lärminderung⁵⁷
- Regenwasserspeicherkapazität⁵⁸
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁵⁹

⁵² Steinrücke 2010, S. 35.

⁵³ Moser et al. 2017, S. 96.

⁵⁴ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 40.

⁵⁵ Moser et al. 2017, 95f.

⁵⁶ Moser et al. 2017, S. 99.

⁵⁷ Moser et al. 2017, S. 100.

⁵⁸ Moser et al. 2017, S. 101.

⁵⁹ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserstand höher als 3 m oder ausreichend Niederschlag⁶⁰ • Einsatz von trocken- und hitzetoleranten Baumarten^{52 61} • Pflanzgrube < 12m³ pro Baum
Risiken / Konfliktpotenziale	<ul style="list-style-type: none"> • Allergene • Verschmutzung des Straßenraums durch Laub • Bewässerung im trockenen Sommer in Gebieten mit knappen Trinkwasserreserven • Gefährdung durch herabfallende Äste bei Sturm⁶² • Wurzeln können Leitungen beschädigen • Bauarbeiten im Straßenraum können Bäume, insbesondere Wurzeln beschädigen⁶³ • Nutzung der Baumscheibe als Abstellplatz für Fahrräder und Ähnliches⁶⁴
Hilfestellungen	<ul style="list-style-type: none"> • Baumpaten⁶¹ • Hilfe bei der Auswahl von Baumarten: Andreas Roloff, Sandra Korn, Sten Gillner: The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change (2009)

⁶⁰ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 47.

⁶¹ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 48.

⁶² Dickhaut et al. 2019, S. 95.

⁶³ Dickhaut et al. 2019, S. 41.

⁶⁴ Dickhaut et al. 2019, S. 82.

M2.2 Bäume - Künstliche Bäume

Beschreibung



Kühlung durch Verschattung kann auch durch künstliche Bäume erfolgen. Bei diesen besteht die Baumkrone beispielsweise aus Glas, welches sich bei Sonneneinstrahlung verdunkelt und somit Schatten spendet.⁶⁵ Eine weitere Möglichkeit ist der „Citytree“⁶⁶, der seine kühlende Wirkung durch Moose entfaltet. Der Vorteil gegenüber Bäumen besteht darin, dass sie nicht wurzeln, und somit im Untergrund weniger Platz benötigen und es nicht zur Beschädigung von Straßen kommt.



Abbildung 50 CityTree Model 2020
(greencity solutions)

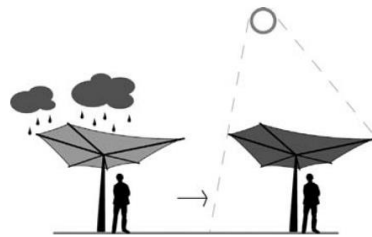


Abbildung 49 "Sunglass-
Umbrella"(Lenzhölzer 2010, S. 153)

Wirkung/Synergien

CityTree

- Kühlung der Umgebungsluft⁶⁶
- Bindung von Schadstoffen⁶⁶
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁶⁷

Sunglass-Umbrella

- Kühlung der Umgebungsluft⁶⁵
- Schutz vor Regen⁶⁵
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁶⁷

Rahmenbedingungen

- *4m² Aufstellfläche (Annahme)*
- Regelmäßige Reinigung des Glases

Risiken / Konfliktpotenziale

Hilfestellungen

⁶⁵ Lenzhölzer 2010, S. 153.

⁶⁶ greencity solutions.

⁶⁷ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

M3 Entsiegelung

<p>Beschreibung</p> 	<p>Mit steigendem Versiegelungsgrad erhöhen sich die Umgebungstemperatur und die Menge an Regenwasser die nicht versickern kann und über den Kanal abgeführt werden muss. ⁶⁸ ⁶⁹Statt wasserundurchlässiger Bodenbeläge wie Asphalt, können wasserdurchlässige Oberflächenbefestigungen wie Schotterrassen oder Rasengitterstein verwendet werden. ⁷⁰</p>
 <p>Abbildung 52 Leicht entsiegelte Fläche (Photo by Arnel Hasanovic on Unsplash)</p>	 <p>Abbildung 51 Kopfsteinpflaster (Photo by Luiz Eduardo Alves da Silva on Unsplash)</p>
<p>Wirkung/Synergien</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderung der Aufheizung von Oberflächen ⁶⁸ • Entlastung der Kanalisation durch erhöhte Versickerungskapazität ⁷⁰ • Steigerung der Aufenthaltsqualität ⁷¹
<p>Rahmenbedingungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nur geeignet für Wege mit geringer Verkehrsbelastung, die nicht die maximale Belastbarkeit von Beton oder Asphalt voraussetzen. • Sickerwasser muss unbelastet sein oder vor Einleitung behandelt werden ^{70 72}
<p>Risiken / Konfliktpotenziale</p>	
<p>Hilfestellungen</p>	

⁶⁸ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 27.

⁶⁹ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 51.

⁷⁰ Steinrücke 2010, S. 47.

⁷¹ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

⁷² bauwion.de 2018.



M4.1 Grünflächen - Kleine Parkanlagen

Beschreibung



Grasflächen erhitzen sich in der Sonne geringer als stark versiegelte Oberflächen. ⁷³Es lohnt sich schon bei den kleinsten Freiflächen sie zu begrünen, anstatt zu asphaltieren oder zu betonieren.

Kleine Parkanlagen, ab einer Größe circa 2,0 ha, haben sogar eine kühlende Wirkung auf die Umgebungsluft. Diese wirkt jedoch hauptsächlich im Park selbst und nur im nahen Umfeld. ^{74 75}



Abbildung 54 Kleine Grünfläche
(Photo by Adrien Olichon on Unsplash)



Abbildung 53 Kleine Grünfläche (Photo by Karolis Vaičiulis on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Umgebungsluft
- Geringe Klimatische Fernwirkung ⁷⁶
- Steigerung der Aufenthaltsqualität ⁷⁷
- Stärkung der Biodiversität ⁷⁷

Rahmenbedingungen

- Für Kühlung der Umgebungsluft: Mindestgröße von ca. 2,0 ha ^{74 75}

Risiken / Konfliktpotenziale

- Flächennutzungskonflikt

Hilfestellungen

⁷³ Armson et al. 2012, S. 252.

⁷⁴ Upmanis et al. 1998, S. 698.

⁷⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 42.

⁷⁶ Upmanis et al. 1998, S. 698.

⁷⁷ Mayer und Schiller 2017, 39f.

M4.2 Grünflächen - Große Parkanlagen

Beschreibung



Große Parkanlage, ab einer Größe von über 50 ha, kühlen nicht nur die Lufttemperatur im Park selbst, sondern senken auch die Temperatur der umliegenden Gebiete.⁷⁸



Abbildung 55 Photo by Brett Jordan on Unsplash

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Umgebungsluft
- Klimatische Fernwirkung⁷⁹
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁸⁰
- Stärkung der Biodiversität⁸⁰

Rahmenbedingungen

- Mindestgröße von ca. 50 ha⁷⁸

Risiken / Konfliktpotenziale

- Flächennutzungskonflikt

Hilfestellungen

⁷⁸ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 199.

⁷⁹ Upmanis et al. 1998, S. 698.

⁸⁰ Mayer und Schiller 2017, 39f.

M4.3 Grünflächen – Grüngürtel

Beschreibung



Ein aus vielen, gut vernetzten, kleinen Grünflächen bestehender Grüngürtel kann einen kühlenden Effekt auf die Umgebungsluft haben.⁸¹ Außerdem hat die Verteilung der Grünflächen über das ganze Gebiet den Vorteil, dass viele Menschen einen kurzen Weg zur nächstgelegenen Grünfläche haben.



Abbildung 57 Grüngürtel
(Photo by Benjamin Elliott on Unsplash)



Abbildung 56 Grüngürtel (Photo by Jurriaan Snickers on Unsplash)

Wirkung/Synergien

- Kühlung der Umgebungsluft⁸¹
- Steigerung der Aufenthaltsqualität⁸²
- Stärkung der Biodiversität⁸²

Rahmenbedingungen

- Enge Vernetzung der Grünflächen⁸¹
- Städtebaulich sinnvolle Anordnung⁸¹

Risiken / Konfliktpotenziale

- Flächennutzungskonflikt

Hilfestellungen

⁸¹ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 199.

⁸² Mayer und Schiller 2017, 39f.

M5 Prüfauftrag: Frischluftflächen & -schneisen freihalten

Beschreibung	Große Parks oder natürliche Wälder und Wiesen tragen zur Frisch- und Kaltluftproduktion bei. Wenn diese Luft durch Frischluftschneisen in die Städte gelangen kann, kann die städtische Wärmeinsel vermindert werden. Um dies zu erreichen sollten freie / freiwerdende Flächen im Stadtgebiet auf ihre stadtbelüftende Funktion geprüft und freigehalten werden und nicht neu bebaut werden. Ebenfalls sollte geprüft werden, dass Frischluftschneisen vorhanden sind und nicht verbaut werden. ^{83 84}
Wirkung/Synergien	<ul style="list-style-type: none"> • Frischluftproduktion⁸⁵ • Kaltluftproduktion⁸⁵
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Große naturbelassene oder naturnahe Fläche • Keine Bebauung in Luftabflussrichtung ⁸⁴
Risiken / Konfliktpotenziale	
Hilfestellungen	

⁸³ Steinrücke 2010, S. 37.

⁸⁴ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, S. 222.

⁸⁵ Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012, 218ff.

M6.1 Grüne Gleise – Rasengleis

Beschreibung



Durch die Begrünung von Straßenbahngleisen können positive klimatische Effekte entstehen und es bieten sich deutliche Vorteile gegenüber versiegelten Flächen.

Rasengleise zeichnen sich durch eine hohe Trittfestigkeit und eine höhere Vegetationsschicht aus. ⁸⁶



Abbildung 59 Rasengleis
(Photo by Jeremy Chen on Unsplash)



Abbildung 58 Rasengleis (Breuer 2020)

Wirkung/Synergien

- Verringerung der Aufheizung im Gleis und somit Kühlung der Umgebungsluft
- Regenwasserspeicherkapazität von 50-70 % und somit Entlastung der Kanalisation
- Lärminderung
- Bindung von Luftschadstoffe ⁸⁷
- Steigerung der Aufenthaltsqualität ⁸⁸

Rahmenbedingungen

- Einbautiefe von über 15 cm nötig
- Sonnige Standortbedingungen
- Regelmäßiges Mähen notwendig
- Ggfs. Bewässerung notwendig ⁸⁶

Risiken / Konfliktpotenziale

⁸⁶ Kappis et al. 2015, S. 65.


⁸⁷ Kappis et al. 2015, S. 64.

⁸⁸ Mayer und Schiller 2017, S. 39.



Hilfestellungen	Zur Auswahl des Begrünungssystems, der Oberbauform und der Einbauart eine Anforderungsmatrix entwickelt, zu finden in : „Kappis, Christel; Schreiter, Hendrikje; Reichenbacher, Karsten, Handbuch Gleisbegrünung (2014) : Planung – Ausführung – Pflege“
-----------------	---

M6.2 Grüne Gleise – Sedumgleise

<p>Beschreibung</p> 	<p>Durch die Begrünung von Straßenbahngleisen können positive klimatische Effekte entstehen und es bieten sich deutliche Vorteile gegenüber versiegelten Flächen an.</p> <p>Sedumgleise zeichnen sich durch eine höhere Trockenresistenz und einen niedrigeren Vegetationshöhe aus. ⁸⁹</p>
<p>Wirkung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der Aufheizung im Gleis und somit Kühlung der Umgebungsluft • Regenwasserspeicherkapazität von 50-70 % und somit Entlastung der Kanalisation • Lärminderung • Bindung von Luftschadstoffen⁹⁰ • Steigerung der Aufenthaltsqualität⁹¹
<p>Rahmenbedingungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Einbautiefe 4- 8 cm nötig • Sonnige, nicht schattige Standortbedingungen • Keine Querung der Gleise von Fußgängern möglich, da geringe Trittfestigkeit⁸⁹
<p>Risiken / Konfliktpotenziale</p>	
<p>Hilfestellungen</p>	<p>Zur Auswahl des Begrünungssystems, der Oberbauform und der Einbauart wurde eine Anforderungsmatrix entwickelt, zu finden in : „Kappis, Christel; Schreiter, Hendrikje; Reichenbacher, Karsten, Handbuch Gleisbegrünung (2014) : Planung – Ausführung – Pflege“</p>

⁸⁹ Kappis et al. 2015, S. 65.

⁹⁰ Kappis et al. 2015, S. 64.

⁹¹ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

M7 Offene Wasserflächen

<p>Beschreibung</p> 	<p>Durch offene Wasserflächen im Gebiet kann die Umgebungsluft gekühlt werden und Schwüle entgegen gewirkt werden. In erster Linie dienen sie jedoch meistens dazu, die Regenwasserrückhaltekapazität eines Gebietes zu erhöhen.⁹² Dies kann durch Erhalt bestehender, kleiner, natürlicher Gewässer entstehen oder die Schaffung künstlicher Wasserflächen erreicht werden.</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Abbildung 61 Offene Wasserfläche 1(Gaida 2019) Abbildung 60 Offene Wasserfläche 2 (Pixabay 2016)</p>	
<p>Wirkung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlung der Umgebungsluft^{95 93} • Frischluftschneise⁹⁵ • Reduzierung von Luftschadstoffen^{95 94} • Lärminderung⁹⁵ • Trinkwasserressource^{95 96} • Regenwasserrückhaltekapazität ^{97 93} • Steigerung der Aufenthaltsqualität^{98 93}
<p>Rahmenbedingungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Neubau Regenrückhaltebecken: DWA-A 117 • Teich anlegen (in Hessen): baugenehmigungsfrei bis zu einer Größe von 100m³ und 2 m Tiefe ⁹⁹

⁹² Möller 2017, S. 1.

⁹³ Winker et al. 2019, S. 44.

⁹⁴ Winker et al. 2019, S. 48.

⁹⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 38.

⁹⁶ Kistemann 2014, S. 8.

⁹⁷ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011, S. 48.

⁹⁸ Mayer und Schiller 2017, S. 39.

⁹⁹ Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung 2018, S. 93.

Risiken / Konfliktpotenziale	<ul style="list-style-type: none">• Verlangsamung der Luftabkühlung in der Nacht / Steigende Anzahl von Tropennächten^{100 101}• Nächtliche Ruhestörung durch Frösche¹⁰²• Hochwassergefahr¹⁰³• Bei Verunreinigung Belästigung der Anwohner¹⁰³
Hilfestellungen	Mehr Informationen zu Richtlinien und Leitfäden können in der DWA A117 (2014) nachgelesen werden.

¹⁰⁰ Winker et al. 2019, S. 46.

¹⁰¹ Warmuth und Göldner 2018, S. 10.

¹⁰² Kaczmarczyk et al. 2010, S. 1111.

¹⁰³ Breuste 2019, S. 194.

M8 Springbrunnen / Wasserspiele

Beschreibung



Durch die Verdunstung des Wassers wird die Umgebungsluft gekühlt. Durch Versprühen oder Bewegen des Wassers kann dieser Effekt unterstützt werden.¹⁰⁴

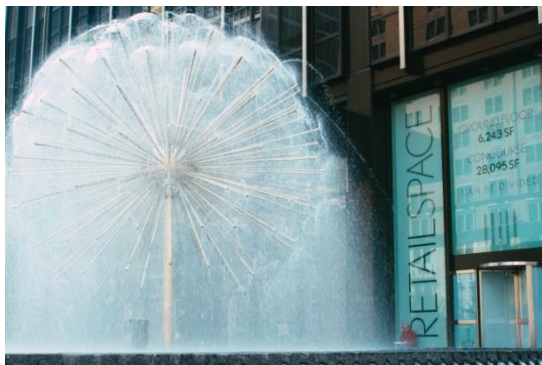


Abbildung 63 Springbrunnen
(Photo by Michal Balog on Unsplash)



Abbildung 62 Fontänen (Photo by VE Jose G. Ortega Castro mx on Unsplash)

Wirkung

- Kühlung der Umgebungsluft^{105 104}
- Steigerung der Aufenthaltsqualität¹⁰⁶
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit¹⁰⁴
- Geringe Regenspeicherkapazität¹⁰⁵
- Bindung von Luftschadstoffen¹⁰⁷
- Stärkung der Biodiversität¹⁰⁸

Rahmenbedingungen

- Regenspeicherkapazität nur bei Verwendung von Regenwasser¹⁰⁶
- Bei Verwendung von Grauwasser Warnhinweis „Kein Trinkwasser“ notwendig¹⁰⁶

Risiken / Konfliktpotenziale

Hilfestellungen

Mehr Informationen zu Richtlinien und Leitfäden können in der DWA A117 (2014) nachgelesen werden.

¹⁰⁴ Steinrücke 2010, S. 38.

¹⁰⁵ Winker et al. 2019, S. 44.

¹⁰⁶ Winker et al. 2019, S. 34.

¹⁰⁷ Winker et al. 2019, S. 48.

¹⁰⁸ Martens und Zinecker 2012, S. 211.

M9 Grüne Hinterhöfe

Beschreibung



Die größte Wirkung von grüner Infrastruktur lässt sich durch die Kombination möglichst vieler Maßnahmen erreichen. In der Stadt bietet es sich an, dies in Form von grünen Hinterhöfen umzusetzen. So können die Maßnahmen 1.4 – 3 alle in Hinterhöfen integriert werden und somit urbane Orte mit hoher Aufenthaltsqualität geschaffen werden.



Abbildung 65 Grüner Hinterhof
(Photo by David Martin on Unsplash)



Abbildung 64 Grüner Hinterhof (Photo by Daniel Zurnau on Unsplash)

Wirkung

- Kühlung der Raumtemperatur im Gebäude
- Im größeren Verbund Kühlung der Umgebungsluft
- Stärkung der Biodiversität mit passender Bepflanzung
- Reduzierung von Luftschadstoffen
- Lärmminderung
- Regenwasserrückhaltekapazität
- Steigerung der Aufenthaltsqualität (vgl. M1.4-3)

Rahmenbedingungen

- vgl. M1.4-3

Risiken / Konfliktpotenziale

- vgl. M1.4-3

Hilfestellungen

- vgl. M1.4-3



h_da

Hochschule Darmstadt
University of applied sciences

fb b

Fachbereich
Bauingenieurwesen

Umweltingenieurwesen
Bachelorarbeit
Anna Breuer / 751633

12.05.2020

10 Digitaler Anhang

Der digitale Anhang ist in der Freigabeversion nicht enthalten.