



**HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG**

University of Applied Sciences

Masterstudiengang Geomatik

Masterarbeit

Wie können sich Städte und Gemeinden an die Folgen des Klimawandels anpassen?

Zum Erlangen des akademischen Grades
„Master of Engineering“ (M. Eng.)

vorgelegt von: Caroline Bützow

Erstprüfer: Prof. i. R. Dipl.-Ing. Rolf-Werner Rebenstorf
Zweitprüfer: M. Eng. Uwe Köster
eingereicht am: 14.04.2023
URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2022-0267-4

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master-Arbeit eigenständig ohne Hilfe und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt habe. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Neubrandenburg, den 14. April 2023

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zur Fertigstellung dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. i. R. Dipl.-Ing. Rolf-Werner Rebenstorf und Herrn M. Eng. Uwe Köster für die hervorragende Betreuung und hilfreichen Anregungen bei der Anfertigung der Masterarbeit.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums bedanken.

Kurzfassung

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Thematik, wie sich Städte und Gemeinden an die Folgen des Klimawandels anpassen können. Dazu werden die Ursachen des Klimawandels beschrieben und verschiedene Elemente der Stadt- und Raumplanung aufgezeigt mit denen eine Klimaanpassung erfolgen kann. Es werden die Auswirkungen der Extremwetterereignisse, ausgelöst durch den Klimawandel, anhand zahlreicher Beispiele für mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel beschrieben. Zu den Folgen des Klimawandels gehört eine Zunahme der Häufigkeit von Extremniederschlägen und Überschwemmungen, Dürren und Hitze sowie Sturmereignisse. Abschließend folgt eine kritische Betrachtung der beschriebenen Maßnahmen aus fachlicher Perspektive.

Abstract

The following thesis deals with the topic of how cities and municipalities can adapt to the consequences of climate change. For this purpose, the causes of climate change are described and various elements of urban and spatial planning are shown with which climate adaptation can take place. The effects of extreme weather events triggered by climate change are described using numerous examples of possible adaptation measures to climate change. The consequences of climate change include an increase in the frequency of extreme precipitation and flooding, droughts and heat, and storm events. Finally, a critical examination of the described measures follows from a technical perspective.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	II
Danksagung	III
Kurzfassung.....	IV
Abstract.....	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Einleitung.....	1
1 Klimawandel.....	4
1.1 Definition	4
1.2 Ursachen.....	4
1.2.1 Natürliche Ursachen.....	4
1.2.2 Anthropogene Ursachen.....	6
1.2.2.1 Nutzung fossiler Brennstoffe im Energie- und Verkehrssektor.....	7
1.2.2.2 Abholzung von Wäldern und Entwässerung von Mooren	7
1.2.2.3 Landwirtschaft.....	8
1.3 Auswirkungen	9
1.3.1 Weltweit.....	13
1.3.2 Europa	14
1.3.3 Deutschland.....	15
1.4 Klimaanpassung.....	19
2 Instrumente der Planung	21
2.1 Raumordnung	21
2.2 Raumplanung des Bundes.....	22
2.3 Raumordnung der Bundesländer	23
2.3.1 Klimaanpassung des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen	24

2.3.2	Klimaanpassung des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern	26
2.4	Regionalplanung	26
2.4.1	Regionalplanung des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen	27
2.4.2	Regionalplanung des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern.....	28
2.5	Bauleitplanung	28
2.5.1	Flächennutzungsplan.....	30
2.5.2	Bebauungsplan	32
2.5.3	Städtebaulicher Vertrag	33
2.6	Bodenordnung	34
2.6.1	Städtische Bodenordnung-Umlegung	34
2.6.2	Ländliche Bodenordnung-Flurneuordnung	35
2.7	Besonderes Städtebaurecht	37
2.7.1	Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen.....	37
2.7.2	Städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen	38
2.7.3	Stadtumbau	39
3	Extremwetterereignisse.....	39
3.1	Extremniederschläge und Überschwemmungen	40
3.1.1	Regen	40
3.1.1.1	Auswirkungen.....	40
3.1.1.2	Klimaanpassungsmaßnahmen	42
3.1.2	Schnee	52
3.1.2.1	Auswirkungen.....	52
3.1.2.2	Klimaanpassungsmaßnahmen	53
3.1.3	Hagel	54
3.1.3.1	Auswirkungen.....	54
3.1.3.2	Klimaanpassungsmaßnahmen	55
3.2	Dürre und Hitze	56

3.2.1	Auswirkungen.....	56
3.2.2	Klimaanpassungsmaßnahmen.....	57
3.3	Stürme	65
3.3.1	Auswirkungen.....	66
3.3.2	Klimaanpassungsmaßnahmen.....	67
4	Schlussbetrachtungen.....	69
	Literaturverzeichnis	76
	Gesetze und Verordnungen	92
	Normen.....	93
	Abkürzungsverzeichnis	94
	Abbildungsverzeichnis	94
	Tabellenverzeichnis	95

Einleitung

„Wer nichts verändern will, wird auch das verlieren, was er bewahren möchte.“

Mit diesem Zitat stellt der ehemalige Bundespräsident Gustav Heinemann die Notwendigkeit von Veränderungen dar. Die Kernaussage des Zitates bezieht sich darauf, dass nur derjenige der aktiv handelt, etwas schutzwürdiges bewahren kann. Durch Klimastreiks der „Fridays for Future“ - Bewegungen ist die Gesellschaft auf die Notwendigkeit des Klimaschutzes aufmerksamer geworden. Das führt dazu, dass der Klimawandel und der Klimaschutz mehr in den Fokus der Öffentlichkeit geraten, auch bedingt dadurch, dass die Folgen des Klimawandels immer realer werden. Zum Beispiel gibt es seit Jahren immer weniger Schnee, dafür aber deutlich extremere und wechselhaftere Temperaturen und eine Zunahme von Starkregenereignissen und Stürmen. Dies wurde auch im Jahr 2014 von der Weltwetterorganisation (WMO) festgestellt. Die WMO veröffentlichte, um die Auswirkungen des Klimawandels sichtbar zu machen, den „Atlas der Sterblichkeit und der wirtschaftlichen Verluste durch Wetter-, Klima- und Wasserextreme (1970 - 2012)“. In diesem Atlas wurde darauf verwiesen, dass in den Jahren von 1970 bis zum Jahr 2012 weltweit 8.835 Naturkatastrophen durch Extremwetterereignisse verzeichnet worden sind. Den Folgen von Dürren, Überschwemmungen und Stürmen sind 1,94 Millionen Menschen zum Opfer gefallen und es entstand ein wirtschaftlicher Schaden von 2,4 Billionen US-Dollar. Die Anzahl der gemeldeten Katastrophen durch Extremwetterereignisse lag im Zeitraum von 1971 bis 1980 bei 743. In den Jahren von 2001 bis 2010 wurden dagegen fast 3500 Katastrophen registriert. Während die Anzahl der Todesopfer aufgrund besserer Vorhersagen sinkt, steigt der wirtschaftliche Schaden mehr an, da die Extremwetterereignisse intensiver und großflächiger werden [World Meteorological Organization, 2014, S. 4 ff.]. So starben allein in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren von 2018 bis 2020 in den Sommermonaten mehr als 19.000 Menschen in Folge der steigenden Temperaturen. Trotzdem werden jährlich innerhalb der Ortschaften bundesweit circa 543 Hektar Grünflächen verändert und zu Siedlungs- und Verkehrsflächen umgestaltet [Rosenthal et al., 2022].

Eine Zunahme von steigenden Temperaturen ist auf der Erde nichts Unbekanntes, so wechselte sich das Erdklima ständig zwischen Kalt- und Warmzeiten ab. Der aktuelle Klimawandel hat natürliche Ursachen, wird allerdings durch anthropogenes Eingreifen in die Natur verstärkt. Bereits im Jahr 1987 wies der Klimaforscher und spätere Nobelpreisträger Klaus Haselmann darauf hin, dass nicht so lange gewartet werden kann, bis die Folgen des

Klimawandels offensichtlich sind, sondern jetzt etwas getan werden muss, um spätere Folgen zu vermeiden [Ell und Westram, 2022].

Zur Vorbeugung vor den Gefahren des Klimawandels werden zwei verschiedene Strategien angewandt. Diese heißen Mitigation und Adaption. Die Mitigation stellt die Strategie des Klimaschutzes dar, dessen Ziel eine Vermeidung der Erhöhung der globalen Jahresdurchschnittstemperatur durch anthropogene Einflüsse beinhaltet. Eine Klimaerwärmung über das 1,5-Grad-Ziel hinaus kann nur durch die Vermeidung von Treibhausgasen erzielt werden. Eine Handlungsstrategie die Treibhausgase in absehbarer Zeit zu senken, besteht in der Erhaltung und der Neugestaltung von Wäldern und Grünflächen. Adaption hingegen beschreibt die Maßnahmen, die der Anpassung an die Folgen des Klimawandels zum Schutz der Gesellschaft dienen [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2010 S. 8].

In Zukunft wird es unerlässlich sein, Städte und Gemeinden, durch Landes- und Stadtplanung, an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Während der Klimaschutz von den Planungsbehörden der Gemeinden berücksichtigt wird, ist der Bereich Klimaanpassung noch ein relativ neues Gebiet. Ein Problem der heutigen Städte liegt beispielsweise darin, dass besonders in innerstädtisch verdichteten Räumen viele Nutzungsansprüche auf einer geringen Fläche verteilt werden müssen. Infolgedessen liegt zum Beispiel ein hoher Druck auf Wohnungsbebauung oder Verkehrsflächen, was dazu führt, dass im Gegensatz dazu Grünflächen oder unversiegelte Freiflächen weichen müssen. Dabei tragen gerade unversiegelte begrünte Flächen dazu bei die Städte und Gemeinden abzukühlen [Rosenthal et al., 2022]. Ein hoher Versiegelungs- und Bebauungsgrad verstärkt in Städten die Anzahl an tropischen Nächten. Es kann kein Austausch zwischen der warmen Stadtluft und der kühleren Umgebungsluft erfolgen und die Bewohner können sich nachts nicht von der Hitze des Tages erholen. Durch eine deutliche Erhöhung des Anteils an entsiegelten und bepflanzten Flächen sind Städte in der Lage ihre Tagestemperaturen um einige Grade abzukühlen.

Zudem können Klimaanpassungsmaßnahmen dafür sorgen, dass Flüsse durch eine größere ihnen zur Verfügung stehende Fläche mehr Wasser aufnehmen und weniger bebaute Flächen überschwemmen. Der Umgang mit hochwassergefährdeten Gebieten besteht darin, die Flächen entweder gar nicht zu nutzen oder sich auf das Risiko von Überschwemmungen

einzulassen. In diesem Fall können neben Hochwasserschutzbauten wie Dämme und Deiche auch die Gebäude hochwasserangepasst bebaut werden [Knieling et al., 2015, S. 258 ff.].

Mit Einbeziehung dieser und weiterer Bereiche ist es möglich, die Gemeinden so anzupassen, dass sie weniger anfällig für Extremwetterereignisse sind. Die Frage, wie sich Städte und Gemeinden an die Folgen des Klimawandels anpassen können, ist das Kernthema dieser Arbeit. Ziel dieser Arbeit ist es, die Planungsbehörden der Städte und Gemeinden für die Notwendigkeit der Klimaanpassung zu sensibilisieren und einen Überblick für Schutzmaßnahmen vor Extremwetterereignissen zu geben. Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut.

Das erste Kapitel erläutert den Begriff Klimawandel. Dabei werden sowohl deren natürliche als auch anthropogene Ursachen dargestellt. Die Auswirkungen des Klimawandels werden weltweit betrachtet und anschließend für Europa und die Bundesrepublik Deutschland spezifiziert. Abschließend erfolgt eine Erklärung des Begriffes „Klimaanpassung“. Im folgenden Kapitel werden die Instrumente der Planung aufgeführt, die von Städten und Gemeinden, aber auch von der Landesplanung zur Vorbeugung gegen Extremwetterereignisse verwendet werden können. Im dritten Kapitel werden verschiedene Anpassungsmaßnahmen gegen Extremwetterereignisse vorgestellt. Das Unterkapitel 3.1 behandelt die Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen gegen Dürre und Hitze, bei der speziell mit einer geeigneten Gebäudeplanung sowie durch die Erhöhung des Kaltluftschneisen- und Grünflächenanteils viel erreicht werden kann. Möglichkeiten zur Versickerung und Regenwasserrückhaltung werden im Unterkapitel 3.2 aufgeführt sowie der Schutz vor Hochwasser durch Extremniederschläge. Neben dem Starkregen werden die Auswirkungen von Schnee und Hagel aufgezeigt und Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Schäden dargelegt. Das Kapitel 3 schließt mit den Folgen von Stürmen und deren Anpassungsmaßnahmen ab. Abschließend folgt eine Schlussbetrachtung bei denen auf die zuvor beschriebenen Anpassungsmaßnahmen kritisch eingegangen wird, inwiefern kurz-, mittel- und langfristig diese Maßnahmen umgesetzt werden und praktisch durchführbar sind.

1 Klimawandel

Durch den Einfluss des Menschen in den letzten Jahrzehnten veränderte sich das Klima so dramatisch wie seit Jahrtausenden nicht. Um die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel, einschließlich deren Ursachen und Auswirkungen und der damit verbundenen Klimaanpassung zu verstehen, werden diese Begriffe näher erläutert.

1.1 Definition

Das Wetter auf der Erde wandelt sich ständig. Es definiert sich als der Zustand der Atmosphäre, der an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt auftritt und maximal einige Tage andauert. Anders verhält es sich mit dem Begriff „Klima“. Dieses definiert das Durchschnittswetter bezogen auf den Zeitraum von mindestens 30 Jahren [Ahlhelm et al., 2016, S. 99]. Es stellt eine langfristige Entwicklung der Temperatur- und Niederschlagswerte dar [Serges Medien GmbH, 2000, S. 618]. Verändert sich nun der Durchschnittswert dieser meteorologischen Erscheinungen über einen längeren Zeitraum, wird der Begriff „Klimawandel“ verwendet [Ahlhelm et al., 2016, S. 99].

1.2 Ursachen

In der Geschichte der Erde hat sich das globale Klima ständig gewandelt. Es wechselten sich Kalt- und Warmzeiten durch natürliche Ursachen ab. Der aktuelle Klimawandel weist neben den natürlichen auch anthropogene Ursachen auf.

1.2.1 Natürliche Ursachen

Zu den natürlichen Ursachen für den Klimawandel gehören die Milanković-Zyklen, die Plattentektonik der Erde und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre.

Die Milanković-Zyklen sorgen für einen Wechsel von Warm- und Eiszeiten, bei denen sich aufgrund der taumelnden Bewegung der Erde um die Sonne deren Umlaufbahn zwischen elliptischen und kreisförmigen Bewegungen abwechselt. Aus diesem Grund variiert durch den sich verändernden Stand der Erde zur Sonne die Menge der einfallenden Sonnenstrahlen auf die Erde. Desto weniger Sonnenstrahlen einfallen, umso stärker breiten sich Eis- und Schneemassen aus. Da helle Flächen aufgrund des Albedo-Effekts stärker reflektieren, kühlt sich der Planet vermehrt ab und es bildet sich eine Eiszeit. Gibt es hingegen mehr einfallende Sonnenstrahlen, schmelzen die Eisflächen und die Erde erwärmt sich [Hüging 2013].

Eine weitere Ursache für natürliche Klimaveränderungen stellt die Plattentektonik dar in Kombination mit dem Albedo-Effekt. Da die tektonischen Platten nicht starr sind, sondern sich bewegen, fallen bei Verschiebungen von Kontinenten in Richtung Nord- oder Südpol weniger Sonnenstrahlen als in Äquatornähe ein. Durch die geringere Absorbtion der Sonnenstrahlen bildet sich vermehrt Eis und das Klima kühlt sich ab. Driften Kontinentalplatten dagegen Richtung Äquator, so wird aufgrund der höheren Menge an einfallenden Sonnenstrahlen, das Eis geschmolzen und mehr Sonnenstrahlen absorbiert, wodurch sich das Klima erwärmt.

Die Milanković-Zyklen und Veränderungen der Plattentektonik beeinflussen das Klima in großem Umfang. Allerdings sind diese Klimaveränderungen sehr langsame Prozesse. Im Gegensatz dazu können Veränderungen der Erdatmosphäre sehr schnell wahrgenommen werden. Die Erdatmosphäre besteht aus einer dünnen Gashülle, deren Hauptbestandteile Stickstoff und Sauerstoff sind. Weiterhin befinden sich in der Atmosphäre Spurenelemente, zu denen Treibhausgase wie Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Stickoxide (NO_x) und Ozon (O_3) gehören. Am häufigsten kommt CO_2 in der Atmosphäre vor. Treibhausgase haben die Aufgabe, die von der Erdoberfläche abstrahlende Wärme abzufangen. Dies geschieht folgendermaßen:

Da die Erdatmosphäre durchlässig für kurzwellige Sonnenstrahlung ist, nehmen die Atmosphäre und die Oberfläche der Erde je nach Oberflächenbeschaffenheit zwischen zehn und 95 Prozent dieser Sonnenstrahlen auf. Die restliche Menge der Sonnenstrahlung wird als langwellige Wärmestrahlen von der Atmosphäre und der Erdoberfläche zurück Richtung All gesendet. Treibhausgase sorgen allerdings dafür, dass die Wärmestrahlen wieder zurück Richtung Erdoberfläche gesendet werden. Dies führt, ähnlich wie in einem Gewächshaus, zur Speicherung der Wärme innerhalb der Erdatmosphäre. So kann gewährleistet werden, dass die Atmosphäre und die Oberfläche der Erde eine durchschnittliche Temperatur von 15 Grad Celsius aufweisen, wodurch organisches Leben auf der Erde möglich ist. Ohne diesen Treibhauseffekt würde die globale Durchschnittstemperatur minus 18 Grad Celsius betragen [Juniper 2022, S. 110 ff.; Hüging 2013]. In der Abbildung 1.1 wird der natürliche Treibhauseffekt grafisch dargestellt.

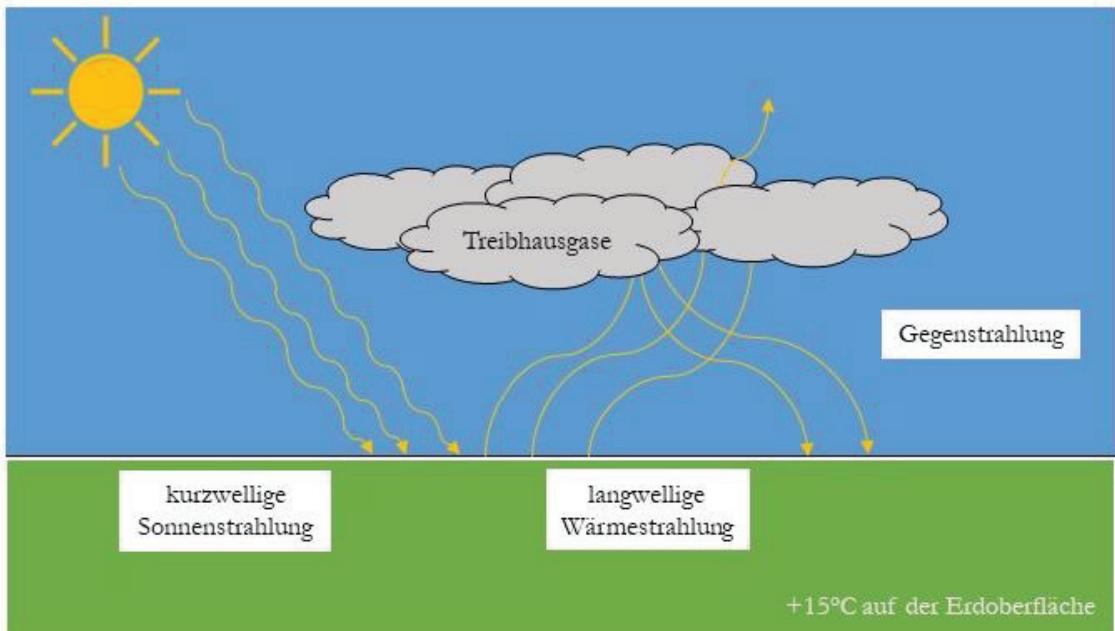


Abbildung 1.1: Natürlicher Treibhauseffekt [eigene Darstellung nach Meyer-Marc, 2019]

Neben den Treibhausgasen beeinflussen Aerosole wie Staub- und Rußpartikel die Menge der Sonnenstrahlen, die auf der Erde reflektieren. Besonders durch Vulkanausbrüche kann sich die Konzentration der Aerosole enorm erhöhen, womit weniger Sonnenstrahlen durch die Schichten der Erdatmosphäre gelangen und die Atmosphäre abkühlt, wie der Ausbruch des Vulkans Laki auf der Insel Island zeigt [Qin et al., 2017]. Im Sommer des Jahres 1783 löste der Vulkanausbruch in Europa im folgenden Winter eiszeitliche Zustände aus, bei denen die Meeresstraßen vom Schwarzen Meer bis zum Atlantischen Ozean eingefroren sind. An vielen Orten in Europa wurden Temperaturen von bis zu minus 26 Grad Celsius gemessen [Schwenner, 2015].

1.2.2 Anthropogene Ursachen

Die Menschen beeinflussen die Natur seit Jahrtausenden, das Klima aber erst seit den letzten 150 Jahren. Ausschlaggebend für die anthropogene Beeinflussung auf das Klima ist die Industrialisierung und der damit veränderte Lebensstil der Menschen. Die Verwendung fossiler Brennstoffe im Energie- und Verkehrssektor und die Art und Weise wie Landwirtschaft betrieben wird, haben seitdem einen großen Einfluss auf das Klimasystem der Erde genommen. Zudem ist das massive Abholzen von Wäldern und Entwässern von Mooren verantwortlich für den anthropogenen Klimawandel. Diese Ursachen des Klimawandels werden im Folgenden beschrieben.

1.2.2.1 Nutzung fossiler Brennstoffe im Energie- und Verkehrssektor

Seit Beginn der Industrialisierung nimmt die Häufigkeit der Nutzung fossiler Brennstoffe rasant zu und fördert somit den Klimawandel. Fossile Brennstoffe bezeichnen Stoffe, die sich aus toten organischen Abbauprodukten von Pflanzen und Tieren über Millionen von Jahren gebildet haben. Zu diesen fossilen Brennstoffen gehören Erdgas, Erdöl und Kohle. Der natürliche Rohstoff Holz wurde im Laufe der Jahre sowohl in Privathaushalten als auch in der Industrie und dem Gewerbe durch Kohle und danach immer häufiger durch Erdgas und Erdöl ersetzt. Gründe für die Nutzung dieser Rohstoffe liegen in der günstigen Gewinnung zur Stromerzeugung für Heizzwecke und den Transport [Europäische Umweltagentur, 2017]. Außerdem werden fossile Brennstoffe wie Erdöl in immer größeren Mengen für die Herstellung von Kunststoff verwendet. Dafür werden die Brennstoffe, die sich seit Millionen von Jahren in den Böden ablagern, abgebaut und verbrannt. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe setzt enorme Mengen an Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre frei. Der Energiesektor ist aus diesem Grund von allen Sektoren derjenige, der am meisten zur Klimaerwärmung beiträgt. Jährlich sind zwei Drittel aller Emissionen auf der Erde auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung zurückzuführen [Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), 2022].

1.2.2.2 Abholzung von Wäldern und Entwässerung von Mooren

Das Abholzen von Wäldern und Entwässern von Mooren hat Einfluss auf das Klima. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts wurde der Waldbestand in Deutschland stark verringert. Teilweise mussten größere Waldflächen für das Bauen von neuen Siedlungen aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums gerodet werden. Zudem gab es eine hohe Nachfrage für den Rohstoff Holz im Gewerbebereich wie in der Köhlerei oder dem Bergbau. Zu Beginn der Industrialisierung konnte sich der Wald etwas erholen, da statt Holz vermehrt neue Materialien wie Steinkohle oder Stahl zum Einsatz kamen. Infolge der steigenden Lebensansprüche der Bevölkerung wurde der Wald zunehmend als Nutzwald betrachtet. So wurde vermehrt Laub- durch Nadelwald ersetzt, da Nadelwälder anspruchsloser sind und in der gleichen Zeit die dreifache Holzmenge lieferten. Während des ersten und zweiten Weltkrieges wurden weitere Waldflächen gerodet oder als Kriegs- und Baumaterial verwendet. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde in Deutschland 15-mal mehr Holz geschlagen als nachwachsen konnte [Forst erklärt GbR, 2021].

Das Abholzen von Wäldern trägt zur Erwärmung des Klimas bei, da so große Mengen von CO₂ in der Atmosphäre verbleiben. Intakte Wälder mit ihren Baumbeständen sind in der

Lage Kohlenstoffdioxid zu binden und in organische Stoffe umzuwandeln. Je länger ein Baum wächst, umso mehr CO₂ nimmt er auf. Aus der 3. Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2012 geht hervor, dass der Waldbestand der Bundesrepublik Deutschland 1,169 Milliarden Tonnen Kohlenstoff speichert und in der Atmosphäre jährlich die CO₂-Konzentration um 52 Millionen Tonnen Kohlendioxid senkt [Stiftung Unternehmen Wald, 2023].

Der Effekt von Moorentwässerung auf das Klima ist noch größer. Der bis ins 17. Jahrhundert noch für den Menschen lebensfeindlicher Raum wurde im Zuge der Industrialisierung trockengelegt. Ziel ist es den Torf, der sich bei der Zersetzung organischen Materials in einem Moor bildet, abzubauen und durch Entwässerung Flächen für Siedlungszwecke sowie für die Land- und Forstwirtschaft nutzbar zu machen. Seit der Industrialisierung werden Moore, besonders in Europa und Südostasien, trocken gelegt, da die Bevölkerungsdichte sehr hoch im Vergleich zur vorhandenen Fläche ist. Den größten Moorrückgang hat Europa zu verzeichnen, mit einem Verlust von circa 57 Prozent der Flächen, im Gegensatz zum Zeitraum vor der Industrialisierung [Bundesamt für Naturschutz, o. D.]. Moore bedecken zwar nur einen Prozent der Erde, sind aber in der Lage 20 Prozent des globalen organischen Kohlenstoffdioxids zu speichern. Durch Entwässerung haben sich Moore jedoch von Kohlenstoffspeichern zu Emmisionsquellen entwickelt und setzen dadurch jährlich bis zu fünf Prozent der gesamten CO₂-Emmissionen in die Erdatmosphäre frei [Weishaupt, 2022].

1.2.2.3 Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist ein weiterer Faktor, der zum Klimawandel beiträgt. Im Jahr 2020 verursachte dieser Bereich in der Bundesrepublik Deutschland 56,1 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid [Umweltbundesamt, 2022].

Neben dem Kohlenstoffdioxid erwärmen noch weitere, weitaus schädlichere Treibhausgase die Erdatmosphäre. Während Methan 25-mal schädlicher ist als Kohlenstoffdioxid, ist es bei Lachgas die 300-fache Menge. Methan und Lachgas machen gemeinsam im Landwirtschaftssektor bis zu 95 Prozent aller Treibhausgas-Emissionen aus. Der Prozess wie Landwirtschaft betrieben wird, hat sich mit der Industrialisierung gewandelt. Durch den Anstieg der Bevölkerung wurden zu Ernährungszwecken mehr Tiere gehalten und die Erträge der Ackerflächen erhöht. Im Bereich der Tierhaltung entstanden Massentierhaltungsbetriebe. Besonders die Haltung von Wiederkäuern wirkt sich auf den Klimawandel aus, weil sie aufgrund ihrer Verdauung erhöht Methan und Kohlenstoffdioxid an die Umwelt abgeben. Allein in der

Bundesrepublik Deutschland verursachte im Jahr 2020 der Landwirtschaftssektor mehr als 63 Prozent aller Methan-Emissionen durch die Massentierhaltung. Zur Ertragssteigerung der Ackerflächen werden stickstoffhaltige Düngemittel eingesetzt. Wird der Boden, in dem sich der Stickstoff befindet, umgelagert, bildet sich durch Kontakt mit Sauerstoff in der Luft Lachgas. Dieses gelangt ungehindert in die Atmosphäre [Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2021].

Anzumerken ist, dass sich die genannten Ursachen nicht nur auf einen Sektor der anthropogenen Ursachen beschränken, da in der Landwirtschaft für den Transport oder die Herstellung der Waren fossile Brennstoffe verwendet werden.

1.3 Auswirkungen

Die Konzentration von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre, wie Methan und Lachgas hat ebenfalls in den letzten 150 Jahren enorm zugenommen. So lag der Wert von Kohlenstoff in den letzten 800.000 Jahren konstant unter 290 ppm, aktuell dagegen bei 415 ppm [Juniper 2022, S. 110 ff]. Dies verdeutlicht das Diagramm in der Abbildung 1.2, das von dem Klimawissenschaftler Jan Tolzmann im Jahr 2021 erstellt wurde. Die erhobenen Daten basieren auf Messungen der EPICA Community Members, dem Europäischen Projekt für Eisbohrungen in der Arktis, zur Untersuchung der Konzentration von CO₂ im arktischen Eiskern aus dem Jahr 2004 [Tolzmann, 2021]. Die Abkürzung ppm heißt im englischen parts per million und wird wissenschaftlich für einen millionsten Teil verwendet.

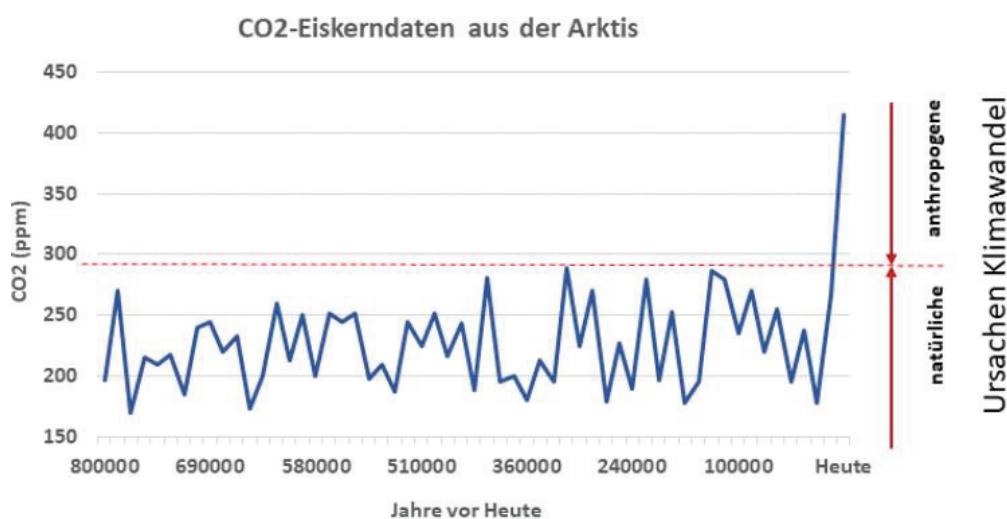


Abbildung 1.2: CO₂-Eiskerndaten aus der Arktis [eigene Darstellung nach Tolzmann, 2021]

Die Veränderungen der Treibhausgaskonzentrationen lassen sich in der Luft anhand der Tabelle 1.1 nachweisen. In dieser Tabelle ist die Konzentration der Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas) in der vorindustriellen Zeit im Vergleich zur Treibhausgaskonzentration im Jahr 2018 dargestellt. Des Weiteren wird die Verweildauer dieser Treibhausgase in der Atmosphäre aufgezeigt. Die Tabelle 1.1 zeigt, wie stark sich die Treibhausgase Methan und Distickstoffoxid im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid auf die Klimaerwärmung auswirken. Bei ppb als Abkürzung handelt es sich um parts per billion. Dies steht für einen Teil von einer Milliarde. Die Daten beruhen auf dem Beitrag „Climate Change 2013“ der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des IPCC aus dem Jahr 2013 [Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, 2020].

Treibhausgas	Vorindustrielle Konzentration	Konzentration im Jahr 2018	Verweilzeit in Jahren	Treibhauspotential
Kohlenstoffdioxid	279 ppm	408 ppm	30 - 1000	1
Methan	730 ppb	1869 ppb	9,1	28
Distickstoffoxid	270 ppb	331 ppb	131	298

Tabelle 1.1: Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre [eigene Tabelle nach Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, 2020]

Desto mehr Treibhausgase in der Luft sind, umso stärker erwärmt sich die Atmosphäre. Dieses Wissen ist seit Jahrzehnten bekannt und erforscht, wie die folgende Historie der Klimaforschung zeigt. Mit Veröffentlichung der These im Jahr 1824, dass die Erdatmosphäre die reflektierte Sonnenstrahlung speichert, gilt bis heute der Franzose Jean-Baptiste Joseph Fourier als Entdecker des Treibhauseffektes [Holly, 2021]. Die Amerikanerin Eunice Foote entdeckt in der Mitte des 19. Jahrhunderts während der Durchführung von Experimenten mit Kohlenstoffdioxid die erwärmenden Eigenschaften dieses Stoffes. Foote stellte damit erstmals einen Vergleich zum Kohlenstoffvorkommen in der Atmosphäre fest. Im Jahr 1862 wurde durch John Tyndall ein Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und den Eiszeiten festgestellt [Ell und Westram, 2022]. Weiterhin fand er heraus, dass die Atmosphäre nicht nur durch Kohlenstoffdioxid erwärmt wird, sondern auch durch andere Gase wie Methan und Wasserstoff [Hardy, 2020].

Der Erste, der auf die Idee gekommen ist, dass der Mensch den Kohlenstoffdioxid-Gehalt in der Atmosphäre beeinflusst, ist der Wissenschaftler Svante Arrhenius, zum Ende des 19. Jahrhunderts.

Der deutsche Meteorologe Hermann Flohn untersuchte im Jahr 1914 die Einflüsse von menschlichen Veränderungen der Natur, wie zum Beispiel den Ausstoß von Ruß und Kohlenstoffdioxid-Emissionen und die Wirkung von Städten auf das lokale Mikroklima. Dabei hat er herausgefunden, dass sich das Klima sehr langsam erwärmt.

Guy Stewart Callendar bestätigte mit seiner Studie die Behauptung von Arrhenius. Er stellte in den 1930er-Jahren fest, dass der Anstieg der globalen Jahresdurchschnittstemperatur zu viel für den natürlichen Klimawandel ist und daher die Ursache anthropogen ist. Anders als heutzutage wurde dies als eine positive Entwicklung angesehen, da so sehr kalte Gebiete, die zu dieser Zeit für den Menschen lebensfeindlich waren, durch eine Erwärmung der Erde bewohnbar gemacht werden können.

Im Jahr 1957 konnten erstmals Roger Revelle und Hans Suess den Einfluss des Menschen auf das Klima wissenschaftlich beweisen. Sie stellten dar, dass CO₂-Isotope aus fossilen Brennstoffen in der Atmosphäre bleiben und nicht wie zuvor von breiten Wissenschaftskreisen angenommen, in den Weltmeeren gebunden werden. Durch mehrjährige Studien verfestigte sich diese Auffassung in der Wissenschaft über den wachsenden CO₂-Gehalt in der Atmosphäre. Hermann Flohn warnte im Jahr 1971 bei der Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft erstmals vor den Folgen des Klimawandels für die kommenden Generationen. Flohn war der Ansicht, dass, wenn die Bevölkerungszahlen weiter explodieren und die Industrialisierung aufgrund der immensen Nutzung von fossilen Rohstoffen weiter voranschreitet, unveränderliche Auswirkungen auf die Gesellschaft zukommen. Im Februar des Jahres 1979 fand die erste Weltklimakonferenz in Kyoto (Japan) statt. Anlass dazu waren die modernen Verfahren zur Klimamodellierung des möglichen Klimawandels. Die anwesenden Wissenschaftler bekamen die Aufgabe, sich Aufmerksamkeit für den Klimawandel in der Politik zu verschaffen.

Nach und nach gewann dann auch das Thema Klimawandel in der Politik und in den Medien immer mehr an Bedeutung. Aus diesem Grund wurde im Jahr 1988 der Weltklimarat IPCC gegründet. Ziel des Klimarates ist es, der Politik genaue Handlungsanweisungen für den Kampf gegen den Klimawandel zu geben. Im Jahr 1992 wurde die erste UN-Klima-Konfe-

renz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro abgehalten, aber erst im Jahr 1997 verpflichteten sich die Industrienationen mit dem Kyoto-Protokoll zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen. Der Klimawandel wurde erst im vierten Sachstandbericht des IPCC im Jahr 2007 wissenschaftlich für real erklärt [Ell und Westram, 2022]. Im Jahr 2015 wurde in Paris die Weltklimakonferenz abgehalten. Bei dieser Konferenz einigten sich erstmals 196 Staaten der Erde darauf, das Klima schützen zu wollen. Das hierzu entwickelte Abkommen von Paris legte das Ziel fest, bis zum Jahr 2100 die globale Jahresdurchschnittstemperatur auf weniger als 2 Grad Celsius, idealerweise sogar unter 1,5 Grad Celsius, im Gegensatz zur vorindustriellen Zeit ansteigen zu lassen. In Folge der Klimakonferenz von Paris verpflichtete sich die Bundesrepublik Deutschland durch die Aufstellung des Klimaschutzgesetzes zur Einhaltung des sogenannten unter-2-Grad-Ziels [Peters, 2022, S. 55 ff.]. Doch von diesem Ziel ist die Bundesrepublik Deutschland aktuell weit entfernt. So wird im Emissions Gap Report des UN-Klimaprogramms darauf hingewiesen, dass selbst wenn alle Staaten ihre selbstaufgerlegten Klimaziele erreichen, sich die Erde dennoch auf bis zu 3,2 Grad Celsius erwärmen wird [Ehring, 2020].

Trotz des Wissens um die Auswirkungen des Klimawandels wurde in den letzten Jahrzehnten nicht ausreichend dafür getan, um den Klimawandel aufzuhalten oder abzumildern. Dies zeigt die Abbildung 1.3, in der die Temperaturanomalien von 1881 bis 2019 für die einzelnen Jahre in der Einheit Kelvin (K) dargestellt sind.

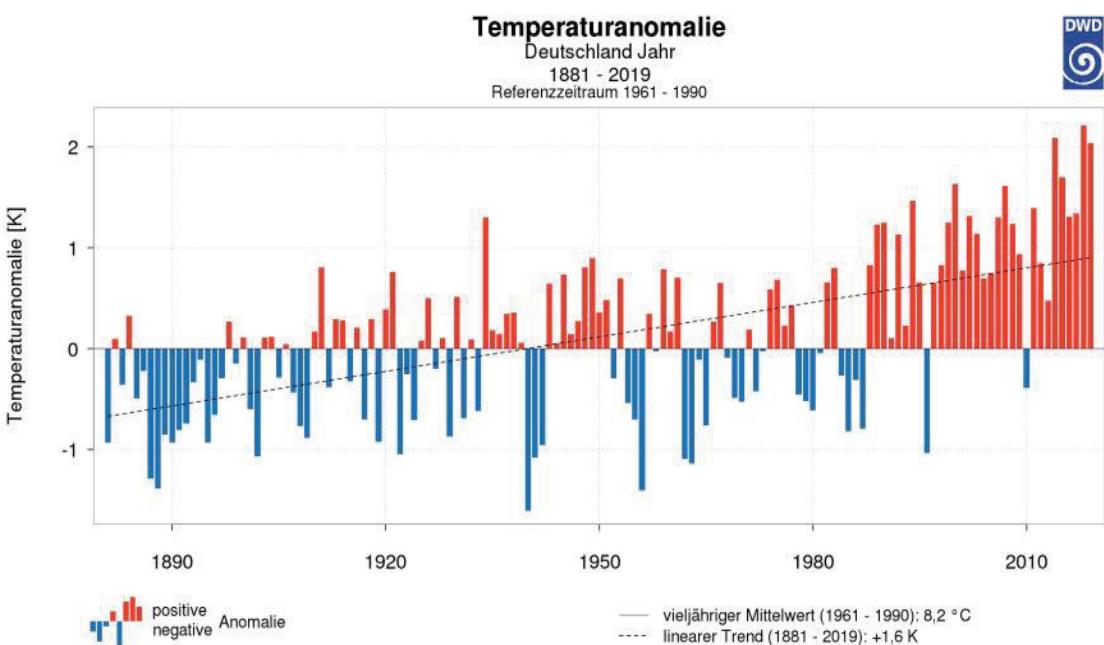


Abbildung 1.3: Temperaturanomalie in Deutschland [Kaspar und Friedrich, 2020, S. 4]

Als Referenzwert gilt der Durchschnitt der Jahrestemperaturen im Zeitraum von 1961 bis zum Jahr 1990. Dabei ist auffällig, dass besonders seit 1988 kaum noch ein Jahr unter der Durchschnittsanomalie liegt. Seit den 1990er-Jahren nehmen die Temperaturen zu und liegen im Jahr 2018 sogar über der Marke von zwei Kelvin [Kaspar und Friedrich, 2020, S. 4]. Anhand der Grafik ist deutlich zu erkennen, wie gravierend die durchschnittliche Jahrestemperatur ansteigt. Eine Erwärmung des Klimas bleibt nicht folgenlos, wie in den nächsten Kapitelabschnitten dargestellt wird.

1.3.1 Weltweit

Klimaveränderungen sorgen dafür, dass die Wetterextreme auf den verschiedenen Teilen der Erde noch extremer werden, als bisher. In Australien, dem trockensten Kontinent, wird es zukünftig noch heißer werden und die Niederschläge gehen noch weiter zurück. Dies fördert die Entstehung von Buschfeuern. Ein deutlicher Trend zu mehr Regen zeigt sich hingegen in der Monsunsaison in Indien, bei der sich die Niederschlagsmenge pro Saison um bis zu zehn Prozent steigern wird. Weiterhin kann eine Erwärmung der Erde über 1,5 Grad Celsius zu Rückkopplungseffekten im Klimasystem führen. Zu den Rückkopplungseffekten gehören das Schmelzen des arktischen Eises, das Abholzen des Amazonas-Regenwaldes, das Auftauen des Permafrostbodens und das Entweichen von Methan aus den Meeresböden. Alle diese Effekte führen dazu, dass enorme Mengen an Treibhausgasen nicht mehr gespeichert werden können und die Erde sich noch schneller als heutzutage erwärmen wird [Juniper, 2022, S. 118 f, 126 f].

Durch die globale Erwärmung verschieben sich die Jahreszeiten. Der britische Umweltaktivist Tony Juniper zeigt in seinem Werk „Erde - was tun?“ auf, dass sich die ersten Blätter und Blüten im Frühjahr in den Jahren zwischen 1955 und 2002 auf der Nordhalbkugel pro Jahrzehnt um einen Tag früher gebildet haben. Dies bestätigt die Studie von Menzel und Dose aus dem Jahr 2005, die den Zeitpunkt der Kirschblüte in Japan ab dem Jahr 1400 untersucht haben. Sie fanden heraus, dass der Beginn der Blütenbildung zwar von Jahr zu Jahr schwankt, aber erst seit dem 20. Jahrhundert zeigt sich ein deutlicher Trend zu einem immer früheren Zeitpunkt. Seit dem Jahr 1952 beginnt die Kirschblüte immer früher im Kalenderjahr [Parmesan, 2006, S. 642]. Im Gegenzug wird der Winter aufgrund der steigenden Temperaturen immer kürzer und der Frühling beginnt früher. Für die Tiere und Pflanzen bedeutet dies ein Kampf ums Überleben, da sie sich aufgrund des Klimawandels an die neuen Gegebenheiten anpassen müssen.

Das Gefahrenrisiko durch die Folgen des Klimawandels wird für die Menschen immer greifbarer, da die Anzahl von Naturkatastrophen stark zunimmt. Weltweit treten Extremwetterereignisse immer häufiger auf, zu denen Hitzewellen, Dürren, Extremniederschläge, Überschwemmungen und Stürme gehören [Lottje 2015]. Zudem trägt der Klimawandel dazu bei, dass Extremwetterereignisse in Gebieten, die bereits häufig von Naturkatastrophen betroffen sind, sich verschlimmern oder überhaupt erst auftreten.

1.3.2 Europa

Auch wenn Europa im Vergleich zu anderen Regionen der Welt weniger betroffen vom Klimawandel ist, zeigen sich dort Folgen. Zu den größten Katastrophen des 21. Jahrhunderts durch Extremwetterereignisse in Europa zählen:

Die Hitzewelle von Juni bis September 2003 mit 70.000 Todesopfern, davon allein 9.000 in der Bundesrepublik Deutschland und einer Schadenshöhe von 13 Milliarden US-Dollar. Die höchste Temperatur wurde in Portugal in der Region Alentejo mit 47,5 Grad Celsius gemessen [Haug, 2018].

In West- und Mitteleuropa ereignete sich vom 12. bis zum 25. Juli 2021 ein Jahrhundert-hochwasser mit über 200 Opfern. Genaue Zahlen können nicht genannt werden, da immer noch Menschen als vermisst gelten. Die Schadenshöhe beträgt allein für versichertes Eigentum mindestens 4,5 bis 5,5 Milliarden Euro [Bundeszentrale für politische Bildung, 2021].

Zukünftig wird der Meeresspiegel durch das Abschmelzen des arktischen Eises und durch Wärmeausdehnung weiter ansteigen. Davon wird in Europa besonders die Niederlande betroffen sein, da ein Viertel des Landes unter der Meeresspiegelhöhe liegt [Surfrider Foundation Europe, 2019]. Aus diesem Grund schützt die Niederlande die Küstenregionen seit Jahrhunderten durch das Bauen von Dämmen und Deichen. Sturmfluten in den letzten Jahren zeigten jedoch, dass die bestehenden Baumaßnahmen einen immer geringer werdenden Schutz vor Hochwasser und Überschwemmungen bieten.

Infolge des Klimawandels treten in Europa vermehrt Waldbrände durch Dürren auf. Seit dem Beginn der Datenerhebung im Jahr 2006 verbrannten noch nie so viele Flächen wie im Jahr 2022. Bereits im August 2022 verbrannten mehr als 600.000 Hektar. Anders als in den Jahren zuvor waren nicht nur hauptsächlich die Mittelmeerregionen von Waldbränden betroffen, sondern weite Teile Mitteleuropas [Zeit Online GmbH, 2022].

1.3.3 Deutschland

Aufgrund der hohen Trockenheit im Sommer in Deutschland steigt die Waldbrandgefahr in Bayern sowie in weiten Teilen Ostdeutschlands. Die überdurchschnittlich trockenen und heißen Sommer der vergangenen Jahre, tragen dazu bei, dass der Grundwasserspiegel absinkt und zu Wasserknappheit führt. Ebenso führte im Jahr 2022 der Niedrigwasserstand des Rheins zu Lieferengpässen, da der Fluss von Containerschiffen teilweise nicht mehr befahren werden konnte. Dem gegenüber häufen sich seit Jahren die Meldungen von Starkregenereignissen und Hochwassern, bei denen die Hochwasserkatastrophe in Westdeutschland im Juli des Jahres 2021 als verhehrendste Naturkatastrophe zu nennen ist. Im „Faktenpapier 2022 zu Extremwetter in Deutschland“ beschreibt der Deutsche Wetterdienst in Zusammenarbeit mit dem Extremwetterkongress die Auswirkungen des Klimawandels als gravierend. Auffällig ist, dass die Temperaturen besonders im Sommer in der Bundesrepublik Deutschland rasant zunehmen. Seit den 1950er Jahren zeigt sich ein positiver Trend der Jahresdurchschnittstemperatur. Diese steigt seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 in Deutschland auf 1,6 Grad Celsius an. In den letzten 20 Jahren wurde in sieben Jahren die 2-Grad-Marke überschritten. Neun der zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen treten erst im 21. Jahrhundert auf. Die Bundesrepublik Deutschland wird in Folge des Klimawandels immer wärmer. Dies lässt sich neben anderen Faktoren an der Anzahl der Hitze- und Eistage erkennen. Der Deutsche Wetterdienst und der Extremwetterkongress haben dies am Beispiel der Stadt Hamburg analysiert.

Hitzetage definieren Tage im Jahr, an denen das Temperaturmaximum der Lufttemperatur mindestens 30 Grad Celsius beträgt. Während in den 1950er-Jahren durchschnittlich drei Hitzetage gemessen wurden, sind es heute neun Tage. Ein Eistag liegt vor, wenn ein Tagestemperaturmaximum von mindestens null Grad Celsius gemessen wurde. In Hamburg lag die Anzahl der Eistage seit dem Jahr 1881 bei 28 Tagen. Seitdem hat die mittlere Anzahl der Eistage auf 19 Tage abgenommen. Eine spezielle Auswirkung auf die Statistik hat der Winter 2019/2020 in dem es erstmals seit dem Beginn der Wetteraufzeichnungen keinen einzigen Eistag gab. Der Sommer 2022 war geprägt von einer wochenlangen Hitzewelle bei denen an vier Standorten des Deutschen Wetterdienstes Temperaturen von über 40 Grad Celsius gemessen wurden. Aufgrund der zunehmenden Dürre in der Bundesrepublik Deutschland häufen sich die Meldungen und die Gefahren von Waldbränden. Während im Zeitraum vom Jahr 1991 bis zum Jahr 2020 durchschnittlich 10 Tage die Waldbrandstufe 4

ausgerufen wurde, sind es im Jahr 2022 von März bis zum August bereits 29 Tage [Deutscher Wetterdienst & Extremwetterkongress Hamburg, 2022, S. 5 ff.].

Im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für die Bundesrepublik Deutschland werden im „Teilbericht 6: Integrierte Auswertung-Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe“ untersucht, wie sich das Klima in den verschiedenen Regionen Deutschlands ändert. Dazu werden bereits wie in der Analyse aus dem Jahr 2015 Klimaraumtypen berechnet. Diese Klimaraumtypen definieren sich als in Bezug auf ihr Klima von einander abgegrenzte, homogene Räume. Bezug wird auf die Daten des Deutschen Wetterdienstes für die Bezugsräume 1971 bis 2000, 2031 bis 2060 und 2071 bis 2100 genommen [Kahlenborn et al., 2021, S. 89 ff.]. Anhand der Darstellung in Abbildung 1.4 ist ersichtlich, dass die Bundesrepublik Deutschland aus sieben Klimaraumtypen besteht. Diese werden in der Tabelle 1.2 definiert und zeigt die aktuellen Klimaverhältnisse in den verschiedenen Klimaraumtypen auf sowie deren zukünftige Entwicklung.

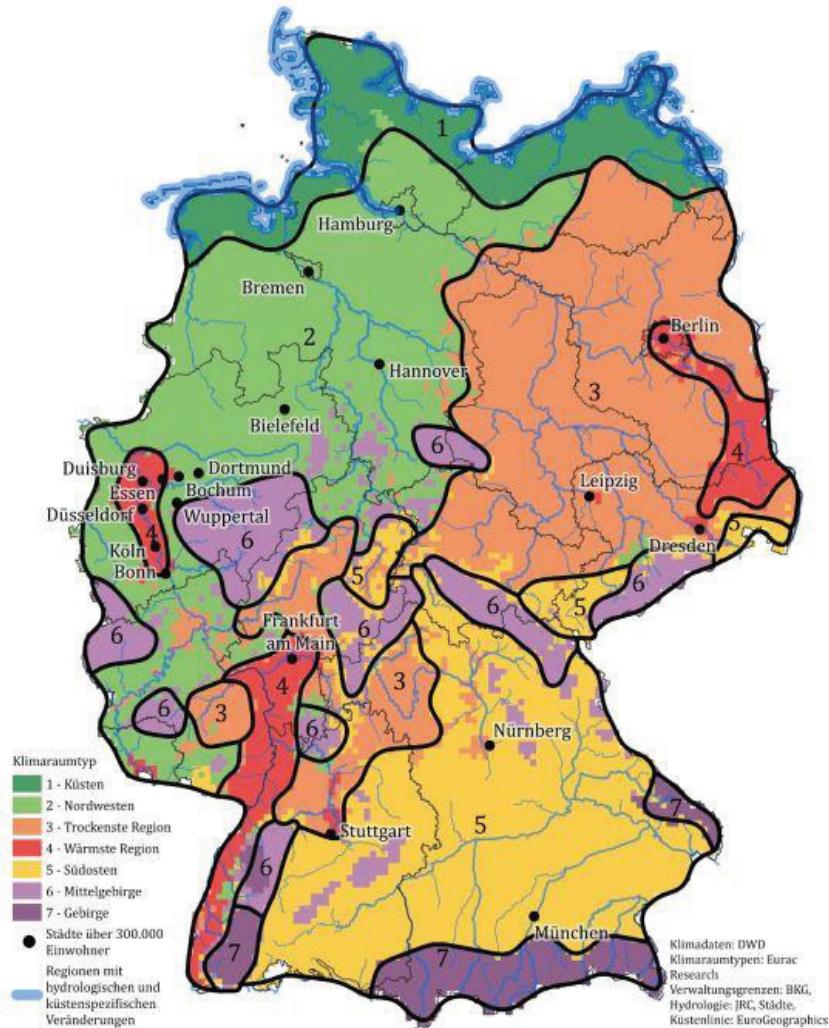


Abbildung 1.4: Klimaraumtypen Deutschlands [Kahlenborn et al., 2021, S. 90]

Nr.	Klima-raumtyp	Farbe	Klimaprognose Deutschlands
1	Küsten	dunkelgrün	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • höchste extreme Windgeschwindigkeiten • geringste Temperaturschwankungsbreite im Jahres- und im Tagesmittel <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringer Temperaturanstieg (dadurch weniger Frosttage) • geringe durchschnittliche Niederschlagsänderungen, • mehr Starkregentage • Tendenz zu feuchteren Wintern
2	Nordwesten	hellgrün	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klima ähnlich wie an den Küsten, aber etwas weniger Wind und etwas höhere Temperaturen <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringer Temperaturanstieg (dadurch weniger Frosttage) • geringe durchschnittliche Niederschlagsänderungen, • mehr Starkregentage • Tendenz zu feuchteren Wintern
3	Trockenste Region	orange	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringste Niederschläge und meiste Trockentage • hohe Sommertemperaturen <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • durchschnittlicher Temperaturanstieg • durchschnittliche Niederschlagsänderungen • starker Anstieg an Hitzetagen und tropischen Nächten • Tendenz zu feuchteren Wintern
4	Wärmste Region	rot	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • höchste mittlere Temperatur • meiste Hitzetage und tropische Nächte <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • hoher Zuwachs an heißen Tagen und Tropennächten • mittlerer Niederschlagszuwachs im Winter
5	Südosten	gelb	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • hohe Kontinentalität

			<p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • wird sich von allen Regionen am meisten erwärmen • deutlich mehr Hitzetage • Niederschlagsabfall und längere Trockenphasen im Sommer
6	Mittel-gebirge	helllila	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • kühl-gemäßigt • hohe Winterniederschläge • häufige Starkregentage <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zunahme Winterniederschläge und Starkregentage ganzjährig • starker Rückgang des Niederschlags im Sommer • Zunahme an Trockentagen
7	Gebirge	dunkellila	<p>Aktuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • niederschlagreich mit viel Niederschlagsextremen • niedrige Temperaturen <p>Tendenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abnahme Niederschläge im Sommer und Zunahme der Trockentage • Zunahme der Niederschläge im Winter (vermehrt als Regen) • Starke Zunahme von Starkregentagen • Starke Abnahme von Frosttagen • Durchschnittliche Erwärmung und Anstieg der Hitzetage am größten

Tabelle 1.2: Klimaraumtypen [eigene Tabelle nach Kahlenborn et al., 2021, S.90 ff.]

Die Folgen des Klimawandels zeigen sich verstärkt durch trockene und wärmere Sommer sowie milder Winter. Das Vorkommen von kurzfristigen Wetterextremen nimmt enorm zu. Die Herausforderungen weichen dabei je nach Region ab, wie in der Tabelle 1.2 beschrieben.

1.4 Klimaanpassung

Es ist von enormer Wichtigkeit, dass sich die Städte und Gemeinden auf die Klimaanpassung vorbereiten. Es muss etwas getan werden, damit die Ziele des Klimaschutzes und der Klimaanpassung erreicht werden, um die Folgen des Klimawandels zu minimieren. Larry Elliot veröffentlichte dazu in der Zeitung „The Guardian“ einen Artikel über die Auswirkungen, wenn Städte zukünftig Anpassungsmaßnahmen zum Schutz vor Extremwetterereignissen nicht in die Stadtplanung miteinbeziehen. Laut Elliot schätzt die Weltbank die Folgen des Klimawandels im Jahr 2050 weltweit auf 158 Milliarden US-Dollar. Zudem sollen 1,3 Milliarden Menschen vom Klimawandel unmittelbar bedroht werden [Elliot, 2016].

Aufhalten lässt sich der Klimawandel nicht, aber die Folgen können verringert werden. Aus diesem Grund müssen sich die Städte und Gemeinden in der Bundesrepublik Deutschland an die veränderten Klimabedingungen anpassen [Czorny und Kanning, 2022, S. 170].

Das größte Problem der weltweiten Klimaanpassung ist nicht das Interesse an Belangen des Klimawandels, sondern die Umsetzung dessen. Die Ursache dafür liegt neben dem Mangel an finanziellen Mitteln, an einer fehlenden Hierarchiestruktur für Belange des Klimaschutzes [Knieling und Müller 2015, S. 10]. Aus diesem Grund wurde am 17. Dezember 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, kurz DAS genannt von der Bundesregierung beschlossen. Diese Strategie wird alle fünf Jahre überprüft und erneuert. Die letzte Fortschreibung fand im Jahr 2020 statt [Ministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020].

Ziel der Deutschen Anpassungsstrategie ist sowohl die Verringerung der Verletzlichkeit der Regionen in der Bundesrepublik Deutschland in Bezug auf die Folgen des Klimawandels als auch eine Erhöhung der Anpassungsfähigkeit verschiedener Bereiche zu erzielen. Zur Erfüllung der Ziele der Deutschen Anpassungsstrategie ist die Umsetzung mehrerer Schritte notwendig. Für die Aufstellung der DAS an den Klimawandel erarbeitet die Bundesregierung gemeinsam mit den Bundesländern und anderen Akteuren wie Forschungseinrichtungen mögliche Klimafolgen für die einzelnen Regionen Deutschlands. Dazu werden Gefahren und Risiken durch den Klimawandel ermittelt und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten berechnet. Aus dieser Analyse werden Handlungsoptionen entwickelt und entsprechende Gegebenmaßnahmen für die jeweiligen Folgen aufgestellt.

Die Anpassungsstrategie beinhaltet Handlungsoptionen für 15 Bereiche in der Bundesrepublik Deutschland, die heute bereits vom Klimawandel betroffen sind oder es zukünftig sein werden [Bundeskabinett 2008, S. 4 ff.].

Die Sektoren der 15 Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel sind:

- Menschliche Gesundheit
- Bauwesen
- Wasserhaushalt, die Wasserwirtschaft sowie Küsten- und Meeresschutz
- Boden
- biologische Vielfalt
- Landwirtschaft
- Wald- und Forstwirtschaft
- Fischerei
- Energiewirtschaft einschließlich deren Wandel, der Transport und die Versorgung
- Finanzwirtschaft
- Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur
- Industrie und Gewerbe
- Tourismuswirtschaft
- Querschnittsaufgaben Raum-, Regional- und Bauleitplanung
- Bevölkerungsschutz

Hierbei spielt der Bereich Querschnittsaufgaben Raum-, Regional- und Bauleitplanung eine entscheidende Rolle, da sie ein großes Vermeidungspotential für die Folgen des Klimawandels bietet.

2 Instrumente der Planung

Eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel gelingt nur, wenn alle Bereiche eines Staates mit eingebunden sind. Städte und Gemeinden haben vielfältige Möglichkeiten durch Planungsinstrumente resilenter gegen Extremwetterereignisse zu werden. Mit welchen Mitteln dies gelingen kann, wird im Folgenden beschrieben.

2.1 Raumordnung

Die Raumordnung ist ein Instrument, um eine nachhaltige Planung und Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland und seiner Teilläume sicherzustellen. Sie besteht aus einem gestuften System, welches sich aus mehreren Planungsebenen zusammensetzt.

Eine schematische Übersicht der Planungsebenen ist in der Abbildung 2.1 dargestellt.

Schematische Übersicht der Planungsebenen in der Bundesrepublik Deutschland

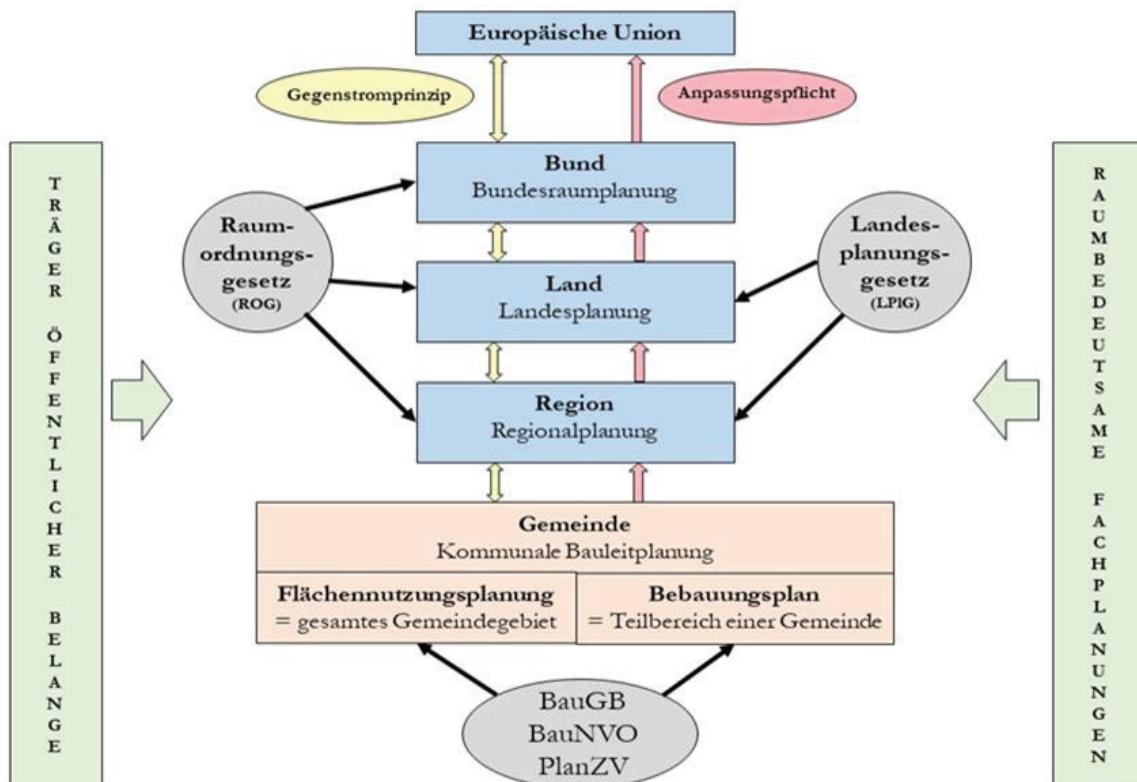


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Planungsebenen in der Bundesrepublik Deutschland [eigene Darstellung]

In der schematischen Darstellung weisen die höheren Ebenen eine rahmenggebende und grundlegende Planung auf. Desto niedriger die Planungsebene ist, umso konkreter kann die Anpassung an den Klimawandel erfolgen. Wichtig ist, dass die Planungsebenen sich gegenseitig abstimmen und die untergeordneten Ebenen sich an die Gesetze und Grundsätze der höheren Ebenen halten. Diese gegenseitige Beeinflussung der Planungsebenen wird als „Gegenstromprinzip“ bezeichnet [Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2023]. Zusätzlich müssen sich die Verantwortlichen der jeweiligen Planungsebenen für eine zielorientierte Raumplanung mit den Trägern öffentlicher Belange und anderen Fachplanungen abstimmen.

2.2 Raumplanung des Bundes

Nach der Raumplanung der Europäischen Union stellt die Raumordnung des Bundes die höchste Planungsebene innerhalb der Bundesrepublik Deutschland dar, wie in der Abbildung 2.1 ersichtlich ist. Die Raumplanung auf nationaler Ebene legt grundsätzliche Aufgaben und Ziele für die Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland überörtlich und fachübergreifend fest und wird seit dem Jahr 2008 im Raumordnungsgesetz (ROG) geregelt.

Der § 1 ROG definiert die Aufgaben und Leitvorstellungen der Raumordnung in der Sicherung, der Ordnung und der Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland und seiner Teile. Dazu ist es erforderlich, die verschiedenen Anforderungen an den Raum miteinander abzustimmen. Ziel der Raumordnung ist eine nachhaltige und ausgewogene Raumgestaltung der sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Nutzungsansprüche. Für eine nachhaltige Raumentwicklung ist es gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG notwendig, Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels anzuwenden [Umweltbundesamt, 2020]. Verantwortlich für die Aufstellung der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland ist das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen in Zusammenarbeit mit anderen Bundesministerien und Fachbehörden [Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2023].

Mit dem § 7 Abs. 1 S. 2 erlaubt das ROG, Räume nur für bestimmte Nutzungen und Funktionen zu öffnen. Gemäß § 7 Abs. 3 Nr. 1 bis 3 ROG gehören zu diesen Räumen die Ausweisung von Vorranggebieten, Vorbehaltungsgebieten und Eignungsgebieten.

Vorranggebiete bezeichnen Gebiete, in denen bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen vorrangig gegenüber anderen Funktionen oder Nutzungen sind. Nutzungen, die mit der vorrangigen Nutzung nicht vereinbar sind, werden in diesem Raum ausgeschlossen.

Demnach hat ein Vorranggebiet den Zweck bestimmte standortgebundene Nutzungen zu sichern oder diese dort zu entwickeln [Scholich, 2018, S. 2843]. In Vorbehaltsgebieten dagegen wird einer raumbedeutsamen Funktion oder Nutzung bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen diesem ein höheres Gewicht verliehen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Ausweisung von Eignungsgebieten. Diese Gebiete lassen bestimmte raumbedeutsame Maßnahmen oder Nutzungen im Außenbereich nach § 35 des Baugesetzbuches (BauGB) zu, ohne dass diese sich nachteilig für andere raumbedeutsame Belange auswirken. An anderer Stelle sind die Maßnahmen im Planungsraum jedoch nicht zulässig. Eignungsgebiete werden in den letzten Jahren zum Beispiel für den Aufbau und die Nutzung von Windkraftanlagen ausgewiesen. Eignungsgebiete, die sich im Meer befinden, werden als „Eignungsgebiet für den Meeresbereich“ bezeichnet.

Zur Erleichterung der Zusammenarbeit zwischen dem Bund und den Bundesländern wurden im Jahr 2016 die Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt. Das Leitbild 4 „Klimawandel und Energiewende“ soll dazu beitragen, dass sich in Folge der Klimaerwärmung die räumlichen Strukturen an den Klimawandel anpassen [Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2016].

2.3 Raumordnung der Bundesländer

Als zweithöchste nationale Raumplanungsebene ist die Landesplanung zu benennen. Diese soll im Wesentlichen eine nachhaltige Entwicklung der Raumnutzungen und Raumfunktionen für die Bundesländer und deren Teilräume bestimmen [Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2023]. Der § 13 ROG legt fest, dass jedes Bundesland bis auf die Länder Hamburg, Berlin und Bremen einen Raumordnungsplan für das Landesgebiet aufzustellen hat. Eine Umsetzung der Landesplanung erfolgt durch die Aufstellung von Landesplanungsgesetzen, Landesentwicklungsplänen und Landesentwicklungsprogrammen [Stüer, 2015, S. 799]. Im Folgenden wird die Landesplanung in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern vorgestellt. Diese werden ausgewählt, da es die Bundesländer mit der höchsten beziehungsweise der geringsten Bevölkerungsdichte aller Flächenländer in der Bundesrepublik Deutschland sind.

2.3.1 Klimaanpassung des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen

Nordrhein-Westfalen hat im Jahr 2021 als erstes Bundesland ein eigenständiges Klimaanpassungsgesetz (KlAnG) erlassen. Durch dieses Gesetz wird festgelegt, dass die Träger öffentlicher Aufgaben und die Flurbereinigungsverwaltung die Klimaanpassung als Zweck und Ziel bei ihren Planungen und Entscheidungsaufgaben mitberücksichtigen müssen [Hunke-Klein, 2022, S. 145]. Das Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen ist beschlossen worden, da auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene bereits Anpassungsstrategien entwickelt wurden, jedoch noch nicht auf der Ebene der Bundesländer. Weiterhin stehen die Vertragsparteien nach dem Übereinkommen von Paris infolge der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen in der Pflicht, für eine Verbesserung der Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel zu sorgen (BGBl. 2016 II S.1082, 1083). Mit diesem Landesgesetz soll die Bedeutsamkeit der Anpassung auf die Auswirkungen von Extremwetterereignissen, ausgelöst durch den Klimawandel, verdeutlicht werden. Es wurden dazu Regelungen zum Umgang mit der Klimaanpassung entwickelt.

Ziel des Klimaanpassungsgesetzes (KlAnG) ist es, in einem mittel- bis langfristigen Rahmen die Auswirkungen und mögliche Schäden des Klimawandels durch Anpassungsmaßnahmen zu verringern [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2020].

Das Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen bildet gemäß § 8 Abs. 1 KlAnG die Grundlage für die Erstellung einer Klimaanpassungsstrategie für das Land Nordrhein-Westfalen durch die Landesregierung und kommunale Spitzenverbände. Es sollen dazu handlungsspezifische und auf die Region abgestimmte Anpassungsmaßnahmen erstellt werden. Hier greift das Berücksichtigungsgebot gemäß § 6 KlAnG nach dem die Träger öffentlicher Aufgaben in ihren Planungen und Entscheidungen die Ziele und Zwecke des KlAnG, die Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu berücksichtigen haben. Basis für die bisherige Klimaanpassungsstrategie bildet neben dem KlAnG der Klimaschutzplan. Im Klimaschutzplan aus dem Jahr 2015 werden 6 Sektoren und 16 Handlungsfelder mit Anpassungsmaßnahmen vorgestellt [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015 S. 62, 188].

Die Sektoren und Handlungsfelder sind in den Abbildungen 2.2 und 2.3 zu finden.



Abbildung 2.2: Sektoren des Klimaschutzplanes 2015 [eigene Darstellung nach Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015]



Abbildung 2.3: Handlungsfelder des Klimaschutzplanes 2015 [eigene Darstellung nach Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015]

Im Bundesland Nordrhein-Westfalen wird zur Landesplanung ein Landesraumentwicklungsplan erstellt. Die aktuelle Fassung des Landesraumentwicklungsplans von Nordrhein-Westfalen besteht seit dem 06. August 2019 und wägt gemäß § 17 Abs. 1 des Landesplanungsgesetzes Nordrhein-Westfalen die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege mit anderen raumbedeutsamen Planungen ab. Der Landesraumentwicklungsplan weist zum Beispiel darauf hin, dass durch Klimaanpassung in der Regional- und Bauleitplanung die Widerstandsfähigkeit von Siedlungsräumen gegenüber Klimafolgen verbessert werden kann [Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019, S. 55].

2.3.2 Klimaanpassung des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern

Anders als im Bundesland Nordrhein-Westfalen liegt für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern bisher kein Klimaanpassungsgesetz vor. Es wurde jedoch in der Koalitionsvereinbarung der Landesregierung festgelegt, dass die Anpassung an die Folgen des Klimawandels Bestandteil eines aufzustellenden Klimaschutzgesetzes werden soll. Mit diesem Gesetz möchte die Landesregierung zukünftig dem Klimaschutz und der Klimaanpassung mehr Gewicht verleihen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken [Baron, 2023].

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern wird gemäß § 4 Abs. 1 des Gesetzes über die Raumordnung und Landesplanung des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LPIG M-V) zur Landesplanung ein Landesraumentwicklungsprogramm vom Innenministerium aufgestellt. Die aktuelle Fassung dieses Programms ist am 09. Juni 2016 in Kraft getreten und soll dazu beitragen das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern nachhaltig unter Einbeziehung einer fachübergreifenden raumbezogenen Planung zu entwickeln. Das Landesraumentwicklungsprogramm weist auf die Herausforderung durch Klimaveränderungen hin. Es legt grundsätzliche Handlungs- und Anpassungskonzepte zur Klimaanpassung gegen die Folgen des Klimawandels, wie Überflutungen oder Erosion fest. Das Kapitel 2.7 des Landesraumentwicklungsprogramms stellt die Wichtigkeit der Sicherung der Natur unter anderem durch Klimaanpassungsmaßnahmen wie Gewässer- und Hochwasserschutz dar [Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung, 2016, S. 1].

2.4 Regionalplanung

Als Regionalplanung wird das Bindeglied zwischen der Raumplanung der Länder und der kommunalen Planung bezeichnet. Durch den § 13 ROG müssen die Bundesländer für die

einzelnen Teilbereiche eines Landes Regionalpläne aufzustellen. Bei dieser wird das Bundesland in einzelne Teilläume eingeteilt, für die jeweils der Raum geordnet und geplant wird. Der § 13 Abs. 2 ROG legt fest, dass die Regionalpläne aus dem Raumordnungsplänen des jeweiligen Landes zu entwickeln sind. Außerdem sind bei den Regionalplänen kommunale Planungen mit zu berücksichtigen. Gemäß § 5 Abs. 1 ROG müssen die Raumordnungspläne beispielsweise Festlegungen zu geplanten Siedlungs- und Freiraumstrukturen enthalten. Dazu gehören Freiräume zur Vorbeugung von Hochwasser oder die Einteilung von Raumkategorien zur Erleichterung der Umsetzung der Raumordnungsziele. Die Regionalplanung trifft konkretere Festlegungen als die Landesplanung. Die Regionalpläne und deren Verbände werden je nach Bundesland anders benannt, wie in Kapitel 2.4.1 und 2.4.2 dieser Arbeit die Regionalplanung anhand der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern aufgezeigt wird.

2.4.1 Regionalplanung des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen besteht aus sechs Regionalplanungsgebieten. Diese setzen sich aus den Regierungsbezirken Arnsberg, Düsseldorf, Detmold, Köln, Münster sowie dem Regionalverband des Ruhrgebietes zusammen. Die Regionalplanungsbehörden haben die Aufgabe Regionalpläne zu erstellen [Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, 2023].

Der Regionalplan von Düsseldorf weist in einem eigenen Kapitel auf die Erforderlichkeit des Klimaschutzes und der Klimaanpassung hin. Zusätzlich wird erwähnt, dass Klimaanpassungsmaßnahmen zeitgleich Klimaschutzmaßnahmen sein können. Dies tritt beispielsweise bei einer Erhöhung des Stadtgrünanteils auf. Durch das Anpflanzen von Sträuchern entstehen nicht nur Kaltluftschneisen, sondern die Pflanzen senken das Vorkommen von Kohlenstoffdioxid in der Luft. Mithilfe der Regionalplanung lassen sich die Ziele und Grundsätze des Landesentwicklungsplanes von Nordrhein-Westfalen konkreter umsetzen. Dazu gehören Maßnahmen zur Flächeneinsparung mit einem Vorrang für das Bauen in der Innenentwicklung, das Anpflanzen und der Erhalt der Natur und des Stadtgrüns sowie Vorgaben zur Sicherung und Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen zum Schutz vor Hochwasser [Bezirksregierung Düsseldorf, 2022, S. 42 f.].

2.4.2 Regionalplanung des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern werden aus dem Landesraumentwicklungsprogramm für die einzelnen Teilräume des Landes regionale Raumentwicklungsprogramme erstellt. Das Bundesland wird für die Regionalplanung in vier Planungsregionen eingeteilt. Diese sind die Region Rostock, Westmecklenburg, die Mecklenburgische Seenplatte und Vorpommern. Verantwortlich für die Aufstellung der Regionalen Raumentwicklungsprogramme sind die Planungsverbände der einzelnen Planungsregionen [Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit, o. D.].

Im Raumentwicklungskonzept der Mecklenburgischen Seenplatte sind 24 Projekte enthalten, die durch deren Umsetzung dazu beitragen sollen, die raumplanerischen Entwicklungsziele der Region zu erreichen. Als Leitprojekt Nummer 11 wird das Klimamanagement vorgestellt. Der Planungsverband der Mecklenburgischen Seenplatte sieht im Klimaschutz und der Klimaanpassung ein großes Potential dem Klimawandel entgegenzuwirken, da dieses Thema viele weitere Bereiche wie den Verkehr oder die Siedlungsentwicklung miteinbezieht. Durch die Umsetzung von Maßnahmen der Klimaanpassung kann der Erhalt der natürlichen Ressourcen, die Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes sowie der Wirtschaft und der Energieversorgung sichergestellt werden [Regionaler Planungsverband Mecklenburgische Seenplatte, 2021, S. 93, 105].

2.5 Bauleitplanung

Gemäß § 1 BauGB dient die Bauleitplanung dem Zweck, die bauliche und sonstige Nutzung von Grundstücken einer Gemeinde für eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, für die jetzige und die nachfolgenden Generationen zu planen, zu steuern und zu sichern. Durch die Bauleitplanung sind Planungsinstrumente gegeben, die in großem Maße in der Lage sind, Risiken durch die Folgen des Klimawandels abzumildern, indem Flächen für den Hochwasserschutz oder zur Reduzierung von Hitzebelastungen freigehalten werden [Dieckmann et al., 2015, S. 53]. Der § 1 Abs. 5 BauGB beinhaltet die Möglichkeit zur Regelung, dass Bauleitpläne die Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt, den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen sowie Aspekte des Klimaschutzes und der Klimaanpassung fördern sollen.

Am 30. Juli 2011 ist das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“, die BauGB-Klimaschutznovelle in Kraft getreten. Anlass für den ergänzenden Paragrafen war die Reaktorkatastrophe in Fukushima im März 2011 und

ein damit verbundenes stärkeres Bewusstsein für die Umwelt. Dieses Gesetz beinhaltet Änderungen sowie Ergänzungen in den Bereichen der Bauleitplanung, des Städtebaulichen Vertrages und des besonderen Städtebaurechts. Ebenfalls soll durch dieses Gesetz der Ausbau von erneuerbaren Energien, wie Windenergie- oder Photovoltaikanlagen, vereinfacht werden.

Der § 1 Abs. 5 BauGB ist um den Satz 2, die „Klimaschutzklausel“ zum Wohle des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel mit folgendem Wortlaut ergänzt worden: Die Bauleitpläne „sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln. Hierzu soll die städtebauliche Entwicklung vorrangig durch Maßnahmen der Innenentwicklung erfolgen“. Mit dieser Regelung soll der Aspekt des Klimaschutzes im Gegensatz zu anderen Belangen der Bauleitplanung eine Aufwertung erhalten. Zur Einsparung von Flächen und dem Erhalt der Natur ist Innen- vor Außenentwicklung durchzuführen.

Zudem ist der § 1a BauGB ergänzt worden. Diese Ergänzung wird als Abwägungsbelang bezeichnet. Durch den ergänzten Absatz 5 sind bei der Planung von Städten und Gemeinden Erfordernisse des Klimaschutzes zu beachten. Es sollen hierbei nicht nur Maßnahmen Gewicht verliehen werden, die dem Klimawandel entgegenwirken, sondern auch solchen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Bei der Berücksichtigung des § 1 a BauGB sind diese mit den Umwelt- und Naturschutzbelangen gemäß § 1 Abs. 7 BauGB abzuwägen.

Die Darstellungen des Flächennutzungsplanes und die Festsetzungen des Bebauungsplanes sind um Möglichkeiten für den Klimaschutz und der Klimaanpassung erweitert worden. So ist es im Sinne des § 5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB nun möglich Anlagen, Einrichtungen und sonstige Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, darzustellen. Es wurde der Festsetzungskatalog gemäß § 9 Abs. 1 BauGB um einige Regelungen zugunsten des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel erweitert. Gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB können Flächen und deren Nutzung, die für besondere Anlagen oder Vorkehrungen zum Schutz oder zur Vermeidung von schädlichen Umwelteinwirkungen angelegt sind, von einer Bebauung freigehalten werden.

Bei den Städtebaulichen Verträgen gemäß § 11 BauGB gibt es keine Einschränkungen mehr bei der Art der Anlagen und Einrichtungen für die Erzeugung erneuerbarer Energien, für die

Kraft-Wärme-Kopplung und bei der Fern- und Nahwärmeversorgung. Weiterhin können durch den neu hinzugefügten § 11 Abs. 2 Nr. 5 BauGB in einem Städtebaulichen Vertrag Vereinbarungen in Bezug auf die energetische Qualität der Gebäude getroffen werden [Krautzberger, 2011].

Zur Erleichterung und Durchsetzbarkeit von Baumaßnahmen werden Bauleitpläne erstellt. Zu diesen gehören der Flächennutzungsplan sowie der Bebauungsplan. Die Pläne sind von den Gemeinden gemäß § 2 Abs. 1 BauGB in eigener Verantwortung aufzustellen.

2.5.1 Flächennutzungsplan

Der Flächennutzungsplan wird als vorbereitender Bauleitplan bezeichnet, da dieser den Rahmen für weitere Planungen vorgibt. Der Flächennutzungsplan hat die Aufgabe die Nutzung und die Entwicklung von Flächen einer Gemeinde in den Grundzügen darzustellen. Dies ergibt sich aus § 5 BauGB, der den Zweck des Flächennutzungsplans darin sieht, „die sich aus der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung ergebende Art der Bodennutzung nach den voraussehbaren Bedürfnissen der Gemeinde in den Grundzügen darzustellen“.

Ein Flächennutzungsplan ist so aufgebaut, dass er aus zwei Komponenten, einem textlichen und einem zeichnerischen Teil besteht. Im zeichnerischen Teil, der Planzeichnung, wird die geplante Nutzung und Entwicklung der Flächen einer Gemeinde in Form einer Karte grafisch dargestellt. Im § 5 Abs. 2 BauGB werden alle im Flächennutzungsplan darstellbaren Flächenarten aufgelistet. Zu diesen Flächen gehören unter anderem Bauflächen, Baugebiete, Wasserflächen, Grünflächen oder Flächen, die Anlagen, Einrichtungen und sonstige Maßnahmen aufweisen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Zur Erklärung der grafischen Darstellung auf einem Flächennutzungsplan wird eine Zeichenerklärung gemäß der Planzeichenverordnung als Legende aufgeführt. Die Planzeichenverordnung, die als Rechtsverordnung gemäß § 2 Abs. 5 Nr. 4 BauGB erlassen wurde, enthält alle verwendbaren Planzeichen.

Der textliche Teil auf dem Flächennutzungsplan besteht aus verwendeten Rechtsgrundlagen, Verfahrensvermerken oder Hinweisen. Mit diesem soll die zukünftige städtebauliche Entwicklung einer Gemeinde erläutert werden. Dem Flächennutzungsplan ist gemäß § 5 Abs. 5 BauGB eine Begründung beizufügen. In dieser Begründung werden die Ausführungen, Gründe und der Zweck für die Aufstellung oder Neuaufstellung eines Flächennutzungsplanes aufgeführt und erläutert. Flächennutzungspläne sind behördensverbindlich, da diese mit wenigen Ausnahmen, keine allgemein gültige Außenwirkung besitzen [zur Nedden

und Gatz, 2022, S. 507]. Die Darstellung eines Flächennutzungsplanes enthält die Abbildung 2.4. In dieser Abbildung ist der Flächennutzungsplan von Neubrandenburg dargestellt.

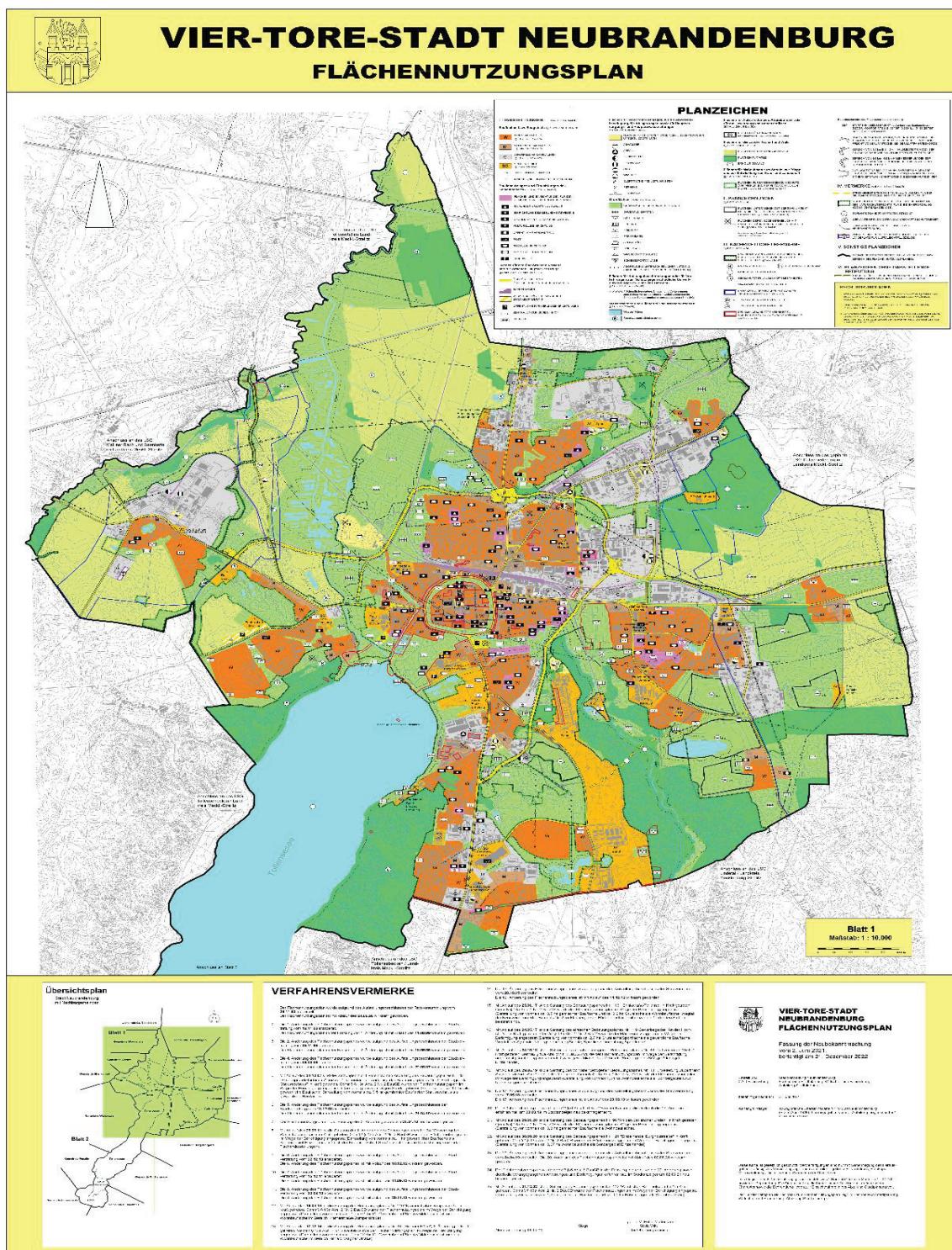


Abbildung 2.4: Flächennutzungsplan Neubrandenburg Nordteil [Stadtverwaltung Neubrandenburg - Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung - Abteilung Stadtplanung, 2022]

2.5.2 Bebauungsplan

Die Darstellungen des Flächennutzungsplanes werden durch den Bebauungsplan konkretisiert. Im Gegensatz zum Flächennutzungsplan enthält der Bebauungsplan nur bestimmte Teile eines Gemeindegebiets. Da jedermann diesen Plan einhalten muss, wird er als verbindlicher Bauleitplan bezeichnet [Ahlhelm et al., 2016, S. 115]. Der Bebauungsplan hat somit einen rechtsverbindlichen Charakter. Gemäß § 8 Abs. 1 BauGB enthält der Bebauungsplan die rechtsverbindlichen Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung. Ein Bebauungsplan lässt sich in drei Unterkategorien einteilen. Diese sind der einfache, der qualifizierte und der vorhabenbezogene Bebauungsplan.

Der qualifizierte Bebauungsplan enthält gemäß § 30 Abs. 1 BauGB folgende Mindestfestsetzungen :

- zur Art der baulichen Nutzung
- zum Maß der baulichen Nutzung
- zu den überbaubaren Grundstücksflächen
- zu den örtlichen Verkehrsflächen.

Neben diesen Festsetzungen muss die Erschließung bei einem Vorhaben gesichert sein.

Bei einem vorhabenbezogenen Bebauungsplan gemäß § 30 Abs. 2 BauGB ist ein Vorhaben zulässig, wenn es dem Bebauungsplan nicht widerspricht und die Erschließung gesichert ist. Dieser Bebauungsplan ist gemäß § 12 BauGB ein Vorhaben- und Erschließungsplan.

Fehlt eine der Mindestfestsetzungen gemäß § 30 Abs. 1 BauGB handelt es sich gemäß § 30 Abs. 3 BauGB um einen einfachen Bebauungsplan. Die Zulässigkeit von Vorhaben richtet sich in diesem Fall nach den §§ 34 oder 35 BauGB. Bei dem § 34 BauGB handelt es sich um die Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile und bei § 35 BauGB um das Bauen im Außenbereich.

Inhaltlich können Bebauungspläne gemäß § 9 BauGB zu jeweiligen Themenbereichen Regelungen festsetzen, die im Festsetzungskatalog enthalten sind. Eine genaue Auflistung der Festsetzungsmöglichkeiten ist dem § 9 Abs. 1 BauGB zu entnehmen. Für die Klimaanpassung sind hier Festsetzungen für das Anpflanzen und deren Erhalt von Bäumen, Sträuchern

und sonstigen Bepflanzungen oder zur Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz vor Überschwemmungen zu treffen, die für die Kommunen als Satzungen festgelegt werden können. Zur Veranschaulichung eines Bebauungsplanes ist in der Abbildung 2.5 der seit dem 22. Januar 2014 in Kraft getretene einfache Bebauungsplan Nr. 111 mit dem Titel „Quartier Stralsunder Straße“ dargestellt.

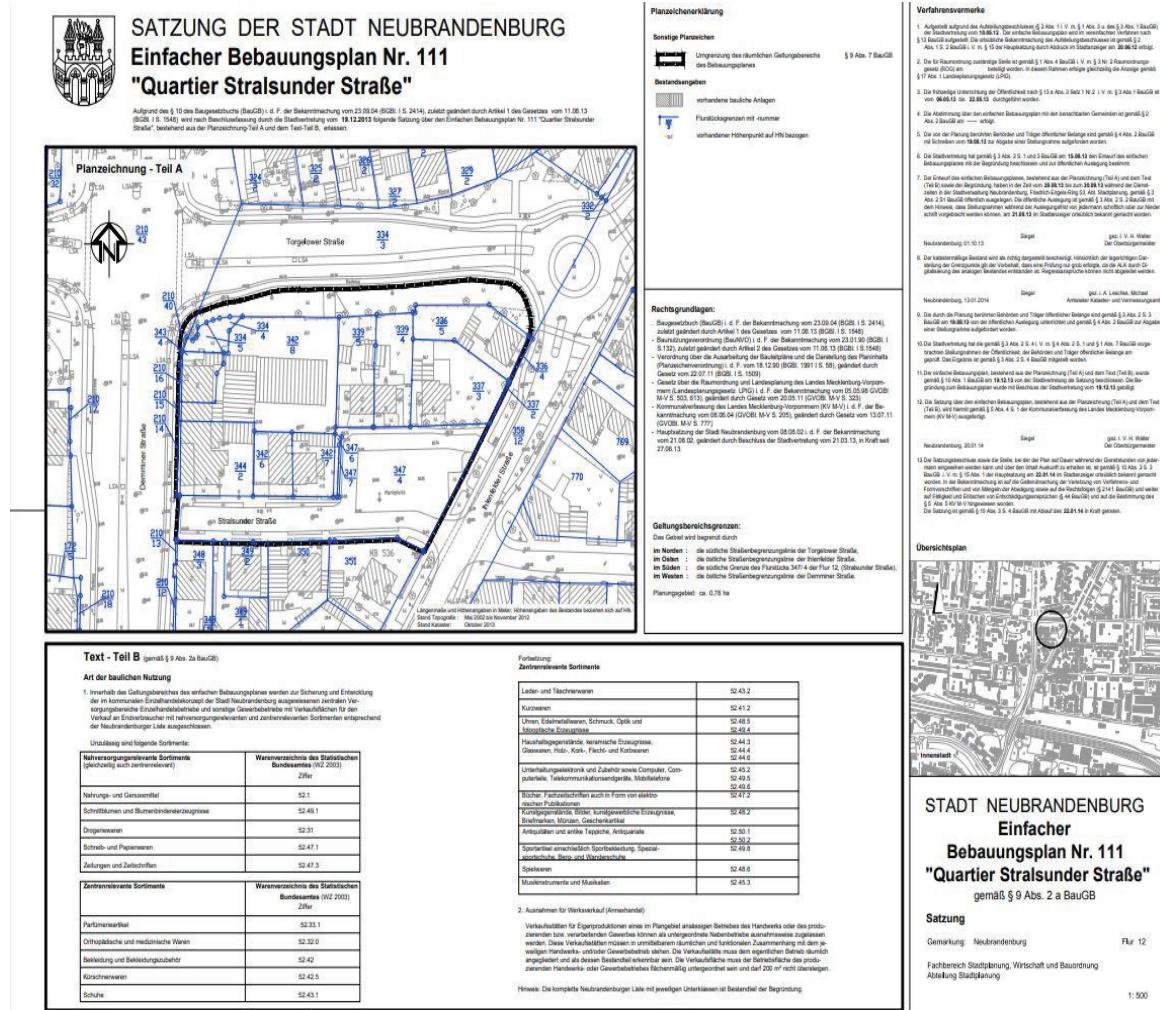


Abbildung 2.5: Einfacher Bebauungsplan „Quartier Stralsunder Straße“ [Stadtverwaltung Neubrandenburg- Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung - Abteilung Stadtplanung, 2014]

2.5.3 Städtebaulicher Vertrag

Seit dem Jahr 1998 können Gemeinden gemäß § 11 BauGB städtebauliche Verträge abschließen. Mit diesem Instrument sind Gemeinden in der Lage Stadtgebiete neu zu entwickeln beziehungsweise neu zu ordnen. Der Vorteil eines solchen Vertrages ist, dass die Gemeinde mit privaten Investoren zusammenarbeitet, wodurch oftmals Kosten für die Städte und Ge-

meinden eingespart werden. Dies erfolgt entweder dadurch, dass die Gemeinde die Vorbereitung oder Durchführung städtebaulicher Maßnahmen Investoren überträgt oder sie mit diesen vereinbart, die Kosten hierfür zu erstatten [Schmidt-Eichstaedt, 2016, S. 2415].

Städtebauliche Verträge können nur abgeschlossen werden, wenn sie zur Erfüllung städtebaulicher Belange eingesetzt werden und keine öffentlich-rechtlichen Grundsätze den Verträgen entgegenwirken.

Ein solcher Vertrag ist für jeden Zweck gemäß § 11 Abs. 1 S. 2 BauGB durchführbar. Im Sinne des § 11 Abs. 1 Nr. 2 bis 5 BauGB zählen hierzu neben weiteren Gegenständen, die Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Maßnahmen wie die Neuordnung der Grundstücksverhältnisse oder die Bodensanierung. Weiterhin können durch städtebauliche Verträge, die mit der Bauleitplanung verfolgten Ziele der Gemeinde, gefördert und gesichert werden. Da der Katalog gemäß § 11 Abs. 1 BauGB relativ offengehalten wird, besteht die Möglichkeit einen städtebaulichen Vertrag für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu verwenden [Ahlhelm et al., 2016, S. 137 f.].

2.6 Bodenordnung

Die Bodenordnung umfasst alle privatrechtlichen und hoheitlichen Maßnahmen zur Neuordnung von Grund und Boden. Hoheitliche Planungsinstrumente sind die städtische Bodenordnung (Umlegung) und die ländliche Bodenordnung (Flurneuordnung).

2.6.1 Städtische Bodenordnung-Umlegung

Bei der Umlegung handelt es sich um ein gesetzlich geregeltes Grundstückstauschverfahren und wird in den §§ 45 bis 79 BauGB geregelt. Gemäß § 45 BauGB dient eine Umlegung dem Zweck Gebiete so zu erschließen oder neu zu ordnen, dass sie nach Lage, Form und Größe für eine bauliche oder sonstige Nutzung zweckmäßig gestaltete Grundstücke entstehen. Beispielsweise kann durch eine Umlegung ein Gebiet so neugestaltet werden, dass dort freie Flächen für Kalt- und Frischluftschneisen oder Grünflächen entstehen. Die Vorteile des Umlegungsverfahrens bestehen in der gleichmäßigen Verteilung von Vorteilen und Lasten aller Beteiligten [Geschäftsstelle des Umlegungsausschusses der Landeshauptstadt Potsdam, 2016, S. 6].

Die Gemeinden arbeiten mit privaten und öffentlichen Investoren zusammen, indem sie durch die Zuarbeit in den Verfahren zum Beispiel die Kosten für Notargebühren oder für die Vermessung übernehmen. Da die Investoren zumeist die Kosten für die Bau- oder

Neuordnungsmaßnahmen tragen, entstehen für beide Seiten finanzielle Vorteile. Zudem haben Beteiligte eines Umlegungsverfahrens die Möglichkeit in hohem Maße bei den Maßnahmen mitzubestimmen. Eine Umlegung kann von der Gemeinde, als Umlegungsstelle, gemäß § 46 Abs. 1 BauGB angeordnet werden, wenn für das neu zu gestaltende oder zu erschließende Gebiet ein Bebauungsplan nach § 30 BauGB verwirklicht werden soll. Weiterhin kann ein Umlegungsverfahren aus Gründen einer geordneten städtebaulichen Entwicklung, innerhalb eines im Zusammenhang bebauten Ortsteils zur Verwirklichung der zulässigen Nutzung erforderlich sein. Dieser Fall tritt gemäß § 34 BauGB ein, wenn das geplante Vorhaben sich in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt und die Erschließung gesichert ist. Die Einfügbarkeit des Vorhabens in die nähere Umgebung lässt sich mit einer Untersuchung der Art und dem Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der zu überbauenden Grundstücksfläche feststellen. Zudem muss die Umlegung im Wesentlichen privatnützlich sein. Die Verfahrensdauer einer Umlegung liegt im Regelfall zwischen einem halben Jahr bis zu zwei Jahren, kann aber deutlich länger dauern. Dies ist von verschiedenen Faktoren abhängig wie die Anzahl der Beteiligten oder von den planerischen Rahmenbedingungen [Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, 2019, S. 3 ff.].

Eine Nebenform der Umlegung ist die vereinfachte Umlegung, deren rechtliche Grundlagen die §§ 80 bis 84 BauGB bilden. Die vereinfachte Umlegung wird gemäß § 80 Abs. 1 BauGB durchgeführt, wenn die Anforderungen der Voraussetzungen des § 46 Abs. 1 BauGB erfüllt sind. Weitere Anforderungen sind, dass bei der Umlegung nur unmittelbar aneinander grenzende oder in enger Nachbarschaft liegende Grundstücke oder Teile von Grundstücken untereinander getauscht werden und, dass Splittergrundstücke oder Teile von Grundstücken eine einseitige Zuteilung erhalten, die im öffentlichen Interesse liegen muss. Im diesem Fall dürfen die Grundstücke nicht selbstständig bebaubar sein.

2.6.2 Ländliche Bodenordnung-Flurneuordnung

Eine weitere Möglichkeit der Gemeinden für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels liegt darin, einen Antrag bei einer Flurneuordnungsbehörde zu stellen. Die Flurneuordnung ist ein Teilgebiet der Bodenordnung, jedoch bezieht sich diese auf die Neuordnung von ländlichem Grundbesitz.

Die rechtlichen Grundlagen sind im Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) sowie im Landwirtschaftsanpassungsgesetz (LwAnpG) enthalten [Bützow 2022, S. 2]. Die Flurbereinigung gemäß § 1 FlurbG dient zur „Verbesserung der Produktions- und

Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie zur Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landesentwicklung“. Zum Beispiel ist es durch Neugestaltung von Grundbesitz möglich, Flächen für den Küstenschutz bereitzustellen. Das FlurbG regelt fünf verschiedene Flurbereinigungsverfahren. Die Frage, welches Verfahren anzuwenden ist, richtet sich nach der Art der Aufgabe, dem gestellten Ziel und der Größe des neuzugestaltenden Gebietes.

Zu den Flurbereinigungsverfahren gehören:

- die Regelflurbereinigung (§1 und § 37 FlurbG)
- das vereinfachte Flurbereinigungsverfahren (§ 86 FlurbG)
- die Unternehmensflurbereinigung (§ 87 FlurbG)
- das beschleunigte Zusammenlegungsverfahren (§ 91 FlurbG)
- der freiwillige Landtausch (§ 103 FlurbG)

Im Gegensatz dazu ist das Ziel des LwAnpG, die früher durch den Zusammenschluss zu LPGs genossenschaftlich genutzten Flächen wieder in Privateigentum zu überführen. Geregelt wird dieses im § 1 des LwAnpG. Außerdem soll gemäß § 3 LwAnpG erreicht werden, dass die Agrarstruktur verbessert, das Eigentum neugestaltet und der landwirtschaftliche Raum wirtschaftlich gestärkt wird. Bei den Bodenordnungsverfahren nach dem LwAnpG werden drei Verfahren unterschieden. Diese sind :

- der freiwillige Landtausch (§ 54 LwAnpG)
- das Bodenordnungs- oder Flächenverfahren (§ 56 LwAnpG)
- die Zusammenführung von Boden- und Gebäudeeigentum (§ 64 LwAnpG)

Das Flurbereinigungsgesetz und das Landwirtschaftsanpassungsgesetz unterscheiden sich durch die Art der Zielstellung. Die Verfahren beider Rechtsgrundlagen werden von Flurbereinigungsbehörden durchgeführt. Der Vorteil an einem Bodenordnungsverfahren durch eine Flurbereinigungsbehörde ist, dass bei einem Bodenordnungsverfahren die Verfahrenskosten im Wesentlichen vom Bundesland getragen werden.

Da Flurneuordnungsverfahren mittel- bis langfristige Verfahren sind, ist es unerlässlich Maßnahmen zum Erhalt der land- und forstwirtschaftlichen Nutzbarkeit aufzustellen. Dazu sollten Anpassungsmaßnahmen von der Flurbereinigungsbehörde angeordnet werden, um die Folgen des Klimawandels durch Extremwetterereignisse abzumildern. Beispielsweise können in forstwirtschaftlich genutzten Gebieten Hochwasserschutzmaßnahmen angelegt werden um den Wasserabfluss nach Starkregenereignissen zu verringern [Hunke-Klein, 2022, S. 149]. Die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) stellt neben anderen Bereichen für Maßnahmen der Klimaanpassung, Fördermittel zur Unterstützung der Land- und Forstwirtschaft, der Entwicklung ländlicher Räume und zur Verbesserung des Küsten- und Hochwasserschutzes bereit [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2022].

2.7 Besonderes Städtebaurecht

Bei den Maßnahmen des Besonderen Städtebaurechts werden nicht nur einzelne, gesonderte Anpassungsmaßnahmen durchgeführt, sondern gesamte Gebiete und deren Strukturen verbessert [Ahlhelm et al., 2016, S. 138 f.]. Zu den Instrumenten des Besonderen Städtebaurechts gehören Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen, Städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen und Stadtumbaumaßnahmen.

2.7.1 Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen

Gemäß § 136 Abs. 2 S. 1 BauGB werden als Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen entsprechende Maßnahmen bezeichnet, bei denen ein Gebiet zur Behebung von städtebaulichen Missständen entweder verbessert oder umgestaltet wird. Von städtebaulichen Missständen wird gesprochen, wenn die Eigenschaften eines Gebiets nicht den Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsbedingungen entsprechen oder die Sicherheit der dort wohnenden und arbeitenden Menschen beeinträchtigt ist. Die Themen Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel sind dabei zu berücksichtigen. Außerdem sind städtebauliche Maßnahmen zu erfüllen, wenn ein Gebiet bei der Erfüllung der ihm vorgesehenen Aufgaben beeinträchtigt ist.

Die Klimaanpassung ist seit der BauGB-Novelle 2013 inhaltlich Bestandteil bei den Belangen der Sanierungsmaßnahmen. Die Sanierungsmaßnahmen können im ländlichen und im städtischen Raum Anwendung finden [Ahlhelm et al., 2016, S. 138].

Der § 136 Abs. 3 BauGB definiert bei der Beurteilung von städtebaulichen Missständen, welche Bereiche zu berücksichtigen sind. In § 136 Abs. 3 Nr. 1 BauGB werden die Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Sicherheit der in dem Gebiet wohnenden und arbeitenden Menschen als berücksichtigungspflichtig genannt. Unter anderem soll für die Anforderung des Klimaschutzes und die Anpassung an den Klimawandel die Energieeffizienz und der Zustand der energetischen Modernisierung von Gebäuden untersucht werden. In § 136 Abs. 3 Nr. 2 BauGB wird auf die Funktionsfähigkeit eines Gebiets eingegangen. Dabei muss für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel darauf geachtet werden, dass in einem Gebiet Grün- und Freiflächen vorhanden und vernetzt sind.

In § 136 Abs. 4 BauGB wird erläutert, dass städtebauliche Sanierungsmaßnahmen dem Wohl der Allgemeinheit dienen. Die Anforderungen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung tragen zur Erfüllung dessen bei.

Aus diesem Grund erfolgte mit der Klimaschutznovelle im Jahr 2011 eine Erweiterung des § 148 Abs. 2 BauGB um eine fünfte Nummer. Seitdem gehören zu den Baumaßnahmen die Errichtung oder die Erweiterung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung [Krautzberger, 2011].

2.7.2 Städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen

Bei städtebaulichen Entwicklungsmaßnahmen werden gemäß § 165 Abs. 2 BauGB Ortsteile und andere Teile des Gemeindegebiets in Bezug auf ihre besondere Bedeutung für die städtebauliche Entwicklung und Ordnung der Gemeinde oder der angestrebten Entwicklung des Landesgebiets beziehungsweise der Region erstmalig entwickelt oder im Rahmen einer städtebaulichen Neuordnung einer neuen Entwicklung zugeführt. Ebenso wie die städtebaulichen Sanierungsmaßnahmen müssen die städtebaulichen Entwicklungsmaßnahmen dem Wohl der Allgemeinheit dienen und können in städtischen und in ländlichen Gebieten angewandt werden [Ahlhelm et al., 2016, S. 138 f.]. Gemäß § 165 Abs. 3 BauGB ist eine städtebauliche Entwicklungsmaßnahme zulässig, wenn die Deckung eines erhöhten Bedarfs an Wohn- und Arbeitsstätten erfolgt, Gemeindebedarfs- und Folgeeinrichtungen errichtet oder Brachflächen wiedernutzbar gemacht werden. So können für die Anpassung an den Klimawandel ehemalige militärisch genutzte Flächen, als Konversionsflächen, sowie brachliegende Gewerbe- und industrielle Flächen eine Folgenutzung erhalten zum Beispiel für die Entstehung von Kaltluftschneisen [Bunzel 2018,

S. 2405 f.]. Die Gemeinde steht bei dieser Maßnahme gemäß § 166 Abs. 3 BauGB in der Pflicht, das Eigentum an den Grundstücken des gesamten Entwicklungsbereichs zu erwerben.

2.7.3 Stadtumbau

Stadtumbaumaßnahmen bezeichnen Maßnahmen, die dem Zweck dienen, Gebieten mit erheblichen städtischen Funktionsverlusten eine nachhaltige Struktur zu verleihen. Geregelt wird dies in § 171a Abs. 2 BauGB. Es wird von einem erheblichen städtebaulichen Funktionsverlust gesprochen, wenn in diesem Gebiet ein dauerhaftes Überangebot an baulichen Anlagen für Wohnzwecke besteht oder zu erwarten ist. Zudem liegt seit der Bekanntgabe des „Gesetzes zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ aus dem Jahr 2011 ein Funktionsverlust vor, wenn die allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung nicht erfüllt werden. Gründe hierfür können zunehmende Hitze und fehlende Frischluftschneisen oder Grünzüge zur Verbesserung des Mikroklimas sein [Krautzberger, 2011].

Stadtumbaumaßnahmen dienen im Sinne des § 171 a Abs. 3 S. 1 BauGB dem Wohl der Allgemeinheit und sind nur zulässig, wenn „die städtebauliche Umstrukturierung als eine städtebauliche Gesamtmaßnahme und damit als planerisch gesteuerte Neuordnung des Stadtumbaugebietes beabsichtigt ist“ [Ahlhelm et al., 2016, S. 139]. Durch Stadtumbaumaßnahmen ist es gemäß § 171a Abs. 3 Nr. 1, 6 und 7 BauGB möglich:

- die Siedlungsstruktur den Erfordernissen sowie den allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung anzugeleichen
- brachliegende oder freigelegte Flächen eine nachhaltige, speziell dem Klimaschutz und der Klimaanpassung dienenden städtebaulichen Entwicklung oder Zwischenutzung zuzuführen
- innerstädtische Altbaubestände nachhaltig zu erhalten

3 Extremwetterereignisse

Ergebnisse der Klimaforschung belegen, dass durch den Klimawandel verstärkt Wetterextreme auftreten. Als Extremwetterereignisse werden Wetterphänomene bezeichnet, die für eine bestimmte Region außergewöhnlich sind. Städte und Gemeinden werden in Zukunft

noch stärker von Dürren und Hitzewellen geprägt und von Extremniederschlägen und Stürmen betroffen sein. Die Auswirkungen dieser Extremwetterereignisse sowie Handlungsmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

3.1 Extremniederschläge und Überschwemmungen

Zu den häufigsten Extremwetterereignissen in den vergangenen Jahren gehören Extremniederschläge, die zu Hochwasser und Überschwemmungen geführt haben. In allen Teilen der Bundesrepublik Deutschland soll die Niederschlagsmenge mit Ausnahme des Klimaraumtyp 5 (Abbildung 1.4 Klimaraumtypen Deutschlands) im Südosten deutlich ansteigen. Als Niederschlag wird Wasser bezeichnet, dass in flüssiger oder fester Form auf die Erde fällt. Neben dem Niederschlag in flüssiger Form, der als Regen bezeichnet wird, kann dieser als Schnee, Hagel, Graupel oder als Mischform auftreten.

3.1.1 Regen

Regen ist die häufigste Form aller Niederschläge. Ab einer Niederschlagsmenge von mehr als 25 Millimeter Wasser pro Quadratmeter innerhalb einer Stunde oder mehr als 35 Millimeter Wasser pro Quadratmeter innerhalb von sechs Stunden wird von Starkregen gesprochen. Regen der länger als sechs Stunden andauert wird als Dauerregen bezeichnet [Winkelbauer, 2022; Münch, o. D.].

3.1.1.1 Auswirkungen

Durch langanhaltende Regenfälle oder kurzfristige Starkregenereignisse entsteht Hochwasser. Der § 72 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) beschreibt den Begriff Hochwasser als eine zeitlich beschränkte Überschwemmung in einem Gebiet das normalerweise nicht von Wasser bedeckt ist. Zudem kann durch den hohen Versiegelungsgrad vieler Gemeinden, das Niederschlagswasser nicht in den Boden absickern und staut sich an. Dies führt zu Überschwemmungen.

Die bestehenden Deiche und Dämme bieten küsten- und flussnahen Gebieten Schutz, halten jedoch nicht jedem Hochwasser stand. Dies zeigte sich in den letzten Jahren zum Beispiel durch die Flutkatastrophe im Ahrtal im Sommer 2021. Hier kam es durch Starkregen zu Überflutungen. Der Fluss Ahr konnte die Wassermengen nicht mehr aufnehmen. Der Pegelhöchststand betrug gemäß Prognosen 6,92 Meter, der normale Pegelstand der Ahr liegt bei circa einem Meter. Die Flut riss innerhalb des Ahrtals 467 Gebäude mit sich, circa 42.000

Menschen sind unmittelbar von der Flut betroffen und es wurden über 130 Opfer registriert [Südwestrundfunk, 2022].

Überschwemmungen entstehen zudem an den Küsten durch eindringendes Meerwasser. Bei Sturmfluten steigt der Wasserstand kurzfristig auf Extremwerte an. In Folge des Klimawandels führt der Anstieg des Meeresspiegels zu einer Vergrößerung potenzieller Überflutungsflächen. In Kombination mit starkem Seegang kann dies zu gravierenden Landverlusten und Schadensfällen führen. Gegenwärtig verlieren die Steil- und Flachküsten bereits circa 35 Zentimeter im Jahr an Landfläche. Eine weitere Erhöhung der Durchschnittstemperaturen auf der Erde wird den Landverlust noch weiter verstärken [Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, 2015, S. 2].

Die gegenwärtigen potenziellen Überflutungsflächen in Mecklenburg-Vorpommern sind in der Abbildung 3.1 dargestellt.



Abbildung 3.1: Gegenwärtige potenzielle Überflutungsflächen in Mecklenburg-Vorpommern [Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, 2015]

Aus der Abbildung 3.1 ist ersichtlich, wie stark die Außen- und Binnenküsten von Überflutungen betroffen sind. An der Ostseeküste gilt jedes Gebiet als gefährdet, das bis zu drei Meter über dem Meeresspiegel liegt. Gebiete an der Nordseeküste sind aufgrund der stärkeren Gezeiten bis zu fünf Meter gefährdet [Umweltbundesamt, 2019].

3.1.1.2 Klimaanpassungsmaßnahmen

Für Städte und Gemeinden bedeutet ein Wassermangel oder ein Wasserüberschuss eine große Herausforderung. Bei Wassermangel muss zukünftig versucht werden, jegliches Wasser, das zur Verfügung steht als Grundwasser zu speichern, um den Mangel auszugleichen. Das Niederschlagswasser sollte nicht in die Kanalisation oder in umliegende Flüsse abfließen, sondern im Erdboden versickern. Daher muss jede Gemeinde zukünftig so viele Flächen, wie möglich entsiegeln.

a) Gewährleistung einer ortsnahen Versickerung

Im § 55 Abs. 2 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) ist festgelegt, dass Niederschlagswasser ortsnah versickern soll. Gibt es keine Möglichkeit Flächen zu entsiegeln, kann die Art der Versiegelung ausgetauscht werden. Mit dem § 19 der Baunutzungsverordnung (BauNVO) wird gewährleistet, dass Grundstückseigentümer nur einen bestimmten Anteil ihrer Grundfläche bebauen und versiegeln dürfen. Flächen für den Rückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser können gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB festgesetzt werden. Ebenfalls kann gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft festgesetzt werden, zu denen auch die Art und das Maß der Versiegelung zählen. Die Versiegelungsdichte der Siedlungs- und Verkehrsflächen in der Bundesrepublik Deutschland beträgt aktuell 45 Prozent. Eine Bodenversiegelung bedeutet, dass der Boden luft- und wasserdicht verschlossen ist und die Versickerung von Niederschlagswasser in den Boden erschwert. Dadurch trocknet der Boden aus und führt in verdichteten Gebieten zu Überschwemmungen. Versiegelte Böden lassen kein Wasser ver-dunsten, um es an die Atmosphäre abzugeben und die Luft abzukühlen. Besonders in ver-dichteten Gebieten führt dies im Sommer zu höheren Temperaturen, da keine Luftabkühlung durch die Bodenverdunstung erfolgt [Umweltbundesamt, 2023]. Eine Vollversiegelung bedeutet, dass eine Fläche asphaltiert, betoniert oder vollverfugt ist. Sie besitzen einen Versiegelungsgrad von 100 Prozent. Besser geeignet sind leicht versiegelte Flächen mit einem Versiegelungsgrad von 20 Prozent. Zu diesen gehören Natursteinpflaster mit weiten Fugen, wassergebundener Splitt oder Rasengittersteine [badenova AG & Co. KG, 2022]. In der folgenden Abbildung 3.2 ist eine vollversiegelte Fläche mit Asphalt und eine leicht versiegelte mit Natursteinpflaster dargestellt.



Abbildung 3.2: vollversiegelte Fläche mit Asphalt und leicht versiegelte Fläche mit Natursteinpflaster [eigene Aufnahme]

b) Schaffung von Möglichkeiten zur dezentralen Versickerung und Regenwasserrückhaltung

Da Flächen nicht überall entsiegelt werden können, muss auf andere Methoden wie die dezentrale Versickerung zurückgegriffen werden. Für die dezentrale Versickerung wird das Niederschlagswasser nicht ortsnah, sondern an anderer Stelle zur Versickerung oder Wasserspeicherung umgeleitet. Beispiele dafür sind die Mulden-, Rigolen-, Mulden-Rigolen-, Schacht- und Teichversickerung oder die Regenwasserrückhaltung. Bei der Muldenversickerung wird das Niederschlagswasser von versiegelten Flächen in eine mit Gras bewachsene Bodenvertiefung geführt, in der das Wasser kurz gespeichert und anschließend in das Erdreich gelangt. Im Gegensatz dazu wird bei der Rigolenversickerung das Wasser entweder oberirdisch flächig oder unterirdisch punktuell in einem Speicherkörper, einer Rigole geleitet. Rigolen bestehen aus Kies, Schotter oder Kunststoff. Bei Starkregen oder Hochwasser kann das Wasser dorthin umgeleitet und je nach Durchlässigkeit des Bodens verzögert versickern. Anwendung findet die Rigolenversickerung, wenn auf eine schlecht durchlässige Bodenschicht eine gutdurchlässige Schicht folgt. Eine Mulden-Rigolenversickerung ist eine Kombination aus beiden vorher genannten Versickerungsarten. Das Niederschlagswasser wird erst durch eine Mulde und dann durch eine Rigole aufgefangen, um zu versickern. Alternativ

kann das Niederschlagswasser durch Schächte oder durch angelegte Teiche im Boden absickern. Eine weitere Option ist die Regenwasserrückhaltung durch Retentionsspeicher. Das Niederschlagswasser kann gesammelt und bei Bedarf eingesetzt werden zum Beispiel für die Bewässerung des Stadtgrüns in niederschlagsarmen Perioden. Um die Ablaufmengen zu kontrollieren, werden Schwimmerdrosseln beigefügt. Retentionsspeicher bestehen aus Beton oder Kunststoff, können aber auch Rigolen sein [Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, 2006, S. 31 ff.].

Schachtdeckel sind durch Versickerungsmulden zu ersetzen, da das Wasser nicht in die Kanalisation abfließen sollte. Vorhandene Dach- und Fassadenbegrünungen sind eine Option Niederschlagswasser aufzufangen. Das Wasser kann verdunsten und das Mikroklima einer Stadt abkühlen. Dachbegrünungen können bis zu neunzig Prozent des jährlichen Niederschlags auffangen, das Mikroklima kühl ab und verbessert die Luft. Das Stadtgebiet Berlin zählt zu den wärmsten und trockensten Regionen der Bundesrepublik Deutschland. Trotzdem sind nur vier Prozent der Dächer Berlins begrünt, hier ist noch sehr viel Potential vorhanden, um ein Abfließen von Niederschlagswasser in die Kanalisation oder in Flüssen zu vermeiden [Hilgert, 2021].

Durch den § 9 Abs. 1 Nr. 9 BauGB können Flächen wie Park- oder Grünflächen einen besonderen Nutzungszweck zur Versickerung von Niederschlagswasser erhalten.

Im Bereich der Flurneuordnung kann die Bewässerungsstruktur geplant werden, durch den Rückbau von Entwässerungsgräben und Drainagen. Das Ziel dieser Maßnahmen ist die Anhebung des Grundwasserstandes sowie eine Rückhaltung des Regenwassers. Handlungsmöglichkeiten bestehen bei der Flurneuordnung weiterhin in der Planung und Gestaltung des Wege- und Gewässernetzes einschließlich der Möglichkeit zur dezentralen WasserRetention [Hunke-Klein, 2022, S. 149]. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass der Grundwasserspiegel nicht zu stark ansteigen sollte, da sonst beispielsweise Kellerräume unfreiwillig geflutet werden können.

c) Straßendatenerfassung

Zur Vorbeugung von Risiken durch Starkregenereignisse hat die eagle eye technologies GmbH ein Konzept in Form eines Whitepapers unter dem Titel „Klimawandel verursacht immer häufiger Hochwasser: Wie kann ich meine Kommune schützen?“ veröffentlicht. Das Whitepaper stellt das enorme Potential zur Verwendung von mobiler und hochgenauer 3D-

Straßendatenerfassung sowie deren Einbeziehung in moderne Simulations- und Modellierungsverfahren dar. Mit diesem kann für die zu untersuchende Stadt ein digitaler Zwilling erzeugt werden. Durch Simulation von Starkregenereignissen kann hier genau simuliert werden, wie stark die einzelnen Bereiche einer Stadt bei bestimmten Regenmengen gefährdet sind. Es kann hier sogar der Nutzen von Hochwasserschutzmaßnahmen untersucht werden. Die Einbeziehung von Straßendaten kann zur Vorbeugung gegen Hochwasser somit eine große Hilfe darstellen [eagle eye technologies GmbH, 2021, S. 3 ff.].

d) Schwammstädte

Durch den hohen Versiegelungsgrad in den Städten und den oftmals geringen Anteil an Bäumen und Sträuchern, kann Niederschlagswasser nicht ins Grundwasser gelangen. Ein Konzept den Wasserüberschuss und Wassermangel auszugleichen, sind Städte in Schwammstädte (Sponge-Cities) umzugestalten. Der Vorteil einer Schwammstadt besteht darin, dass in einer Stadt Bereiche geschaffen werden, in denen das Wasser von Extremniederschlägen, ähnlich wie ein Schwamm aufgesaugt und gespeichert wird. So kann in Dürrephasen das Wasser für die Bewässerung von städtischen Grünflächen und zur Abkühlung des Mikroklimas eingesetzt werden.

Umgesetzt wird das Konzept der Schwammstadt zum Beispiel in der Neubausiedlung Quartier 52° Nord im Land Berlin. Das Regenwasser wird in dem Quartier über Mulden und Dachbegrünungen aufgefangen und in einem 6.000 Quadratmeter großem Becken über unterirdische Rohre weitergeleitet und gespeichert. Hiermit wird verhindert, dass durch Extremniederschläge Überflutungen entstehen. Neue Bauvorhaben müssen seit dem Jahr 2018 im Land Berlin so umgesetzt werden, dass das Niederschlagswasser weder in der Kanalisation noch in die umliegenden Gewässer gelangt, wodurch Überflutungen entstehen können. Stattdessen soll das Wasser vor Ort in den Boden versickern, verdunsten oder für eine weitere Nutzung gespeichert werden. Vorteil einer Schwammstadt ist zudem, dass das Stadtgebiet gleichzeitig durch das Vorkommen von Wasserflächen gekühlt wird. Ein Ausschnitt des Quartier 52° Nord ist in der Abbildung 3.3 dargestellt [Ritter, 2022].



Abbildung 3.3: Quartier 52° Nord mit Wasserbecken im Land Berlin [Ritter, 2022]

Das Ziel einer Schwammstadt streben neben anderen abgesehen von Berlin, die Städte Hamburg und Rostock an [Technische Universität Hamburg, 2021; Ostsee-Zeitung, 2019].

e) Deich- und Dammbau

Die Küstengebiete und Flussufer müssen noch stärker mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen geschützt werden. Als Anpassungsmaßnahmen gegen Hochwasser und Überschwemmungen werden seit Jahrhunderten Deiche und Dämme gebaut. Deiche sind künstlich erschaffene Erdwälle, zum Schutz vor Überschwemmungen. Im Gegensatz zu Dämmen, die permanent das Wasser zurückhalten, dienen Deiche als zeitlich begrenzter Schutz vor Überflutungen. Die Abbildung 3.4 zeigt einen Dünenübergang in Lubmin.



Abbildung 3.4: Dünenübergang in Lubmin [eigene Aufnahme]

Der Deich- und Dammbau kann durch verschiedene planerische Elemente realisiert werden. Als Sturmflutschutz ist zum Beispiel in der Flurbereinigung durch das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern ein vollständig funktionierendes Küstenschutzsystem von Graal-Müritz bis nach Pramort im Jahr 2013 größtenteils beendet worden. Dazu wurde in den Jahren 2006 bis 2009 der Boddendeich verstärkt, sowie der Riegeldeich und der ersten Abschnitt des Seedeiches gebaut. Die Verstärkung und der Neubau der Deiche umfassen eine Länge von 11,5 Kilometern. In dem Jahr 2009 begann der Zusammenschluss aller drei Deiche. Das Bauvorhaben wurde ab dem Jahr 2010 durch den zweiten Bauabschnitt des Seedeiches ergänzt. Den Abschluss fand das Bauvorhaben „Sturmflutschutz Ostzingst“ im Jahr 2013 mit der Fertigstellung des dritten Abschnitts des Seedeiches. Mit der Verstärkung und dem Neubau der Deiche kann die gesamte Darß-Zingster Boddenkette, im speziellen die Ortsteile Müggenburg und Westhof sowie die bebauten Gebiete des Barther Boddens und Grabow vor Durchbrüchen der Ostsee bei Sturmfluten geschützt werden. Während dieses Vorganges wurden bereits einige alte, nicht mehr dem heutigen Schutzstandard entsprechenden Deiche abgetragen und renaturiert. Die Renaturierung von Ostzingst fand in den Jahren von 2015 bis 2016 für die zuvor für den Küstenschutz entwässerten und bewirtschafteten Gebiete statt. Insgesamt wurde eine Deichanlage mit einer Länge von 18 Kilometern geschaffen [Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern, 2010; Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern, 2013, S. 1 ff.]. Eine Übersichtskarte der Baumaßnahmen „Sturmflutschutz und Renaturierung Ostzingst“ mit den einzelnen Deichen und Bauabschnitten ist in der Abbildung 3.5 zu finden.



f) Renaturierung von Flussauen

Um Überschwemmungen entgegenzuwirken besteht ein dringender Handlungsbedarf in der Renaturierung von Flussauen. Vor 200 Jahren begann der Mensch aus wirtschaftlichen Gründen Flüsse zu begradigen und die Ufer zu befestigen. Durch Begradiigungen gingen Flussarme und damit überflutbare Rückhalteräume bei Hochwasser verloren. Vor einer Begradiigung waren Flüsse oft in der Lage, große Mengen an Wasser aufzunehmen und Ufergebiete zu überfluten. Heutzutage ist für die natürliche Überflutung kein Platz mehr. Aus diesem Grund ist es zwingend notwendig Flussauen zu renaturieren. Flüsse müssen in Zukunft wieder mehr Raum in Städten und Gemeinden erhalten. Die Elbe und der Rhein sind in der Bundesrepublik Deutschland die Flüsse, bei denen die Auen am meisten durch Renaturierungsmaßnahmen Flächen zugewinnen konnten. Aktuell finden an der Elbe die meisten Renaturierungsmaßnahmen statt. Durch acht Bauprojektmaßnahmen entlang der Elbe konnten bisher 1383 Hektar renaturiert werden. Zu diesen Maßnahmen gehören Deichrückbauverlegungen sowie Flächenextensivierungen. Am Rhein sind 1522 Hektar Auenfläche durch neun Projekte renaturiert worden. Den Rheinzuflüssen Blies, Erft, Neckar, und Sieg wurden Altarme und Flutmulden hinzugeführt. Diese Maßnahmen tragen nicht nur zum Hochwasserschutz bei, sondern erhöhen auch den Biotopverbund der Flüsse [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015, S. 21 ff.].

g) Hochwasserangepasst bauen

Zur Vermeidung von Hochwasserschäden gibt es drei Strategien hochwasserangepasst zu bauen. Das Ausweichen, das Widerstehen und das Nachgeben. Die einfachste Strategie stellt das Ausweichen dar. Diese Strategie verzichtet auf Neubebauung von hochwassergefährdeten Flächen. Andernfalls sind Gebäude so zu gestalten, dass wasserempfindliche Bereiche und Nutzungen von Gebäuden in höhere Etagen verlagert werden. Dies geschieht durch das Aufständern von Gebäuden, das Aufschütten des Geländes und durch einen Verzicht von Kellerräumen.

Aus Platzmangel ist es in Städten nicht immer möglich, einem Überschwemmungsgebiet auszuweichen, daher besteht die zweite Strategie im Widerstehen. Das Widerstehen stellt eine aufwendige Variante dar, da das Gebäude oder das umliegende Gebiet, so gebaut oder umgerüstet werden muss, dass eine Vielzahl von technischen Baumaßnahmen ein Eindringen von Wasser in das Gebäudeinnere verhindern. Bei der Wahl dieser Variante muss ein

Schutzziel festgelegt werden. Mit diesem Ziel wird festgelegt, bis zu welcher Höhe ein Gebäude durch Maßnahmen zu schützen ist. Das Schutzziel orientiert sich zumeist am Bemessungswasserstand. Der Bemessungswasserstand bezieht sich auf den höchsten zu erwartenden Grund- oder Hochwasserstand an einem Gebäude. Grundlage für den zu erwartenden Hochwasserstand sind langjährige Beobachtungsergebnisse in der Region. Liegen keine Beobachtungsergebnisse vor, wird der Wasserstand über die Geländeoberkante des letzten Überflutungereignisses als Bemessungswasserstand gewählt. Das Schutzziel liegt in den meisten Fällen 30 Zentimeter höher über der Oberfläche als der Bemessungswasserstand.

Gegen das Eindringen von Oberflächenwasser helfen bei der Strategie „Widerstehen“ Wassersperren außerhalb eines Gebäudes zu montieren, da diese das auf das Gebäude zuströmende Wasser aufhalten. Es ist von Vorteil Hochwasserschutzanlagen einzubauen. Diese unterteilen sich in stationäre, teilmobile und mobile Hochwasserschutzwände. Zu den stationären Schutzanlagen gegen Hochwasser zählen Erddämme oder Mauern. Flexibler in der Lage sind die teilmobilen Hochwasserschutzwände, bei der bewegliche Dammbalkensysteme mit einer ortsfesten Halterungskonstruktion kombiniert werden, wie zum Beispiel ein eingeschlammtes Fundament. Mobile Hochwasserschutzwände, vorwiegend Dammbalken sind jeweils dort wo sie benötigt werden, aufstellbar. Aus Gründen der Mobilität weisen die mobilen Schutzwände eine maximale Wandhöhe von 2,50 Metern auf und können für die Sicherung von Türen und Fenstern verwendet werden. Zusätzlich werden Schlauch- und Pumpensysteme verwendet. Für den Fall, dass eine Wassersperre das Wasser nicht komplett aufhält, sind Abdichtungen an das Gebäude anzubringen. Hierzu besteht die Möglichkeit die Gebäudewände durch Zementputz oder druckwasserdichte Fenster abzudichten und waserdichte Fenster und Türen in das Gebäude einzubauen.

Gegen das Eindringen von Grundwasser bieten die Gebäudeabdichtungen „Schwarze Wanne“ und „Weiße Wanne“ den größten Schutz. Die „Schwarze Wanne“ definiert sich nach DIN 18533-1:2017-07 als eine Gebäudeabdichtung, bei der die anfälligsten Gebäudebereiche, der im Boden liegende Teil eines Gebäudes, von allen Seiten mit einer Bitumenbeschichtung oder Kunststoffbahnen umschlossen wird. Im Gegensatz dazu bildet sich bei der „Weißen Wanne“ durch die Herstellung der Außenwände und der Bodenplatte eines Gebäudes aus wasserundurchlässigem Beton eine geschlossene Wanne. Es ist darauf zu achten, dass die Übergänge von frischem zu bereits erhärtetem Beton (die Arbeitsfugen) wasserdicht sein müssen. Die „Weiße Wanne“ muss der Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ des deutschen Ausschusses für Stahlbeton entsprechen.

Im Fall von Starkregenereignissen und Überflutungen muss damit gerechnet werden, dass die Kanalisationssysteme überlasten und Regen- und Schmutzwasser über die Kanalisation in Gebäude gelangen. Aus diesem Grund bietet sich der Einbau einer Rückstauebene oberhalb der Hochwasserlinie an. Die Rückstauebene definiert den höchstmöglichen Stand des Wasserspiegels in der Kanalisation, wenn ein Rückstau in einem nicht hochwassergefährdeten Gebiet eintritt und wird in der Regel von den kommunalen Behörden festgelegt. In dem Falle, dass die Behörden keine Rückstauebene festgelegt haben, ist die Höhe der Straßenoberkante an der Anschlussstelle maßgebend. Oberhalb der Hochwasserlinie können Absperrschieber und Rückstauklappen oder Abwasserhebeanlagen mit Rückstauschleife zum Schutz gegen Wasser aus der Kanalisation eingebaut werden. Treten im Außenbereich eines Gebäudes Überschwemmungen durch Rückstau auf, lässt sich das Wasser durch die Verwendung von Druckdeckeln oder Stahlzylinderaufsätze als Überlaufsicherung auffangen.

Gebäude können von Unterspülungen des Fundaments betroffen sein, wenn diese innerhalb der Hochwasserströmungen liegen. Daher ist bei der Gebäudeplanung zu beachten, dass die Fundamentunterkante mindestens einen Meter unter die geschätzte Unterspülungslinie fällt.

Hochwasser können dafür sorgen, dass Gebäude auftreiben. Dies lässt sich jedoch durch ein hohes Eigengewicht eines Gebäudes verhindern. Das Gewicht lässt sich durch eine Bodenplatte aus Schwergewichtsbeton sowie durch Erdüberdeckung von unterirdischen Gebäude Teilen zusätzlich beschweren. Verankerungen mit Pfählen liefern einen weiteren Schutz vor einem Gebäudeauftrieb.

Besteht keine Möglichkeit ein Gebäude in ausreichendem Umfang vor Einwirkung von Wasser abzusichern oder ist die Wahrscheinlichkeit eines Hochwassers sehr gering, kann die dritten Strategie, das „Anpassen“ gewählt werden. Diese Strategie wird manchmal auch als „Nachgeben“ bezeichnet, da hierbei das Eindringen von Wasser in das Gebäude bewusst riskiert wird. Das Gebäude und deren Nutzung ist bei dieser Strategie so anzupassen, dass durch das Eindringen von Wasser nur geringe Schäden eintreten. Wichtig für diese Strategie ist es, Baustoffe zu verwenden, die bei Kontakt mit Wasser keine Schäden erleiden. Als Baumaterialien eignen sich Kalk, Zement, Natur- und Kunststeine. Materialien wie Holz, Marmor, Gips oder Textilien sind aufgrund ihrer Eigenschaften in Verbindung mit Wasser in festgesetzten Überschwemmungsgebieten und Risikogebieten für Hochwasser zu vermeiden. Konkrete Hinweise zu Baumaterialien sind in der VdS-Richtlinie 6002 „Baukonstruktive Überflutungsvorsorge“ zu finden. Die Richtlinie VDI 6004 Blatt 1 „Schutz der Technischen

Gebäudeausrüstung-Hochwasser-Gebäude, Anlagen, Einrichtungen“ weist auf die gebäude-technischen Anpassungsmaßnahmen zum Schutz gegen Hochwasserschäden hin. Bei der Elektroinstallation ist zwingend zu beachten diese über der Hochwasserhöchstgrenze in den Obergeschossen anzubringen. Falls dies nicht möglich ist, sollte die Elektrizität leicht abschaltbar sein und dauerhaft den Kontakt mit Wasser standhalten können. Geeignet für Schalter und Verteiler ist die Schutzart IPX7 und IPX8. Der Neueinbau von Heizölverbraucheranlagen ist aufgrund der hohen Brandgefahr in festgesetzten Überschwemmungsgebieten seit dem 30. Juli 2017 mit Inkraftsetzung des Hochwasserschutzgesetzes II verboten und müssen bis zum 05. Januar 2023 hochwassersicher nachgerüstet werden. In Hochwasserrisikogebieten muss die Nachrüstung der Heizölverbraucheranlagen bis zum Jahr 2033 erfolgen. Heizungssysteme, die durch die Verbrennung von Energieträgern Wärme erzeugen, sind in Stockwerken aufzustellen, die sich oberhalb der Hochwasserlinie befinden. Ansonsten sollen die Heizungssysteme schnell demontierbar oder wasserdicht sein [Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2022, S. 41 ff.; Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, 2021, S. 48 ff.].

Ebenso regelt der § 78 c Abs. 1 WHG, dass die Errichtung neuer Heizölverbraucheranlagen in festgesetzten sowie in vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebieten verboten ist.

In einem Bebauungsplan können festgesetzte Überschwemmungsgebiete gemäß § 76 Abs. 2 WHG sowie § 9 Abs. 6 a S. 1 und 2 und § 5 Abs. 4 a BauGB aus der Wasserwirtschaft und dem Flächennutzungsplan nachrichtlich übernommen werden. Mit dem § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB können in einem Bebauungsplan beziehungsweise durch § Abs. 2 Nr. 7 BauGB Festsetzungen zu Wasserflächen wie Hochwasserschutzanlagen und des Wasserabflusses erfolgen. Potenzielle Überschwemmungsgebiete sind als Risikogebiete für Überschwemmungen zu vermerken [Bützow, 2021, S. 35 f.]. Gemäß § 7 Abs. 3 Nr. 1 und 2 ROG können Hochwassergebiete als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete ausgewiesen werden.

Durch Flächenmanagement können in Überflutungsgebieten nur Nutzungen erlaubt werden die überflutungsverträglich sind. Das heißt, dass diese Gebiete keine oder nur geringe Schäden durch Hochwasser erleiden oder gar zur Absenkung eines Hochwassers beitragen. Eine weitere Möglichkeit stellt die Entsiegelung von Flächen und die Flächenumnutzung von Brachflächen dar. Infolge den Vorgaben der EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

sind für alle Gebiete, für die ein potenzielles Hochwasserrisiko besteht Gefahren- und Risikokarten erstellt worden. Diese Karten sind alle sechs Jahre zu erneuern und weisen Hochwasserszenarien einer seltenen, mittleren und einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit zu. Weiterhin wird die mögliche Ausdehnung, die Fließgeschwindigkeit, die Wassertiefe beziehungsweise der Wasserstand und die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen eines Hochwassergebietes angegeben. Dazu hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, kurz LAWA, 2010 Informationen zur Aufstellung von solcher Karten bereitgestellt. Neben Risiko- und Gefahrenkarten müssen seit dem Jahr 2015 Hochwasserrisikomanagementpläne alle 6 Jahre überprüft und erstellt werden. Mit diesen Plänen und Karten soll dafür gesorgt werden, dass die Auswirkungen eines Hochwassers verringert werden [Ahlhelm et al., 2016, S. 23 ff.].

Überschwemmungen können ebenfalls durch Schnee- und Hagelschmelze entstehen.

3.1.2 Schnee

Schnee ist Wasser in fester Form, dass sich aus Regen bei um die null Grad Celsius bildet und die Form von Eiskristallen annimmt.

3.1.2.1 Auswirkungen

Da die Winterniederschläge zunehmen, wird mit einer Zunahme von Schneeeignissen gerechnet, wodurch die Schnee- und Eislasten ansteigen. Gefährlich wird es, wenn durch Schneelasten Gebäudetragwerke überlasten und einstürzen. Dies war auch bei dem Unglück am 02. Januar 2006 der Fall, bei dem das Dach der Eissporthalle in Bad Reichenhall der Schneelastmenge nicht standhalten konnte. Da die Halle zur Einsturzzeit noch in Betrieb war, kamen zwölf Kinder und drei Frauen ums Leben [Haberlander, 2016].

Besonders gefährdet sind neben Versammlungsstätten und Schwimmhallen, Fassaden mit großen Vordächern und Balkonen, Flachdächer und gering geneigte Dächer. Schmelzwasser kann durch Rückstau in das Gebäude eindringen, wenn Abläufe und Regenrinnen durch Schnee- und Eisstau verstopft sind. Bei Minusgraden treten zusätzlich Frostsprengungen auf [Stock, 2015, S. 15 f.]. Da Wasser sich beim Erstarren um bis zu zehn Prozent ausdehnt, kann Gestein zerspringen, wenn Wasser in die Poren, Risse oder Klüfte gelangen [Koppe, 2014, S. 1 f.].

3.1.2.2 Klimaanpassungsmaßnahmen

Vermeiden lassen sich Frost sprengungen, indem das Fundament mindestens achtzig Zentimeter unterhalb der Frostschutzzgrenze gebaut wird, gemäß der DIN 1054:2021-04. Die DIN EN 1991-1-3:2010-12 regelt die Einwirkungen auf Gebäudetragwerke und legt Grundsätze für die Bestimmung von Schneelasten zur Berechnung von Bauwerken fest [Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung, 2012, S. 3 ff.]. In der Abbildung 3.6 sind die Schneelastzonen in der Bundesrepublik Deutschland dargestellt.

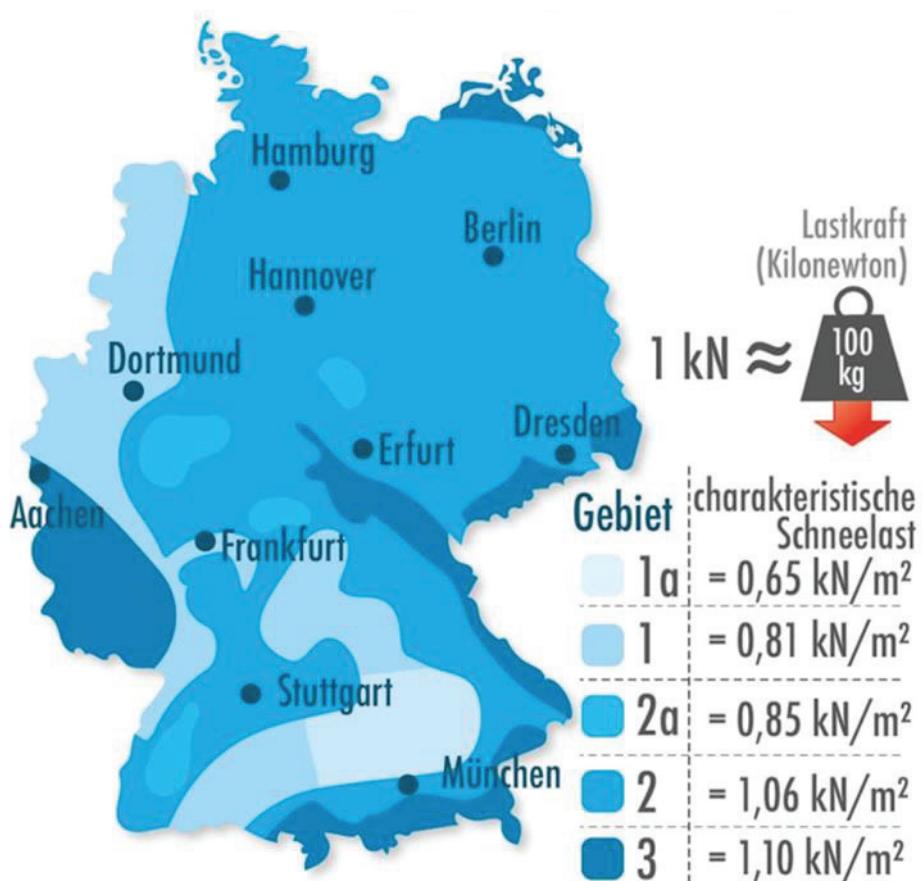


Abbildung 3.6: Schneelastzonen in der Bundesrepublik Deutschland [Anondi GmbH, 2022]

Die in den jeweiligen Regionen durchschnittlich auftretende Schneelast wird in Kilonewton pro Quadratmeter (kN/m^2) angegeben. Abhängig ist die Schneemenge von der Höhenlage und der Klimazone. Desto höher die Zonenzahl ist, umso stärker ist die möglich auftretende Schneelast. Die Werte der Schneelast sind für Schneeeereignisse mit einer Wiedereintrittswahrscheinlichkeit von 50 Jahren bestimmt. In hohem Maße von Schneelasten betroffen sind Gebiete wie die Eifel, Hunsrück, der Thüringer Wald, das Erzgebirge, das Fichtelgebirge, der Oberpfälzer Wald, der Bayerische Wald, das Alpenvorland und nördliche Teile der Küstenregion Mecklenburg-Vorpommern. In diesem

Regionen muss besonders bei der Planung von Gebäuden die Schneelastmenge bei der Tragwerksberechnung beachtet und falls notwendig verstärkt werden. Flachdächer und einseitige Dachbelastungen sind zu vermeiden. Außerdem sind in Regionen mit einem höheren Schneevorkommen entsprechende Schutzvorrichtungen gegen Dachlawinen einzubauen. Dazu gehört das Anbringen von Schneehaken oder Schneefanggittern [Anondi GmbH, 2022].

3.1.3 Hagel

Bei dem Niederschlag Hagel verfestigt sich Wasser zu Eisklumpen. Ist die Hagelkorngröße kleiner als einen halben Zentimeter wird dieser als Graupel bezeichnet [Stock, 2015, S. 13 f.].

3.1.3.1 Auswirkungen

Die Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft geht davon aus, dass Hagelereignisse in den nächsten Jahren zunehmen werden. Hagelschäden sind abhängig von der Größe und der Geschwindigkeit der Hagelkörner. In der Bundesrepublik Deutschland ist besonders der Süden von Hagelereignissen betroffen, wie die folgende Abbildung 3.7 aufzeigt.

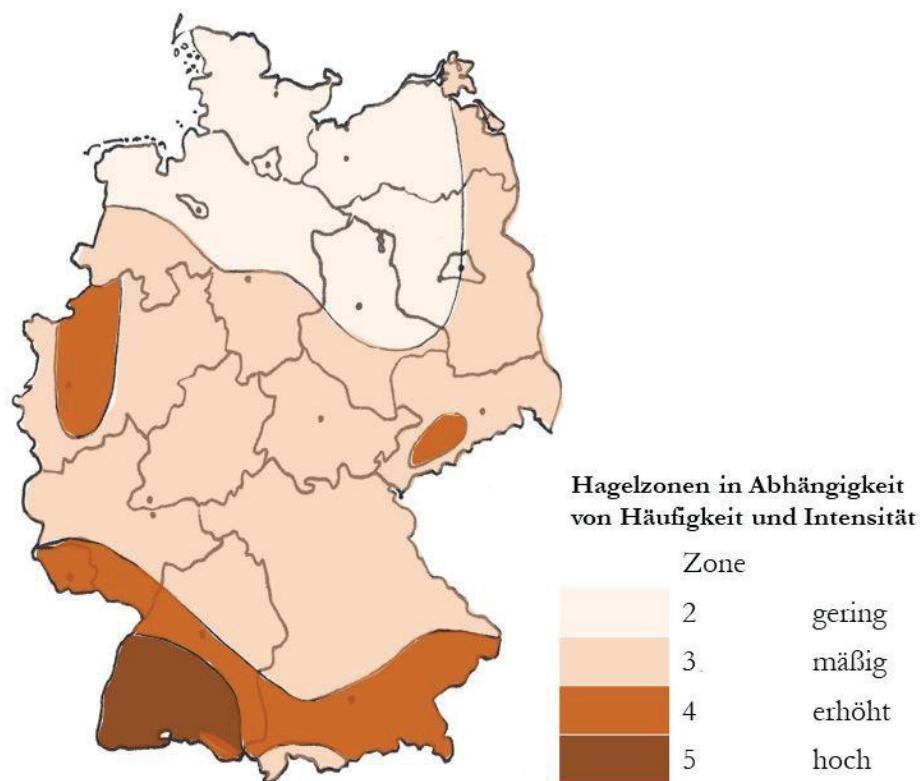


Abbildung 3.7: Hagelzonen in der Bundesrepublik Deutschland [Eigene Darstellung nach Bundesministerium für Inneres, für Bau und Heimat, 2020, S. 6]

Diese Darstellung ist vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat erstellt worden, um auf die Gefahrenpotentiale durch Hagel für Gebäude in den jeweiligen Regionen hinzuweisen. Die Bundesrepublik Deutschland wird in vier Zonen, von Zone 2 bis Zone 5, eingeteilt. Eine niedrige Zonenzahl stellt ein geringes Risiko von Hagelschäden dar. Die Zone 5 hingegen weist ein hohes Risiko auf. Dies zeigte sich am 28. Juli 2013 mit dem verheerenden Hagelsturm in Reutlingen in Baden-Württemberg, dass bis nach Bayern weiterzog. Hagelkörner hatten teilweise eine Größe von bis zu zwölf Zentimetern und beschädigten zahlreiche Fahrzeuge und Wohnungen. Es wurden mehrere Zehntausend Dächer beschädigt. Die Versicherungen gehen heute vom größten Hagelschadeneignis in der Bundesrepublik Deutschland mit einer Schadenshöhe von mehr als 3,6 Milliarden Euro aus [Südwest Presse, 2019; Stuttgarter Zeitung Verlagsgesellschaft mbH, 2013].

Bei Hagel sind Neubauten aufgrund ihrer Bauweise anfälliger als ältere Gebäude. Bei den modernen Wärmedämmssystemen wird der Oberputz zerstört, wodurch Nässe in das Gebäude gelangt. Leichte Dach-, Fassaden- und Verschattungselemente und Solaranlagen sind besonders anfällig, da diese bereits ab einer Hagelkorngröße von drei Zentimetern eingedellt oder zerstört werden können. Fenster und Glasdächer können bereits ab vier Zentimeter zerspringen [Stock, 2015, S. 13 f.].

3.1.3.2 Klimaanpassungsmaßnahmen

Die Gefährdung von Hagelschäden kann lokal nicht bestimmt werden. In Österreich und der Schweiz werden, um die Schadensresistenz zu erhöhen, Hagelregister genutzt. Dies stellt für die Bundesrepublik Deutschland eine gute Möglichkeit dar, Baustoff- und Bauelementehersteller zu animieren ihre Produkte auf Hagelwiderstand zu testen und zu optimieren. Widerstandsfähige Materialien erhalten ein Prüfsiegel und hier hätten die Gemeinden die Chance festzulegen, dass nur Materialien mit einem Hagelprüfiegel verbaut werden dürfen. Aktuell gibt es keine gesetzliche Grundlage, um Gebäude ab einer Hagelkorngröße von 2,5 Zentimetern zu schützen. Für Hagelkörner unter 2,5 Zentimetern gibt es die Norm DIN EN 12975:2022-06 für Solaranlagen und die DIN EN 13583:2012-10 für Dachabdichtungsbahnen. Um Schäden zu minimieren ist die Erstellung einer Hagelrisikokarte für die Bundesrepublik Deutschland von großem Nutzen [Stock, 2015, S. 13 f.; Faust und Rädler, 2018]. In besonders hagelgefährdeten Gebieten bietet sich die Festlegung der Art der Dachziegel im Bebauungsplan an. Zum Beispiel bieten Bieberschwanzziegel einen doppelten Schutz gegen Hagel, da diese von beiden Seiten überdeckt werden und bei einem Hagelschaden nur die oberste Schicht zerstört wird.

Dadurch kann kein Wasser ins Gebäude eindringen. Dies wird gemäß § 9 Abs. 5 Nr.1 BauGB ermöglicht, in dem Flächen, die durch äußere Einwirkungen oder bauliche Sicherheitsmaßnahmen gegen Naturgewalten betroffen sind, im Bebauungsplan gekennzeichnet werden. Resultierend daraus sind in den betroffenen Flächen besondere bauliche Vorkehrungen zu treffen.

3.2 Dürre und Hitze

Der Begriff „Dürre“ bezeichnet ein Wetterphänomen, das durch Wassermangel und extremer Trockenheit im Gegensatz zum üblichen Niveau über einen längeren Zeitraum gekennzeichnet ist.

Hitze definiert sich durch eine längere Wetterlage mit besonders heißen Tagen und starker Sonneneinstrahlung. Ein Tag wird als heißer Tag bezeichnet, wenn die Tageshöchsttemperatur mindestens 30 Grad Celsius beträgt. Heiße Tage sorgen oftmals für tropische Nächte, bei der das Temperaturminimum die 20 Grad Celsius Marke nicht unterschreitet. Eine Hitzewelle tritt dann auf, wenn über mehrere Tage hinweg Hitzetage und Tropennächte auftreten. Die Anzahl der Hitzetage und Tropennächte pro Jahr ist in der Bundesrepublik Deutschland regional sehr unterschiedlich verteilt. Beispielsweise ist der Norden Deutschlands weniger gefährdet als der Süden. So gab es im Jahr 2015 im Durchschnitt in Norddeutschland 18 Hitzetage, während in Süddeutschland 40 Hitzetage gemessen wurden.

Im Zeitraum von 2000 bis 2022 wurden im Südwesten der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich mehr als 30 Hitzetage gezählt und im Westen und Osten je 20 bis 30 Hitzetage [Umweltbundesamt, 2023].

3.2.1 Auswirkungen

Die Zunahme von Hitzetagen hat gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit. Hohe Temperaturen verursachen besonders bei älteren oder chronisch kranken Menschen Herz-Kreislaufprobleme. Durch die hohen Temperaturen in den Sommermonaten gab es in den Jahren von 2018 bis 2020 deutschlandweit über 19.000 Hitzetote [Rosenthal et al., 2022]. Speziell größere Städte sind von Hitzewellen aufgrund des hohen Versiegelungsgrades durch Siedlungs- und Verkehrsflächen stark betroffen. Es fehlt an Flächen, an denen das Niederschlagswasser im Boden versickert und anschließend durch Verdunstung zur Luftabkühlung beiträgt.

Durch eine zu hohe Bebauungsdichte fehlt es an freigehaltenen Flächen, ohne die ein Austausch zwischen der warmen städtischen Luft und der kühleren Luft des Umlandes in der Nacht nicht möglich ist. Demzufolge wird in der Stadt die Wärme des Tages gespeichert und heizt sich im Laufe einer Hitzewelle immer mehr auf. Die Lufttemperatur kann so mehr als 10 Grad Celsius wärmer sein als im Umland. Dieses Phänomen wird als Wärmeinseleffekt bezeichnet [Umweltbundesamt, 2023]. Wärmeinseleffekte nehmen besonders dort zu, wo es jetzt schon sehr warm im Sommer ist. Durch eine prognostizierte Abnahme von Niederschlagsmengen, in den Mittel- und Hochgebirgen sowie ganzjährig im Südosten der Bundesrepublik Deutschland werden diese Regionen, wie in Abbildung 1.4 und Tabelle 1.2 aufgeführt sind, zukünftig noch trockener und anfälliger für Hitzewellen werden.

Mit zunehmenden Dürreperioden steigt die Gefahr von Waldbränden. Speziell im Norden der Bundesrepublik Deutschlands bestehen die Wälder hauptsächlich aus Monokulturen wie Fichten oder Kiefern. Diese Bäume sind anfälliger, da sie kaum Wasser binden und daher leicht brennen. Bei Waldbränden wird das in den Bäumen gespeicherte CO₂ in die Umwelt abgegeben und fördert somit den Treibhausgaseffekt. Weltweit gelangen durch Waldbrände jährlich mehr als acht Milliarden Tonnen CO₂ in die Erdatmosphäre [Habich, 2022]. Neben Waldbränden stellt die Gefahr von Wasserknappheit eine zunehmende Bedrohung dar. In der Bundesrepublik Deutschland sind bereits mehr als 800 Kommunen von Wassermangel betroffen [Hagmann und Rademacher, 2022]. Eine weitere Gefahr stellt die Ausbreitung des Borkenkäfers dar. Der am meisten verbreitete Borkenkäfer ist der Buchdrucker, der vor allem die Rinde der Fichten, aber auch anderen Nadelbäumen wie Kiefern oder Douglasien befällt, um unter der Rinde zu brüten. Normalerweise kann eine Fichte, den Buchdrucker durch Harzbildung vor dem Eindringen in die Rinde aufhalten, durch Dürren leiden die Fichten aber an Wassermangel. Dadurch wird die Harzbildung eingeschränkt und der Buchdrucker tötet den Baum [Kautz et al., 2021, S. 8 ff.].

3.2.2 Klimaanpassungsmaßnahmen

Zur Vermeidung von Dürren und Hitzebelastungen müssen Städte und Gemeinden umgestaltet werden. Eine elementare Maßnahme gegen Hitzebelastung stellt ein Umdenken in der Gebäudeplanung dar.

a) Art und Maß der baulichen Nutzung

Gebäude müssen so angepasst werden, dass diese weniger anfällig für Hitzebelastungen werden. Mit § 5 Abs. 2 Nr. 1 BauGB sind Gemeinden in der Lage im Flächennutzungsplan zu

bestimmen, mit welcher Art und welchem Maß Flächen baulich genutzt werden sollen. Zum Beispiel kann durch die Regelung, dass an Stadtrandgebieten keine urbanen oder Industriegebiete möglich sind, sondern nur Kleinsiedlungs- oder Dorfgebiete ausgewiesen werden, Kaltluftschneisen durch die geringe Bebauungsdichte entstehen oder weniger Flächen versiegeln werden. Gemäß § 16 Abs.2 der Baunutzungsverordnung (BauNVO) kann zusätzlich mit dem Maß der baulichen Nutzung im Bebauungsplan ein Höchstwert für die Grundflächenzahl festgelegt werden. Die Grundflächenzahl definiert sich im Sinne des § 19 Abs. 1 BauNVO als die zulässige Quadratmeterzahl einer Grundfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche. Der § 17 BauNVO legt die Orientierungswerte für Obergrenzen der Grundflächenzahl fest. Bei urbanen sowie Industrie- und Gewerbegebieten dürfen maximal 80 Prozent einer Grundstücksfläche überbaut werden, Dorfgebiete nur zu 60 Prozent.

b) Bauweise, der überbaubare und nicht überbaubare Grundstücksflächen und Stellung baulicher Anlagen

Mit § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB kann für ein Gebäude die Bauweise, die überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen und die Stellung der baulichen Anlagen festgesetzt werden. Gemäß § 22 BauNVO kann die Bauweise entweder geschlossen oder offen erfolgen, wie in der Abbildung 3.8 dargestellt ist.

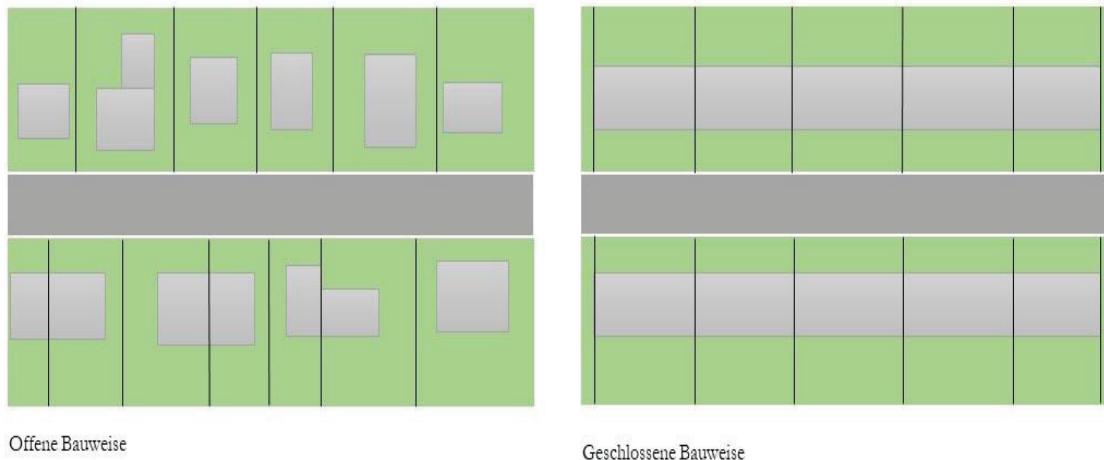


Abbildung 3.8: Offene und Geschlossene Bauweise [eigene Darstellung]

Eine offene Bauweise liegt vor, wenn ein Gebäude zu allen Seiten einen Grenzabstand besitzt. Zu der offenen Bauweise zählen Einfamilienhäuser, Doppelhäuser und Hausgruppen bis zu einer Gesamtlänge von 50 Metern. Die geschlossene Bauweise tritt dagegen auf, wenn

die Gebäudelänge mehr als 50 Meter beträgt oder seitlicher Grenzabstand zu nebenstehenden Gebäuden fehlt. Zukünftig ist eine geschlossene Bebauung zu vermeiden, da hier weniger Frischluftschneisen zur Verfügung stehen und mehr Flächen versiegelt werden.

Bei der Stellung der baulichen Anlagen muss darauf geachtet werden, dass die Gebäude nach der Sonne ausgerichtet werden. Fenster sollen in Richtung Süden eingebaut werden, da dies für den unterschiedlichen Einfallswinkel der Sonne im Winter und Sommer ideal ist. Im Winter ist der Stand der Sonne niedrig, wodurch die Sonnenstrahlung in einem großen Winkel in das Gebäude fallen kann um dieses zu erwärmen. Dagegen weist die Sonne in den Sommermonaten in Südrichtung einen hohen Stand auf, wobei nur teilweise Sonnenstrahlung in das Gebäudeinnere gelangen. Fenster in Ost- und Westrichtung sind zu vermeiden, da diese durch den Einfallswinkel der Sonne das Gebäude zusätzlich erwärmen. Die Fenstergröße muss so gewählt werden, dass diese das Gebäude aufwärmst, aber nicht in übergroßem Maße. Darstellungen zur klimaangepassten Stellung von Gebäuden sind in der Abbildung 3.9 zu finden.

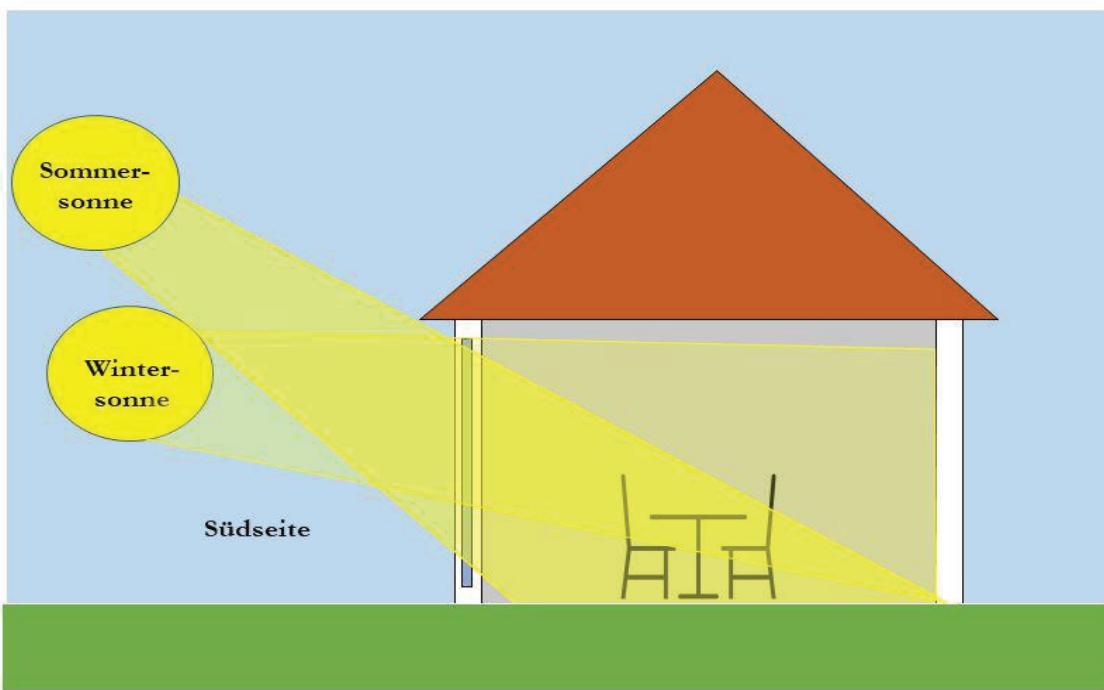


Abbildung 3.9: Einfallwinkel von Sommer- und Wintersonne auf der Gebäudesüdseite [eigene Darstellung]

Ansonsten können an Fenstern bewegliche Sonnenschutze wie Rollläden oder Markisen angebaut werden. Gebäude müssen zudem ausreichend gedämmt werden, um im Sommer ge-

gen Hitze und im Winter gegen Kälte geschützt zu sein. Gebäude müssen in einer Massivbauweise gebaut werden, da das die beste Möglichkeit für die Energie- und Wärmedämmung bietet.

Mit der Festlegung überbaubarer Grundstücksflächen im Bebauungsplan lässt sich die Stellung baulicher Anlagen einfacher handhaben. Gemäß § 23 Abs. 1 BauNVO können von den Planungsbehörden Baulinien, Baugrenzen und Bebauungstiefen festgelegt werden. Während an der Baulinie gebaut werden muss, darf bei einer Baugrenze diese durch Gebäude- oder Gebäudeteile nicht überschritten werden. Die Bebauungstiefe gibt an, wie weit von der Straßengrenze entfernt gebaut werden darf. Ein geringfügiges Vortreten von Gebäudeteilen bei allen drei Kennlinien kann zugelassen werden. Mit diesen Regelungen kann gewährleistet werden, dass das Wasser auf den nicht überbaubaren Flächen versickern kann.

c) Festlegung von Höchst- und Mindestmaßen

Durch den § 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB können Planungsbehörden regeln, dass nur bestimmte Höchstmaße für Grundstücke festgesetzt werden, um den Versiegelungsgrad einer Gemeinde einschränken zu können. Zudem kann durch die Festsetzung von Mindestmaßen für die Größe, Breite und Tiefe eines Wohngrundstückes erreicht werden, dass nicht überall gebaut wird und so Flächen freigehalten werden.

Die freizuhaltenden Flächen gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB haben die Funktion als Kalt- und Frischluftschneise zu dienen. Durch das Anlegen von Luftaustauschbahnen innerhalb eines Stadtgebietes durch die Freihaltung von Flächen oder durch die Nutzung von städtischen Grünflächen wird dazu beigetragen, dass die Stadtluft sich mit der Luft des Umlandes austauscht, kalte und frische Luft in die Städte gelangt und sich das Klima abkühlt. Grünflächen und von Bebauung freizuhaltende Gebiete müssen durch Grünzüge miteinander verbunden werden.

d) Ausnutzung des Albedo-Effekts

Bei bereits bestehenden Gebäuden liegt die schnellste Variante der Klimaanpassung in der Änderung der Fassadenfarbe. Dies kann durch eine Festlegung in einer Gestaltungssatzung geregelt werden. Dunkle Farben absorbieren den größten Teil des Sonnenlichts und geben diese als Wärme an das Umfeld ab. Bei hellen Farben hingegen wird nur ein geringer Teil der Sonnenstrahlen aufgenommen. In Zuge dessen erhitzt sich die Umgebungsluft weniger stark. Diese Variante des Hitzeschutzes wird seit Jahrhunderten im Mittelmeerraum angewandt.

Ein ähnlicher Effekt kann durch den Austausch von dunklen zu hellen Dachziegeln erfolgen oder durch den Anstrich von asphaltierten oder geteerten Dächern mit hellen Farben. Ansonsten bietet sich die Verwendung von wärmereflektierenden Dachbeschichtungen an. Ein Austausch der Fassaden- und Dachziegelfarben sorgt nicht nur für eine kühlere Umgebungstemperatur, sondern trägt auch dazu bei, dass sich das Gebäudeinnere nicht so stark aufheizt.

Durch städtebauliche Sanierungsmaßnahmen können Dachziegel ausgetauscht und der Fassadenanstrich geändert werden. Da aus Kostengründen diese Maßnahme nicht überall sofort umgesetzt werden kann, wäre eine Möglichkeit der Umsetzung, dies durch ein Gesetz auf Bundesebene zu regeln, dass festgelegt, dass alle neu zu deckenden Gebäude nur noch mit wärmereflektierenden Dachbeschichtungen oder in hellen Farbtönen gedeckt werden dürfen. Hierbei muss ein Farbton gewählt werden, der im Straßenverkehr nicht zu stark blendet. Diese Maßnahme wirkt unterstützend, da durch helle Fassaden und Dächer weniger Klimaanlagen zur Abkühlung im Gebäude eingebaut und verwendet werden müssen, wodurch Energie gespart wird.

Zudem verursachen Verkehrsflächen ein erhöhtes Potential der Hitzespeicherung. Hier sollten hellere Asphaltfarben verwendet werden, anstatt dunkle stark absorbierende Farben. Vollversiegelte Flächen sind durch leicht versiegelte Flächen zu ersetzen, um zur Abkühlung des Mikroklimas zu sorgen.

e) *Dach- und Fassadenbegrünung*

Dachbegrünungen tragen zur Verringerung von Hitzebelastung bei. Für eine Dachbegrünung wird auf dem Dach zunächst eine Dachkonstruktion, eine wurzelfeste Dachabdichtung und eine Speicher- und Drainageschicht mit einem Filterflies montiert. Darüber wird die Substratschicht aufgebracht, in der die Begrünung gepflanzt wird. Die Dachbegrünung wird unterteilt in extensiv und intensiv.

Eine extensive Dachbegrünung weist eine geringe Substrattiefe von fünf bis 15 Zentimetern auf und bietet eine mittlere Dämmung. Ein Betreten ist bei dieser Art der Dachbegrünung nicht vorgesehen. Der Vorteil der extensiven Dachbegrünung besteht darin, dass nur beim Anpflanzen das Dach zusätzlich bewässert werden muss. Nach dem Anwachsen der Pflanzen in der Substratschicht reicht das Niederschlagswasser zur Bewässerung aus und sind daher einfach in der Pflege. Extensive Dachbegrünungen können auf Dächern von 0 bis 45 Grad Neigung angebracht werden, wenn das Gebäudetragwerk für das zusätzliche Gewicht

geeignet ist [Brune, Bender und Groth, 2017, S. 6 ff.]. Als extensive Dachbegrünung können widerstandsfähige Sukkulanten, Iris-, Lauch- und Zwiebelarten, Kräuter, Gräser und Moose eingesetzt werden [Krupka, 2022, S. 189 ff.].

Im Gegensatz dazu ist die Dicke der Substratschicht bei der intensiven Dachbegrünung mit 25 bis 100 Zentimetern viel stärker notwendig. Dadurch können hier Bäume und Sträucher auf Dächern angepflanzt werden, wodurch ein zusätzlicher Lebensraum entsteht. Der Pflegeaufwand und der Bewässerungsbedarf sind deutlich höher als bei der extensiven Dachbegrünung. Das Gebäudetragwerk muss so konstruiert sein, dass es eine intensive Dachbegrünung inklusive Wasserrückhaltung nach Niederschlägen aushält. Der Vorteil an der intensiven Dachbegrünung ist, dass diese zusätzlich eine hohe Dämmung des Daches bietet. Intensive Dachbegrünungen können aufgrund der tieferen Substratschicht nur auf einem Dach von 0 bis 5 Grad Neigung verwendet werden [Brune, Bender und Groth, 2017, S. 6 ff.]. Die folgenden Abbildung 3.10 zeigt ein extensiv begrüntes Dach.



Abbildung 3.10: extensive Dachbegrünung [eigene Aufnahme]

Dachbegrünungen halten 50 bis 90 Prozent des Niederschlagswassers auf dem Dach zurück. Während bei unbegrünten Dächern 95 Prozent der Sonnenstrahlen in Wärmeenergie umgewandelt werden, sind es bei einem Dach mit Begrünung nur 58 Prozent [Magistrat der Stadt Kassel - Dezernat Stadtentwicklung, Bauen und Umwelt (Hrsg.), 2018, S. 10 f.].

Eine weitere Form Gebäude zu begrünen stellt die Fassadenbegrünung dar, wie in der Abbildung 3.11 dargestellt wird.



Abbildung 3.11: Fassadenbegrünung [eigene Aufnahme]

Diese Variante bietet sich besonders in Bereichen mit geringen Gebäudeabständen an, zwischen denen Bäume und Sträucher keinen Platz haben, um für Abkühlung und Regenwasserrückhaltung zu sorgen. Fassadenbegrünungen tragen dazu bei, dass die Fassade eines Gebäudes vor Umwelteinflüssen geschützt wird und sich nicht so stark erwärmt [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), 2016, S. 32].

Als Fassadenbegrünung finden verschiedene Systeme Anwendung. Hierbei wird zunächst unterschieden zwischen bodengebundenen und fassadengebundenen Begrünungen. Die bodengebundenen Begrünungen kennzeichnen sich dadurch, dass Kletter- oder Hängepflanzen aus dem Boden oder einem Pflanzbehälter an der Wand mit oder ohne Kletterhilfen gepflanzt werden. Für die fassadengebundenen Begrünung kommen Pflanzgefäße mit Kletterpflanzen, Modulsysteme aus Körben oder Rinnen oder durch Flächenkonstruktionen zu denen Textilsysteme gehören zum Einsatz [Brune, Bender und Groth, 2017, S. 10].

f) Erhöhung des Grünfächeneanteils

Eine unvermeidbare Maßnahme Städte klimaangepasster zu gestalten besteht darin, den Anteil des Stadtgrüns zu erhöhen. Moore und Wälder müssen erhalten bleiben oder

reantuiert werden, da diese nicht nur Wasser speichern, sondern gleichzeitig die Luft durch Verdunstung abkühlen. In besonders hitzeanfälligen Bereichen wie stark versiegelten Gebieten oder an Verkehrsflächen müssen Bäume gepflanzt werden zur Verbesserung der Luft und zur Abschattung. In jeder Gemeinde ist der Anteil des Stadtgrüns zu erhöhen, dazu kann der § 9 Abs. 1 Nr. 25 a und b BauGB genutzt werden. Dadurch kann ein Anpflanzen und die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen gewährleistet werden. Für Kaltluftschneisen und die Erhöhung des Grünanteils findet der § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB Anwendung, bei dem Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft festgesetzt werden können. Bei der Wahl von Pflanzen für das Stadtgrün wird aus praktischer Sicht die Anpflanzung von Wildpflanzen empfohlen, da sie weniger gepflegt werden müssen aufgrund ihrer Resistenz. Zu den besonders trockenheitsverträgliche Arten gehören Gehölze, Stauden und kurzlebige Kräuter. Dazu zählen zum Beispiel die Felsenbirne, die Färberkamille, die Kornelkirsche, Hasenklee, verschiedene Mohnarten und Salbei [Krupka, 2022, S. 155 ff.].

Um für einen größeren Grünflächenanteil zu sorgen, hat zum Beispiel das niedersächsische Oberlandesgericht im Januar 2023 ein Urteil des Verwaltungsgerichts Hannover bestätigt, nach dem seit dem Jahr 2012 laut Bauordnung in Niedersachsen Schottergärten verboten sind. Durch dieses Gerichtsurteil ist es den Behörden erlaubt, mit Kies oder Steinplatten versiegelte Flächen zu verbieten und sogar eine Beseitigung des Schotters anzuordnen [Naturschutzbund Deutschland e. V. (NABU), 2023, S. 16].

Durch die Flurneuordnung können Habitate für wildlebende Pflanzen und Tiere als Unterstützung für Nützlinge geschaffen werden. Eine weitere Handlungsstrategie für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels besteht in der Zusammenlegung von kleinstparzellierten Privatwäldern. Durch die Zusammenlegung wird eine klimaresistente Wiederbewaldung vereinfacht. Durch den Wechsel zu klimaresistenten Laubbaumarten wird die Gefahr von Schädlingsbefall verringert [Hunke-Klein, 2022, S. 149].

Die Stadt Weißwasser ist ein Beispiel wie durch Stadtumbaumaßnahmen Waldlandschaften neu entstehen können. Seit der Wende standen mehr als 30 Prozent aller Wohnungen in Weißwasser-Süd leer und wurden zurückgebaut. Als Nachnutzungsstrategie fand ein Umbau der Flächen zu einer urbanen Waldlandschaft statt [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2009, S. 64].

g) Erosionsschutz

Im ländlichen Bereich können mit konsequenter Planung der Flurneuordnungsbehörden Maßnahmen zur Vermeidung von Erosionen geschaffen werden. Dazu gehören Anlagen zur Verringerung der Austrocknung des Bodens durch Sonneneinstrahlung. Ebenfalls müssen die landwirtschaftlichen Flächen auf die Standorte angepasst werden, um die Gefahr vor Erosionen zu verringern zum Beispiel durch die Drehung der Bewirtschaftungsrichtung [Hunke-Klein, 2022, S. 149].

h) Erdhügel- und Erdhäuser

Eine bereits von den Ureinwohnern Amerikas und den Wikingern betriebene Art zu bauen, besteht darin Gebäude unter die Erde zu verlegen. Diese Art des Bauens ist seit den 1970er-Jahren wiederbelebt worden und wird aktuell zum Beispiel von der Firma Archy Nova Projektentwicklung GmbH betrieben. Von dieser Firma werden die Gebäude als SolArc©-Erdhügelhäuser bezeichnet. Ein Erdhügelhaus kennzeichnet sich dadurch, dass anstatt ein Gebäude mit einem Dach zu versehen, eine Erdschicht über das Gebäude aufgetragen wird. Bei einem Erdhaus wird ein Gebäude an und in einen Erdhang gebaut. Der Vorteil beider Bauweisen ist die Dämmung durch die Erdschicht über und an den Seitenwänden des Gebäudes, sodass sich das Gebäudeinnere nur langsam aufheizt. Neben der Kühlung im Sommer speichern sie die Wärme im Winter, wodurch Erdhügel- und Erdhäuser sehr energieeffizient sind. [Kölner Stadt-Anzeiger, 2008; Archy Nova Projektentwicklung GmbH, o. D.].

3.3 Stürme

Anhand der Tabelle 1.2 und der Abbildung 1.4 geht hervor, dass zukünftig Windereignisse in Form von Stürmen besonders in den Küstenbereichen stark zunehmen. Wind definiert sich als eine gerichtete Luftbewegung und entsteht dadurch, dass das Sonnenlicht die Luft erwärmt. Da nicht überall gleich viele Sonnenstrahlen auf die Erde gelangen, sondern dies je nach Region vom Winkel der Erde zur Sonne abhängt, erwärmt sich die Luft in der Erdatmosphäre nicht an jedem Ort mit ähnlichen Temperaturen. Die ungleichen Temperaturen der Luft führen zu Unterschieden des Luftdrucks. Um den Luftdruck auszugleichen strömt die Luft von Kaltluftgebieten mit höheren Druck in Tiefdruckgebiete mit niederen Druck. Je größer der Unterschied zwischen den Luftsichten ist, umso stärker weht der Wind [Wissenschaft im Dialog, 2008].

3.3.1 Auswirkungen

Zur Bestimmung der Windstärke wird die Beaufort-Skala verwendet, die in der Tabelle 3.1 dargestellt ist.

Stärke nach Beaufort	Bezeichnung Windstärke	Mittlere Windgeschwindigkeit		Auswirkungen
		in km/h	in m/s	
0	Windstille	< 1	0 - 0,2	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	1 - 5	0,3 - 1,5	Windrichtung wird angezeigt durch Zug des Rauches
2	leichte Brise	6 - 11	1,6 - 3,3	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise/ schwacher Wind	12 - 19	3,4 - 5,4	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise/ mäßiger Wind	20 - 28	5,5 - 7,9	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise/ frischer Wind	29 - 38	8,0 - 10,7	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	39 - 49	10,8 - 13,8	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Stromleitungen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	50 - 61	13,9 - 17,1	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	62 - 74	17,2 - 20,7	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	75 - 88	20,8 - 24,4	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben angehoben)
10	schwerer Sturm	89 - 102	24,5 - 28,4	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	103 - 117	28,5 - 32,6	Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	> 118	ab 32,7	Schwere Verwüstungen

Tabelle 3.1: Beaufort-Skala [eigene Tabelle nach Sävert, Wagner und Laps, 2011; Deutscher Wetterdienst, o. D.]

Die Windgeschwindigkeiten sind in km/h und m/s angegeben und werden in zehn Meter Höhe über freiem Gelände gemessen. Mit der Windgeschwindigkeit steigt die Beaufort-Skala und der Wind wird extremer. Ab einer Windstärke von 9 wird der Wind als Sturm bezeichnet. Von einem Orkan wird ab einer Windgeschwindigkeit von über 118 km/h gesprochen.

Stürme sind in der Lage Wassermengen in Gewässern aufzuwirbeln, wodurch Überschwemmungen entstehen. Zu hohe Windgeschwindigkeiten lassen Äste abbrechen, Bäume entwurzeln und verursachen große Schäden an Gebäuden. In der Bundesrepublik Deutschland sind Gebäude aufgrund ihrer Massivbauweise weniger gefährdet, allerdings stellen Dachbauteile und sonstige Anbauten wie Rollläden potentielle Gefahrenquellen dar.

Im Winter gehen die Stürme mit Regen, Schnee und Hagel einher und dies führt bei Dächern zu Mehrfachbelastungen. Besonders anfällig bei stärkerem Wind sind Gebäude die schwinganfällig oder über 25 Meter hoch sind. Anbauten wie Sonnensegel, Antennen, Kaminanbauten oder Entwässerungsanlagen bieten dem Wind Angriffsflächen und können sich lösen und durch die Luft wirbeln. Dachneigungen unter sieben Grad werden durch Wind extrem belastet, da sich durch ihre Dachform permanent Windsog und Winddruck abwechseln und dadurch Belastungen ausgesetzt sind. Zudem besteht bei großflächigen Bauelementen die Gefahr, dass sich diese verformen oder brechen. Offene Gebäude stellen ein hohes Gefahrenpotential dar, bei ihnen können sich Windkräfte von innen heraus auf die Konstruktion auswirken und in Folge dessen Dächer anheben oder Konstruktionen einstürzen lassen. In allen Fällen besteht Lebensgefahr für den Menschen [Stock, 2015, S. 5 ff.]. In den letzten Jahren traten vermehrt Windereignisse mit einem hohen Wert der Beaufort-Skala auf. Mit zu den zerstörerischen Stürmen gehört das Orkantief „Kyrill“. Dieser wehte am 18. Januar 2007 über Europa mit einer Geschwindigkeit von bis zu 225 Kilometer pro Stunde. Der Wintersturm ließ allein im Bundesland Nordrhein-Westfalen 25 Millionen Bäume und 500 Strommasten umstürzen und zerstörte mehr als 1,7 Millionen Gebäude. Die Schäden durch den Orkan Kyrill wurden europaweit auf 10 Milliarden Euro geschätzt [Grzesiak, 2019]. Weitere große Stürme waren die Orkane Mortimer (2019), Yulia (2020) und Zeynep (2022).

3.3.2 Klimaanpassungsmaßnahmen

Das Deutsche Institut für Bautechnik teilt die Bundesrepublik Deutschland in vier Windlastzonen ein. Mit diesen wird der Mindest-Sicherheitsstandard von Gebäuden eines bestimmten Gebietes kenntlich gemacht [Deutsches Institut für Bautechnik, 2022]. Zur

Ermittlung der Windlast eines Gebäudes für die Bemessung des Tragswerks, der Dächer und der Fassaden wird neben den Windzonen die DIN 1991-1-4:2010-12, auch Eurocode 1 genannt, verwendet.

Um Sturmschäden zu vermeiden, sind Gebäude regelmäßig auf Gefahrenquellen zu untersuchen und gegebenenfalls zu verbessern. Aus Gründen der Verkehrssicherheit müssen Bäume auf etwaige brüchige Äste oder mögliche Entwurzelungen überprüft werden.

Fenster stellen ebenfalls eine Gefahr bei Sturm dar. Im Bebauungsplan besteht die Möglichkeit festzulegen, dass nur Fenster in Gebäude einzubauen sind, die sich nach außen öffnen lassen. Hintergrund ist, dass bei Luftzug die Fenster in den Rahmen gepresst werden. In Dänemark ist dies aufgrund der häufigen Stürme Standard. Außerdem lässt sich die Art der Dachform festlegen, indem zum Beispiel nur eine Dachneigung von mindestens sieben Grad erlaubt wird. Türen und Fenster können mit Windsensoren ausgestattet werden. Diese Sensoren besitzen die Fähigkeit den Wind zu messen. In einem solchen Fall kann ein Alarm durch die Sensoren ausgelöst oder die Türen automatisch geschlossen werden. Außerdem bietet sich als Windschutz ein tiefgezogenes Dach an [Stock, 2015, S. 6 ff.]. Durch den § 9 Abs. 5 Nr. 1 BauGB können entsprechende Flächen im Bebauungsplan gekennzeichnet werden. Dies ermöglicht besondere bauliche Vorkehrungen vor Naturgefahren treffen zu können.

Als Windsogsicherung können Flachdächer durch mechanische Befestigungen, Auflastungen oder Verklebungen gesichert werden. Mechanischen Befestigungen sind die Saum-, die Schienen-, die Klettsystem- oder die Feldbefestigung, das sind vier Möglichkeiten ein Flachdach mit Kunststoffbahnen abzusichern. Durch diese Methoden haben Belastungen der Unterkonstruktion durch Windsog keine Auswirkungen auf das Dach. Auflastungen sorgen dafür, dass Flachdächer nicht wegwehen. Dazu können Bekiesungen oder Dachbegrünungen eingesetzt werden. Bei der Verwendung ist auf die notwendige Auflastmenge zu achten und die Auflastung muss von der Unterkonstruktion tragbar sein. Eine weitere Art der Windsogsicherung ist die Verklebung, dabei werden die Dachbahnen der Flachdächer entweder vollständig verklebt oder nur die windanfälligsten Bereiche jeweils punkt- oder streifenweise [Walther, 2013].

Bei der Planung eines Gebäudes ist die Hauptwindrichtung zu beachten. Durch den § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB können Städte und Gemeinden die Stellung baulicher Anlagen durch Baulinien, Baugrenzen und Bauflächen festlegen.

Bäume stellen zwar ein Gefahrenpotential bei einem Sturm dar, sie besitzen jedoch die Fähigkeit den Wind abzumildern. Gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 24 und Nr. 25 BauGB kann geregelt werden, dass Bäume und Sträucher gepflanzt und erhalten bleiben. Eine weitere Anpassung gegen Stürme ist durch die Flurneuordnung möglich. Flurneuordnungsbehörden sind in der Lage durch Planung für den Erhalt von Windsäumen und -mänteln zu sorgen. Dieser Erhalt dient zur Vermeidung der Gefahr durch Windwürfe. Zudem können Anlagen zum Schutz vor Winderosionen angelegt werden [Hunke-Klein, 2022, S. 149]. Für die Gebäudeplanung oder sonstige Zwecke ist es dennoch notwendig, dass Bäume einen entsprechenden Sicherheitsabstand aufweisen. Dies wird zum Beispiel in der Begründung des Bebauungsplans Nr. 39/15 „Campingplatz Fährkrug“ der Stadt Templin dargelegt. In diesem Bebauungsplan wird die Nutzung von Campingplätzen der dicht mit Bäumen bestandenen Ufervegetation verboten [W.O.W. Kommunalberatung und Projektbegleitung GmbH, 2020, S. 87]. Es sollte hier jedoch auf Baumarten mit Herz- oder Tiefwurzeln gesetzt werden, da deren Wurzeln fester im Boden verankert sind, zu dem beispielsweise die Stieleiche gehört.

4 Schlussbetrachtungen

Ein Rückblick auf die in Kapitel 3 beschriebenen Auswirkungen von Extremwetterereignissen verdeutlicht die Notwendigkeit der Klimaanpassung. Aus diesem Grund werden Beispiele für mögliche Klimaanpassungsmaßnahmen in Städten und Gemeinden zum Schutz vor den Auswirkungen von Extremwetterereignissen durch Dürren, Hitzewellen, Extremniederschläge, Überschwemmungen und Stürme vorgestellt. Die beschriebenen Maßnahmen werden im Folgenden aus fachlicher Perspektive kritisch betrachtet. Dabei soll die Frage beantwortet werden, inwieweit diese Maßnahmen ausreichend sind, um sich gegen die Folgen des Klimawandels zu schützen. Zudem werden Möglichkeiten der Klimaanpassung diskutiert, die über die bereits dargestellten Maßnahmen hinaus gehen.

Im Bereich der Anpassungsmaßnahmen stellt die Flächenentsiegelung eine der größten Bereiche dar, wie stadtplanerisch die Auswirkungen des Klimawandels verringert werden können. Durch Flächenentsiegelung wird ein Versickern des Niederschlagswassers in den Erdkörper ermöglicht. Infolgedessen kann dieses Wasser zu einem Teil über Nacht verdunsten, wodurch die Umgebungsluft abgekühlt wird und sich positiv auf heiße Tage auswirkt. Der restliche Teil des Wassers gelangt ins Grundwasser und verringert das Risiko von Dürren. Flächenentsiegelung kann durch eine offene Bauweise erleichtert werden, da so zwischen den einzelnen Gebäuden Wasser im Boden versickert. Einfluss auf die Versickerung haben

auch die Festlegungen im Bebauungsplan zu überbaubaren Grundstücksflächen sowie zu Mindest- und Höchstmaßen von Baugrundstücken. Hierbei handelt es sich um einen guten Ansatz, der bei einem neugeplanten Gebiet gut umsetzbar ist. In kleineren Gemeinden ist die offene Bauweise zumeist die Standardbauweise, da hier ausreichend Platz vorhanden ist. Dagegen gibt es in städtischen und stark verdichteten Gebieten, wie im Stadtkern, kaum Möglichkeiten eine offene Bauweise umzusetzen. Aus diesem Grund müssen in solchen Gebieten andere Klimaanpassungsmaßnahmen als Ausgleich verpflichtend eingesetzt werden wie die Dach- und Fassadenbegrünung.

Flächen können trotz Versiegelung bis zu einem gewissen Grad wasserdurchlässig sein. Zum Beispiel kann durch die Verwendung von Natursteinpflastern noch 80 Prozent des Niederschlagwassers im Boden versickern, asphaltierter Boden ist dagegen nicht wasserdurchlässig. Asphaltierte Flächen haben nicht nur den Nachteil, dass sie kein Wasser durchlassen, sondern es sind gerade diese Flächen in den Gemeinden, die sich im Sommer am meisten aufheizen. Flächenentsiegelung oder der Austausch des Versiegelungsmaterials ist eine schnell anzuwendende Möglichkeit Städte und Gemeinden klimaangepasster zu gestalten. Hierin liegt enormes Potential, da aus stadtplanerischer Sicht diese Flächen nicht verloren gehen, sondern lediglich der Straßenbelag ausgetauscht wird. Der Fokus bei den Behörden muss auf der ortsnahen Versickerung liegen. Die dezentrale Versickerung ist nur eine Ausweichmöglichkeit, um das Wasser in den Erdboden versickern zu lassen. Durch Flächenentsiegelung entstehen Vorteile für die Anwohner, da diese beispielsweise in viel geringerem Maß von Überschwemmungen bedroht sind, da das Niederschlagswasser versickert, abfließt und sich nicht anstaut. Zudem trägt die Abkühlung der Luft durch Verdunstung zur Verringerung von Herz-Kreislaufproblemen bei.

Ein ähnlicher Effekt kann städtebaulich durch die Freihaltung von Flächen als mittelfristige Maßnahme erfolgen. Neben der Versickerungsmöglichkeit von Niederschlagswasser muss eine Flächenfreihaltung zur Bildung von Kalt- und Frischluftschneisen gewährleistet werden. Diese Luftschnesen sind unerlässlich für den Temperaturhaushalt einer Stadt, da so ein Austausch der Stadtluft und der Umgebungsluft durch Luftaustauschbahnen erfolgen kann. Dies führt zu einer Abkühlung der Stadtluft und somit zu einer Verringerung des Wärmeinseleffektes. Zusätzlich kommt nicht nur kühlere Luft, sondern auch frischere Luft in die Städte. Dieser Abkühlungseffekt lässt sich verstärken, indem die von Bebauung freigehaltenen Flä-

chen mit einem Netz aus Grünzügen kombiniert werden. Dadurch wird der Anteil des Stadtgrüns einer Stadt erhöht, wobei gleichzeitig etwas für die Mitigation, den Klimaschutz getan wird, da Bäume CO₂ aufnehmen.

Bäume dienen nicht nur als CO₂-Speicher, sondern auch als Windfang. Da zukünftig Stürme zunehmen, ist es notwendig den Baumbestand deutlich zu erhöhen. Gefällte Bäume müssen dreifach ausgeglichen werden. Obwohl der klimatische Nutzen von städtischen Grünflächen bekannt ist, werden dennoch jedes Jahr circa 543 Hektar für Siedlungs- und Verkehrsflächen in der Bundesrepublik Deutschland verwendet. Die Behörden unterstützen mit der Anordnung solcher Maßnahmen die Auswirkungen des Klimawandels. Hier liegt ein dringender Handlungsbedarf vor, da es viel schwieriger sein muss Grünflächen zu vernichten und Bäume zu fällen. Das Eingriffs- und Ausgleichsgebot stellt in diesem Fall keine ideale Lösung dar, weil trotzdem ein Eingriff in die Natur stattfindet. Wird zum Beispiel eine Baumgruppe gefällt, wachsen diese in der Größe nicht bis zum nächsten Jahr nach, sondern es braucht Jahrzehnte bis dieser Eingriff wirklich ausgeglichen wurde. Solange sich die Bäume im Wachstum befinden, bieten sie wenig Schutz vor Sturm, speichern wenig Wasser und bieten keinen ausreichenden Schutz vor Sonneneinstrahlung. Ein behördlich kontrollierter Ausgleich muss stattfinden. Das Pflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen kann kurzfristig umgesetzt werden. Es ist hier jedoch Geduld beim Wachsen der Pflanzen geboten. Aus diesem Grund stellt diese Klimaanpassungsmaßnahme einer der langfristigsten Methoden dar. Um genügend Jungpflanzen zur Aufforstung der Wälder und der städtischen Grünflächen zur Verfügung zu stellen, müssen staatliche Baumschulen und Gärtnereien entstehen, um den deutschlandweiten Bedarf zu decken.

In verdichteten Gebieten ist es zudem kaum möglich, feinmaschige Netze mit Grünzügen und Luftleitbahnen zu ermöglichen. In solchen Stadtgebieten ist die Dach- und Fassadenbegrünung am hilfreichsten, da diese Varianten sehr platzsparend sind. Die extensive Dachbegrünung und die Fassadenbegrünung speichern Wasser, reinigen und kühlen die Luft. Zudem tragen Dach- und Fassadenbegrünungen als zusätzliche Schutzschicht dazu bei, dass sich das Gebäude nicht so stark erwärmt und einen gewissen Schutz gegen verschiedene Wetterverhältnisse bietet. Dachbegrünungen sorgen dafür, dass ein Flachdach weniger anfällig gegen Wind ist. Außerdem kann das Dach gedämmt werden. Im Sommer kühlt es und im Winter bleibt die Wärme länger erhalten. Zudem kann eine extensive Dachbegrünung als zusätzlicher Lebensraum genutzt werden, zum Beispiel als Dachgarten. Dachbegrünungen unterstützen den Klimaschutz, indem sie Treibhausgase dezimieren. Beispielsweise kann ein

Dachgarten für den regionalen Anbau genutzt werden, wodurch Versorgungswege und Anbauflächen gespart werden, an die an dieser Stelle statt landwirtschaftliche Flächen wieder Waldflächen gepflanzt werden können. In der Realität wird dies bisher kaum umgesetzt, dabei stellen gerade Dach- und Fassadenbegrünung platzsparende Maßnahmen dar, mit denen gegen die Auswirkungen des Klimawandels vorgegangen wird. In verdichteten Gebieten müssen zukünftig mindestens 25 Prozent der Flachdächer und mindestens 50 Prozent der Fassaden begrünt werden, um gegen den Wärmeinseleffekt vorzugehen. Hierzu sind Gesetze zu verabschieden, damit eine Erhöhung der Dach- und Fassadenbegrünung umgesetzt wird. Weiterhin wirken sich die Farben der Fassade und der Dachziegel aufgrund des Albedoefekts der Hitzebelastung entgegen. Helle Farben absorbieren weniger Sonnenstrahlung als dunkle Farben, wodurch sich diese Flächen weniger stark aufheizen und hitzegefährdete Gebiete weniger anfällig für die Hitzebelastung machen. Die Änderung der Fassadenfarbe und der Dachziegel lässt sich kurzfristig umsetzen.

Die Satzungen der Gemeinden können durch ihre Festlegungen viel zur Klimaanpassung beitragen, behindern dies jedoch, da sich neue Gebäude zum Beispiel in den Zusammenhang der näheren Umgebung eingliedern müssen. Aufgrund der Bauweise erhalten Hügelgebäude oftmals keine Baugenehmigung. Da Hügelgebäude nicht in das Stadtbild passen, werden sie nur durch Ausnahmegenehmigungen zugelassen. Dabei eignen sich diese Gebäude ideal für die Anpassung an den Klimawandel. Im Sommer lassen sie durch die Erdschicht kaum Wärme hinein und im Winter kaum Wärme hinaus. Die Erdhügelform bietet eine geringe Angriffsfläche gegen Stürme und Niederschläge können im Erdboden um das Gebäude herum versickern. Da das Dach begehbar ist, können hier Bepflanzungen erfolgen. Hierdurch entsteht ein zusätzlicher Lebensraum und gleichzeitig kühlen die Pflanzen, die Umgebung weiter ab. Das Erdhügelgebäude hat auch klimaschützende Vorteile. Dadurch, dass das Gebäude kaum geheizt oder gekühlt wird, ist der Energieverbrauch zur Beheizung und Kühlung des Gebäudes sehr gering.

Es muss zukünftig darüber nachgedacht werden, ob wirklich alles so erhalten werden muss. Denkmalschutz wirkt sich kontraproduktiv auf die Klimaanpassung aus, da bei denkmalgeschützten Gebäuden ein Schutz vor baulichen Veränderungen besteht. Dies erschwert es der Stadtplanung bei denkmalgeschützten Gebäuden die Fassaden- und Dachfarbe zu wechseln, das Gebäude hochwassersicher umzugestalten oder sturmsichere Fenster einzubauen.

Zukünftig gehen Gefahren vermehrt von Schneelasten und Stürmen aus. Schäden können präventiv durch ein Verbot von Flachdächern vermieden werden. Gebäudetragwerke müssen so konstruiert sein, dass sie zusätzliche Lasten aushalten. Ebenfalls ist bei der Planung eines Gebäudes auf die Hitzebelastung zu achten, indem die Fenster in Richtung Süden ausgerichtet sind. Zudem kann hierdurch in den verschiedenen Jahreszeiten Energie gespart werden. Gebäude und bauliche Anlagen sind so aufzustellen, dass der Stand der Sonne am besten ausgenutzt wird.

Einige Maßnahmen zur Klimaanpassung werden bereits umgesetzt. Zum Beispiel war die Bestätigung des niedersächsischen Oberlandesgerichtes zum Verbot von Schottergärten dringend notwendig. Die Bestätigung des Verbotes durch das Oberlandesgericht hat zehn Jahre gedauert. Schottergärten verringern nicht nur die Versickerung des Regenwassers, sondern tragen dazu bei, dass die Flächen Hitze speichern und die klimaförderlichen Eigenschaften von Pflanzen kaum zum Tragen kommen. Durch die Bestätigung dieses Verbotes sind Schottergärten nicht nur verboten, sondern durch die zuständigen niedersächsischen Behörden kann eine Beseitigung des Schotters angeordnet werden. Schottergärten sind deutschlandweit mit Ausnahme der Bundesländer Bremen und Sachsen-Anhalt bisher nicht erlaubt. Problematisch daran ist, dass die Bevölkerung dieses Verbot ignoriert. Hier muss schnellstmöglich von den Stadtplanungsbehörden in der gesamten Bundesrepublik Deutschland mehr kontrolliert und eine Beseitigung angeordnet werden. Diese Maßnahmen stellen einen Eingriff in die gemäß des Grundgesetzes geschützten Eigentumsrechte dar, aber nur durch Regelung kann der Anteil an Schottergärten verringert werden. Zum Beispiel kann der Eingriff so gehandhabt werden, dass Grundstückseigentümer die klimaangepasste Gärten haben, entweder einmal jährlich Prämien oder anderweitig Steuervergünstigungen erhalten. Dies bezieht sich nicht nur auf Schottergärten, sondern es kann auf jegliche Klimaanpassungsmaßnahme umgesetzt werden.

Auch der Bau von Deichen und Dämmen wird seit Jahrhunderten angewandt um besiedelte Gebiete vor Hochwasser zu schützen. Hierbei sind Küsten durch den Anstieg des Meeresspiegels und durch eine Häufung von stärkeren Stürmen genauso betroffen, wie Gebiete an Flüssen durch Starkregenereignisse. Es ist notwendig, die Deiche und Dämme an die neuen Gegebenheiten anzupassen und Gebäude hochwasserangepasst zu bauen. Die einfachste Maßnahme gegen Hochwasser ist es, dort nicht zu bauen. Flüsse müssen jetzt renaturieren, so dass ihnen mehr Raum bei Hochwasser gegeben wird durch die bewusste Ausweisung von Überschwemmungsgebieten in Ufernähe. Wie Städte sowohl mit einem Wassermangel

und einem Wasserüberschuss umgehen sollten, stellt das Schwammstadt-Konzept dar. Dies sollte noch viel mehr umgesetzt werden.

Wichtig hierbei ist, dass eine einzelne Maßnahme einen Beitrag zur Klimaanpassung leistet, aber die Verknüpfung mehrerer Maßnahmen eine viel größere Wirkung hat, wie der Verbund von Luftleitbahnen und Grünzügen aufzeigt.

Jede einzelne der beschriebenen Maßnahmen in Kapitel 3 ist förderlich für die Anpassung an den Klimawandel, aber die Frage, die sich daraus ergibt, ist die folgende: Wie viel ist die Gesellschaft dafür bereit zu zahlen? Einen Preis zu zahlen, bezieht sich dabei zwar auch auf die Kosten für diese Maßnahmen, bezieht sich jedoch eher auf unsere aktuelle Art zu leben. Die Herausforderungen der Klimaanpassung liegen zudem darin, dass niemand die Folgen des Klimawandels kennt und sich dieser auch in einzelnen Regionen unterschiedlich auswirkt. Dies ergibt sich aus der Abbildung 1.4 der Klimaraumtypen aus der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für die Bundesrepublik Deutschland im „Teilbericht 6: Integrierte Auswertung-Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe“, welche vom Umweltbundesamt herausgegeben wurde. Gemäß diesem Teilbericht lässt sich prognostizieren, dass an den Küsten die Winterniederschläge und Stürme stark zunehmen sollen oder, dass der Osten der Bundesrepublik Deutschland die trockenste Region wird. Eine hundertprozentige Sicherheit, dass sich das Klima genauso auswirken wird, gibt es nicht. Klimaforscher wie Tony Juniper in seinem Werk „Erde - was tun?“ wiesen jedoch darauf hin, dass sich extreme Wettervorkommen noch weiter verstärken. So werden sehr warme Gebiete noch wärmer und regnerische Gebiete noch niederschlagsreicher. Aus diesem Grund muss stadtplanerisch vorbeugend zu viel geschützt werden, da die Kosten zur Vorbeugung geringer sind als Spätfolgen zu reparieren.

Problematisch für die Klimaanpassung und den Klimaschutz sind wirtschaftliche Interessen. Zahlreiche Praxisbeispiele zeigen auf, dass die Priorität selten beim Klimaschutz und noch weniger bei der Klimaanpassung liegen. Was nützt die Absichtserklärung der Vereinten Nationen bei der Weltklimakonferenz von Paris im Jahr 2015, das Klima zu schützen, wenn seitdem kaum etwas getan worden ist. Jeden Tag werden mehr Bäume gefällt und neue Flächen beansprucht. Die sich häufenden Naturkatastrophen zeigen, dass Klimaanpassungsmaßnahmen und der Klimaschutz entschlossener umgesetzt werden muss. Das heißt nicht, dass wie zum Beispiel durch „Die letzte Generation“ radikal gehandelt werden muss. Anders zeigte sich die „Fridays for Future“- Bewegung, die dadurch gestartet ist, dass Schüler und

Schülerinnen den Schultag am Freitag nutzten, um für den Klimaschutz zu demonstrieren. Damit konnten sie Druck auf die Regierungen ausüben und etwas aktiv verändern. Maßgebend ist, dass die Themen Klimaschutz und Klimaanpassung im Kleinen beginnen. Umwelt- und Naturschutz müssen in dem Schulunterricht viel mehr thematisiert werden, um das Bewusstsein für die folgenden Generationen zu schaffen.

Die gegenwärtigen Klimaveränderungen sowohl weltweit als auch in der Bundesrepublik Deutschland zeigen auf, wie dramatisch die Auswirkungen des Klimawandels bereits sind. Aus diesem Grund ist es unerlässlich die Städte und Gemeinden vor den Folgen des Klimawandels zu schützen, indem sich diese an die neuen Gegebenheiten anpassen. Dabei müssen die Menschen verstehen, dass die Umwelt ohne Menschen überleben kann, aber die Menschen nicht ohne Umwelt überleben können. Die Anpassung ist ein schmerzhafter Prozess, der die Menschen aus ihrer Komfortzone zwingt und unbequem ist. Anpassung ist jedoch die einzige Möglichkeit, das nicht zu verlieren, was die Menschen bewahren wollen.

Literaturverzeichnis

- Ahlhelm, I.; Frerichs, S.; Hinzen, A.; Noky, B.; Simon, A.; Riegel, C.; Trum, A.; Altenburg, A.; Janssen, G. und Rubel, C. (2016). *Praxishilfe-Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Raum- und fachplanerische Handlungsoptionen zur Anpassung der Siedlungs- und Infrastrukturen an den Klimawandel.* (Umweltbundesamt, Hrsg.) Dessau-Roßlau.
- Anondi GmbH. (08. November 2022). *Schneefanggitter.* Abgerufen am 04. März 2023 von www.sanier.de: <https://www.sanier.de/dach/dach-ratgeber/schneefanggitter>
- Archy Nova Projektentwicklung GmbH. (o. D.). *Die Erde als Klimapuffer. Passiv-Erdhaus: Dick eingepackt.* Abgerufen am 27. März 2023 von www.solarc-erdhuegelhaus.de: <https://www.solarc-erdhuegelhaus.de/konzept/>
- badenova AG & Co. KG. (12. Mai 2022). *Bodenversiegelung: Versiegelte Flächen und ihre Bedeutung.* Abgerufen am 05. März 2023 von www.badenova.de: <https://www.badenova.de/blog/bodenversiegelung-versiegelte-flachen-und-ihre-bedeutung/#:~:text=Stark%20versiegelte%20Fl%C3%A4chen%20sind%20Rasenflugenhofplaster,Split%20oder%20Schotterfl%C3%A4chen%20und%20Gr%C3%BCnd%C3%A4cher.>
- Baron , H. (13. Januar 2023). Persönliche Mitteilung zur Anfrage bezüglich eines Klimaanpassungsgesetzes für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. Abgerufen am 14. Januar 2023
- Bezirksregierung Düsseldorf. (23. Dezember 2022). Regionalplan Düsseldorf. Düsseldorf. Abgerufen am 04. Februar 2023 von https://www.brd.nrw.de/system/files/media/document/2023-01/20221223_3_32_rpd_plan_Gesamt.pdf
- Brune, M.; Bender, S.; und Groth, M. (April 2017). Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. *Report 30.* (Climate Service Center Germany, Hrsg.) Hamburg. Abgerufen am 19. März 2023 von <https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/report30.pdf>

Bundesamt für Naturschutz. (o. D.). *Entstehung und Zustand*. Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.bfn.de: <https://www.bfn.de/entstehung-und-zustand>

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). (17. September 2021). *Einfluss der Landwirtschaft auf den Klimawandel*. Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.praxis-agrar.de: [https://www.praxis-agrar.de/umwelt/klima/klimawandel-einfluss-der-landwirtschaft#:~:text=Die%20Landwirtschaft%20verursachte%202020%20etwa,auf%20Kohlendioxid%20\(CO2\)](https://www.praxis-agrar.de/umwelt/klima/klimawandel-einfluss-der-landwirtschaft#:~:text=Die%20Landwirtschaft%20verursachte%202020%20etwa,auf%20Kohlendioxid%20(CO2)).

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.). (April 2016). Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region. Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen. Bonn. Abgerufen am 19. März 2023 von [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2016/anpassung-klimawandel-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2%20\(Zugriff%20am%2029.%20Mai%202021\)](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2016/anpassung-klimawandel-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2%20(Zugriff%20am%2029.%20Mai%202021))

Bundeskabinett. (17. Dezember 2008). Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Abgerufen am 31. Dezember 2022 von https://www.bmuv.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. (2020). Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB). Abgerufen am 03. März 2023 von www.bnbnachhaltigesbauen.de: https://www.bnbnachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/runder_tisch/neubau/v_2020/BNB_LN2020_415.pdf

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (05. August 2022). *Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“*. Abgerufen am 11. Januar 2023 von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: <https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/foerderung-des-laendlichen-raumes/gemeinschaftsaufgabe-agrarstruktur-kuestenschutz/gak.html>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (Oktober 2015). Den Flüssen mehr Raum geben. Renaturierung von Auen in Deutschland. Berlin. Abgerufen am 23. Februar 2023 von

https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/auen_in_deutschland_bf.pdf

Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur. (09. März 2016). Quo Vadis Deutschland? Leitbilder der Raumentwicklung. Kurzüberblick über die Leitbilder und Leitungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland. Abgerufen am 24. Januar 2023

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)(Hrsg.). (2010). *Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung. Ergebnisse der Vorstudie zu den Modelvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“.* Berlin.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). (2009). Renaturierung als Strategie nachhaltiger Stadtentwicklung. Ergebnisse des Forschungsprojektes . (Werkstatt: Praxis Heft 62). Bonn. Abgerufen am 02. März 2023 von https://www.bgmr.de/system/publications/files/000/000/027/original/WP_62.pdf?1523002424

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). (20.09.2022). *Energie und Klima.* Abgerufen am 15. Januar 2023 von [www.bmz.de:](https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/energie-und-klima) <https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/energie-und-klima>

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. (Februar 2022). Hochwasserschutzfibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge. 9. Auflage. Abgerufen am 22. Februar 2023 von https://www.fib bund.de/Inhalt/Themen/Hochwasser/2022-02_Hochwasserschutzfibel_9.Auflage.pdf

Bundeszentrale für politische Bildung. (28. Juli 2021). *Jahrhunderthochwasser 2021 in Deutschland.* Abgerufen am 10. Januar 2023 von Bundeszentrale für politische Bildung (bpBb): <https://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/337277/jahrhunderthochwasser-2021-in-deutschland/>

- Bunzel, A. (2018). Städtebauliche Entwicklungsmaßnahme. *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. (Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hrsg.) Hannover. Abgerufen am 29. Dezember 2022 von <https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB%202018/St%C3%A4dtebauliche%20Entwicklungsm%C3%A3%9Fnahme.pdf>
- Bützow, C. (31. August 2021). Klimaschutzmaßnahmen in der kommunalen Bauleitplanung (Bachelorarbeit). Neubrandenburg. Abgerufen am 23. Februar 2023
- Bützow, C. (17. August 2022). Welche Entschädigungen sind im Rahmen nach Anordnung des § 36 des FlurbG zuzahlen und wie sind diese zu bestimmen? Liepgarten.
- Czorny, E. und Kanning, H. (2022). Hannover passt sich an-Klimaanpassung als kommunale Herausforderung. In U. Sahlig (Hrsg.), *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland. Herausforderungen-Lösungsbeiträge-Zukunftsperpektiven* (S. 169-196). Barsinghausen: SpringerSpektrum. Abgerufen am 07. Februar 2023
- Deutscher Wetterdienst. (o. D.). *Beaufort-Skala*. Abgerufen am 20. Februar 2023 von [www.dwd.de:](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100310&lv3=100390)
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100310&lv3=100390>
- Deutscher Wetterdienst und Extremwetterkongress Hamburg (Hrsg.). (2022). Was wir 2022 über das Extremwetter in Deutschland wissen. Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland. Hamburg. Abgerufen am 10. Januar 2022 von
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/220928/Faktenpapier-Extremwetterkongress_download.pdf;jsessionid=C7362D31C55ADF08745179E7EFDC2916.live31093?__blob=publicationFile&v=5
- Deutsches Institut für Bautechnik. (02. Juni 2022). Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen. Berlin. Abgerufen am 20. Februar 2023 von
https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.dibt.de%2Ffileadmin%2Fdibt-website%2FDokumente%2FReferat%2FP5%2FTechnische_Bestimmungen%2FWindzonen_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK

- Dieckmann, S.; Huhn, M.; Linke, H.-J.; Roncza, M. und Stankiewicz, C. (2015). Entwicklung von Städtebau, Bodenordnung und Immobilienwertermittlung seit 1989. *Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN)*, S. S. 47-60.
- eagle eye technologies GmbH. (2021). *Klimawandel verursacht immer häufiger Hochwasser: Wie kann ich meine Kommune schützen?* Berlin. Abgerufen am 27. März 2023
- Ehring, G. (09. Dezember 2020). *CO₂-Ausstoß weltweit. Mit Vollgas in die Erderwärmung.* (Deutschlandradio, Herausgeber) Abgerufen am 27. Januar 2023 von www.deutschlandfunk.de/co2-ausstoss-weltweit-mit-vollgas-in-die-erderwaermung-100.html
- Ell, R. und Westram, H. (05. Oktober 2022). *Die Geschichte der Klimaforschung.* Abgerufen am 12. Januar 2023 von ARD alpha:
<https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/klima/klimawandel/klimawandel-klimaforschung-geschichte-historisch-100.html>
- Elliot, L. (16. Mai 2016). *Climate change puts 1.3bn people and \$158tn at risk, says World Bank.* Abgerufen am 10. Januar 2022 von The Guardian:
<https://www.theguardian.com/business/2016/may/16/climate-change-puts-13bn-people-and-158tn-at-risk-says-world-bank>
- Europäische Umweltagentur. (25. September 2017). *Energie und Klimawandel.* Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.eea.europa.eu/de/signale/die-zukunft-der-energie-in-1/artikel/energie-und-klimawandel
- Faust, E. und Rädler, A. (23. Oktober 2018). *Hagel – Eine unterschätzte, zunehmende Gefahr. Gute Gründe, um zu handeln.* (M. Rückversicherungs-Gesellschaft, Herausgeber) Abgerufen am 03. März 2023 von www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html
- Forst erklärt GbR. (18. April 2021). *Forstgeschichte – Ein Blick in die Vergangenheit der Wälder.* Abgerufen am 15. Januar 2023 von [www.forsterklaert.de/forstgeschichte](https://forsterklaert.de/forstgeschichte)

Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH. (Juni 2021). Hochwasser-Risiko-bewusst planen und bauen. 2. aktualisierte Auflage. Baden-Württemberg. Abgerufen am 22. Februar 2023 von <https://www.hochwasser.baden-wuerttemberg.de/documents/20122/39136/Leitfaden%20Hochwasserrisikobewusst%20Planen%20und%20Bauen>

Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. (2006). Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung. Ein Leitfaden für Planer, Architekten, Ingenieure und Bauunternehmer. Hamburg. Abgerufen am 05. März 2023

Geschäftsstelle des Umlegungsausschusses der Landeshauptstadt Potsdam. (2016). *Baulandbereitstellung durch Umlegung*. Potsdam.

Grzesiak, P. (23. Juli 2019). *Stürme. Winterstürme Lothar, Martin, Kyrill und Klaus*. Abgerufen am 11. März 2023 von www.planet-wissen.de: <https://www.planet-wissen.de/natur/naturgewalten/stuerme/pviewinterstuermelotharmartinkyrillundklaus100.html>

Haberlander, C. (02. Januar 2016). *Eingestürzte Eissporthalle vor zehn Jahren. Die Tragödie von Bad Reichenhall*. Abgerufen am 11. März 2023 von www.deutschlandfunk.de: <https://www.deutschlandfunk.de/eingestuerzte-eissporthalle-vor-zehn-jahren-die-tragoedie-100.html>

Habich, I. (28. Juli 2022). *Waldbrände in Sachsen und Brandenburg. Wie wirken sich die Feuer auf die CO₂-Bilanz aus?* Abgerufen am 18. März 2023 von www.rnd.de: <https://www.rnd.de/wissen/waldbraende-wie-wirken-sich-die-feuer-auf-die-co2-bilanz-aus-KN6S6ZKUEJEULIZJQPMHPS4EIY.html>

Hagmann, U. und Rademacher, O. (30. August 2022). *Wasserknappheit in Deutschland. Eine zunehmende Bedrohung*. Abgerufen am 18. März 2023 von www.tagesschau.de: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/wassermangel-deutschland-101.html#:~:text=Wasserknappheit%20stellen%20insgesamt%2057%20Prozent,verbieten%20%2D%20haben%2016%20Prozent%20ergriffen.&text=Das%20Fr%C3%BChjahr%20war%20vielerorts%20in,D%C3%BCrre>

- Hardy, A. (03. August 2020). *Erhellend im Triiben*. (Wiley-VCH GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 15. Februar 2023 von www.pro-physik.de: <https://www.pro-physik.de/nachrichten/erhellend-im-trueben>
- Haug, C. (01. August 2018). *15 Jahre Hitzewelle von 2003. Eine der schlimmsten Naturkatastrophen des modernen Europas*. Abgerufen am 10. Januar 2023 von Mitteldeutscher Rundfunk (MDR): <https://www.mdr.de/wissen/umwelt/hitzewelle-naturkatastrophe-100.html>
- Helmholtz-Zentrum hereon GmbH. (10. November 2020). *Treibhauseffekt und Emissionsszenarien. Wie wirken sich Änderungen in der Zusammensetzung unserer Atmosphäre auf das Klimageschehen aus?* Abgerufen am 21. Februar 2023 von www.klimanavigator.eu: <https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/011998/index.php>
- Hilgert, O. (06. August 2021). *Berlin will „Schwammstadt“ werden*. Abgerufen am 04. März 2023 von www.tagesschau.de: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/schwammstadt-staedtebau-berlin-101.html>
- Holly, L. (11. November 2021). *Der Entdecker des Treibhauseffektes*. Abgerufen am 12. Januar 2023 von Spiegel: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/klimapionier-joseph-fourier-der-entdecker-des-treibhauseffektes-a-7314047d-43de-4c80-abe6-f187c330137d>
- Hüging, H. (31. Mai 2013). *Wetter, Klima und Klimawandel. Was unser Klima heute und in der Vergangenheit beeinflusst*. Abgerufen am 21. Dezember 2022 von Bundeszentrale für politische Bildung : <https://www.bpb.de/themen/klimawandel/dossier-klimawandel/38427/wetter-klima-und-klimawandel/>
- Hunke-Klein, M. (August 2022). Flurbereinigung - ein Instrument zur Bewältigung der Herausforderungen der Klimaanpassung? *fub - Flächenmanagement und Bodenordnung(4_2022)*, S. 145-150.
- Idel, A. (2010). *Die Kuh ist kein Klima-Killer! Wie die Agrarindustrie die Erde verwüstet und was wir dagegen tun können*. Marburg: Metropolis-Verlag.
- Juniper, T. (2022). *Erde - was tun? : Fakten, Analysen und Lösungsansätze zum Zustand unseres Planeten in über 1000 Grafiken*. München: Dorling Kindersley Verlag GmbH.

Kahlenborn, W.; Porst, L.; Voß, M.; Hölscher, L.; Undorf, S.; Wolf, M.; Schönthaler, K.; Crespi, A.; Renner, K.; Zebisch, M.; Fritsch, U. und Schauser, I. (Juni 2021). CLIMATE CHANGE Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 6: Integrierte Auswertung –Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe. Umweltbundesamt. Abgerufen am 12. Dezember 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_6_integrierte_auswertung_bf_211027_0.pdf

Kaspar, F. und Friedrich, K. (02. Januar 2020). Rückblick auf die Temperatur in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung. (Deutscher Wetterdienst Abteilung Klimaüberwachung, Hrsg.) Abgerufen am 27. Januar 2023 von
https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200102_bericht_jahr2019.pdf;jsessionid=82B1605DCB86F930926786BB10C766BD.live31094?__blob=publicationFile&v=7

Kautz, M.; Delb, H.; Hielscher, K.; Hurling, R.; Lobinger, G.; Niesar, M.; Otto, L.-F. und Thiel, J. (2021). Borkenkäfer an Nadelbäumen-erkennen, vorbeugen, bekämpfen. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Hrsg.) Gülzow-Prüzen. Abgerufen am 24. März 2023 von
https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2022/Mediathek/1136_Borkenkaefer_web_2022_bf_final.pdf

Knieling, J. und Müller, B. (2015). Klimaanpassung in Städten und Regionen. Handlungsfelder und Fragestellungen aus Sicht der Stadt- und Regionalentwicklung. In J. Knieling, & B. Müller (Hrsg.), *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung. Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele*. München: Oekom-Verlag.

Knieling, J.; Kretschmann, N. und Zimmermann, T. (2015). Regionalplanung und Hochwasservorsorge. Paradigmenwechsel im Umgang mit Schadenspotenzialen. In J. Knieling und B. Müller (Hrsg.), *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung. Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele*. München: Oekom-Verlag.

Kölner Stadt-Anzeiger (Hrsg.). (08. Januar 2008). *Wohnen im Erdhügelhaus*. Abgerufen am 27. März 2023 von www.ksta.de: <https://www.ksta.de/redaktion/wohnen-im-erdhuegelhaus-269440>

Koppe, W. (29. Juli 2014). Infoblatt Frostspaltung. Ernst Klett Verlag. Abgerufen am 04. März 2023 von www.klett.de:
https://www.klett.de/sixcms/detail.php?template=terrasse_artikel_layout_pdf&art_id=1014880

Krautzberger, M. (2011). Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung von Städten und Gemeinden. Bonn, Berlin. Abgerufen am 02. Februar 2023 von <https://www.krautzberger.info/assets/2012/03/BauGB-Novelle-2011.pdf>

Krupka, B. (2022). *Neue Stadtökologie im Klimawandel*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.

Lottje, C. (Dezember 2015). Katastrophen durch Klimawandel. Wie der Klimawandel zu Chaos, Zerstörung und Hunger führt. (O. D. e.V., Hrsg.) Berlin. Abgerufen am 28. Dezember 2022 von <https://www.oxfam.de/system/files/oxfam-katastrophen-klimawandel2015-factsheet.pdf>

Magistrat der Stadt Kassel - Dezernat Stadtentwicklung, Bauen und Umwelt (Hrsg.). (August 2018). Argumentationshilfe zur Förderung von Dachbegrünung. Kassel. Abgerufen am 19. März 2023 von https://www.kassel.de/umwelt-und-klimaschutz/Argumentationshilfe_zur_Foerderung_von_Dachbegruenung1.pdf

Meyer-Marc, S. (2019). Warum es auf der Erde wärmer wird. Abgerufen am 08. Januar 2023 von <https://www.friedrich-verlag.de/biologie/okologie/warum-es-auf-der-erde-waermer-wird-1838>

Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung. (09. Juni 2016). Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. Abgerufen am 04. Februar 2023 von <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/wm/Raumordnung/Landesraumentwicklungsprogramm/aktuelles-Programm/#:~:text=Mit%20dem%20Landesraumentwicklungsprogramm%20Mecklenburg%2DVorpommern,im%20Interesse%20seiner%20Menschen%20vor>.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (2015). Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen. Klimaschutz und Klimafolgenanpassung. Düsseldorf . Abgerufen am 11. Januar 2023 von https://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Broschueren/klimaschutzbericht_nrw_151201.pdf

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (21. Dezember 2020). Entwurf des Klimaanpassungsgesetzes Nordrhein-Westfalen –Einleitung der Verbändeanhörung. Düsseldorf. Abgerufen am 06. Januar 2022 von <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMV17-4417.pdf>

Ministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (23. Oktober 2020). *Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Abgerufen am 31. Dezember 2022 von <https://www.bmuv.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaanpassung/die-deutsche-anpassungsstrategie>

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. (2023). *Regionalplanung*. Abgerufen am 04. Februar 2023 von [www.landesplanung.nrw.de: https://landesplanung.nrw.de/](https://landesplanung.nrw.de/) regionalplanung

Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit Mecklenburg-Vorpommern. (o. D.). *Ämter für Raumordnung und Landesplanung*. Abgerufen am 04. Februar 2023 von www.afrl.mv-regierung.de: http://www.afrl.mv-regierung.de/AfRL-RR/

Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit. (o. D.). *Regionale Raumentwicklungsprogramme*. Von www.regierung-mv.de: https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/wm/Raumordnung/Regionalplanung/Regionale-Raumentwicklungsprogramme/ abgerufen

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. (06. August 2019). *Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf. Abgerufen am 04. Februar 2023 von <https://landesplanung.nrw.de/system/files/media/document/file/20220915-lesefassung-lep.pdf>

Münch, U. (o. D.). *Regen*. (Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ) Abgerufen am 10. März 2023 von www.eskp.de:
<https://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/regen-935462/>

Naturschutzbund Deutschland e. V. (NABU). (2023). Wegweisendes Gerichtsurteil. Schottergärten amtlich beseitigen. *Naturschutz heute*(Frühjahr 2023), S. 16. Abgerufen am 24. März 2023

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (Januar 2023). *Planungssystem der Raumordnung und Zuständigkeiten*. Abgerufen am 24. Januar 2023 von www.ml.niedersachsen.de:
https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/raumordnung_landesplanung/grundlagen_der_raumordnung_landes_und Regionalplanung/planungssystem-der-raumordnung-und-zustaendigkeiten-145478.html

Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung. (2012). *Niedersächsisches Ministerialblatt 2. Anlagenband zur Liste der technischen Baubestimmungen. Nummer 32b*. Hannover. Abgerufen am 04. März 2023

Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung. (2012). *Niedersächsisches Ministerialblatt. 4. Anlagenband zur Liste der technischen Baubestimmungen. Nummer 37d*. Hannover. Abgerufen am 04. März 2023

Ostsee-Zeitung. (18. Juni 2019). *Vision 2080: Rostock soll eine Schwammstadt werden*. Abgerufen am 11. März 2023 von www.ostsee-zeitung.de: <https://www.ostsee-zeitung.de/lokales/rostock/vision-2080-rostock-soll-eine-schwammstadt-werden-IXWXLUIT7W6FNSAOSEZB6DWWFM.html>

Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Austin, Texas. Abgerufen am 08. Januar 2023 von <http://courses.washington.edu/cfr590/climatechange/Parmesan%202006.pdf>

Peters, B. (2022). Klimaschutzgesetz. §1 Zweck des Gesetzes. In A. Guckelberger und F. Fellenberg, *Klimaschutzrecht* (S. 55-65). München: Verlag C.H.Beck oHG. Abgerufen am 11. März 2023

Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. und Midgley, P. (Hrsg.). (2017). IPCC 2014: Klimaänderung 2013:

Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). *Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg*. Bonn. Abgerufen am 21. Dezember 2022 von <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-11-2.html#:~:text=Gro%C3%9Fe%20Vulkanausbr%C3%BCche%20erzeugen%20sehr%20viele,daher%20das%20globale%20Klima%20nicht.>

Regionaler Planungsverband Mecklenburgische Seenplatte. (29. November 2021).

Regionales Raumentwicklungskonzept Mecklenburgische Seenplatte. Abgerufen am 04. Februar 2023 von https://www.region-seenplatte.de/media/custom/3148_463_1.PDF?1649243758

Reske, V. (07. Juni 2022). *So verändert sich das Klima in deiner Region*. Abgerufen am 12. Dezember 2022 von Quarks: <https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-veraendert-sich-das-klima-in-deiner-region/>

Ritter, F. (20. März 2022). *Berlin will großflächig das Regenwasser besser nutzen*. Abgerufen am 04. März 2023 von [www.rbb24.de:](https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/03/schwammstadt-berlin-regenwasser-als-ressource-klimawandel-schutz-wasserbetriebe.html)
<https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/03/schwammstadt-berlin-regenwasser-als-ressource-klimawandel-schutz-wasserbetriebe.html>

Rosenthal, H.; Detsch, R.; Follmann, J. und Weber, B. (16. Oktober 2022). Mehr Grün, weniger Versiegelung. Wie können Städte fit werden für den Klimawandel? (M. Roehl, Interviewer) Deutschlandradio. Köln. Abgerufen am 03. Januar 2023 von <https://www.deutschlandfunk.de/programm?drsearch:date=2022-10-12>

Sävert, T.; Wagner, A. und Laps, S. (Oktober 2011). *Windskalen*. (Unwetterzentrale, Herausgeber) Abgerufen am 20. Februar 2023 von [www.unwetterzentrale.de:](https://www.unwetterzentrale.de/uwz/901.html)
<https://www.unwetterzentrale.de/uwz/901.html>

Schmidt-Eichstaedt, G. (November 2016). Städtebaulicher Vertrag. (Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hrsg.) Hannover. Abgerufen am 28. Januar 2023 von <https://www.arl-net.de/system/files/media-shop/pdf/HWB%202018/St%C3%A4dtebaulicher%20Vertrag.pdf>

Scholich, D. (2018). Vorranggebiet, Vorbehaltsgebiet und Eignungsgebiet. In ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung* (S. 2841 bis 2855). Hannover. Abgerufen am 07. Februar 2023 von <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/225930/1/HWB-SRE-2841-2855.pdf>

Schwenner, L. (01. Juni 2015). *Laki-Krater auf Island. Dieser Vulkan brachte eine Eiszeit - und ein anderer könnte es heute wieder tun.* Abgerufen am 08. Januar 2023 von Focus online: https://www.focus.de/wissen/natur/katastrophen/serie-die-schlimmsten-katastrophen-der-menschheit-vulkanischer-winter-wenn-vulkane-die-eiszeit-bringen_id_4609559.html

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen. (25. Oktober 2019). *Die gesetzliche Umlegung in Berlin. Ein Verfahrensweg der Baulandbereitstellung anhand potentieller Fallbeispiele.* Berlin.

Serges Medien GmbH. (2000). *Grundstock des Wissens.* Köln: Serges Medien GmbH.

Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg. (2015). Sturmfluten an der Küste von Mecklenburg-Vorpommern. Abgerufen am 23. Januar 2023 von <https://www.stalu-mv.de/mm/Themen/K%C3%BCstenschutz/Sturmfluten-an-der-K%C3%BCste-von-Mecklenburg%E2%80%93Vorpommern/>

Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern . (Dezember 2013). Sturmflutschutz Renaturierung Ostzingst. (StALU-newsletter, Hrsg.) Abgerufen am 21. Februar 2023 von <https://www.stalu-mv.de/vp/Themen/Kuestenschutz/Sturmflutschutz-und-Renaturierung-Ostzingst/>

Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern. (2010). Sturmflutschutz Renaturierung Ostzingst. Verlag Redick & Schade GmbH. Abgerufen am 21. Februar 2023

Stadtverwaltung Neubrandenburg - Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung - Abteilung Stadtplanung. (21. Dezember 2022). *Vier-Tore-Stadt Neubrandenburg*

Flächennutzungsplan. Abgerufen am 03. April 2023 von www.neubrandenburg.de:
https://www.neubrandenburg.de/media/custom/2751_1920_1.PDF?1675949819

Stadtverwaltung Neubrandenburg- Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung
- Abteilung Stadtplanung. (20. Januar 2014). Einfacher Bebauungsplan Nr. 111
„Quartier Stralsunder Straße“. Neubrandenburg. Abgerufen am 10. Februar 2023
von https://geoserver.neubrandenburg.de/Bilder/B-Plaene/Plaene/B-Plan_111_einfacher.pdf

Stiftung Unternehmen Wald. (2023). *Wie viel Kohlendioxid (CO₂) speichert der Baum bzw. der Wald.* Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.wald.de:
<https://www.wald.de/waldwissen/wie-viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/>

Stock, B. (Februar 2015). Klimaangepasstes Bauen bei Gebäuden. (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung , Hrsg.) Bonn. Abgerufen am 20. Februar 2023 von
https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL_02_2015.pdf;jsessionid=FB5F5248982707BF04389425BD08E352.live21303?__

Stüer, B. (2015). *Der Bebauungsplan. Städtebaurecht in der Praxis. 5. Auflage.* München: C. H. Beck oHG.

Stuttgarter Zeitung Verlagsgesellschaft mbH. (28. August 2013). *Umwetter in Kreis Reutlingen. Nach zehn Minuten Hagel war nichts mehr wie zuvor.* Abgerufen am 11. März 2023 von
[www.stuttgarter-zeitung.de: https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.unwetter-im-kreis-reutlingen-nach-zehn-minuten-hagel-war-nichts-mehr-wie-zuvor.6eb5000f-c37d-427f-ae29-5f7032d737f0.html](https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.unwetter-im-kreis-reutlingen-nach-zehn-minuten-hagel-war-nichts-mehr-wie-zuvor.6eb5000f-c37d-427f-ae29-5f7032d737f0.html)

Südwest Presse. (02. August 2019). *Hagel 2013 Reutlingen. Betroffene erinnern sich: „Das sah aus wie nach dem Krieg“.* Abgerufen am 11. März 2023 von www.swp.de:
https://www.swp.de/lokales/reutlingen/hagel-2013-reutlingen-betroffene-erinnern-sich_-das-sah-aus-wie-nach-dem-krieg_-32207986.html

Südwestrundfunk. (12. Oktober 2022). *Konstruktion einer Katastrophe. Was ist in der Flutnacht passiert? - Ein Protokoll.* Abgerufen am 23. Februar 2023 von www.swr.de:

<https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/flut-rekonstruktion-ahrtal-protokoll-100.html>

Surfrider Foundation Europe. (30. Januar 2019). *Der Ozean am Puls des Klimawandels Lernmodul.* Abgerufen am 18. Februar 2023 von <https://de.oceancampus.eu: https://de.oceancampus.eu/cours/pSC/der-ozean-am-puls-des-klimawandels-lernmodul>

Technische Universität Hamburg. (29. Juli 2021). *Hamburg als Schwammstadt. Gründächer sollen vor Starkregen schützen.* Abgerufen am 11. März 2023 von https://intranet.tuhh.de: https://intranet.tuhh.de/presse/pressemitteilung_einzeln.php?id=13709&Lang=de

Tolzmann, J. (29. April 2021). *Sonne, Vulkane, Meeresströmungen. So funktioniert der natürliche Klimawandel. Das Klima ändert sich auch ohne menschgemachtes CO₂. Was ist der Unterschied zum heutigen Klimawandel?* (Westdeutscher Rundfunk Köln, Herausgeber) Abgerufen am 27. Januar 2023 von www.quarks.de: https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-funktioniert-der-natuerliche-klimawandel/

Umweltbundesamt. (26. November 2019). *WW-R-4: Investitionen in den Küstenschutz.* Abgerufen am 23. Februar 2023 von www.umweltbundesamt.de: https://www.umweltbundesamt.de/ww-i-10-das-indikator#kustenschutz-erfordert-umfangreiche-investitionen-

Umweltbundesamt. (12. Oktober 2020). *Planungsebenen, Planungsräume - Stufen der räumlichen Planung.* Abgerufen am 24. Januar 2023 von www.umweltbundesamt.de: https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/planungsinstrumente/planungsebenen-planungsräume-stufen-der#bundesebene

Umweltbundesamt. (23. März 2022). *Klimaschutz in der Landwirtschaft.* Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.umweltbundesamt.de: https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/landwirtschaft-umweltfreundlich-gestalten/klimaschutz-in-der-landwirtschaft#landwirtschaft-und-klimaschutz

Umweltbundesamt. (23. Januar 2023). *Bodenversiegelung*. Abgerufen am 05. März 2023 von www.umweltbundesamt.de: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung>

Umweltbundesamt. (25. Januar 2023). *Gesundheitsrisiken durch Hitze*. Abgerufen am 26. Januar 2023 von www.umweltbundesamt.de:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze#indikatoren-der-lufttemperatur-heisse-tage-und-tropennachte>

W.O.W. Kommunalberatung und Projektbegleitung GmbH. (April 2020). Bebauungsplan 39/15. „Campingplatz Fährkrug“. Stadt Templin. Begründung . Templin.
Abgerufen am 11. März 2023 von
https://templin.de/media/1/rathaus/BP_F%C3%A4hrkrug_Entw-2020_03_31-BG-PZ-Bio.pdf

Walther, J. (2013). *Auf dem Dach die Lage sichern*. (Bauverlag BV GmbH, Herausgeber)
Abgerufen am 21. Februar 2023 von www.bundesbaublatt.de:
https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Auf_dem_Dach_die_Lage_sichern-1793792.html

Weishaupt, M. (16. Mai 2022). *Warum Moore die besseren Wälder sind*. Abgerufen am 15. Januar 2023 von www.nationalgeographic.de:
<https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/05/warum-moore-die-besseren-waelder-sind>

Wildberg, R. (01. Februar 2023). *Der Deich, der Europa retten könnte*. Abgerufen am 23. Februar 2023 von floatmagazin.de: <https://floatmagazin.de/orte/sturmflut-niederlande-der-deich-der-europa-vor-sturmflut-retten-koennte/>

Winkelbauer, W. (20. August 2022). *Starkregen oder intensiver Regen*. Abgerufen am 10. März 2023 von www.wissenswertes.at: <https://www.wissenswertes.at/wetter-starkregen>

Wissenschaft im Dialog. (29. März 2008). *Wie entsteht Wind?* Abgerufen am 20. Februar 2023 von www.wissenschaft-im-dialog.de: <https://www.wissenschaft-im-dialog.de/projekte/wieso/artikel/beitrag/wie-entsteht-wind/>

World Meteorological Organization. (2014). *Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2012)*. Genf. Abgerufen am 01. April 2023 von https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16279#.ZCgpRnvP02w

Zeit Online GmbH. (14. August 2022). *So viele Waldbrände wie noch nie zuvor in Europa*.
Abgerufen am 18. Februar 2023 von [www.zeit.de](https://www.zeit.de/gesellschaft/2022-08/braende-europa-feuer-land-rekord):
<https://www.zeit.de/gesellschaft/2022-08/braende-europa-feuer-land-rekord>

zur Nedden, M., und Gatz, S. (2022). Klimaschutz und Bauleitplanung - Kernelemente nachhaltiger Stadtentwicklung. In U. Sahlig (Hrsg.), *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland. Herausforderungen-Lösungsbeiträge-Zukunftsperpektiven* (S. 493-515). Barsinghausen. Abgerufen am 07. Februar 2023

Gesetze und Verordnungen

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. I Nr. 6) geändert worden ist.

Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 6) geändert worden ist.

Flurbereinigungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. März 1976 (BGBl. I S. 546), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 19. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2794) geändert worden ist.

Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen in der Fassung der Bekanntmachung vom 16.07.2021 (GV. NRW. S. 910).

Gesetz über die Raumordnung und Landesplanung des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Landesplanungsgesetz) in der Fassung der Bekanntgabe vom 05. Mai 1998 zuletzt geändert Artikel 9 des Gesetzes vom 9. April 2020.

Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen in der Fassung der Bekanntmachung vom 11. Februar 2001 (GV. NRW. S. 50), das zuletzt durch das Gesetz vom 3. Februar 2004 (GV. NRW. S. 96) geändert worden ist.

Landwirtschaftsanpassungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. Juli 1991 (BGBl. I S. 1418), das zuletzt durch Artikel 136 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1353) geändert worden ist.

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5) geändert worden ist.

Normen

DIN 1054:2021-04, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

DIN EN 1991-1-3:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten

DIN EN 12975:2022-06, Sonnenkollektoren - Allgemeine Anforderungen

DIN EN 13583:2012-10, Abdichtungsbahnen - Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen - Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag

DIN 18533-1:2017-07, Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

Abkürzungsverzeichnis

BBR.....	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR.....	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BGBI.....	Bundesgesetzbuch
BLE.....	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMVBS.....	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMZ.....	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DAS.....	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
Hrsg.....	Herausgeber
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
K	Kelvin
km/h.....	Kilometer pro Stunde
kN/m ²	Kilonewton pro Quadratmeter
LAWA.....	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
m/s.....	Meter pro Sekunde
NABU.....	Naturschutzbund Deutschland e. V.
NO _x	Stickoxide
O ₃	Ozon
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
WMO	World Meteorological Organization (Weltwetterorganisation)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Natürlicher Treibhauseffekt [eigene Darstellung nach Meyer-Marc, 2019] .. 6
Abbildung 1.2: CO ₂ -Eiskerndaten aus der Arktis [eigene Darstellung nach Tolzmann, 2021] .. 9
Abbildung 1.3: Temperaturanomalie in Deutschland [Kaspar und Friedrich, 2020, S. 4] ... 12
Abbildung 1.4: Klimaraumtypen Deutschlands [Kahlenborn et al., 2021, S. 90]..... 16
Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Planungsebenen in der Bundesrepublik Deutschland [eigene Darstellung] 21
Abbildung 2.2: Sektoren des Klimaschutzplanes 2015 [eigene Darstellung nach Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015] 25
Abbildung 2.3: Handlungsfelder des Klimaschutzplanes 2015 [eigene Darstellung nach Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015] 25

Abbildung 2.4: Flächennutzungsplan Neubrandenburg Nordteil [Stadtverwaltung Neubrandenburg - Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung - Abteilung Stadtplanung, 2022]	31
Abbildung 2.5: Einfacher Bebauungsplan „Quartier Stralsunder Straße“ [Stadtverwaltung Neubrandenburg- Fachbereich Stadtplanung, Wirtschaft und Bauordnung - Abteilung Stadtplanung, 2014]	33
Abbildung 3.1: Gegenwärtige potenzielle Überflutungsflächen in Mecklenburg- Vorpommern [Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, 2015].....	41
Abbildung 3.2: vollversiegelte Fläche mit Asphalt und leicht versiegelte Fläche mit Natursteinpflaster [eigene Aufnahme]	43
Abbildung 3.3: Quartier 52° Nord mit Wasserbecken im Land Berlin [Ritter, 2022]	46
Abbildung 3.4: Dünenübergang in Lubmin [eigene Aufnahme].....	46
Abbildung 3.5: Baumaßnahmen „Sturmflutschutz und Renaturierung Ostzingst“ [Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern , 2013]	47
Abbildung 3.6: Schneelastzonen in der Bundesrepublik Deutschland [Anondi GmbH, 2022].....	53
Abbildung 3.7: Hagelzonen in der Bundesrepublik Deutschland [Eigene Darstellung nach Bundesministerium für Inneres, für Bau und Heimat, 2020, S. 6]	54
Abbildung 3.8: Offene und Geschlossene Bauweise [eigene Darstellung].....	58
Abbildung 3.9: Einfallswinkel von Sommer- und Wintersonne auf der Gebäudesüdseite [eigene Darstellung]	59
Abbildung 3.10: extensive Dachbegrünung [eigene Aufnahme].....	62
Abbildung 3.11: Fassadenbegrünung [eigene Aufnahme].....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre [eigene Tabelle nach Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, 2020]	10
Tabelle 1.2: Klimaraumtypen [eigene Tabelle nach Kahlenborn et al., 2021, S.90 ff.]	18
Tabelle 3.1: Beaufort-Skala [eigene Tabelle nach Sävert, Wagner und Laps, 2011; Deutscher Wetterdienst, o. D.]	66