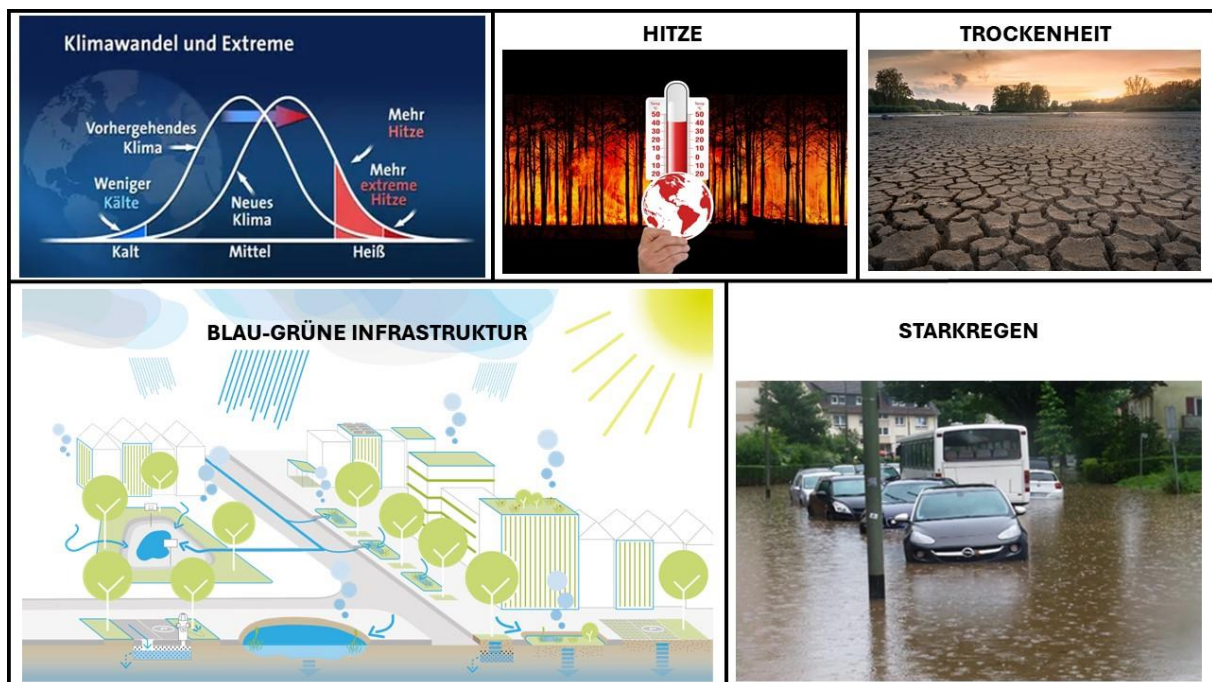


Vom Starkregenrisikomanagement zur klimaresilienten Stadt

*Urbanes Regenwassermanagement
als Beitrag zur Klimaresilienz*



Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt

Kaiserslautern

IMPRESSUM

Quellenverzeichnis der Abbildungen auf der Titelseite (im Uhrzeigersinn):

- <https://www.tagesschau.de/wetter/wetterthema/klimaextreme-100.html>
- <https://pixabay.com/photos/climate-change-thermometer-3836835/>
- <https://pixabay.com/photos/dryness-drought-cracks-dry-3618653/>
- eigene Aufnahme
- J. Benden, MUST Köln

Auftraggeber:

Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. (BDB)

Am Weidendamm 1A

10117 Berlin

<https://www.bdb-bfh.de>

Auftragnehmer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt

Auf der Pirsch 17

67663 Kaiserslautern

theo.schmitt@bauing.uni-kl.de

Kaiserslautern, Februar 2024

Kernaussagen und Handlungserfordernisse „auf einen Blick“

Neues Leitbild „klimaresiliente Stadt“

Das Entwicklungsziel „klimaresiliente Stadt“ fügt sich in das seitens der Stadtplanung neu formulierte Leitbild urbaner Resilienz, das für alle Bereiche der Stadtentwicklung gilt. Auch bei inhaltlicher Eingrenzung auf die Risiken des Klimawandels erfordert die Zielvorgabe „Verbesserung der Klimaresilienz“ die Einbeziehung einer Vielzahl von Handlungsfeldern. Angesichts der vielfältigen Wechselwirkungen bedarf es einer koordinierten Bearbeitung bei der Zielverfolgung. Das Spektrum der Problemstellungen und Handlungserfordernissen geht somit weit über die des Starkregenrisikomanagements hinaus, bei dem mit der Bewältigung der Überflutungsrisiken ein einzelnes Klimarisiko im Fokus steht.

Der Weg zur klimaresilienten Stadt bedingt umfangreiche Maßnahmen der Klimaanpassung. Das Klimaanpassungsgesetz (KAnG 2023) definiert den gesetzlichen Rahmen des notwendigen Handelns und benennt die zugehörigen Handlungsfelder. Es zeichnet sich ab, dass der kommunalen Ebene eine Mitwirkung in erheblichem Umfang abverlangt werden wird.

Resilienz als Systemeigenschaft

Die Verbesserung der Resilienz einer Stadt gegenüber Klimarisiken zielt auf drei Merkmale: die Erhöhung ihrer Widerstandskraft als systemische Einheit und in ihren Einzelementen, eine verbesserte Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit sowie die Generierung größerer Flexibilität und Transformierbarkeit der Systemelemente.

Eine größere Flexibilität und Transformierbarkeit erscheint aufgrund der großen Ungewissheit in der Entwicklung von Klimarisiken im Klimawandel besonders bedeutsam, da das zukünftige Handeln nicht mehr anhand von Erkenntnissen der Vergangenheit abgeleitet werden kann. Vielmehr müssen „mögliche Entwicklungssprünge“ über die Bearbeitung unterschiedlicher Entwicklungsszenarien einbezogen werden (Bettmann et al. 2023).

Handlungsbedarfe aus dem Klimaanpassungsgesetz (KAnG)

Das Klimaanpassungsgesetz des Bundes (KAnG 2023) definiert den gesetzlichen Rahmen zur Bewältigung negativer Folgen des Klimawandels und initiiert verbindliche Aktivitäten zur Klimaanpassung. Das Gesetz verpflichtet den Bund und die Länder, vorsorgende Strategien zur Klimaanpassung zu entwickeln. Zentraler methodischer Schritt ist die Durchführung regionaler und ortsbezogener Klimarisikoplanungen. Ausgehend von identifizierten spezifischen Klimarisiken sollen die kommunalen Gebietskörperschaften Klimaanpassungskonzepte erstellen. Für die Kommunen erwächst daraus ein bedeutsames neues Aufgabengebiet der Zukunfts- und Daseinsvorsorge.

Handlungsfelder und Klimarisiken

Zentrale Handlungsfelder der Klimaanpassung mit Zuordnung zur kommunalen Ebene sind Stadt- und Siedlungsentwicklung, Raumplanung, Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Energiewirtschaft und Gebäude. Für diese Handlungsfelder beziehen sich die Klimarisiken auf zwei zeitliche Skalen: **Ereignisbezogen** betrifft dies die Zunahme von Starkregen, Hochwasser, Sturm, Hagel, Hitze und Dürre in Intensität und Häufigkeit („extreme Wetterereignisse“). Der Anstieg des Meeresspiegels, das

Abschmelzen der Gletscher, die Abnahme von Schneefällen im Winterniederschlag sowie mögliche periodische Veränderungen des Jahresniederschlags und Verschiebungen in der jahreszeitlichen Verteilung mit Auswirkungen auf die Wasserhaushaltsgrößen (Verdunstung, Versickerung, Abfluss) stellen (mögliche) **Langzeitfolgen des Klimawandels** dar.

Klimarisikofaktoren für Wasserhaushalt und urbane Wasserwirtschaft

a) Langzeitfolgen

Die Erderwärmung, und damit verbunden das Abschmelzen der Gletscher, die Abnahme der Schneefälle im Winter und eine längere Vegetationsperiode führen zu höherer Verdunstung, einer geringeren Grundwasserneubildung und einer stärkeren Ausprägung von Niedrigwasser und Hochwasser in Flüssen und Bächen. Damit ist insgesamt mit einer Beeinträchtigung der Wasserverfügbarkeit für die urbane Wasserwirtschaft zu rechnen.

b) extreme Wetterereignisse

Die wachsende Bedrohung für den Menschen und seine bebaute Umwelt durch die Zunahme von Starkregen, daraus resultierende lokale Überflutungen und Hochwasser an Flüssen wurde durch die Flutkatastrophe im Juli 2021 und die Vielzahl an Medienberichten zu urbanen Sturzfluten in den letzten Jahren deutlich vor Augen geführt. In ähnlicher Weise vermitteln die mehrfachen Trocken- und Hitzeperioden seit 2018 einen Eindruck zu deutlich erhöhten Klimarisiken bezüglich Hitze und Dürre. Diese Faktoren verstärken die Klimarisiken der angeführten Langzeitfolgen bezüglich Niedrigwasser und urbaner Wasserverfügbarkeit.

Klimaanpassung in der Stadt- und Siedlungsentwicklung

Die planerischen Entscheidungen zur Raum-, Stadt- und Siedlungsentwicklung, insbesondere verbindliche Vorgaben zur baulichen Entwicklung und Flächennutzung sollten im Sinne der Klimaanpassung auf eine möglichst geringe räumliche Exposition und Verletzlichkeit der Bebauung durch regional und lokal bedeutsame Klimarisiken abzielen. Dies betrifft auch die möglichst frühzeitige Einbeziehung wasserwirtschaftlicher Erfordernisse der Klimaanpassung und der Belange des Hitzeschutzes durch Erhalt bzw. Verstärkung von Frischluftschneisen sowie die Schaffung von Klimainseln innerhalb der Bebauung. Über das Baurecht sollten verbindliche Vorgaben im Bebauungsplan zur Anordnung und Gestaltung von Gebäuden zur Generierung von Kühlungseffekten ermöglicht werden.

Klimaanpassung Gebäude

Im Handlungsfeld Gebäude wird ein vorrangiger Handlungsbedarf bei der Anpassung an zunehmende Hitzeperioden gesehen, um das Aufheizen der Räume, in denen sich Menschen vorrangig aufhalten, zu begrenzen. Dazu gehören die risikobewusste Ausrichtung von Schlaf- und Wohnräumen, eine abgestimmte Auswahl von Baumaterialien sowie Begrünung von Dächern und Fassaden, auch zur Verstärkung von Verschattungseffekten. Zur Risikominderung bezüglich Überflutungen durch Starkregen und Hochwasser ist eine Ausweitung des lokalen Objektschutzes an und auf bebauten Grundstücken unabdingbar. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit der temporären Wasserspeicherung auf dem Dach (Retentionsdach) geprüft werden.

Klimaanpassung Energiewirtschaft

Die Infrastruktur der Energiewirtschaft ist zahlreichen Klimarisiken ausgesetzt. So kann es während längerer Trocken- und Hitzeperioden infolge Niedrigwasser und hohen Wassertemperaturen der Flüsse zu Engpässen bei der Kühlwasserversorgung thermischer Kraftwerke kommen. Diese kritischen Phasen können mit Zeiten erhöhter Strombedarfe durch Klimaanlagen zusammenfallen. Extreme Stürme und Starkregen können Überlandleitungen, Umspannwerke und Trafostationen gefährden. Risikomindernd wirkt die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieformen mit größerer Autonomie und Flexibilität im Energiesektor.

Beim weiteren Ausbau der Energieinfrastruktur (Stromerzeugung, Leitungen, Trafo- und Ladestationen) muss eine möglichst hohe Systemresilienz durch Begrenzung der räumlichen Exposition der Anlagen und der Vulnerabilität gegenüber den genannten Klimarisiken sowie durch Einbau redundanter Systemkomponenten angestrebt werden. Das Umweltbundesamt sieht für Maßnahmen der Klimaanpassung ein großes Potenzial zur Minderung der Klimarisiken für die Energiewirtschaft.

Klimaanpassung Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

Für Verkehr und Verkehrsinfrastruktur werden die Klimarisiken durch extreme Wetterereignisse (Starkregen, Sturm, Hitze) durch die zunehmende Elektrifizierung der Verkehrssysteme ggfs. noch verstärkt, was die enge Verknüpfung mit den Risiken und notwendigen Maßnahmen der Klimaanpassung im Handlungsfeld Energiewirtschaft betont. Als hohes Klimarisiko im Bereich Verkehr ist die erwartete Verschärfung von Niedrigwasserphasen an schiffbaren Flüssen anzusehen, die den dortigen Güterverkehr periodisch stark einschränken kann. Zielführende Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der Auswirkungen von Niedrigwasser werden in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel adressiert (DAS 2020).

Dringender Handlungsbedarf wird bei der Minderung der Überflutungsrisiken für unterirdische Verkehrsanlagen und Unterführungen gesehen. Die Zugänge zu unterirdischen Gleisanlagen und die Einfahrten von Straßentunnels und Tiefgaragen bedürfen verbesserter Schutzmaßnahmen gegen urbane Sturzfluten. Den besonderen Gefahren bei temporär überfluteten Unterführungen muss durch deutliche Warnhinweise für zufahrende Autos begegnet werden. Hier bietet die Sensortechnik innovative Ansätze für ereignisbezogene Warnungen und Einfahrverbote.

Klimaanpassung in der urbanen Wasserwirtschaft

Langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung

Die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung bedarf einer fundierten regionalen und lokalen Analyse der Klimarisiken. Um auf einen temporären oder dauernden Rückgang des Wasserdargebotes übergeordnet reagieren zu können, müssen organisatorische Strukturen zur Koordinierung zukünftiger Wasserentnahmen auf regionaler Ebene gebildet werden. Eine stärkere Vernetzung der überwiegend kommunalen Anlagen der Wasserversorgung und die Ausweitung der Verbund- und Fernwasserversorgung erscheint dringend geboten. Die technisch-organisatorischen Maßnahmen sind zwingend durch Ansätze zur Reduzierung des

Trinkwasserverbrauchs zu unterstützen, z.B. durch Kampagnen zur „sparsamen Wassernutzung“ sowie durch die Förderung von Regenwasser- und Grauwassernutzung.

Gewässerschutz

Gewässerschutz dient neben gewässerökologischen Anliegen auch der Sicherung der Wasservorkommen für zukünftige Nutzungen. Die bestehenden gesetzlichen Regelungen auf europäischer, Bundes- und Landesebene werden als gute Grundlage zur Weiterentwicklung des Gewässerschutzes bewertet. Allerdings müssen die bestehenden Umsetzungsdefizite konsequenter behoben werden. Darüber hinaus sind Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung des Aufkommens von Spurenstoffen und die Begrenzung der Schadstoffausträge durch weitergehende Abwasserreinigung notwendig.

Starkregenvorsorge

Im Bereich der Starkregenvorsorge liegt mit dem Starkregenrisikomanagement eine fundierte Arbeitsgrundlage vor. Handlungsbedarf wird bei der Schaffung einer größeren Verbindlichkeit und Standardisierung für eine flächendeckende Etablierung gesehen. Die ableitbaren konkreten Maßnahmen zur Risikominderung und Verbesserung der Klimaresilienz, u.a. durch die Schaffung von Notwasserwegen und multifunktional genutzten, temporären Überflutungsflächen, werden zu großen baulich-technischen und finanziellen, ggfs. auch organisatorischen Herausforderungen führen. Dabei erscheint eine enge Verzahnung mit den Anliegen des Regenrückhalts zur Stärkung der Wasserverfügbarkeit sowie insgesamt mit der Stadt-, Verkehrs- und Freiraumplanung geboten.

Verbesserung der Wasserverfügbarkeit

Die Verbesserung der urbanen Wasserverfügbarkeit in Siedlungen hat durch die Trockenjahre 2018, 2019 und 2022 mit ausgeprägten Trocken- und Hitzeperioden, aber auch den vielfach zu beobachtenden Rückgang der Winterniederschläge – und damit einhergehend der Grundwasserneubildung – deutlich größere Aufmerksamkeit gewonnen. Entsprechend ist der möglichst weitgehende Rückhalt des Niederschlagswassers innerhalb der Bebauung zu einem zentralen Anliegen geworden, um den lokalen Wasserhaushalt zu stärken. Ein integrales Regenwassermanagement mit dezentralen und zentralen Elementen, versickerungsbetonten Entwässerungsstrukturen in der Bebauung verbunden mit blau-grüner Infrastruktur zur Stärkung der Verdunstung und dem Erzielen lokaler Klimaeffekte dient dieser Zielsetzung unter Berücksichtigung darüber hinausgehender Erfordernisse der Starkregenvorsorge.

Zielerreichung „klimaresiliente Stadt“ als Gemeinschaftswerk

Die vorstehenden Ausführungen verdeutlichen die Bandbreite der Handlungsfelder, die zur Klimaanpassung gerade auf kommunaler Ebene zu bearbeiten sind. Ihre enge Verzahnung über vielfältige Wechselwirkungen bedingt eine koordinierte Bearbeitung durch die berührten Planungsdisziplinen. Der Weg zur klimaresilienten Stadt kann nur als Gemeinschaftswerk aller kommunalen Akteure und im Zusammenwirken mit Länder- und Bundesbehörden erfolgreich beschritten werden.

INHALTSVERZEICHNIS

KERNAUSSAGEN UND HANDLUNGSERFORDERNISSE „AUF EINEN BLICK“	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	10
ABKÜRZUNGEN.....	11
1 EINLEITUNG, VERANLASSUNG, AUFBAU DER STUDIE.....	12
1.1 Vom Starkregenrisikomanagement zur klimaresilienten Stadt	12
1.2 Adressaten.....	14
1.3 Inhalte und Struktur der Studie.....	14
2 EUROPÄISCHER UND NATIONALER RECHTSRAHMEN.....	15
2.1 Europäische Ebene	15
2.1.1 Der Europäische Grüne Deal	15
2.1.2 Der europäische Klimapakt	15
2.2 Gesetzliche Grundlagen auf nationaler Ebene	15
2.2.1 Klimaschutzgesetz	15
2.2.2 Klimaanpassungsgesetz.....	16
2.2.3 Baugesetzbuch (BauGB)	17
2.2.4 Raumordnungsgesetz (ROG)	18
2.3 Gesetzliche Vorgaben der Bundesländer	19
2.3.1 Klimaschutzgesetze in den Bundesländern	19
2.3.2 Landesbauordnungen.....	19
2.3.3 Landes-Raumordnungsgesetze	19
2.4 Untergesetzliche Regelungen, Leitlinien und Positionspapiere.....	19
2.4.1 DWA-Regelwerk	19
2.4.2 Bautechnische Normen und Regelwerke	20
2.4.3 Nationale Wasserstrategie der Bundesregierung	20
2.4.4 Strategiepapier Klimaanpassung Baden-Württemberg	21
2.4.5 DWA-Positionen „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“	21
3 BEGRIFFLICHKEITEN.....	22
3.1 Klimawandel – Klimaschutz – Klimaanpassung	22
3.1.1 Klimawandel	22
3.1.2 Klimaschutz.....	23
3.1.3 Klimaanpassung.....	23
3.1.4 Klimarisikoanalyse	24
3.1.5 Vulnerabilität und Risiko	24
3.1.6 Klimaanpassungsstrategie	25
3.1.7 Klimaanpassungskonzepte	25

3.2	Resilienz – klimaresiliente Stadt.....	25
3.2.1	Resilienz.....	25
3.2.2	Klimaresilienz.....	26
3.2.3	Städtische Klimaresilienz („klimaresiliente Stadt“).....	27
3.3	Urbanes Wassermanagement.....	27
3.3.1	Wasserbewusste Siedlungsentwicklung.....	27
3.3.2	Blau-Grüne Infrastruktur.....	28
3.3.3	Ressourcenorientierte Sanitärsysteme.....	28
3.3.4	Integrales Regenwassermanagement.....	29
3.3.5	Starkregenrisikomanagement.....	30
3.3.6	Schwammstadt.....	31
3.4	Zwischenfazit.....	31
4	DER WEG ZUR KLIMARESILIENTEN STADT.....	33
4.1	Resilienz als Leitbild der Stadtentwicklung.....	33
4.1.1	Resilienz in der Stadtplanung.....	33
4.1.2	Eigenschaften der klimaresilienten Stadt.....	34
4.2	Klimarisikoanalyse und Klimaanpassung.....	36
4.3	Klimarisikofaktoren für Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft.....	37
4.3.1	Langfristige Auswirkungen der Erderwärmung.....	37
4.3.2	Auswirkungen durch extreme Wetterereignisse.....	39
5	KLIMAAANPASSUNG IN DEN FELDERN STADTENTWICKLUNG UND INFRASTRUKTUR.....	42
5.1	Handlungsfelder Stadt- und Siedlungsentwicklung, Raumplanung.....	42
5.2	Cluster Infrastruktur mit Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur.....	44
5.2.1	Handlungsfeld Gebäude.....	44
5.2.2	Handlungsfeld Energiewirtschaft.....	45
5.2.3	Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur.....	46
6	KLIMAAANPASSUNG IM HANDLUNGSFELD URBANE WASSERWIRTSCHAFT	48
6.1	Langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung.....	48
6.2	Gewässerschutz	50
6.3	Risikobewusste Vorsorge gegen Starkregenüberflutungen	51
6.4	Verbesserung der Wasserverfügbarkeit in Siedlungen	52

7	FOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	56
7.1	Resilienz und Klimarisiken	56
7.2	Kommunale Handlungsfelder der Klimaanpassung	56
7.3	Klimaanpassung in der urbanen Wasserwirtschaft	57
7.4	Gemeinschaftswerk „klimaresiliente Stadt“	58
7.5	Übersicht Handlungsfelder – Klimarisiken – Klimaanpassung.....	59
8	LITERATURVERZEICHNIS	61
	ANHANG: QUELLENNACHWEIS DER ABBILDUNGEN UND BILDRECHTE.....	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausgewählte Schlagzeilen zum Klimawandel und der Betroffenheit der Wasserwirtschaft (aus tagesschau.de/2023)	12
Abbildung 2: Cluster im KAnG (2023) mit Bezug zur Studie	16
Abbildung 3: Ansprache der Anliegen von Klimaschutz und Klimaanpassung in BauGB	18
Abbildung 4: Entwicklung der Mitteltemperaturen in Deutschland seit 1880 (aus DKK 2020)	22
Abbildung 5: Verschiebung der Häufigkeit von Wetterextremen, hier extreme Hitze infolge des Klimawandels (Quelle: Hessischer Rundfunk; aus Staeger 2023)	23
Abbildung 6: Risiko als Zusammenführung von Einzelfaktoren (nach IPCC 2014)	24
Abbildung 7: Mögliche Auswirkungen eines Störereignisses („Schock“) auf den Systemzustand (aus Scheid et al. 2019)	26
Abbildung 8: Elemente blau-grüner Infrastruktur als „BlueGreen-Streets-Wirkkaskade“ (aus Dickhaut 2021)	28
Abbildung 9: Integrales Regenwassermanagement mit blau-grüner Infrastruktur auf Quartiersebene (nach Benden 2021)	30
Abbildung 10: Arbeitsschritte im kommunalen Starkregenrisikomanagements (nach LUBW 2016)	30
Abbildung 11: Stadtgrün als prägendes Element zukünftiger Siedlungen	32
Abbildung 12: Methodischer Rahmen einer Klimarisikoanalyse (nach UBA 2021)	36
Abbildung 13: Schema zur Zusammenführung von Bewertungen der Klimarisikoanalyse als „verbleibendes Risiko“ (nach UBA 2022)	37
Abbildung 14: Niedrigwassersituation am Rhein 2018 (pixabay.com)	38
Abbildung 15: Starkregenereignisse und Überflutungsschäden 2002 – 2017 (aus GDV 2020)	40
Abbildung 16: Beispiel einer Grünzone im Innenstadtbereich als „Klimaoase“	43
Abbildung 17: Fassadenbegrünung als Beitrag zu Hitzeschutz und Wasserhaushalt auf Gebäudeebene	45
Abbildung 18: Warnhinweis auf Überflutungsgefahren bei Unterführungen etc.	47
Abbildung 19: Elemente des Integralen Regenwassermanagements (aus DWA 2020a)	52
Abbildung 20: Zielvorstellung naturnaher Wasserhaushalt in der Stadt durch blau-grüne Infrastruktur	53
Abbildung 21: Versickerungsbetonte Entwässerungsstrukturen in der Bebauung	54
Abbildung 22: Dezentraler Regenwasserrückhalt mit Verdunstung und Versickerung „im Quartier“	54
Abbildung 23: Rückhalteanlage für Straßenabflüsse und Außengebietszuflüsse	55

Abkürzungen

AKA	Aktionsplan Anpassung
BauGB	Baugesetzbuch des Bundes
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDB	Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMUV	Bundesministerium für Umwelt
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DIN	Deutsches Institut für Normung
DST	Deutscher Städtetag
DStGB	Deutscher Städte- und Gemeindebund
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasser, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
KAnG	Klimaanpassungsgesetz
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LUBW	Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg
ROB	Raumordnungsgesetz
UBA	Umweltbundesamt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1 Einleitung, Veranlassung, Aufbau der Studie

1.1 Vom Starkregenrisikomanagement zur klimaresilienten Stadt

Der Klimawandel und seine Folgen für den Menschen und seine bebaute Umwelt, aber auch für die Natur selbst werden seit Anfang der 2000er Jahre intensiv diskutiert. Derzeit wird immer offensichtlicher, dass die bislang beschlossenen Maßnahmen des Klimaschutzes nicht ausreichen werden, die globale Temperaturerhöhung entsprechend der Zielvereinbarung von Paris auf 1,5 Grad zu begrenzen. Tatsächlich hat die Vielzahl der Extremwetterereignisse der zurückliegenden Monate deutlich vor Augen geführt, dass wir uns bereits „mitten im Klimawandel“ befinden. Dies belegt die Häufigkeit und Gleichzeitigkeit extremer Dürre- und Hitzeperioden mit weltweit außer Kontrolle geratenen Waldbränden und außergewöhnlicher Starkregensmengen mit verheerenden Überflutungen, zuletzt im Jahr 2023. Abbildung 1 unterstreicht mit einer Auswahl an Schlagzeilen im Portal „tagesschau.de“ nachdrücklich die Dringlichkeit von Klimaschutz und Klimaanpassung, aber auch die besondere Betroffenheit der Wasserwirtschaft durch den Klimawandel (tagesschau 2023).

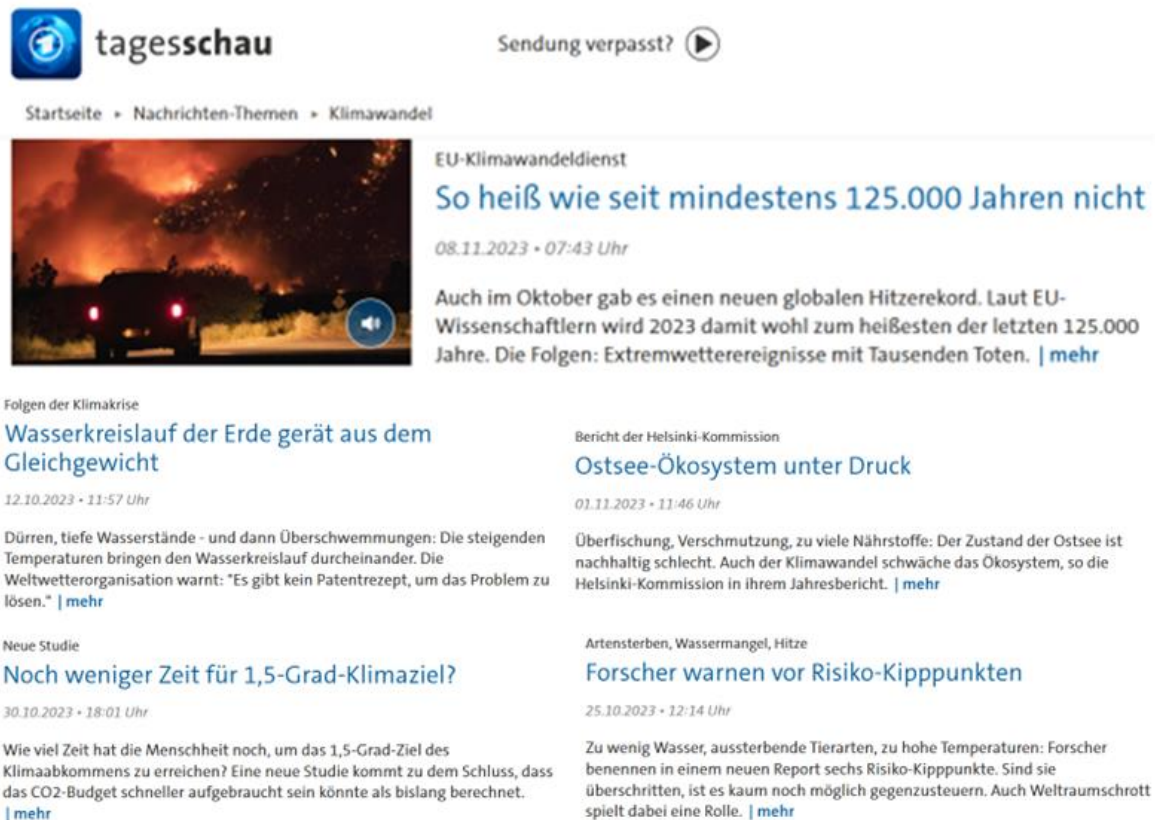


Abbildung 1: Ausgewählte Schlagzeilen zum Klimawandel und der Betroffenheit der Wasserwirtschaft (aus tagesschau.de/2023)

Die Dringlichkeit zu handeln zeigt sich u.a. in der Zunahme von Starkregen und Hochwasser in Intensität und Häufigkeit, die zwischenzeitlich, auch in Verbindung mit dem Anstieg von Wetterextremen insgesamt, als gesicherte Auswirkung des Klimawandels angesehen wird (u.a. IPCC 2021). Die fachliche Erörterung hat in der Siedlungsentwässerung zur Einsicht geführt, die starren Bemessungskonzepte mit abgestuften Regen- und Überstauhäufigkeiten aufzugeben und durch ein kommunales Starkregen-Risikomanagement zu ersetzen. Zentrale

Elemente hierbei bilden eine fundierte, ortsbezogene Analyse der Gefährdung und der möglichen Schäden durch lokale Starkregen als Risikobewertung sowie die Einbindung politischer Akteure und die gezielte Information Betroffener als Risikokommunikation.

Die Umsetzung des Starkregen-Risikomanagements auf kommunaler Ebene ist mit Empfehlungen zu Inhalten, Methodik und Arbeitsschritten über das Merkblatt DWA-M 119 im technischen Regelwerk verankert (DWA 2016a). Sie wurde auch in einschlägigen Leitlinien einzelner Bundesländer sowie der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) aufgegriffen. Zielführende Maßnahmen zur kommunalen Überflutungsvorsorge werden in verschiedenen Fachveröffentlichungen beschrieben (u.a. BBSR 2019; DST 2015; DWA 2013; Krieger und Schmitt 2018). Die von Baier et al. (2021) und Schmitt (2022) vorgenommenen Erhebungen sowie aktuelle Projektberichte bestätigen, dass bereits für eine größere Zahl von Kommunen Starkregengefahrenkarten erstellt wurden und öffentlich zugänglich sind. Damit liegt bereits ein zentraler Baustein des Starkregen-Risikomanagements vor.

In der vom BDB initiierten Studie „Starkregen und urbane Sturzfluten – Agenda 2030“ wurde u.a. eingefordert, das urbane Regenwassermanagement stärker als bisher mit den anderen Planungsdisziplinen und -inhalten auf kommunaler Ebene zu verzahnen (Schmitt 2022). Diese Notwendigkeit wird auch in Fachbeiträgen zur wasserbewussten Siedlungsentwicklung betont (u.a. Becker et al. 2015; DWA 2021, StMUV 2020). In diesem Kontext werden die Schlagworte „Schwammstadt“ als plakatives und „Blau-grüne Infrastruktur“ als konzeptionelles Leitbild verwendet. Die Forderung nach ganzheitlichen Problemanalysen findet sich auch in den vielfältigen Fachdiskussionen zu den übergeordneten Anliegen einer Anpassung der Bebauung an den Klimawandel sowie der Verbesserung der Klimaresilienz der Städte (u.a. BMBF 2015; BMUV 2023; DWA 2023; Ganser und Schneider 2022).

Mit dem Klimaanpassungsgesetz des Bundes wird ein bundesweit einheitlicher Rechtsrahmen für die Entwicklung zukunftsfähiger Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an die negativen Auswirkungen des Klimawandels geschaffen (KAnG 2023). Als Schutzgüter werden Leben und Gesundheit, Gesellschaft, Wirtschaft und Infrastruktur sowie Natur und Ökosysteme genannt. Von den ausgewiesenen Handlungsfeldern betreffen Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft, die Infrastrukturbereiche Gebäude, Energie, und Verkehr, die Raumplanung sowie die Stadt- und Siedlungsentwicklung ganz maßgeblich die kommunale Ebene. Dementsprechend werden die kommunalen Gebietskörperschaften gefordert sein, Klimaanpassungskonzepte mit der übergeordneten Zielsetzung „Verbesserung der Klimaresilienz bebauter Gebiete“ aufzustellen.

Die vorliegende Studie „Vom Starkregenmanagement zur klimaresilienten Stadt“ spannt den Bogen von der zwischenzeitlich mit ihren Inhalten klar formulierten Aufgabenstellung des kommunalen Starkregen-Risikomanagements zum übergeordneten, thematisch deutlich breiter aufgespannten Anliegen der Anpassung an die (negativen) Folgen des Klimawandels. Sie beziehen sich auf die erwartete Zunahme der Wetterphänomene Hitze, Trockenheit, Stürme und Starkregen, deren Auswirkungen als „Klimarisiken“ bezeichnet werden und alle städtischen Lebensbereiche betreffen. Mit der Studie soll die Stellung des Starkregen-Risikomanagements in der neuen Zielvorgabe „Urbane Resilienz“ und seine Verzahnung über das integrale Regenwassermanagement mit anderen Handlungsfeldern der Klimaanpassung aufgezeigt werden.

1.2 Adressaten

Die Studie richtet sich an **alle Akteure der kommunalen Ebene**. Dabei gilt es,

- die neue Zielvorgabe „klimaresiliente Stadt“ mit ihren Inhalten zu beleuchten,
- die dabei verwendeten wesentlichen Begrifflichkeiten zu erläutern,
- die aus dieser Zielvorgabe resultierende Notwendigkeit von Klimaanpassungskonzepten und die verbundenen Fragestellungen zu erörtern und
- die notwendigen Arbeitsschritte einer zielgerichteten Bearbeitung zu skizzieren.

Den **politischen Entscheidungsträgern** soll insbesondere die Dringlichkeit der Erstellung von Klimaanpassungskonzepten und die notwendige Verknüpfung der unterschiedlichen Handlungsfelder in einer gesamtheitlichen Ausrichtung aufgezeigt werden. In Verbindung damit werden fachbezogene Aufgaben benannt und den **kommunal verankerten Planungsdisziplinen** zugeordnet. Zur Verdeutlichung der notwendigen inter- und transdisziplinären Bearbeitung der Klimaanpassungskonzepte wird die inhaltlich-methodische Verzahnung der maßgeblichen Handlungsfelder der kommunalen Ebene herausgestellt.

„Betroffene“ des Klimawandels und seiner Auswirkungen, aber auch der zu entwickelnden Maßnahmen der Klimaanpassung sind die **Bürgerinnen und Bürger der Kommunen**. Ihnen soll mit der Studie die Bandbreite der Aufgabenstellung verdeutlicht und die Ziele der notwendigen Klimaanpassungen auf kommunaler Ebene mit der angestrebten Verbesserung der Klimaresilienz erläutert werden. Zum besseren Verständnis der Gesamtthematik werden die wesentlichen Begrifflichkeiten in ihrer Bedeutung eingeordnet.

1.3 Inhalte und Struktur der Studie

Aufbauend auf der inhaltlichen Adressierung und Eingrenzung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 der Rechtsrahmen auf europäischer und nationaler Ebene beleuchtet mit Fokus auf das Klimaanpassungsgesetz des Bundes, das Bundes-Baugesetzbuch sowie relevante technische Regeln und untergesetzliche Vorgaben. Als Ergebnis einer umfassenden Literatursichtung des Themenfeldes Klimawandel und Klimaanpassung werden in Kapitel 3 die zentralen Begrifflichkeiten erläutert beleuchtet.

Kern der Studie bilden die Skizzierung des Leitbildes und der Entwicklungskonzepte für eine klimaresiliente Stadt und die Klimarisiken in den einzelnen Handlungsfeldern (Kapitel 4) und darauf aufbauend die Beschreibung der Ansätze zur Klimaanpassung in ausgewählten Handlungsfeldern (Kapitel 5). Mit deutlicher Schwerpunktbildung werden in Kapitel 6 die Erfordernisse der Klimaanpassung für die urbane Wasserwirtschaft, aufgeschlüsselt in vier Hauptaufgaben und -anliegen, erörtert. Kapitel 7 enthält Folgerungen zu den voranstehenden Ausführungen und einen kurzen Ausblick auf die Aufgabenausweitung der kommunalen Daseinsvorsorge.

2 Europäischer und nationaler Rechtsrahmen

2.1 Europäische Ebene

2.1.1 Der Europäische Grüne Deal

Das Dokument „Der europäische Grüne Deal“ vom Dezember 2020 trägt die Bezeichnung „Mitteilung der Kommission“, er richtet sich an diverse Institutionen der Europäischen Union und versteht sich als Wachstumsstrategie, die den übergeordneten Zielen der Agenda 2030 der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Entwicklung Rechnung trägt. Als spezifischeres Anliegen wird die Bewältigung klima- und umweltbedingter Herausforderungen genannt. Damit wird auch eine Verbesserung der Resilienz der Gesellschaft und des Wirtschaftsraumes angestrebt. Als vorrangige Handlungserfordernisse werden ausgewiesen:

- der Erhalt der Ökosysteme und der Biodiversität,
- die Wiederherstellung natürlicher Funktionen von Grundwasser und oberirdischen Gewässern,
- die Weiterentwicklung des Finanzsystems zur Erhöhung der Resilienz gegenüber Klima- und Umweltrisiken, insbesondere durch Naturkatastrophen;

Konkrete Handlungsanweisungen an die Mitgliedsstaaten sind nicht enthalten. In Bezug auf die Herausforderungen des Klimawandels wird auf den europäischen Klimapakt verwiesen.

2.1.2 Der europäische Klimapakt

Das Dokument „Ein europäischer Klimapakt“ vom Dezember 2019 ist ebenfalls als „Mitteilung der Kommission“ an Institutionen der Europäischen Union bezeichnet. Er versteht sich als Handlungsrahmen für koordinierte Maßnahmen des Klimaschutzes, um die bestehenden Verpflichtungen zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen einzuhalten und die im Dokument „Der europäische Grüne Deal“ formulierten Ziele zu erreichen. Im Fokus steht die Begrenzung der negativen Auswirkungen des Klimawandels, hier benannt als Dürren, Waldbrände, Stürme, Anstieg des Meeresspiegels, Überschwemmungen und andere Extremwetterereignisse, durch Reduzierung der Emission klimaschädlicher Emissionen. Die „Klimaanpassung“ als strategische Aufgabe der Politik wird nicht näher adressiert.

2.2 Gesetzliche Grundlagen auf nationaler Ebene

2.2.1 Klimaschutzgesetz

Das Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (KSG 2019) dient der Erfüllung der vereinbarten nationalen Klimaschutzziele und der europäischen Zielvorgaben auf der Grundlage des Pariser Klimaschutzabkommens vom Dezember 2015. Dazu werden Zahlenwerte zur abgestuften prozentualen Reduktion klimarelevanter Emissionen und zu Jahresemissionswerten benannt und Minderungsziele für einzelne Sektoren vorgegeben. Das Gesetz sieht die regelmäßige Fortschreibung des Klimaschutzplans und darauf aufbauend die Aufstellung eines Klimaschutzprogramms vor. Die „Klimaanpassung“ als strategische Aufgabe ist Gegenstand eines eigenen Gesetzes, das im November 2023 als Klimaanpassungsgesetz verabschiedet wurde.

2.2.2 Bundes-Klimaanpassungsgesetz

Das Bundes-Klimaanpassungsgesetz vom 20. Dezember 2023 verpflichtet Bund, Länder und Kommunen zur Erarbeitung von Klimaanpassungsstrategien und Klimaanpassungskonzepten (KAnG 2023). Ausgangspunkt und Begründung des Klimaanpassungsgesetzes ist die Feststellung, dass die Auswirkungen des Klimawandels ganz Deutschland in vielen Lebensbereichen betreffen mit „Gefahren für Leben und Gesundheit, Gesellschaft, Wirtschaft und Infrastruktur sowie für Natur und Ökosysteme“. Daraus wird die Notwendigkeit gezielter Maßnahmen zur Erhöhung der Widerstandskraft und der Anpassungsfähigkeit in den genannten Bereichen abgeleitet. Als Gefahren werden explizit die Zunahme von Intensität, Häufigkeit und Dauer von Extremereignissen des Wettergeschehens (Hitzewellen, Dürren, Starkregen, Stürme) sowie der Verlust von Biodiversität und der Meeresspiegelanstieg als „schleichende Entwicklungen“ benannt.

Das Gesetz verpflichtet die Bundesregierung und die Bundesländer, vorsorgende Strategien zur Klimaanpassung zu entwickeln und Maßnahmenpläne auf der Grundlage von Klimarisikoanalysen zu erstellen. Das Gesetz enthält in § 2 Begriffsbestimmungen zu Klimaanpassung und Klimarisikoanalyse und konkretisiert in § 3 über die Ausweisung von Handlungsfeldern, gruppiert nach einzelnen Clustern, die Inhalte einer vorsorgenden Klimaanpassungsstrategie. Abbildung 2 zeigt die für die Studie relevanten Cluster und Handlungsfelder des (KAnG (2023)).

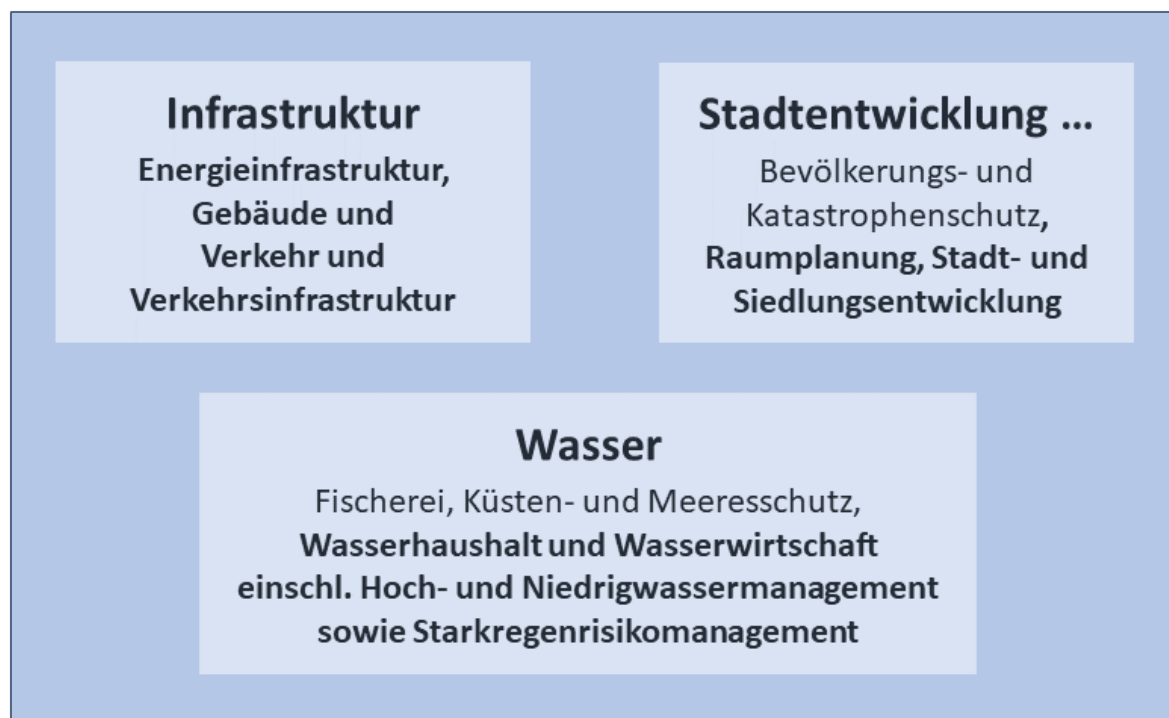


Abbildung 2: Cluster und Handlungsfelder im KAnG (2023) mit besonderem Bezug zur Studie

Mit Bezug auf die inhaltliche Ausrichtung und die im KAnG eingeforderten kommunalen Klimaanpassungskonzepte werden in der Studie die nachstehenden Themen besonders hervorgehoben erörtert:

- das Cluster Infrastruktur mit den Handlungsfeldern Energieinfrastruktur, Gebäude sowie Verkehr und Verkehrsinfrastruktur,
- die Handlungsfelder Raumplanung und Stadt- und Siedlungsentwicklung im Cluster Stadtentwicklung, Raumplanung und Bevölkerungsschutz;
- das Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft im Cluster Wasser; Zu diesem Handlungsfeld werden die Aufgaben Hochwasser- und Niedrigwassermanagement sowie Starkregenrisikomanagement im KAnG explizit genannt.

Die kommunalen Gebietskörperschaften werden verpflichtet, für jede Gemeinde und jeden Landkreis ein integriertes Klimaanpassungskonzept aufzustellen. Dabei sind bezüglich der genauen Zuständigkeiten die landesrechtlichen Bestimmungen maßgebend. Auf der Grundlage der im Gesetz spezifizierten Mindestinhalte formulieren die Bundesländer ggfs. weiterführende inhaltliche Vorgaben. Mit dem im November 2023 verabschiedeten Gesetz kommt der kommunalen Handlungsebene zur Klimaanpassung eine große Bedeutung zu.

2.2.3 Baugesetzbuch (BauGB)

Das Baugesetzbuch ist in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 veröffentlicht (BauGB 2017). Direkte Bezüge zu Klimaschutz und Klimaanpassung finden sich in Kapitel 1 „Allgemeines Städtebaurecht“, u.a. mit Ausführungen zur Bauleitplanung und zur Erschließung von Baugebieten sowie in Kapitel 2 „Besonderes Städtebaurecht“, u.a. mit Ausführungen zu Städtebaulichen Sanierungs- und Entwicklungsmaßnahmen sowie zum Stadtumbau.

In Kapitel 1, Teil 1 wird zur **Aufgabe der Bauleitplanung** in § 1(5) auch die Klimaanpassung adressiert: *„Die Bauleitpläne sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung ... gewährleisten. Sie 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.“* (§ 1 (5) auszugsweise zitiert; Hervorhebung durch den Autor)

Damit bieten Flächennutzungsplan und Bebauungsplan als Planungsinstrumentarien der Bauleitplanung gesetzlich fundierte Ansatzpunkte zur Einbeziehung der Anliegen der Klimaanpassung. Insbesondere können sie konkrete Maßnahmen aufgreifen, die zukünftig in kommunalen Klimaanpassungskonzepten nach KAnG (2023) ausgewiesen werden.

Dies gilt in gleicher Weise für **Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen**. Sie dienen nach § 136 (2) der Verbesserung oder Umgestaltung von Gebieten durch die Behebung städtebaulicher Missstände. Diese liegen u.a. vor, wenn *„... das Gebiet nach seiner vorhandenen Bebauung oder nach seiner sonstigen Beschaffenheit den allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse oder an die Sicherheit der in ihm wohnenden oder arbeitenden Menschen **auch unter Berücksichtigung der Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung** nicht entspricht ...“* (Zitat § 136 (2) 1.; Hervorhebung durch den Autor).

In den Ausführungen zu Städtebaulichen Entwicklungsmaßnahmen (§§ 165 – 171) findet sich bei den Veranlassungen kein unmittelbarer Bezug auf die Klimaanpassung. Demgegenüber enthalten die Regelungen zum **Stadtumbau** einen direkten Bezug zu Klimaschutz und Klimaanpassung. Danach sollen Stadtumbaumaßnahmen u.a. dazu beitragen, dass „... 1. Die Siedlungsstruktur den Erfordernissen der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft sowie **den allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung angepasst wird.**“ (Zitat § 171a (3), 1., Hervorhebung durch den Autor).

Mit den gezeigten Bezügen bietet das Baugesetzbuch eindeutige Anknüpfungspunkte zur Berücksichtigung und Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung. Abbildung 3 zeigt die Adressierung der Anliegen Klimaschutz und Klimaanpassung im BauGB im Überblick.

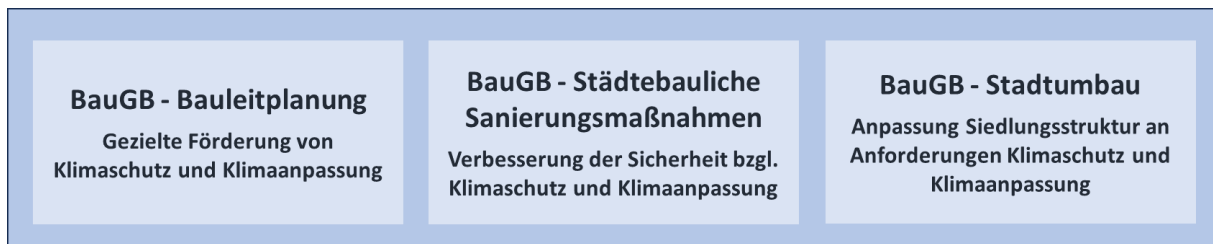


Abbildung 3: Ansprache der Anliegen von Klimaschutz und Klimaanpassung im BauGB (2017)

2.2.4 Raumordnungsgesetz (ROG)

Das Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 beschreibt den rechtlichen Rahmen der Raumplanung zur nachhaltigen Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Gesamtgebietes der Bundesrepublik Deutschland und seiner Teilräume mit Leitvorstellungen und Grundsätzen. Dabei wird seine Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas mit den jeweiligen Wechselwirkungen und die Notwendigkeit ihres Erhalts betont. Bei den Grundsätzen wird explizit auch auf die Herausforderungen des Klimawandels verwiesen: „... Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl **durch Maßnahmen**, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, **die der Anpassung an den Klimawandel dienen.**“ (Auszug aus § 2 (2), 6; Hervorhebung durch den Autor).

Instrumente der Raumplanung sind Raumordnungspläne sowie die Durchführung von Raumordnungsverfahren für große Infrastrukturvorhaben mit regionaler Bedeutung. Raumordnungspläne werden durch Landesbehörden für das Landesgebiet insgesamt und ggfs. für Teilräume der Länder (als Regionalpläne) aufgestellt. Auf Bundesebene wurde im September 2021 ein Raumordnungsplan für den Hochwasserschutz vorgelegt.

Das Raumordnungsgesetz und die o.a. Instrumentarien bilden den gesetzlichen Rahmen für Maßnahmen der Klimaanpassung auf der Handlungsebene der Raumplanung.

2.3 Gesetzliche Vorgaben der Bundesländer

2.3.1 Klimaschutzgesetze in den Bundesländern

Die Mehrzahl der Bundesländer hat eigene länderspezifische Klimaschutzgesetze erlassen. Ein Überblick zum aktuellen Stand der Länder-Klimaschutzgesetze und ihren Inhalten findet sich bei (Haufe 2023). Danach werden in den Ländergesetzen die bundesweit geltenden Zielvorgaben aufgegriffen und spezifiziert, in Einzelfällen auch durch ambitioniertere Vorgaben zur Reduzierung von klimaschädlichen Emissionen verschärft. Insgesamt stehen hier Zielvorgaben und zielführende Maßnahmen des Klimaschutzes im Fokus.

In seinem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz vom Februar 2023 (KlimaG BW 2023) hat Baden-Württemberg neben Zielvorgaben zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen und konkreten Verpflichtungen unterschiedlicher Akteure auch die Notwendigkeit gezielter Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel aufgenommen. Das Gesetz wurde im Juli 2023 durch die Veröffentlichung einer landesweiten Anpassungsstrategie ergänzt (MUKE 2023). Sie wird in Abschnitt 2.4.4 vorgestellt.

2.3.2 Landesbauordnungen

Die Landesbauordnungen enthalten umfangreiche und zum Teil auch sehr detaillierte Regelungen und Vorgaben zur Bebaubarkeit von Grundstücken, zur Erstellung von Gebäuden, zur Verwendung von Bauprodukten sowie zur Baugenehmigung. Breiten Raum nehmen Bestimmungen zum baulichen Brandschutz ein.

Nach exemplarischer Sichtung der Bauordnung einzelner Bundesländer lässt sich feststellen, dass gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse als allgemeine Anforderungen formuliert werden. Für Rheinland-Pfalz ist ein Hinweis auf Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko und die entsprechenden Vorgaben in § 73 WHG (2009) enthalten. Lokale Überflutungen durch Starkregen werden nicht thematisiert. Es finden sich keine konkreten Bezüge zu Anliegen der Klimaanpassung, etwa über die explizite Adressierung der spezifischen Klimarisiken Hitze, Trockenheit und Starkregen.

2.3.3 Landes-Raumordnungsgesetze

In den Landes-Raumordnungsgesetzen sind die Regelungen zur Aufstellung von landesweiten und regionalen Raumordnungsplänen niedergelegt, die hier nicht näher betrachtet werden.

2.4 Untergesetzliche Regelungen, Leitlinien und Positionspapiere

2.4.1 DWA-Regelwerk

Im DWA-Regelwerk wurde 2022 für neu erstellte Regelblätter die Kennzeichnung mit einer Klimakennung eingeführt. Die Inhalte werden anhand verschiedener Parameter hinsichtlich ihrer Relevanz für Klimaschutz und Klimaanpassung bewertet. Bei der Klimaanpassung wird die Anpassung an Wetterextreme aufgeführt und hinsichtlich Hitze- und Dürreereignissen, Wassermangel und Überflutungsgefahren aufgeschlüsselt. Als konkrete Maßnahmen werden das Monitoring von Klimadaten und Klimafolgen sowie der Wasserrückhalt im Einzugsgebiet genannt.

Vor diesem Hintergrund weisen – teilweise noch ohne formale Kennung – u.a. die Arbeitsblätter DWA-A 102-2, DWA-A 117, DWA-A 118 und DWA-A 138 sowie die Merkblätter DWA-M 102-4, DWA-M 119, DWA-M 551 und DWA-M 553 sowie ein geplantes Merkblatt DWA-M 194 zu Multifunktionalen Flächen deutliche Relevanz bezüglich der Klimaanpassung auf. Inhaltliche Bezüge auf diese Regelblätter erfolgen ggfs. in der inhaltlichen Erörterung der Klimaanpassung in den nachfolgenden Kapiteln.

2.4.2 Bautechnische Normen und Regelwerke

Notwendige Maßnahmen der Klimaanpassung müssen sich auch in bautechnischen Normen niederschlagen. Dazu wurden im Deutschen Institut für Normung (DIN) bereits mehrere Dokumente zu Fragestellungen der Klimaanpassung als Hilfestellung für Normungsgremien erarbeitet:

- DIN SPEC 35220:2015-11, *Anpassung an den Klimawandel – Umgang mit Unsicherheiten im Kontext von Projektionen*
- DIN SPEC 35220 Beiblatt 1:2018-08, *Anpassung an den Klimawandel - Umgang mit Unsicherheiten im Kontext von Projektionen; Beiblatt 1: Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden - Ein Beispiel der Vulnerabilitätsanalyse für den Fall einer Temperaturerhöhung von 2 °C und mögliche Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen dieser Temperaturerhöhung*
- DIN SPEC 35202:2018-08, *Leitfaden zur Einbeziehung der Anpassung an den Klimawandel in Normen; Deutsche Fassung CEN-CENELEC Guide 32:2016*

Darüber hinaus liegt der Endbericht zum BBSR-Forschungsprojekt „Klimaanpassung und Normungsverfahren – Analyse bestehender bautechnischer Normen und Regelwerke für einen Anpassungsbedarf an die Folgen des Klimawandels“ vor (BBSR 2022).

2.4.3 Nationale Wasserstrategie der Bundesregierung

Mit der Formulierung einer Nationalen Wasserstrategie greift die Bundesregierung die spezifischen Klimarisiken für die Wasserwirtschaft auf und bündelt die abgeleiteten Handlungserfordernisse in einen Strategieplan (BMUV 2023). Er trägt der besonderen Bedeutung des Wassers als Lebensgrundlage des Menschen Rechnung. Als steigende Klimarisiken adressiert werden u.a.

- die Verschlechterung der allgemeinen Wasserverfügbarkeit,
- die Verwundbarkeit der Wasserinfrastrukturen durch extreme Wetterereignisse,
- der mit der Temperaturerhöhung steigende Wasserbedarf, insbesondere Bewässerung in heißen Trockenperioden,
- die Beeinträchtigung wasserbasierter Ökosysteme.

Daraus werden in 10 strategischen Themenfeldern Handlungserfordernisse zur Anpassung an den Klimawandel benannt, die auch den Nachhaltigkeitszielen der Agenda 2030 der Vereinten Nationen Rechnung tragen (UNRIC 2023). Die Anliegen finden sich in den Ausführungen in den Abschnitten 5 und 6 wieder.

2.4.4 Strategiepapier Klimaanpassung Baden-Württemberg

Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hat im Juli 2023 ein Strategiepapier zur Klimaanpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg vorgelegt (MUKE 2023). Darin werden in weitgehender Übereinstimmung mit dem KAnG (2023) verschiedene Handlungsfelder der Klimaanpassung benannt und ihre Betroffenheit durch den Klimawandel umfassend erörtert. In Bezug darauf werden für die Klimarisikofaktoren Hitze (mit Schwerpunkt auf urbane Räume), Trockenheit und Niedrigwasser (mit Schwerpunkt ländlicher Raum) sowie Starkregen, Hochwasser und andere Extremereignisse geeignete Anpassungsmaßnahmen ausgewiesen und in Form von Steckbriefen skizziert. Mit Blick auf die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Klimarisikofaktoren und ihren Auswirkungen wird eine sektorübergreifende Bearbeitung der Klimaanpassung empfohlen, um mögliche Synergieeffekte zu nutzen.

Das Strategiepapier stellt mit den konkreten Aussagen bezüglich Betroffenheiten und Handlungsoptionen eine sehr gute Arbeitsgrundlage zur Klimaanpassung dar.

2.4.5 DWA-Positionen „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“

Das Positionspapier der DWA zur wasserbewussten Siedlungsentwicklung weist im Bereich der urbanen Wasserwirtschaft unmittelbare Bezüge zu den strategischen Themenfeldern der Nationalen Wasserstrategie auf (DWA 2021). Die dort adressierten Zielvorgaben haben auch hier zunehmende Klimarisiken und die Verbesserung der Klimaresilienz im Blick. Dazu hat sich zwischenzeitlich eine „Allianz, Gemeinsam für eine wasserbewusste Stadtentwicklung“ gebildet (DWA 2023c). Sie versteht sich als Fachdisziplin-übergreifende Initiative von Akteuren und Verbänden, die die Verwirklichung der „wasserbewussten Zukunftsstadt“ forcieren wollen.

Die in (DWA 2021) formulierten Handlungsmaximen werden in Abschnitt 3.3.1 benannt und in Abschnitt 6 weitergehend erörtert. Innerhalb der gesamtheitlichen Ausrichtung auf die „wasserbewusste Zukunftsstadt“ finden Begrifflichkeiten in Bezug auf einzelne Teilbereiche Verwendung, die nachfolgend weiter ausgeführt werden.

3 Begrifflichkeiten

In der Behandlung der Themen „Klimawandel – Klimaanpassung – Klimaresilienz“ werden in den gesichteten Gesetzestexten und zugehörigen Fachveröffentlichungen vielfältige Begriffe verwendet, die – oftmals schlagwortartig – in die (fach-)öffentliche Diskussion eingeflossen sind. Für ein möglichst einheitliches Verständnis werden zentrale Begriffe der aktuellen Diskussion aufgegriffen und in ihrer Bedeutung erläutert. Die Erläuterung erfolgt in thematisch gruppierter Reihenfolge.

3.1 Klimawandel – Klimaschutz – Klimaanpassung

3.1.1 Klimawandel

Klimawandel bezeichnet allgemein die Änderung der meteorologischen Kenngrößen Temperatur, Niederschlag, Wind, Feuchte und Strahlung über einen längeren Zeitraum. Dabei versteht sich Klima als summarische Wirkung aller einzelnen Wettererscheinungen dieser Kenngrößen in Raum und Zeit. Neben den Mittelwerten können auch Veränderungen anderer statistischer Kenngrößen (Streuung, Extreme, Form der Häufigkeitsverteilungen) einzelner Klimaparameter auftreten. Auslösendes Element des Klimawandels als Gegenstand der aktuellen politischen und fachlichen Erörterungen ist die globale Erderwärmung seit Beginn der Industrialisierung Ende des 18. Jahrhunderts. Sie lässt sich in langjährigen Aufzeichnungen als weltweite Tendenz eindeutig ablesen. In Deutschland sind die Mitteltemperaturen seit 1880 um ca. 1,4 Grad gestiegen (Abbildung 4, DKK 2020).

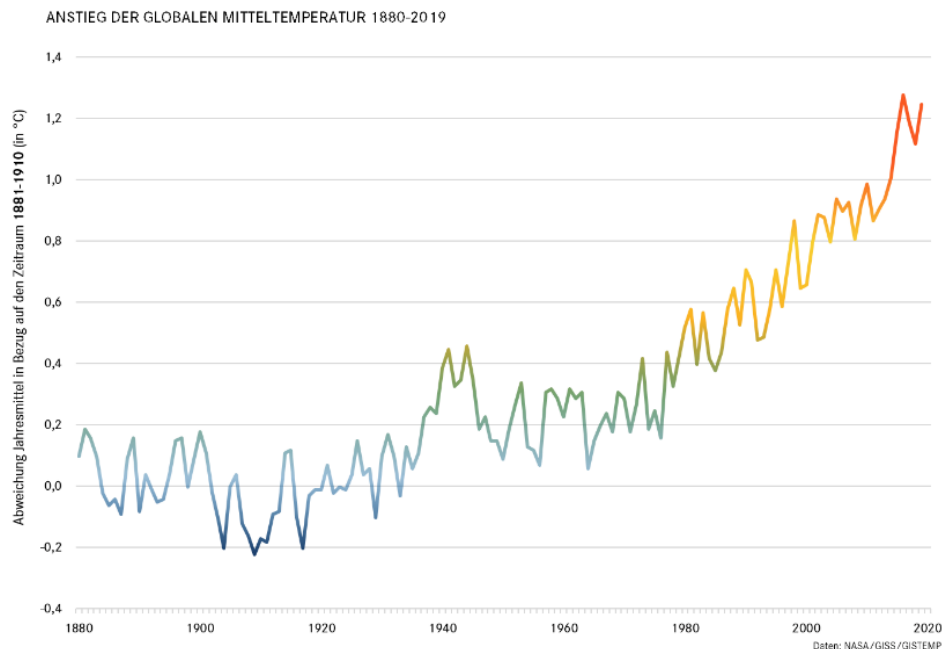


Abbildung 4: Entwicklung der Mitteltemperaturen in Deutschland seit 1880 (aus DKK 2020)

Nach fachlich weitestgehend übereinstimmenden Urteilen ist die vom Menschen verursachte Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlendioxid und anderen „Klimagasen“ maßgeblich für den Temperaturanstieg („Treibhauseffekt“) und insbesondere für die zu beobachtende Geschwindigkeit des Anstiegs verantwortlich (IPCC 2021).

Ein zentraler Aspekt in Bezug auf das Anliegen der Klimaanpassung ist die erwartete Zunahme extremer Wettererscheinungen, insbesondere bezüglich Hitze und Dürre, Stürmen und Starkregen. Sie dokumentiert sich in der statistischen Häufigkeitsverteilung der Intensität von Wetterereignissen in Abbildung 5, hier am Beispiel der Zunahme von Tagen extremer Hitze.

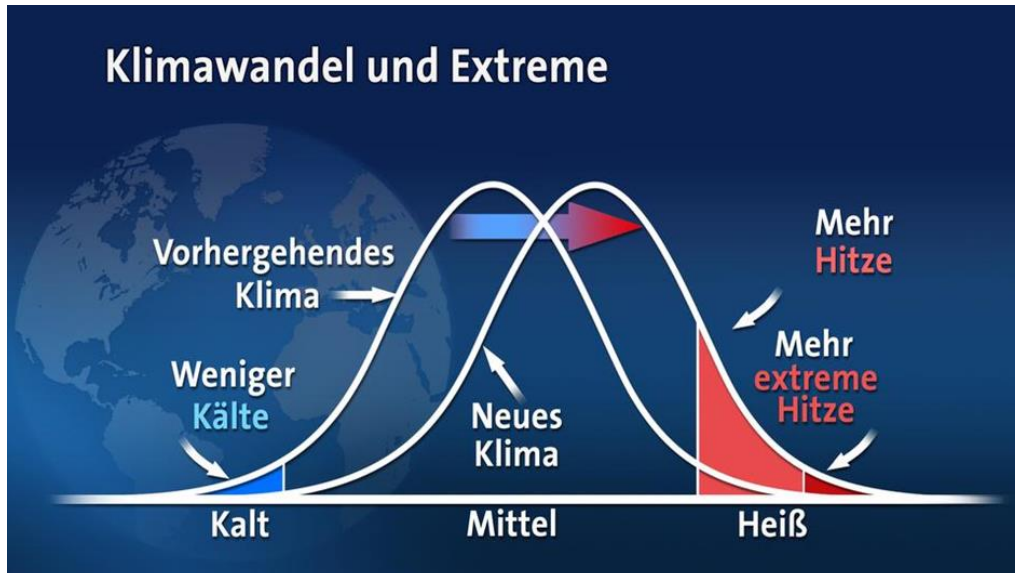


Abbildung 5: Verschiebung der Häufigkeit von Wetterextremen, hier extreme Hitze infolge des Klimawandels (Quelle: Hessischer Rundfunk; aus Stäger 2023)

3.1.2 Klimaschutz

Der Begriff Klimaschutz umfasst die Ziele und Maßnahmen zur Begrenzung, Abschwächung und langfristig ggfs. auch zur Umkehrung der Erderwärmung. Die Maßnahmen zielen auf die Vermeidung, zumindest die Reduzierung von Emissionen, die in der Atmosphäre zum Treibhauseffekt beitragen, sowie – zumindest optional – auf die dauerhafte Entnahme schädlicher Klimagase aus der Atmosphäre. Weitergehend bestehen Überlegungen, der fortschreitenden Erwärmung durch Begrenzung der Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche, z.B. durch große Segel oder künstliche Wolkenbildung entgegenzuwirken. Die Durchführbarkeit und Wirksamkeit derartiger Maßnahmen als 'geo-engineering' sind in der Fachwelt äußerst umstritten.

3.1.3 Klimaanpassung

Ziel der Klimaanpassung ist die Begrenzung und idealerweise die Vermeidung negativer Auswirkungen des Klimawandels in den verschiedenen Lebensbereichen. Die öffentliche Wahrnehmung gilt insbesondere den vorstehend genannten extremen Wetterereignissen Hitze und Dürre, Stürme und Starkregen. Klimaanpassung bezieht sich aber auch auf langfristige Wirkungen, z.B. dem Anstieg des Meeresspiegels, dem Abschmelzen der Gletscher, der Beeinträchtigung von Ökosystemen oder der Reduzierung der Artenvielfalt.

Klimaanpassung umfasst alle Initiativen und Maßnahmen, mit denen die Empfindlichkeit natürlicher und technischer Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung verringert werden kann. Die Anpassungsmaßnahmen können reaktiv oder vorausschauend sein, öffentlich oder privat, geplant oder autonom (DAS 2020).

3.1.4 Klimarisikoanalyse

Die Klimarisikoanalyse ist ein zentraler Arbeitsschritt im Gesamtprogramm der Klimaanpassung (BMUV 2023; MUKE 2023). Sie wird im Klimaanpassungsgesetz zur ortsbezogenen Analyse und Bewertung der Klimarisiken eingefordert (KAnG 2023). Diese manifestieren sich in erwarteten oder möglichen negativen Folgen des Klimawandels in Bezug auf die genannten Faktoren Hitze, Trockenheit/Dürre, Stürme und Starkregen, bei denen die Gefahren durch häufigere und/oder größere Extremwerte steigen, sowie in langfristigen Auswirkungen der Erderwärmung. Die Risikobewertung beinhaltet neben der Zunahme der Gefährdung die Abschätzung monetärer und nichtmonetärer Folgen („Schadenspotenziale“) in Analogie zur Starkregen- und Hochwasserrisikoanalyse (siehe u.a. HWRM-RL 2007; Krieger und Schmitt 2018; LUBW 2019; WHG 2009).

Die Ergebnisse einer bundesweiten Klimarisikoanalyse hat das Umweltbundesamt als „Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland“ in einer Kurzfassung beschrieben (UBA 2021). Als Arbeitshilfe liegen seitens des UBA ein Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen (UBA 2017) sowie Handlungsempfehlungen zur Durchführung von Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene (UBA 2022) vor.

3.1.5 Vulnerabilität und Risiko

In Bezug auf die Klimarisikoanalyse als zentraler Arbeitsschritt werden die Begrifflichkeiten Vulnerabilität und Risiko beleuchtet. Früher stand Vulnerabilität als zentraler Begriff und Ergebnis am Ende der Wirkungsanalyse. Demgegenüber führt Vulnerabilität in den Handlungsempfehlungen in (UBA 2021/2022) mit den Faktoren Gefährdung und Exposition zur Risikobewertung (Abbildung 6). Entsprechend wird das Klimarisiko als Potenzial nachteiliger Folgen des Klimawandels für menschengemachte oder natürliche Systeme definiert. Maßnahmen der Klimaanpassung führen über eine Reduzierung der Vulnerabilität in der Bewertung zu einem entsprechend geringeren Risiko.

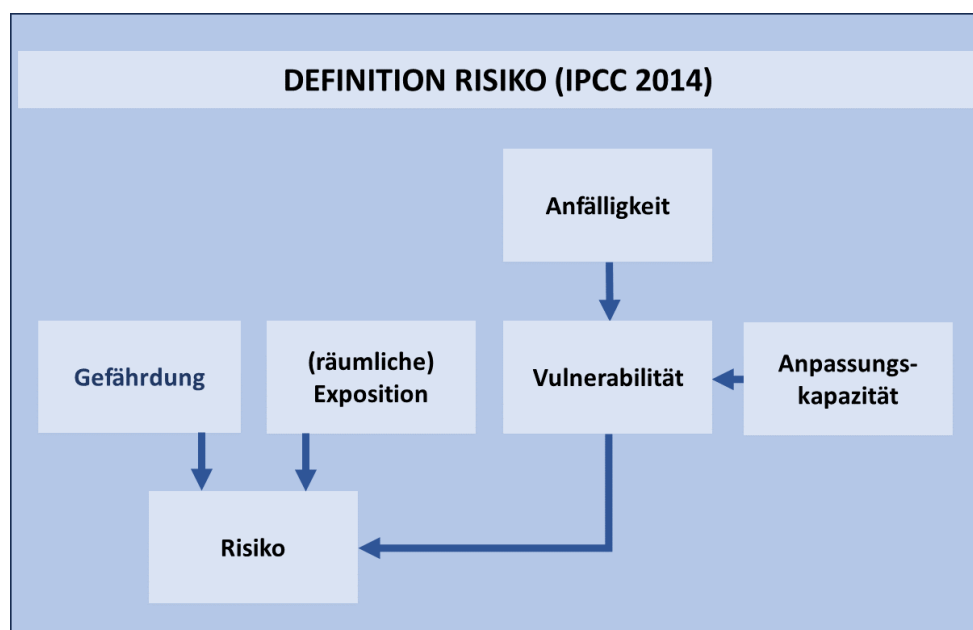


Abbildung 6: Risiko als Zusammenführung von Einzelfaktoren (nach IPCC 2014)

3.1.6 Klimaanpassungsstrategie

Die Bundesregierung verpflichtet sich mit dem Klimaanpassungsgesetz (KAnG 2023), eine vorsorgende Klimaanpassungsstrategie vorzulegen, die definierte thematische Cluster und Handlungsfelder adressieren soll. Eine erste Klimaanpassungsstrategie wurde bereits 2008 veröffentlicht (DAS 2008). Mit dem KAnG (2023) werden die Bundesländer aufgefordert, landeseigene vorsorgende Klimaanpassungsstrategien vorzulegen und umzusetzen, die auf den Ergebnissen bundesweiter und regionaler Klimarisikoplanungen aufbauen und bereits eingetretene Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen.

Klimaanpassungsstrategien definieren Ziele für eine nachhaltige Klimaanpassung und weisen einen Maßnahmenkatalog zur Zielerreichung für definierte Handlungsfelder aus. Diese können nachfolgend in kommunalen Klimaanpassungskonzepten aufgegriffen werden.

3.1.7 Klimaanpassungskonzepte

Nach KAnG (2023) sollen Klimaanpassungskonzepte auf Bundesebene mit dem Ziel klimaangepasster Bundesliegenschaften sowie für die Gebiete der Gemeinden und Landkreise aufgestellt werden. Für die kommunalen Gebietskörperschaften bestimmen die Länder die zuständigen Stellen, die Festlegung der Zielgebiete und die wesentlichen Inhalte der Klimaanpassungskonzepte. Darin soll ortsbezogen ein planmäßiges Vorgehen bei der Klimaanpassung auf der Grundlage örtlicher bzw. regionaler Klimarisikoplanungen etabliert werden, das die dringlichen Handlungserfordernisse aufgreift. Bereits vorliegende, relevante Grundlagenplanungen, z.B. Hitzeaktionspläne, Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten, Freiraumkonzepte, Landschafts- und Grünordnungspläne sind zu berücksichtigen.

3.2 Resilienz – klimaresiliente Stadt

3.2.1 Resilienz

Der Begriff der Resilienz findet in der Fachsprache der Psychologie schon länger Verwendung und bezeichnet dort die psychische Widerstandskraft und die Fähigkeit, schwierige Lebenssituationen ohne anhaltende Beeinträchtigung zu überstehen. Zwischenzeitlich dient Resilienz auch der Politik als begriffliche Zielvorgabe zur Bewältigung zukünftiger Krisen und Katastrophen. Sie wird in der Resilienzstrategie der Bundesregierung wie folgt definiert (zitiert aus BMI 2022):

"Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, einer Gemeinschaft oder einer Gesellschaft, sich rechtzeitig und effizient den Auswirkungen einer Gefährdung widersetzen, diese absorbieren, sich an sie anpassen, sie umwandeln und sich von ihnen erholen zu können. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist die Erhaltung und Wiederherstellung ihrer wesentlichen Grundstrukturen und Funktionen durch Risikomanagement."

Abbildung 7 veranschaulicht die Bedeutung der Resilienz in unterschiedlichen Verläufen des Systemzustandes nach einem Störeinfluss („Schock“) von außen (Scheid et al. 2019).

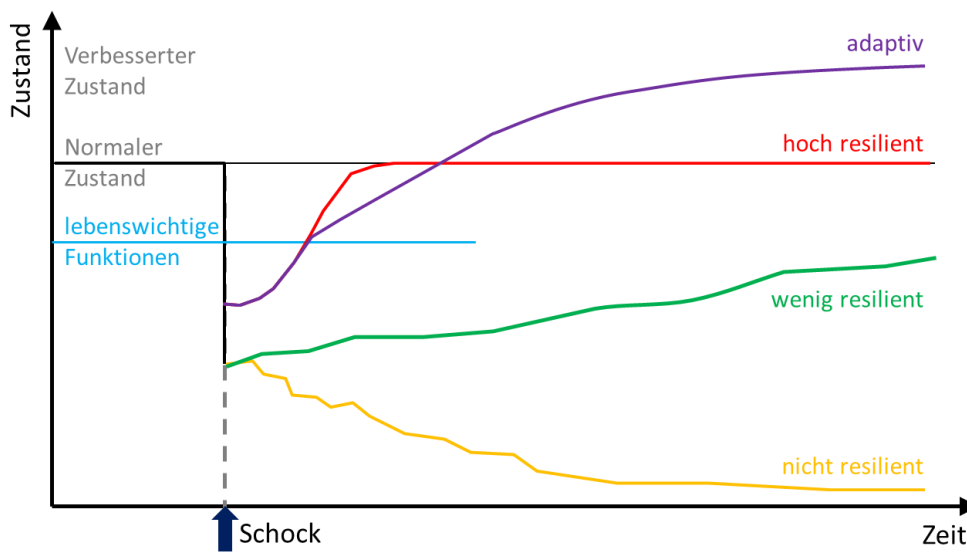


Abbildung 7: Mögliche Auswirkungen eines Störereignisses („Schock“) auf den Systemzustand (aus Scheid et al. 2019)

In der Erörterung, was genau die angesprochene Fähigkeit ausmacht, wird verschiedentlich ein dreigliedriges Konzept angeführt (zitiert aus PIK 2023):

- (1) **Persistenz** („Widerstandskraft“) - die Fähigkeit von Systemen, kurzfristigen Schocks zu widerstehen, diese zu absorbieren und dabei innerhalb wichtiger Schwellenwerte zu bleiben;
- (2) **Anpassungsfähigkeit** („Erholung“) - die Fähigkeit zu regenerieren, sich an wechselnde äußere Einflüsse anzupassen, aber auf einem bestehenden Entwicklungspfad zu bleiben;
- (3) **Transformierbarkeit** („Flexibilität“) - die Fähigkeit, gegebenenfalls Schwellenwerte zu überschreiten, um neue, robuste langfristige Entwicklungspfade einzuschlagen.

Die Einbeziehung von Resilienz im Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement wird von Jüpner et al. (2023) als Erweiterung des Risikokonzepts angesehen, indem neben der Bewertung „unmittelbarer Schäden“ von Überflutungen auch die langfristigen Folgen des Funktionsausfalls von Infrastrukturanlagen und ihres Wiederaufbaus berücksichtigt werden. Die langfristigen Folgen für die technische Infrastruktur und der Zeitbedarf ihrer funktionalen Wiederherstellung sind bei der Flutkatastrophe im Ahrtal 2021 besonders deutlich zutage getreten.

3.2.2 Klimaresilienz

Zur Klimaresilienz finden sich unterschiedliche Definitionen mit übereinstimmender Kernaussage; z.B. im Glossar des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2023): *Klimaresilienz bezeichnet die Fähigkeit sozial-ökologischer Systeme, Auswirkungen und Belastungen des Klimawandels abzumildern und sich von ihnen zu erholen, während sie ihre Strukturen und Mittel für ein Leben angesichts langfristiger Veränderungen und Unsicherheiten positiv anpassen und transformieren.* Damit gelten die Aussagen zur Charakterisierung der Resilienz in Abschnitt 3.2.1 in der Eingrenzung auf „Störfaktoren aus dem Klimawandel“ auch hier.

3.2.3 Städtische Klimaresilienz („klimaresiliente Stadt“)

Städtische Klimaresilienz beinhaltet zielgerichtete Vorsorge gegen Hitze, Trockenheit und Starkregen und soll städtische Wohn- und Lebensqualität, Gesundheit und Wohlbefinden der Bevölkerung sichern. Sie wird als ein Treiber urbaner Transformationsprozesse der Nachhaltigkeit angesehen (DStGB 2022) und fügt sich in das Gesamtverständnis „urbane Resilienz“, charakterisiert im gleichnamigen Memorandum des BMI (2021). Zum Leitbild „klimaresiliente Stadt“ werden in (Difu 2022) als Fähigkeiten ihrer Sub-Systeme aufgeführt:

- Folgen von Extremwetter und Klimaveränderungen zu antizipieren,
- negativen Konsequenzen daraus zu widerstehen,
- nach Beeinträchtigungen dadurch zentrale Funktionen schnell wiederherzustellen,
- aus den Ereignissen und Beeinträchtigungen zu lernen, sich an Folgen von Klimaveränderungen kurz- und mittelfristig anzupassen und
- sich langfristig zu transformieren.

3.3 Urbanes Wassermanagement

In der Abschlusserklärung der Konferenz über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro haben sich die Vereinten Nationen der übergeordneten Zielvorgabe zur nachhaltigen Entwicklung verpflichtet mit dem Menschen im Mittelpunkt der Bemühungen. Seither wird auch das urbane Wassermanagement mit den Hauptanliegen sicherer Wasserversorgung und Abwasserentsorgung auf die Ziele der Nachhaltigkeit ausgerichtet, konkretisiert im Nachhaltigkeitsziel 6 der Agenda 2030 der Vereinten Nationen (UNRIC 2023). Als Ansätze haben sich die Einführung ressourcenorientierter Sanitärsysteme (‘ecological sanitation’) und die Umsetzung einer ökologisch ausgerichteten Regenwasserbewirtschaftung (‘sustainable urban drainage systems’) herausgebildet.

Übergreifend wird im internationalen Kontext von ‘Water Wise Cities’ gesprochen (IWA 2023), während sich in Deutschland zuletzt der Begriff „Wasserbewusste Zukunftsstadt“ als Entwicklungsziel etabliert hat (DWA 2021).

3.3.1 Wasserbewusste Siedlungsentwicklung

Das Positionspapier der DWA „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ (DWA 2021) adressiert das gesamte Spektrum der Siedlungswasserwirtschaft – trotz der begrifflichen Fokussierung auf „die Stadt“. Besonders betont wird die Notwendigkeit integraler Planungs- und Bewirtschaftungsansätze, um der Komplexität der Problemstellung und der intensiven Verzahnung einzelner Handlungsfelder gerecht zu werden. Konkret benannt werden

- die wasserbewusste Gestaltung der Siedlungen,
- die Stärkung blau-grüner Infrastruktur (siehe Abschnitt 3.3.2),
- die effiziente Nutzung der Ressourcen Wasser, Energie, Nährstoffe im urbanen Wasserkreislauf (siehe Abschnitt 3.3.3),
- eine multifunktionale Flächennutzung für wasserwirtschaftliche Anlagen,
- die gezielte Verbesserung des Stadtklimas („Klimaanpassung“) und
- die Aufwertung der Gewässer als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum;

Innerhalb der gesamtheitlichen Ausrichtung auf die „wasserbewusste Zukunftsstadt“ finden Begrifflichkeiten in Bezug auf einzelne Teilbereiche Verwendung, die nachfolgend weiter ausgeführt werden.

Zu ergänzen sind die vorstehend zur wasserbewussten Siedlungsentwicklung genannten Anliegen um das Ziel der langfristigen Sicherung der Wasserverfügbarkeit für und in der Stadt. Sie bezieht sich auf die quantitativ und qualitativ ausreichende Wasserversorgung der Bevölkerung und von Gewerbe und Industrie sowie auf den Bedarf für Bewässerung innerhalb der Siedlungen. Angesichts häufigerer und längerer Perioden mit Hitze und Dürre wird der Bedarf an Bewässerung zum Erhalt der Vegetation mit ihrer ästhetischen und funktionalen Bedeutung zunehmen. Zudem wird die Konkurrenz des kommunalen Wasserbedarfs mit der Landwirtschaft infolge des dort zunehmenden Bewässerungsbedarfs deutlich zunehmen, was man von Ländern im Mittelmeerraum oder aus Kalifornien bereits seit längerem kennt.

3.3.2 Blau-Grüne Infrastruktur

Blau-grüne Infrastruktur bezeichnet den Verbund von Oberflächengewässern, Grundwasser, Maßnahmen und Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung sowie von öffentlichen und privaten Grünflächen innerhalb von Siedlungen. Sie verknüpfen funktionale und gestalterische Belange der Wasserwirtschaft, des Städtebaus, der Straßen- und Freiraumplanung und der Klimavorsorge (DWA 2021). Wasserwirtschaftliche Anliegen sind die Stärkung von Verdunstung und Grundwasserneubildung sowie die Erhöhung der Wasserverfügbarkeit in Siedlungen. Beispielhaft illustriert Abbildung 8 einzelne Elemente blau-grüner Infrastruktur als Wirkkaskade zur Bewirtschaftung des im Straßenraum anfallenden Niederschlagswassers. Darin dienen Tiefbeete, vitale Baumstandorte, Baumrigolen und Mulden-Rigolen-Elemente den Funktionen Rückhaltung, Speicherung, Verdunstung, Versickerung sowie offene Ableitung (Dickhaut 2021).

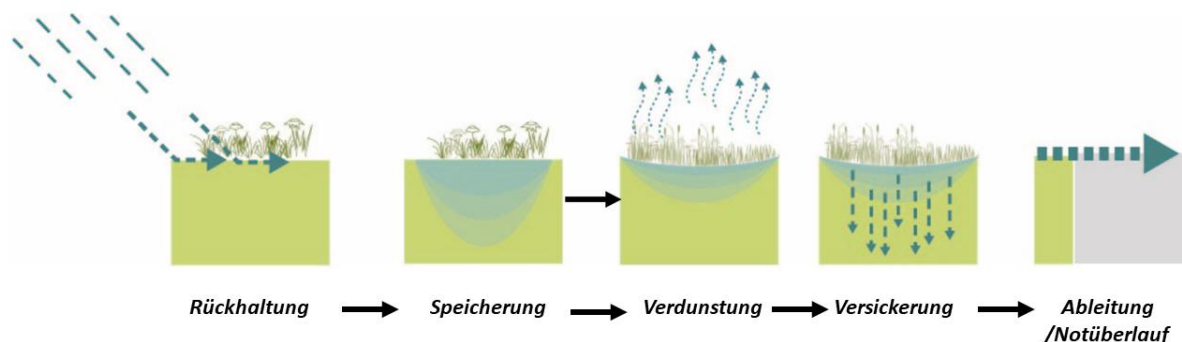


Abbildung 8: Elemente blau-grüner Infrastruktur als „BlueGreen-Streets-Wirkkaskade“ (aus Dickhaut 2021)

3.3.3 Ressourcenorientierte Sanitärsysteme

Ressourcenorientierte Sanitärsysteme bezeichnen technische Ansätze zur stofflichen und energetischen Verwertung von Inhaltsstoffen im Abwasser. Die Verwertung zielt auf Nährstoffe und organische Kohlenstoffverbindungen, im weiteren Sinne auch auf die chemisch oder als Wärme im Abwasser enthaltene Energie sowie nach entsprechender Aufbereitung die Nutzung als Brauchwasser.

Auf Gebäudeebene kommen infrage: die Grauwasseraufbereitung zur Toilettenspülung oder zur Bewässerung von Pflanzen sowie die Stickstoffrückgewinnung aus Urin oder die Kompostierung der Fäkalien oder Fäzes. Bei Umsetzung der Stoffstromtrennung auf Quartiersebene kann aufbereitetes Grauwasser als Brauchwasser oder zur Bewässerung und/oder Versickerung genutzt und Schwarzwasser zur Energiegewinnung Biogasanlagen zugeführt werden. Grundlagen hierzu beschreibt u.a. DWA-A 272 (DWA 2014).

In Bezug auf Brauchwasser ergeben sich über die Regenwassernutzung auch Verknüpfungen mit der Bewirtschaftung von Niederschlagswasser im integralen Regenwassermanagement.

3.3.4 Integrales Regenwassermanagement

Integrales Regenwassermanagement zeichnet sich aus durch eine gleichrangige Berücksichtigung der Zielvorgaben

- Erhalt des lokalen Wasserhaushalts,
- Gewässerschutz,
- Überflutungsvorsorge.

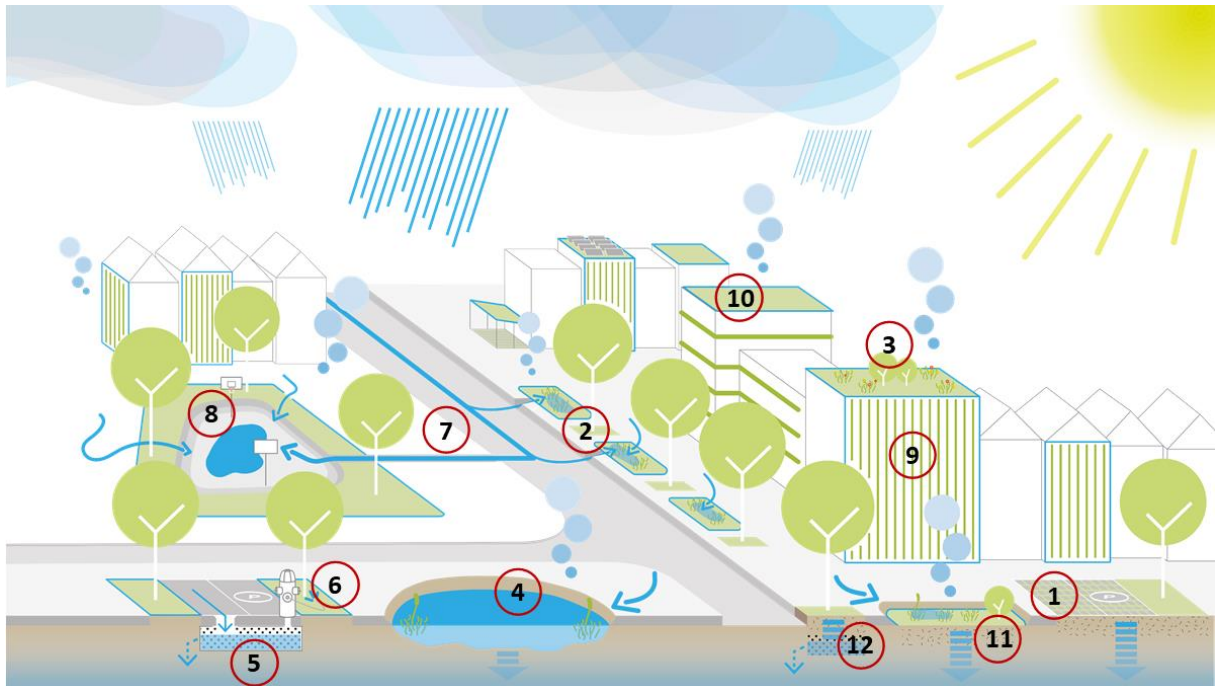
Mit der Zielvorgabe „Erhalt des lokalen Wasserhaushalts“ sollen die Veränderungen der Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung, Versickerung und oberirdischer Abfluss durch Siedlungsaktivitäten im langjährigen Jahresmittel so gering wie möglich gehalten werden (DWA 2006). Der Gewässerschutz bezieht sich auf hydraulische und stoffliche Belastungen durch die Einleitung von Regenwasser in Oberflächengewässer und ins Grundwasser. Überflutungsschutz war von jeher ein zentrales Anliegen der Kanalisation von Siedlungen, wobei die frühere Erwartung einer „Sicherheit gegen Überflutungen“ durch ein aktives Starkregenrisikomanagement abgelöst wurde (u.a. DWA 2023b; Schmitt 2011).

Als Erfordernisse einer erfolgreichen Etablierung des integralen Regenwassermanagements werden allgemein genannt (hier zitiert aus RISA (2015), Kap. 1.4, S. 7):

- *die Verzahnung der drei Zielvorgaben mit den Belangen einer naturnahen Gewässerentwicklung und den Planungsdisziplinen Stadtentwicklung, Stadt-, Verkehr- und Freiraumplanung über alle Phasen städtebaulicher und wasserwirtschaftlicher Planungen;*
- *die Einbeziehung des gesamten Spektrums unterschiedlicher Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und das Ausschöpfen der Handlungsspielräume für eine möglichst ortsnahe Regenwasserbewirtschaftung durch vorzugsweise dezentrale Maßnahmen zur Versickerung und Verdunstung;*
- *den offensiven Einsatz von (Regen-)Wasser als Gestaltungselement und „Treiber“ für eine positive Gewässer- und Stadtentwicklung.*

Dies bedingt eine enge, interdisziplinäre Koordination der Planungsabläufe aller thematisch betroffenen Fachdisziplinen.

Integrales Regenwassermanagement ist naturgemäß ein zentrales Element „in der wasserbewussten Zukunftsstadt“ und beinhaltet die als „blau-grüne Infrastruktur“ umschriebenen Anlagen und Maßnahmen der Siedlungsentwässerung. Abbildung 9 illustriert deren Vielfalt und ihr Zusammenwirken auf Quartiersebene.



- (1) Wasserdurchlässige Beläge (2) Versickerungsmulden (3) Kühlung durch Verdunstung (4) Feuchtbiotop
 (5) unterirdische Zisternen (6) Bewässerung von Bäumen (7) Notabflussweg (8) Rückhalt von Starkregen
 (9) Fassadenbegrünung (10) Gründach, Rückhalt von Starkregen (11) Tiefbeet (12) Baumrigole

Abbildung 9: Integrales Regenwassermanagement mit blau-grüner Infrastruktur auf Quartiersebene (nach Benden 2021)

3.3.5 Starkregenrisikomanagement

Starkregenrisikomanagement umfasst organisatorische und inhaltliche Arbeitsschritte zur Umsetzung der Überflutungsvorsorge als kommunale Gemeinschaftsaufgabe und bildet ein zentrales Element sowohl im integralen Regenwassermanagement als auch in den Programmen zur Klimaanpassung. Abbildung 10 illustriert die Arbeitsschritte des kommunalen Starkregenrisikomanagements.

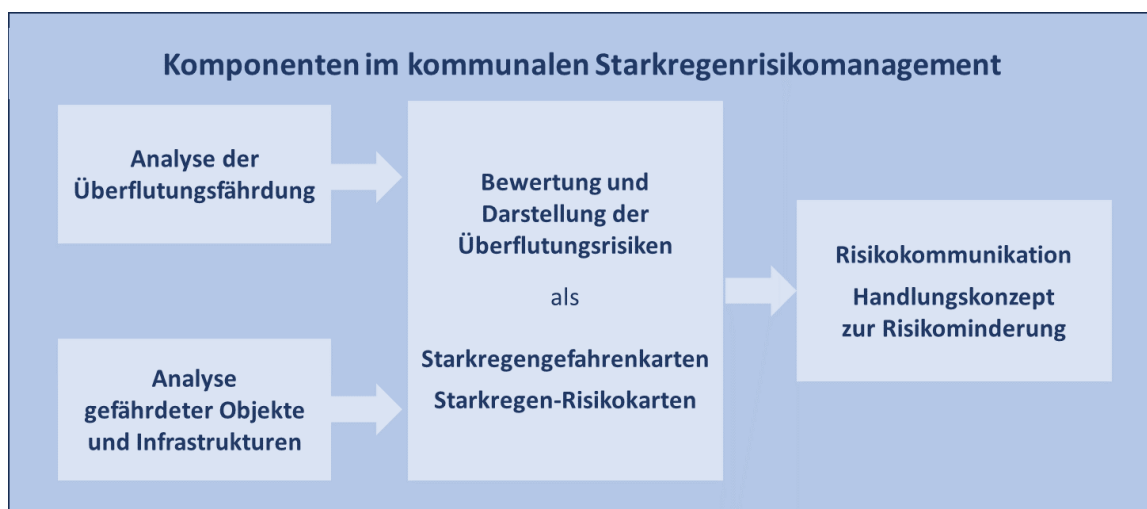


Abbildung 10: Arbeitsschritte im kommunalen Starkregenrisikomanagements (nach LUBW 2016)

Die methodisch fundierte Analyse der Überflutungsgefährdung bildet eine wesentliche Grundlage zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten und die darauf aufbauenden Schritte der Risikokommunikation und der Erstellung von Handlungskonzepten (DWA 2016a; DWA 2023b; LAWA 2018; LUBW 2016; Schmitt 2022).

3.3.6 Schwammstadt

Als vermeintlicher Ursprung des Begriffs Schwammstadt werden in China als ‘Sponge City’ propagierte Erschließungskonzepte genannt (Uhl 2021). Er bezeichnet den konzeptionellen Ansatz, möglichst viel des in Siedlungen anfallenden Regenwassers vor Ort zurückzuhalten und oberirdisch oder unterirdisch zu speichern. Damit sollen Überflutungen bei Starkregen zumindest verringert, das Stadtklima durch erhöhte Verdunstung verbessert und Stadtökosysteme widerstandsfähiger gemacht werden. Als Planungsvorgabe beschreibt Hauser (2023): *„Grünflächen werden so umgestaltet, dass sie große Niederschlagsmengen aufnehmen können. Versiegelungen werden aufgebrochen, damit Wasser versickern kann. Bei Neubauten wird darauf geachtet, Dächer zu begrünen, um auch dort Niederschläge zu speichern. Die Stadt soll saugfähig sein wie ein Schwamm.“*

Diese Vorgaben erfordern Handlungsspielräume, die sich allenfalls bei Neuerschließungen mit reichlich Freiraum ergeben, aber nur selten bei der Umgestaltung historisch gewachsener Stadtquartiere verfügbar sind (u.a. Uhl 2021).

3.4 Zwischenfazit

In Bezug auf den Klimawandel und notwendige Aktivitäten zur Klimaanpassung dient „klimaresiliente Stadt“ als übergeordnetes Leitbild der Stadtplanung und Stadtentwicklung. Die zur Zielerreichung notwendigen Aktivitäten erstrecken sich auf mehrere Handlungsfelder in kommunaler Zuständigkeit. Für das Handlungsfeld urbanes Wassermanagement stellt die wasserbewusste Zukunftsstadt das sektoral eingegrenzte, maßgebende Leitbild dar, das naturgemäß vielfältige Verknüpfungen und Schnittstellen zu anderen Handlungsfeldern aufweist. Für die wasserbewusste Siedlungsentwicklung stellen die Sicherung der Wasserverfügbarkeit und die drei Handlungsziele im integralen Regenwassermanagement die wesentlichen Handlungsmaximen dar. Das kommunale Starkregenrisikomanagement dient dem Handlungsziel „Überflutungsvorsorge“ in Bezug auf die erwarteten Folgen des Klimawandels mit häufigeren und intensiveren Starkregen. Der Begriff der Schwammstadt erscheint als stark vereinfachtes Bild, mit dem vor allem politischen Akteuren die Dringlichkeit und Grundausrichtung des Handelns in Bezug auf Regenwasser verdeutlicht werden kann.

In jedem Fall wird das Erscheinungsbild von Bebauungen aufgrund der notwendigen Stärkung des Regenwasserrückhalts und der Hervorhebung blau-grüner Infrastruktur zukünftig sehr viel stärker durch „Grün in der Stadt“ geprägt sein. Diesen Sachverhalt illustriert Abbildung 11 mit der Zusammenstellung bereits bestehender Elemente der Regenwasserbewirtschaftung.



Abbildung 11: Stadtgrün als prägendes Element zukünftiger Siedlungen (Uhl 2023)

4 Der Weg zur klimaresilienten Stadt

4.1 Resilienz als Leitbild der Stadtentwicklung

4.1.1 Resilienz in der Stadtplanung

In den letzten Jahren wird, auch als Ergebnis der Klima- und Umweltforschung, das neue Leitbild einer resilienten Stadt proklamiert, *„einer gegenüber Katastrophen und unerwarteten, heftigen Schwankungen der Umweltbedingungen robusten, widerstandsfähigen Stadt“* (Jessen 2018). Dabei impliziert der Begriff des Leitbilds übergreifende Vorstellungen der städtebaulichen Entwicklung in Verbindung mit einem darauf abgestimmten Bündel von Stadtentwicklungszielen, an den sich der Berufsstand der Stadtplanung für eine bestimmte zeitliche Epoche mehrheitlich orientiert. Als Beispiele zeitlicher Veränderung der Leitbilder nennt er die Funktionelle Stadt und die Nachhaltige Siedlungsentwicklung. Kurth (2021) sieht die kompakte Stadt als bisheriges Leitbild durchaus als effizient und robust hinsichtlich der Klimarisiken und regt eine Weiterentwicklung des Leitbildes an mit *„wohnungsnahem Grün und einem qualifizierten öffentlichen Raum“* (zitiert aus Kurth 2021).

In seiner Erörterung der Resilienz als neues Leitbild („Denkfigur“) der Stadtentwicklung zur Strukturierung benennt Jakubowski (2013) Robustheit, Redundanz und Einfallsreichtum als Charakteristika und Reaktion und Erholung als Formen ihrer Ausprägung, jeweils in Bezug auf das Makrosystem „Stadt/Land/Region“ und die Untersysteme Infrastruktur, Wirtschaft, Governance, Umwelt und Soziales. Modularisierung und Diversifizierung werden als vielversprechende Ansätze zur Eindämmung von Schockwellen und Vermeidung von Dominoeffekten bei (partiell) Systemversagen angeführt.

In Analogie zur Überflutungsvorsorge als kommunale Gemeinschaftsaufgabe wird unterstrichen, dass *„die resiliente Stadt ein Gemeinschaftswerk sein wird“*, das eine gezielte und langfristig ausgerichtete Kommunikation und Kooperation der relevanten Stadtakteure erfordert. Dabei müssen die neuen Gefahren und Risiken, hier in Bezug auf den Klimawandel, bewertet und daraus erwachsende Verwundbarkeiten erkannt und durch geeignete Maßnahmen begrenzt werden. Unabdingbar ist die Etablierung eines kommunalen Krisenmanagements, das je nach Ausmaß der Krise der Unterstützung durch Landes- und Bundeseinrichtungen bedarf (Jakubowski 2013).

Die Risikoanalyse kann durch eine gezielte Konfrontation des Status quo mit ausgewählten Risikoszenarien „als Stresstest“ vollzogen werden. Dies wird in (BBSR 2018) beispielhaft am Modell der funktionierenden Stadt mit den Grundfunktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgung, Mobilität, Urbanität und Integration, Umweltqualität und Governance (Ordnungsrahmen) für die ausgewählten Stressszenarien Starkregen, thermische Belastung, Energieversorgung, Branchenwandel, Außenzuwanderung und gesellschaftliche Polarisierung und somit ein über die Risiken des Klimawandels hinausgehendes Spektrum beschrieben.

Angestoßen durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie auf das öffentliche Leben wurde ein Memorandum „Urbane Resilienz“ erarbeitet, in dem „Wege zur robusten, adaptiven und zukunftsfähigen Stadt“ in Lichte möglicher Gefahren und zukünftiger Risiken erörtert werden (BMI 2021). Sie beziehen sich auf das gesamte Spektrum von Naturereignissen wie auch auf durch den Menschen – auch geopolitisch - verursachte Schock- oder Stresszustände, die klein-

oder großräumig, plötzlich oder schleichend auftreten können. Jüngere Beispiele sind neben der Coronapandemie die Flutkatastrophe im Ahrtal 2021 und die Energiekrise infolge des Ukraine-Krieges 2022.

In der 2022 veröffentlichten Resilienzstrategie der Bundesregierung stehen der bessere Schutz der Menschen und die Stärkung der Widerstands- und Anpassungsfähigkeit des Gemeinwesens gegenüber Katastrophen im Vordergrund (BMI 2022). Angesprochen werden mit Prävention, Vorsorge, Bewältigung, Nachbereitung und dem Ansatz „Besser Wiederaufbauen“ alle Phasen des Risiko- und Krisenmanagementzyklus, die naturgemäß die Administration und Fachplanung auf kommunaler Ebene besonders betreffen. Etwas irritierend wirkt dabei, dass in Bezug auf zukünftige Gefahren und Risiken der Begriff „Katastrophen“ dominiert. Anliegen von Resilienzstrategien sollte die Verminderung oder Begrenzung der Folgen negativer Einflüsse und Ereignissen und somit möglichst die Vermeidung von Katastrophen sein.

Aus der Sichtung aktueller Forschungsarbeiten zur resilienten Stadt konstatieren Kabisch et al. (2023), dass die Konkretisierung, was Resilienz einer Stadt letztlich ausmacht, stets in Bezug auf bestimmte Gefahren, Risiken und Krisen erfolgen muss. Dieser Einschätzung folgend liegt der Fokus der nachfolgenden Ausführungen auf den Gefahren und Risiken des Klimawandels und der Verbesserung der Klimaresilienz als übergeordnetes Anliegen der Klimaanpassung in ausgewählten Handlungsfeldern.

4.1.2 Eigenschaften der klimaresilienten Stadt

Für das Leitbild der klimaresilienten Stadt gelten das vorstehend beschriebene Grundverständnis zur Resilienz und die genannten Merkmale, die resilienten Gesellschaften und Systemen zugeschrieben werden. In der Eingrenzung auf „Klimaresilienz“ gilt es, Widerstandskraft, Anpassungsfähigkeit und Transformierbarkeit in Bezug auf die negativen Auswirkungen des Klimawandels näher zu beleuchten. In der Dokumentation „Hitze, Trockenheit und Starkregen“ mit Forschungsergebnissen aus dem „Synthese- und Vernetzungsprojekt Zukunftsstadt (SynVer*Z)“ werden als vorrangige Stressfaktoren des Klimawandels angeführt (DStGB 2022):

- Zunehmende Hitzebelastung
- Anhaltende Dürreperioden
- Häufigere und intensivere Starkregen

Als weiteres Wetterextrem sind in Intensität und Häufigkeit zunehmende Stürme zu nennen sowie als langfristige Folgen der Erderwärmung der Anstieg des Meeresspiegels, das Abschmelzen der Gletscher und die Beeinträchtigung von Ökosystemen und der Biodiversität. Auch diese Auswirkungen können Klimarisiken für urbane Gebiete darstellen.

Gegenstand der Betrachtungen zur klimaresilienten Stadt ist entsprechend der Nomenklatur in Abschnitt 4.1.1 das Makrosystem „Stadt/Land/Region“ mit seinen Untersystemen Infrastruktur, Wirtschaft und Soziales (Jakubowski 2013). Darin sind negative Auswirkungen der genannten Stressfaktoren auf die Grundfunktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgung, Mobilität, Urbanität und Integration, Umweltqualität und Governance (Ordnungsrahmen) zu

beleuchten und über Maßnahmen der Klimaanpassung im Sinne der Resilienz Kriterien möglichst weitgehend zu begrenzen.

Als wichtiger Baustein klimaresilienter Siedlungsstrukturen wird in (DStGB 2022) ein vielfältiges Netz an Grün- und Freiflächen angeführt und als „grüne Infrastruktur“ bezeichnet. Sie bieten in Verbindung mit Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung als „blau-grüne Infrastruktur“ umfangreiche Potenziale für die Verbesserung des Stadtklimas und des Wasserhaushalts (Abbildung 11). Beide Faktoren geraten durch die erwartete zunehmende Hitzebelastung und anhaltende Dürreperioden besonders „unter Stress“. Gleichzeitig leisten auch kleinere Grünanlagen innerhalb der Bebauung durch die Kühleffekte der Vegetation und ihre Nutzung als „Schatteninsel“ einen wichtigen Beitrag zur Hitzeresilienz von Städten. Als besondere Herausforderungen werden die Sicherung ausreichender Freiräume und Grünflächen bei konkurrierenden Nutzungen in wachsenden Städten und die Steigerung der Begrünung im Bestand angesehen und als Lösungsansätze hervorgehoben (DStGB 2022).

Für die bessere Bewältigung von Überflutungen aus lokalen Starkregen wird allgemein eine vernetzte Betrachtung von Stadtquartieren als deutlich zielführender bewertet als isolierte, Grundstücks- und Gebäude-bezogene Ansätze. Dadurch können funktionale Zusammenhänge der Bebauung und der öffentlichen Infrastruktur (Verkehrsflächen, Entwässerungssysteme) mit Fließ- und Ableitungswegen an der Oberfläche bei Überflutungen erkannt und schadensmindernd in das Gesamtkonzept eingebunden werden. Dies schließt allerdings eine auf mögliche Überflutungen angepasste Gestaltung der Bebauung von Grundstücken und der Gebäude in Verbindung mit Maßnahmen des Objektschutzes zwingend mit ein.

Als zukunftsbedeutsames Anliegen der Klimaresilienz gilt die Sicherstellung der Wasserverfügbarkeit in der Stadt. Zur Abmilderung der Folgen von Dürreperioden wird auch in Deutschland das Thema „Wasserwiederverwendung“ stärkere Bedeutung als bisher erlangen. Dies gilt – neben der gezielten Speicherung und Nutzung von Regenwasser zur Bewässerung der Vegetation (u.a. als Baumrigolen) – auch für den Einsatz von Brauchwasser z.B. aus der Abwasseraufbereitung, insbesondere von Grauwasser. Dafür gelten die in Abschnitt 3.3.3 zu Ressourcenorientierten Sanitärsystemen getroffenen Ausführungen. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Ansätze zur Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs und Sicherung der Wasserverfügbarkeit in der Stadt, neben Bevölkerung, Gewerbe und Industrie auch für ein erweitertes Stadtgrün, werden neue kooperative Planungsprozesse und Beteiligungen erforderlich (DStGB 2022).

Ansätze zur Klimaanpassung und Verbesserung der Klimaresilienz liegen überwiegend in den Bereichen Stadtplanung und Bauen. Daneben können auch organisatorische Maßnahmen die Klimaresilienz erhöhen. So ist von Hitzestress quasi jeder Lebens- und Arbeitsbereich betroffen. Hier können an die Hitzesituation angepasste Arbeits- und Öffnungszeiten bei (öffentlichen) Einrichtungen und die Berücksichtigung bei der Planung von Veranstaltungen kleine Beiträge zur Klimaresilienz liefern (DStGB 2022).

Von übergeordneter Bedeutung ist die Aktualisierung relevanter Informationsgrundlagen der örtlichen klimabezogenen Daten und die Weiterentwicklung von Planungsinstrumenten. Stadtklimakarten als Ergebnis ortsbezogener Klimaanalysen liefern für zukünftige Planungen wesentliche Informationen zu klimatischen Belastungen, Kaltluftentstehungsgebieten und damit verbundenen Frischluftkorridoren (DStGB 2022).

In gleicher Weise zeigen Starkregengefahrenkarten auf der Basis von Risikoanalysen lokaler Überflutungen auf besonders gefährdete Bereiche, Quartiere, Gebäude und Infrastrukturanlagen, auf die im Sinne der Klimaresilienz besonderes Augenmerk zu richten ist. Die genannten Karten bilden auch eine Grundlage zur Erstellung kommunaler Notfallpläne mit Checklisten für klimarelevante Stressfaktoren (hier Hitze und Starkregen).

4.2 Klimarisikoanalyse und Klimaanpassung

Das Klimaanpassungsgesetz (KAnG 2023) weist die Durchführung einer Klimarisikoanalyse zur systematischen Ermittlung und Bewertung von Risiken des Klimawandels als zentralen Schritt der Klimaanpassung aus. Die Risikoanalyse soll demnach auf Bundes- und Länderebene durchgeführt und in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Die Ergebnisse sind bei der Erstellung der kommunalen Klimaanpassungskonzepte zu berücksichtigen. Methodik, Durchführung und Ergebnisse der 2021 auf Bundesebene durchgeführten „Klimawirkungs- und Risikoanalyse“ wurden als Kurzfassung und in Teilberichten vom Umweltbundesamt veröffentlicht (UBA 2021). Handlungsempfehlungen für Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene finden sich in (UBA 2022). Abbildung 12 illustriert die Komponenten und Arbeitsschritte einer Klimarisikoanalyse als methodischen Rahmen gemäß UBA (2021).

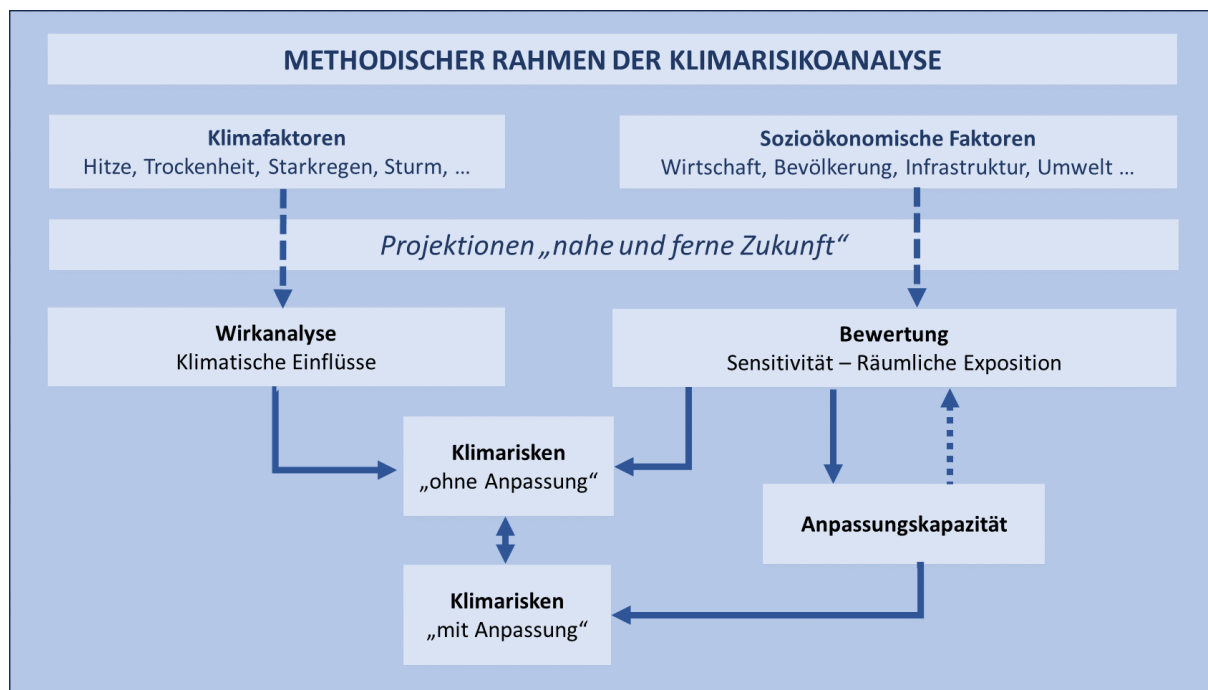


Abbildung 12: Methodischer Rahmen einer Klimarisikoanalyse (nach UBA 2021)

Aktuelle Klimadaten und vorliegende Projektionen zu unterschiedlichen Klimaszenarien bilden die Grundlage zur Bewertung der klimatischen Einflussfaktoren, insbesondere Hitze, Trockenheit, Starkregen, Sturm und Anstieg des Meeresspiegels. IST-Daten und Projektionen der vorgenannten sozio-ökonomischen Faktoren fließen in die Bewertung der räumlichen Exposition und der Sensitivität des Betrachtungsraumes ein und ergeben mit den klimatischen Einflüssen im ersten Schritt eine Bewertung „Risiko ohne Anpassung“. Die gezielte Einbeziehung der Anpassungskapazität einzelner Elemente führt zum Bewertungsergebnis „Klimarisiko mit Anpassung“. Die Projektionen zur möglichen Entwicklung der Klimafaktoren

und der sozioökonomischen Gegebenheiten zielen auf die Zeiträume „nahe Zukunft“ (2031 bis 2060) und „ferne Zukunft“ (2071 bis 2100). Als Bezugszeitraum für die Veränderungen dienen jeweils die Jahre 1971 bis 2000.

Über die Untersuchung der Anpassungsfähigkeit der betrachteten sozioökonomischen Faktoren und die eingeschätzte Wirkung von Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung der Klimarisiken können Handlungserfordernisse in einzelnen Handlungsfeldern abgeleitet und z.B. über das Ausmaß an Risikominderung und die notwendige Anpassungsdauer priorisiert werden. Ein Ansatz zur Verknüpfung der Risikoeinstufung „ohne Anpassung“ mit abgestuften Bewertungen zur Wirksamkeit der Anpassung und Einstufung als „verbleibendes Risiko“ entsprechend Abbildung 13 wird in (UBA 2022) vorgeschlagen. Dort finden sich auch Handlungsempfehlungen zur Durchführung von Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene mit Hinweisen auf Praxisbeispiele und weiterführende Arbeitshilfen.

Klimarisiko ohne Anpassung	Wirksamkeit der Anpassung				
	Hoch (2)	Mittel - Hoch (1,5)	Mittel (1)	Gering - Mittel (0,5)	Gering (0)
Gering (1)	0	0	0	0,5	1
Mittel (2)	0	0,5	1	1,5	2
Hoch (3)	1	1,5	2	2,5	3

Abbildung 13: Schema zur Zusammenführung von Bewertungen der Klimarisikoanalyse als „verbleibendes Risiko“ (nach UBA 2022)

4.3 Klimarisikofaktoren für Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

In der Klimarisikoanalyse für das Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft sind Risikofaktoren in zwei zeitlichen Skalen zu betrachten, die unmittelbar oder mittelbar die urbane Wasserwirtschaft und ihre kommunalen Akteure betreffen.

4.3.1 Langfristige Auswirkungen der Erderwärmung

Die bereits manifestierte und sich weiter vollziehende Erderwärmung führt zu einem globalen Anstieg der Meeresspiegel, zu einem Rückzug der Gletscher im Hochgebirge bis zum vollständigen Abschmelzen sowie zu abnehmenden Schneefällen im Niederschlag des Winterhalbjahres. Höhere Durchschnittstemperaturen bewirken darüber hinaus im Jahreswasserhaushalt eine höhere Verdunstung. Diese Entwicklungen werden regional deutliche Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit haben.

Temperaturanstieg

Die im Jahresdurchschnitt höheren Lufttemperaturen haben unmittelbar Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, global, regional und lokal. Sie bewirken, dass ein größerer Anteil des Jahresniederschlages verdunstet, noch verstärkt durch die mit der Temperaturerhöhung einhergehende Verlängerung der Vegetationsperiode und damit der Pflanzenverdunstung. Die Zunahme der Verdunstung geht zu Lasten der Versickerung und Grundwasserneubildung sowie des oberirdischen Abflusses. Damit sinkt insgesamt die Wasserverfügbarkeit.

Anstieg des Meeresspiegels

Ein fortschreitender Anstieg der Meeresspiegel bedroht langfristig die Siedlungen in unmittelbarer Küstennähe. Diese Entwicklung erfordert umfangreiche Maßnahmen des Küstenschutzes auf nationaler und internationaler Ebene, die dem übergeordneten Handlungsfeld Meeres- und Küstenschutz zuzuordnen sind. Für die lokalen Akteure der Wasserwirtschaft relevant sind die damit verbundenen Auswirkungen auf das Grundwasser in Küstennähe. Mit dem Anstieg des Meeresspiegels verändert sich der hydraulische Gradient zum Grundwasserspiegel, was bei niedrigen Grundwasserständen zu einem Eindringen von Meerwasser und einer zunehmenden Versalzung des Grundwassers führen kann. Dies wird seine Nutzbarkeit zur Trinkwassergewinnung beeinträchtigen und eine intensivere Aufbereitung erfordern. Hinzu kommen Auswirkungen auf die Grundwasser-beeinflusste Vegetation.

Abschmelzen der Gletscher

Das Abschmelzen der Gletscher wirkt sich in mehrfacher Weise auf die Wasserverfügbarkeit aus. Bislang haben sich die Gletscher durch Schneefälle in den Wintermonaten regeneriert und Niederschlag gespeichert. Im Jahreszyklus speisen die Schmelzvorgänge in der wärmeren Jahreszeit die Bach- und Flussläufe aus dem Hochgebirge und bewirken so eine Vergleichmäßigung ihrer Wasserführung im Jahresverlauf. In Deutschland gilt dies in besonderem Maße für den Rhein und seine Zuflüsse aus den Alpen sowie für die südlichen Zuflüsse zur Donau. Mit dem Rückzug der Gletscher wird das fehlende Schmelzwasser die Niedrigwasserstände in den Sommermonaten verstärken, wie Abbildung 14 mit der Niedrigwassersituation am Rhein illustriert.

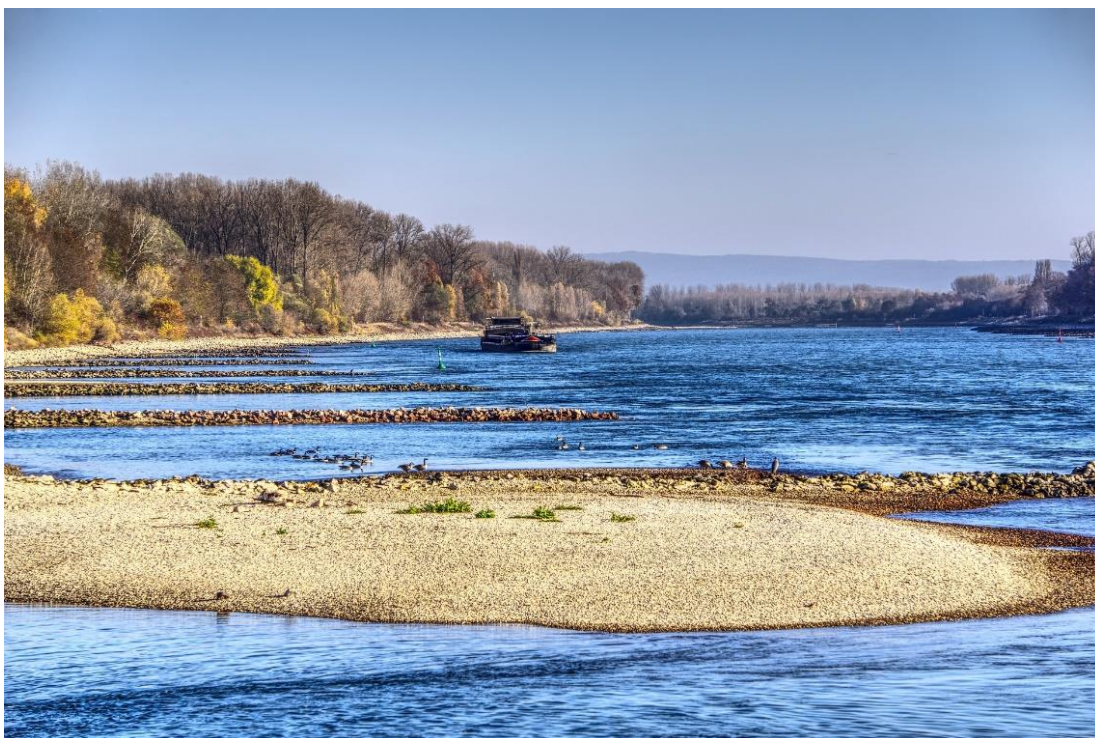


Abbildung 14: Niedrigwassersituation am Rhein 2018 (pixabay.com)

Neben Auswirkungen auf die Binnenschifffahrt führen extremere und/oder längere Niedrigwasserstände zu einer Erhöhung des Zustromes von Grundwasser zum Fluss und somit zu einem Absenken des Grundwasserstandes in Ufernähe. Da die Trinkwassergewinnung in Deutschland anteilig über Uferfiltration erfolgt, kann dieser Effekt Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit und die Grundwasserentnahme haben.

Rückgang der Schneefälle im Winterhalbjahr

In ähnlicher Weise wie der Rückzug der Gletscher hat auch der Rückgang der Schneefälle im Winterhalbjahr gravierende Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt und den jahreszeitlichen Verlauf der durch den Niederschlag bestimmten Wasserhaushaltsgrößen Versickerung und oberirdischer Abfluss. Durch Schneefall wird der Niederschlag zunächst an der Oberfläche gespeichert und führt „in der freien Landschaft“ durch zeitlich verzögerte Schmelzvorgänge bei steigenden Temperaturen vorrangig zur Versickerung und Grundwasserneubildung. Ein Rückgang der Schneefälle vermindert diesen Prozess, sodass ein größerer Teil des Niederschlags schneller zum Abfluss gelangt.

Im Ergebnis resultiert hieraus eine Verschlechterung der Grundwasserneubildung und – über die Wechselwirkung mit der Wasserführung der Bach- und Flussläufe – eine Verschärfung von Hochwasser im Winter und von Niedrigwasser im Sommer. Insbesondere die verminderte Grundwasserneubildung, ggfs. auch die Verschärfung von Niedrigwasserperioden, ist mit signifikanten Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit und somit auch auf die Trinkwasserversorgung verbunden.

Veränderung des Jahresniederschlages, absolut und in der saisonalen Verteilung

Die Mehrzahl regionalisierter Klimaprojektionen zeigen für Deutschland längerfristig nur wenig Veränderung der Jahresniederschlagsmenge, allerdings eine Zunahme der Winterniederschläge und weniger Niederschlag im Sommerhalbjahr, was die Gefahr von Dürreperioden verstärken wird. Die Erhöhung der Winterniederschläge sollte sich „in der Tendenz“ positiv auf die Rate der Grundwasserneubildung auswirken, die überwiegend im Winterhalbjahr stattfindet.

Dieser langfristig geltenden Einschätzung stehen allerdings aktuelle Beobachtungen entgegen, die für Deutschland insgesamt und in verschiedenen Regionen einen markanten Rückgang der Grundwasserstände seit Anfang der 2000er Jahre feststellen (u.a. Bettmann et al. 2023; Engelhardt 2023; Roth 2022). Dazu haben sicherlich auch zu hohe Wasserentnahmen beigetragen. Der nachweisliche Rückgang der Grundwasserneubildung als weitere Ursache ist neben höheren Lufttemperaturen auch durch einen Rückgang der Winterniederschläge in der Beobachtungsperiode 2001 bis 2022 begründet. Derartige periodische Schwankungen und Zyklen im Jahresniederschlag können sich durch den Klimawandel noch verstärken.

4.3.2 Auswirkungen durch extreme Wetterereignisse

Für die urbane Wasserwirtschaft resultieren signifikante Klimarisiken auch durch die erwartete Zunahme der extremen Wetterereignisse Starkregen, Sturm und Hagel einerseits und Hitze- und Dürreperioden andererseits.

Zunahme von Starkregen

Die Zunahme der Intensität und Häufigkeit von Starkregen im Klimawandel und damit verbunden von Hochwasser- und (lokalen) Überflutungsereignissen wird in der Fachliteratur bereits seit längerem intensiv diskutiert. Das Problembewusstsein der Öffentlichkeit ist zuletzt durch das extreme Hochwassergeschehen in der Eifelregion im Juli 2021, insbesondere die Flutkatastrophe im Ahrtal, deutlich gestiegen, ergänzt durch vielfältige mediale Berichte über lokale Starkregenüberflutungen in den letzten Jahren. Die Auswirkungen zunehmender Extremwetter spiegeln sich auch in den Schadensberichten der Versicherungswirtschaft wider (Abbildung 15), zuletzt dokumentiert in (GDV 2023).

Hohe Schäden durch Starkregen

Zahl der Starkregenereignisse und Schadenaufwand an Wohngebäuden

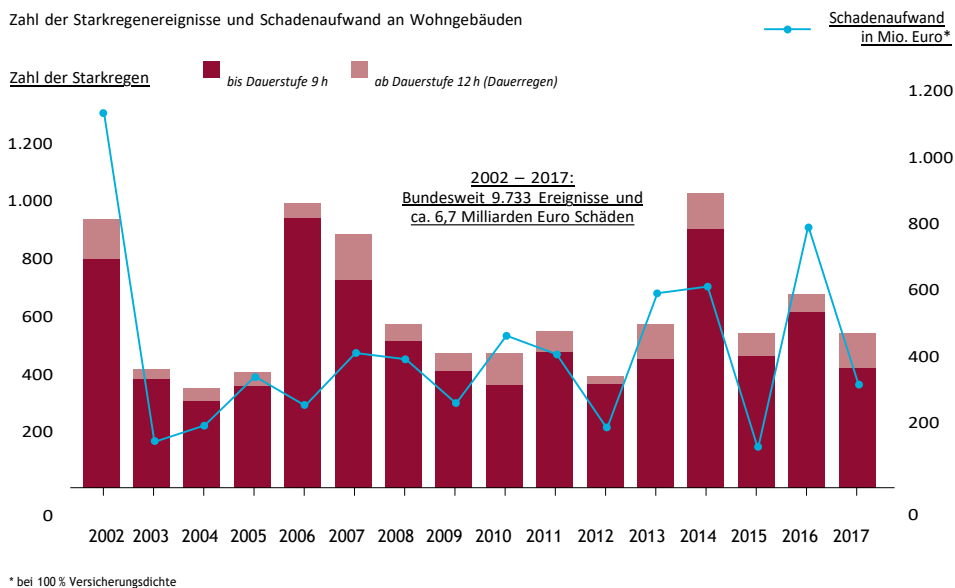


Abbildung 15: Starkregenereignisse und Überflutungsschäden 2002 – 2017 (aus GDV 2020)

Die hohe Zahl der Todesopfer während der Flutkatastrophe an der Ahr, aber auch die verheerenden Schäden an Infrastrukturanlagen haben bei befassten Fachleuten zu einer veränderten Risikowahrnehmung und -bewertung geführt (u.a. CEDIM 2021, Schüttrumpf 2022). Eine umfassende Analyse der Klimarisiken durch lokale Starkregen und daraus resultierende Überflutungen und daraus abgeleiteter Handlungserfordernisse war Gegenstand der BDB-Studie 2022 (Schmitt 2022).

Klimarisiken durch Dürre- und Hitzeperioden

Das Problembewusstsein bezüglich Dürre und Hitze ist durch für Mitteleuropa außergewöhnlich lange Trockenperioden in den Jahren 2018, 2019 2022, begleitet durch zeitweise große Hitze, markant gestiegen. Verstärkt wurde die Wahrnehmung durch die medialen Bilder von Niedrigwasser am Rhein und ausgeprägte Trockenschäden sowohl in der Land- und Forstwirtschaft als auch bei alten Baumbeständen in der Bebauung. Darüber hinaus werden auch urbane Gewässer (Bachläufe, Teiche und Seen) und Flüsse als Ökosysteme durch extreme Temperaturen und Trockenheit geschädigt.

Die unmittelbare Konfrontation mit den Folgewirkungen hat eine Neuausrichtung des urbanen Regenwassermanagements angestoßen. Die regionale und lokale Wasserverfügbarkeit, gerade auch für die Vegetation und die Gewässer innerhalb der Bebauung, bedarf zwingend einer gezielten Verbesserung durch eine ausgewogene Bewertung der drei Zielvorgaben der urbanen Wasserwirtschaft: Stärkung des lokalen Wasserhaushalts zusammen mit Überflutungsschutz und Gewässerschutz. Die Erfordernisse werden u.a. in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Wasser-Extremereignisse (WaX)“ erörtert (WaX 2023).

In der unmittelbaren Betroffenheit etwas zurückgesetzt erscheinen in Deutschland (derzeit noch?) die Risiken durch extreme Hitze. Sie wurden jedoch durch aufgetretene Hitzeperioden im Mittelmeerraum, im Südwesten der USA und auch im Nordwesten Kanadas als Herausforderungen der Zukunft mehr als deutlich. Allerdings wurde auch bei uns bereits an einigen Flüssen aufgrund ihrer hohen Wassertemperatur eine zeitweise Einschränkung der thermischen Belastung durch Kühlwassereinleitungen erforderlich. Die Verknüpfung der Hitzeproblematik mit urbaner Wasserwirtschaft und der Stärkung blau-grüner Infrastruktur wird in Abschnitt 5.1 beleuchtet.

5 Klimaanpassung in den Feldern Stadtentwicklung und Infrastruktur

In den Betrachtungen zur Resilienz in der Stadtplanung in Abschnitt 4.1.1 wurde betont, dass sowohl die Eigenschaften einer klimaresilienten Stadt als auch die Erfordernisse zur Zielerreichung in Bezug auf spezifische Handlungsfelder und Risiken zu formulieren sind (Kabisch et al. 2023). In der vorliegenden Studie erfolgt diese Spezifizierung mit der Eingrenzung auf Risiken des Klimawandels für ausgewählte, im KAnG (2023) ausgewiesene Cluster und die Fokussierung auf die kommunale Handlungsebene. Nachstehend werden zunächst Ansätze Klimaanpassung in den Handlungsfeldern

- Stadt- und Siedlungsentwicklung im Cluster Stadtentwicklung, Raumplanung und Bevölkerungsschutz sowie
- Gebäude, Energiewirtschaft, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur im Cluster Infrastruktur

erörtert. Dabei werden die jeweils relevanten Klimafaktoren als Gefahren und Risiken erörtert und bestehende Wechselwirkungen beleuchtet. Als wesentliche Grundlage dienen hierbei die im Kurzbericht „Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland“ (UBA 2021) zu einzelnen Handlungsfeldern enthaltenen Ausführungen und Bewertungen.

Die Erörterung für das Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft wird angesichts seiner hervorgehobenen Stellung im Kontext der Studie in den Abschnitten 6.1 bis 6.4 ausführlicher vollzogen.

5.1 Handlungsfelder Stadt- und Siedlungsentwicklung, Raumplanung

Die Handlungsfelder Stadt- und Siedlungsentwicklung sowie Raumplanung sind gemäß KAnG (2023) in die geforderte vorsorgende Klimaanpassungsstrategie mit aufzunehmen. Sie sind über das Berücksichtigungsgebot in § 8 unmittelbar betroffen, wonach die Träger öffentlicher Aufgaben das Ziel der Klimaanpassung bei Planungen und Entscheidungen fachübergreifend und integrierend berücksichtigen müssen.

Dies gilt in besonderem Maße für die Regionalplanung mit ihren Planungsinstrumenten Raumordnungsplan und Regionaler Entwicklungsplan sowie für die Bauleitplanung mit den Planungsinstrumenten Flächennutzungsplan und Bebauungsplan und den Kommunen als Planungsträger. Hier werden in fachübergreifenden Abwägungsprozessen Weichenstellungen und Festlegungen insbesondere zur baulichen Entwicklung und daraus resultierenden Nutzungen und Funktionen (Wohnen, Arbeiten, Ver- und Entsorgung) getroffen. Die baulichen Anlagen, Infrastruktureinrichtungen und Gebäude, werden mit den Folgen des Klimawandels konfrontiert sein. Damit entscheiden die Festlegungen in den Planungsinstrumenten zur baulichen Nutzung über deren „räumliche Exposition“. Sie beeinflussen aber auch die Vulnerabilität baulicher Anlagen und der Bevölkerung als spätere Nutzer.

Planerische Entscheidungen zur Raum-, Stadt- und Siedlungsentwicklung beeinflussen u.a. die Betroffenheit und Verletzlichkeit der Bebauung an der Küste in Bezug auf den erwarteten Anstieg des Meeresspiegels sowie durch Hochwasser an Bachläufen und Flüssen. Die Planungen sollten zwingend die örtlich unterschiedlichen Gefährdungen und Risiken von Gebäuden und Infrastrukturanlagen durch die Wetterextreme Starkregen, Sturm und Hagel berücksichtigen.

Die frühzeitige Einbeziehung der Belange der Überflutungsvorsorge in die vorbereitende Bebauungs- und Infrastrukturplanung ist eine Voraussetzung zur Verbesserung der städtischen Klimaresilienz und eine zentrale Forderung des Starkregenrisikomanagements (u.a. Schmitt 2022). Dies gilt weitergehend auch für die Berücksichtigung der vielfältigen Facetten einer wasserbewussten Siedlungsentwicklung (Abschnitt 3.3.1) und die Umsetzung des integrierten Regenwassermanagements (Abschnitt 3.3.4).

Den Belangen des Hitzeschutzes als Beitrag zur klimaresilienten Bebauung kann auf den verschiedenen Planungsebenen Rechnung getragen werden, u.a. durch

- die Berücksichtigung von Kaltluft bildenden Bereichen und Frischluftschneisen, um der Ausprägung urbaner Hitzeinseln insbesondere in Innenstädten entgegenzuwirken;
- die Schaffung von Grünzonen als Klimaoasen („Klimakomfortinseln“) mit Vorrang für Quartiere, die in der Klimarisikoanalyse mit erhöhter Gefährdung identifiziert wurden;
- die gezielte räumliche Anordnung von Klimaoasen für besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen mit erhöhtem Schutzbedürfnis;
- Vorgaben zur Anordnung und Gestaltung von Gebäuden zur Generierung von Kühlungseffekten durch Schaffung und Erhalt von Frischluftströmen und Verschattung.

Weitergehende Bewertungen und Empfehlungen zur Minderung von Hitzestress finden sich u.a. in (DStGB 2022; Kurth 2021 und UBA 2017). Beispielhaft zeigt Abbildung 16 die Anordnung einer Grünzone im Innenstadtbereich.

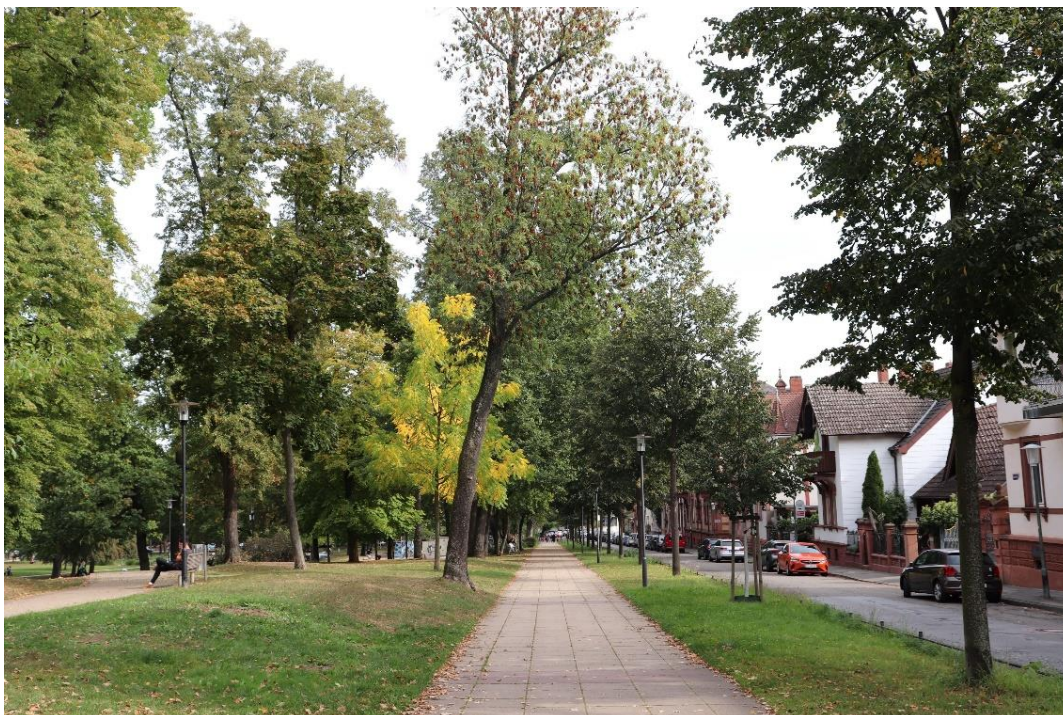


Abbildung 16: Beispiel einer Grünzone im Innenstadtbereich als „Klimaoase“

Die Bewertung der vorgeschlagenen Lösungsansätze und Maßnahmen weist in der Gesamtschau auf einen Zielkonflikt einer nachhaltiger Siedlungsentwicklung: Einerseits soll sich diese flächensparend, also durch möglichst begrenzte Inanspruchnahme von Flächen durch die Bebauung und damit einhergehende Infrastrukturanlagen der Ver- und Entsorgung (Wasser, Abwasser, Mobilität) vollziehen.

Andererseits entsteht durch Grünflächen als Hitzeschutz und blau-grüne Infrastruktur als wesentliches Element der Regenwasserbewirtschaftung ein zusätzlicher, nicht zu vernachlässigender Flächenbedarf innerhalb der Siedlung. Hinzu kommt ein zusätzlicher Wasserbedarf der Grünflächen während ausgedehnter Trockenzeiten und Hitze. Dieser Aspekt wird u.a. in Abschnitt 6.4 thematisiert.

Für die Schaffung der dringend notwendigen Grünflächen für eine bessere Klimaresilienz bestehender Bebauungen zielt die Bundesarchitektenkammer auf die Umwandlung von Parkplätzen und PKW-Stellflächen in Verbindung mit der stadtplanerischen Zielvorstellung einer „autoarmen Innenstadt“ (Gebhard 2023). Dieser Ansatz birgt allerdings ein erhebliches politisches Konfliktpotenzial.

5.2 Cluster Infrastruktur mit Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

Zum Cluster Infrastruktur gehören neben Verkehr und Verkehrsinfrastruktur nach KAnG (2023) auch die Handlungsfelder Gebäude und Energiewirtschaft, die hier vorab betrachtet werden sollen.

5.2.1 Handlungsfeld Gebäude

Im Handlungsfeld Gebäude zielen die Bemühungen zur Reduzierung von Klimarisiken beim Neubau und baulichen Veränderungen im Bestand auf einen möglichst weitgehenden Schutz von Menschen und Sachgütern gegen klimabedingte negative Einwirkungen. Maßnahmen der Überflutungsvorsorge in Bezug auf Starkregen und Flusshochwasser werden in Abschnitt 6.3 beleuchtet. Die nach wie vor wachsende Flächeninanspruchnahme durch Bebauung und Versiegelung führt zu einer Verstärkung der Hitzebelastung in städtischen Verdichtungsräumen. Lösungsansätze der Stadtplanung und Siedlungsentwicklung zur Minderung dieser Belastungen und Risiken sind vorstehend beschrieben (Abschnitt 5.1).

Diese sind durch Vorgaben für die Architektur zu präferierten Kubaturen von Baukörpern, zur Gestaltung und Innenausstattung von Gebäuden sowie zur priorisierten Verwendung von Bauformen und Baumaterialien zur Verbesserung des Innenraumklimas und zum Erzielen von Kühlungseffekten, u.a. durch gezielte Verschattung, zu unterfüttern. Dies wird unterstützt durch die Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung. Im Sinne der Klimaanpassung sollten diese Aspekte im Bundesbaugesetzbuch und in den Landesbauordnungen der Bundesländer zukünftig stärker Berücksichtigung finden – auch wenn derzeit in der Öffentlichkeit allgemein die Reduzierung der Regelungsdichte im Bauwesen angemahnt wird.

Für die notwendigen Anpassungen baulicher Anlagen im urbanen Raum (Gebäude und Infrastruktur) wird zwar ein deutliches Potenzial gesehen. Gleichwohl ist aufgrund ihrer Langlebigkeit von einem Zeitbedarf von 50 Jahren (und mehr) auszugehen, bis ausgeprägte größere Effekte der Risikominderung erzielt werden können (UBA 2021).

Abbildung 17 zeigt am Beispiel der Fassadenbegrünung einen Beitrag zum Hitzeschutz auf Gebäudeebene, die sich durch die Verdunstungsleistung der Fassade zudem positiv auf den lokalen Wasserhaushalt auswirkt.



Abbildung 17: Fassadenbegrünung als Beitrag zu Hitzeschutz und Wasserhaushalt auf Gebäudeebene

5.2.2 Handlungsfeld Energiewirtschaft

Das Handlungsfeld Energiewirtschaft weist vielfältige Querverbindungen zu anderen Handlungsfeldern auf, auch zu Wirtschaft und Gesellschaft, die hier nicht näher beleuchtet werden. Die baulichen und technischen Anlagen der Energiewirtschaft und deren Betrieb sind verschiedenen Klimarisiken ausgesetzt. So können in längeren Trockenperioden durch Niedrigwasser an Flüssen kritische Situationen für die Versorgung von thermischen Kraftwerken mit Kühlwasser auftreten. Dies kann in Verbindung mit erhöhtem Kühlbedarf während Hitzeperioden zumindest kurzfristig zu Engpässen in der Stromversorgung von Industrie und Bevölkerung führen. Des Weiteren sind Umspannwerke und Trafostationen wie auch andere Infrastrukturanlagen in Siedlungen im Klimawandel höheren Überflutungsrisiken ausgesetzt. Daneben können Hitzeperioden, Stürme und sonstige Extremwetterlagen Unterbrechungen und Netzschwankungen in der Stromversorgung bedingen. Diese Gefahren bedürfen angesichts der erwarteten deutlichen Zunahme des Stromverbrauchs, auch durch die fortschreitende Elektrifizierung in den Verkehrssystemen und bei der Gebäudeheizung („Wärmepumpen“) erheblicher Anstrengungen zur Risikominderung und Verbesserung der Resilienz der Energieversorgungssysteme.

Den genannten Risiken kann durch Reduzierung der räumlichen Exposition über bewusste Standortentscheidungen bedingt Rechnung getragen werden. Die stärkere Dezentralisierung der Energieerzeugung mit erneuerbaren Energiequellen führt zu größerer Autonomie und Flexibilität im Energiesektor. In diesem Kontext führt auch die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energiequellen über die stärkere dezentrale Ausrichtung zu einer Erhöhung der Anpassungsfähigkeit als ein zentrales Merkmal von Resilienz. Zudem wird der Temperaturanstieg im Winter einen geringeren Heizungsbedarf der Gebäude bedingen und sich somit in gewissem Umfang mäßigend auf die Klimarisiken auswirken.

Demgegenüber ist für die Sommermonate mit einem höheren Bedarf an Klimaanlage zur Raumkühlung zu rechnen. Damit könnte der Stromverbrauch gerade in Hitzeperioden deutlich steigen, bei denen thermische Kraftwerke wegen der Kühlwasserproblematik nur eingeschränkt betrieben werden. Das Umweltbundesamt sieht in Handlungsfeld Energiewirtschaft große Potenziale für Anpassungsmaßnahmen und stuft die Klimarisiken insgesamt als eher gering ein (UBA 2021).

5.2.3 Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

Das Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur weist enge Verknüpfungen mit anderen Handlungsfeldern auf. Dies gilt u.a. für die fortschreitende Elektrifizierung in zukünftigen Mobilitätskonzepten, was die Risiken durch klimabedingte Störungen in Elektrizitätsnetzen betont. Eine Erhöhung der Klimarisiken für die Verkehrsinfrastruktur und die Betriebsabläufe ist allgemein durch die erwartete Zunahme von Überflutungen durch Starkregen und Flusshochwasser, von Schäden an Oberleitungen durch Stürme und extreme Hitzephasen zu erwarten. Extreme Hitze kann zu Schäden der Asphaltdecke von Straßen und zu Beeinträchtigungen im Betriebsablauf z.B. im Bahnverkehr führen. Schwer einzuschätzen ist die mögliche Verstärkung ingenieur- und hydrogeologischer Einflussfaktoren, die zu Hangrutschungen führen.

Als besonders hohes Klimarisiko wird die Verschärfung von Niedrigwassersituationen an schiffbaren Gewässern mit hohem Anteil an Güterverkehr durch längere Trockenperioden eingestuft. So könnte die Dauer kritischer Zustände an Rhein, Mosel, Neckar und Donau von derzeit ca. 20 Tagen im Jahr auf bis zu 35 Tage ansteigen (UBA 2021). Verschärfend tragen hier als Langzeitwirkung des globalen Temperaturanstiegs das Abschmelzen der Gletscher am Rhein und abnehmende Schneefälle im Winter bei (Abschnitt 4.3.1). Demgegenüber wird einer stärkeren Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs durch Hochwasser ein geringeres Klimarisiko zugeordnet.

Für die gezielte Minderung der Klimarisiken durch Niedrigwasser wird für Maßnahmen der Klimaanpassung insgesamt ein erhebliches Potenzial gesehen. Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) enthält dazu im „Aktionsplan Anpassung III“ bereits entsprechende Ansätze (DAS 2020). Unter anderem wird die Weiterentwicklung der Vorhersagesysteme für Niedrigwasser und Hochwasser als zielführender Ansatz genannt. Mit eher langfristiger Wirkung zur Stärkung der Anpassungskapazität im Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur kommt der Raumplanung, Regional- und Bauleitplanung eine besondere Bedeutung zu (UBA 2021). Mit der Bauleitplanung und in Bezug auf eher lokal wirkenden Klimaeinflüsse ist in hohem Maße die kommunale Entscheidungsebene gefordert.

Dringender Handlungsbedarf wird in Bezug auf lokale Starkregen und daraus resultierende Überflutungen von unterirdischen Verkehrsanlagen und Unterführungen gesehen. Hier haben zurückliegende Ereignisse mehrfach gezeigt, dass sowohl die Zugänge zu unterirdischen Gleisanlagen (U-/S-Bahn) als auch die Einfahrten von Straßentunnels unzureichend gegen Überflutungen von der Oberfläche her geschützt sind. Dies gilt in gleicher Weise für Parkhäuser mit Tiefgaragen, die oftmals niveaugleiche Zufahrten ohne besondere Hemmnisse gegen eindringendes Oberflächenwasser aufweisen. Diese Punkte bedürfen dringend einer systematischen Erfassung und Entwicklung von Ansätzen zum lokalen Objektschutz.

Besondere Gefahrenpunkte stellen auch Unterführungen und tieferliegende Straßenabschnitte dar. Bei auftretenden Oberflächenüberflutungen ist für Autofahrer die Wassertiefe in diesen tiefliegenden Abschnitten oft nicht zu erkennen, sodass bei Einfahrt in die überfluteten Bereiche Schäden am Fahrzeug und ggfs. auch eine Gefährdung der Insassen auftreten können. Unterführungen und sonstige gefährdete Straßenabschnitte, die bei der Erstellung von Starkregengefahrenkarten identifiziert werden, müssten dringend mit Warnhinweisen entsprechend Abbildung 18 versehen werden.



Abbildung 18: Warnhinweis auf Überflutungsgefahren bei Unterführungen etc.

Als innovativer Ansatz könnte mittels eingebauter Sensoren auf eine erhöhte Gefährdung z.B. bei Wassertiefen ab 30 cm hingewiesen und weitergehend ein temporäres Verbot der Einfahrt über Lichtsignalanlagen angezeigt werden. Denkbar erscheint auch das Anbringen von Markierungen am Fahrbahnrand, an denen bei Überflutungen die Wassertiefe ablesbar ist.

6 Klimaanpassung im Handlungsfeld urbane Wasserwirtschaft

Bei der Bewältigung der Zukunftsherausforderung „Klimaanpassung für eine klimaresiliente Stadt“ kommt der urbanen Wasserwirtschaft besondere Bedeutung zu. Wasser ist eine nicht ersetzbare Lebensgrundlage für die Menschen und trägt darüber hinaus als Bestandteil des Naturhaushaltes und des urbanen Raums „multifunktional“ zu ihrem Wohlbefinden bei. So wird im Modellprojekt Smart Water in Berlin Wasser als zentrales Thema für die Stärkung der Resilienz städtischer Infrastrukturen ausgewiesen, hier in Bezug auf die Klimarisiken Überflutungen und Gewässerbelastungen nach Starkregen und anhaltende Hitze und Dürre durch ausbleibenden Regen (KWB 2023).

Angesichts der vielfältigen Schnittstellen und Verknüpfungen mit anderen kommunalen und regionalen Handlungsfeldern sind Ansätze der Klimaanpassung in der urbanen Wasserwirtschaft unabdingbar für die übergeordnete Zielsetzung „urbane Klimaresilienz“. In diesem Lichte lassen sich als eng miteinander verwobene Teilaufgaben der urbanen Wasserwirtschaft benennen:

- die **Sicherstellung einer funktionierenden Trinkwasserversorgung** ausreichender Menge und hoher Qualität auch unter Extremwetterbedingungen,
- die **risikobewusste Vorsorge gegen Starkregenüberflutungen**,
- der **Schutz der Gewässer (Grundwasser und Oberflächengewässer)** gegen stoffliche und hydraulische Belastungen aus den Siedlungsaktivitäten und
- die gezielte **Stärkung des urbanen Wasserhaushalts** zum Erhalt der Vegetation in der Bebauung als „Stadtgrün“, auch zur Sicherung seiner Klimafunktion;

Die Neuausrichtung der urbanen Wasserwirtschaft auf Nachhaltigkeit und Klimaresilienz wird in den DWA-Positionen „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ mit zentralen Aufgabenfeldern der kommunalen Daseinsvorsorge umfassend charakterisiert (DWA 2021). Für diese Aufgabengebiete und Zielsetzungen werden spezifische Handlungserfordernisse zur Klimaanpassung und Verbesserung der Klimaresilienz besprochen, die sich aus den in Abschnitt 4.3 aufgeführten Klimarisiken ableiten.

6.1 Langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung

Die langfristige Sicherstellung einer funktionierenden Trinkwasserversorgung ausreichender Menge und hoher Qualität ist ein Kernelement der kommunalen Daseinsvorsorge. Insoweit müssen die befassten kommunalen Akteure ihre aktuell genutzten und zukünftig bedeutsamen Wasservorkommen sowie ihre Wasserinfrastruktur hinsichtlich ihrer Betroffenheit durch die vorgenannten Klimarisiken analysieren. So könnten küstennah gelegene Kommunen von einer Versalzung ihrer Grundwasservorkommen durch steigende Meereswasserspiegel betroffen sein, die Nutzung alternativer Wasservorkommen prüfen oder sich frühzeitig durch technische Aufrüstung auf höhere Salzgehalte einstellen. Wasserversorgungsunternehmen mit signifikanten Anteilen aus der Uferfiltration sollten die mögliche Beeinträchtigung der Wasserverfügbarkeit bei länger anhaltendem Niedrigwasser der jeweiligen Flussläufe prüfen und mögliche Alternativen zur zeitweisen Überbrückung eines reduzierten Wasserdargebotes aus der Uferfiltration eruieren.

Als zentrale Zukunftsherausforderung der Trinkwasserversorgung ist der in Deutschland zu beobachtende Rückgang der Grundwasserstände anzusehen. Ursachen sind ein verändertes Jahresniederschlagsgeschehen mit geringeren Winterniederschlägen in den letzten 20 Jahren und die mit gestiegenen mittleren Temperaturen erhöhte Verdunstung. Mildere Winter führen zu einer früher beginnenden und insgesamt längeren Vegetationsperiode und – aufgrund der „Konkurrenz“ mit der Pflanzenverdunstung – zu einer verminderten Grundwasserneubildung. Sie findet vorrangig in den vegetationsarmen Wintermonaten statt.

Es ist zu erwarten, dass sich diese Tendenz im Klimawandel fortsetzen und aufgrund des in Abschnitt 4.3.1 genannten Klimarisikos durch abnehmende Schneefälle noch verstärken wird. Naturgemäß kann es dabei zu regional unterschiedlichen Ausprägungen kommen. So zeigt eine vergleichende Bilanzierung der Grundwasserneubildung für die untergliederten 11 Naturräume in Rheinland-Pfalz und die (ungleich langen) Zeiträume 1971 bis 2000 und 2003 bis 2023 einen prozentualen Rückgang zwischen knapp 20 % und bis zu 40 %, auch aufgrund der zuletzt abnehmenden Absolutwerte der Winterniederschläge. Dabei bewegen sich die Werte der mittleren Grundwasserneubildung in den 11 Naturräumen im Zeitraum 2003 bis 2022 zwischen minimal 19 mm/a und maximal 163 mm/a (Bettmann et al. 2023). Diese Spannweite unterstreicht die große Regionalität der Wasserhaushaltsgrößen und damit auch die regional unterschiedliche Betroffenheit und Vulnerabilität des Wasserdargebots.

Zusätzlicher Handlungsbedarf bezüglich der Klimarisiken resultiert aus der großen Ungewissheit bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf das langjährige Niederschlagsgeschehen insgesamt.

Der zwingende Handlungsbedarf muss in übergeordneten Betrachtungen, vorrangig durch die Bundesländer, mit langfristig ausgerichteten Analysen und Planungen aufgegriffen werden, unterstützt durch eine gezielte Ausweitung der Datengrundlage. In diesem Kontext bedarf es einer koordinierten Steuerung zukünftiger Wasserentnahmen. Dies gilt umso mehr, als durch den erwarteten steigenden Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft sich die Konkurrenz der unterschiedlichen Wassernutzungen verschärfen dürfte. Als Beispiel zur übergeordneten Problemanalyse wird auf den Zukunftsplan Wasser für Rheinland-Pfalz verwiesen, der im September 2023 als Entwurf vorgelegt wurde (RLP 2023).

Die Grundwasserneubildung erfolgt weitestgehend außerhalb der Bebauung auf Vegetationsflächen der Land- und Forstwirtschaft. Gezielte Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhaltes auf der Fläche sowie der Aufnahmefähigkeit und Durchlässigkeit der Böden zur Tiefenversickerung erfordern ggfs. Anpassungen bei der Bewirtschaftung der Flächen. In diesem Kontext erscheint es notwendig, der weiter fortschreitenden Inanspruchnahme bisheriger Freiflächen durch Siedlung und Verkehr entgegenzuwirken.

Für die Trinkwasserversorgung erscheinen die stärkere Vernetzung der überwiegend kommunalen Infrastruktur zur Wassergewinnung und Verteilung sowie der Ausbau regionaler Verbundsysteme und der Fernwasserversorgung als zielführende Lösungsansätze zur Verbesserung der Resilienz. Vordringlich sollten Bemühungen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs den Ausbau der technischen Infrastruktur begleiten oder diesem vorausgehen. Die vorstehend beschriebenen Ansätze ressourcenorientierter Sanitärsysteme, u.a. mit Grauwasseraufbereitung zur Brauchwassernutzung, sowie die Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser werden punktuell bereits seit längerem umgesetzt.

Die Erschließung neuer Ressourcen für die Trinkwassergewinnung durch eine Ausweitung auf direkte Wasserentnahme aus Fließgewässern erscheint angesichts der stofflichen Belastung infolge Abwassereinleitungen nur in Einzelfällen oder temporär in Extremsituationen als realistische Option. Trotz der bestehenden, strengen gesetzlichen Anforderungen an die Abwasserbehandlung und auch bei einem großzügigen Ausbau der weitergehenden Abwasserreinigung mit Nährstoff- und Spurenstoffelimination würde deren stoffliche und biologisch-bakteriologische Belastung einen erheblichen Mehraufwand bei der Aufbereitung als Trinkwasser erfordern.

Auch für den Neubau oder die Erweiterung von Talsperren mit Langzeit-Speicherwirkung wird in Deutschland kaum Potenzial gesehen. Für bestehende Talsperren ist die Weiterentwicklung softwarebasierter, regionalisierter Prognose- und Steuerungsinstrumente zur optimierten Bewirtschaftung der Speichereinhalte und Verbräuche angezeigt (u.a. Müller 2023).

6.2 Gewässerschutz

Grundwasser und oberirdische Gewässer sind zentraler Bestandteil des Naturhaushaltes und Lebensraum für Tiere und Pflanzen. Sie sind deshalb sowohl als lebensnotwendige Trinkwasser-Ressource für den Menschen als auch mit ihren ökologischen Funktionen vor stofflichen Verunreinigungen und sonstigen Beeinträchtigungen soweit möglich zu schützen. Der Gewässerschutz hat somit eine überragende Bedeutung innerhalb der Wasserwirtschaft. Er ist deshalb auf den drei Ebenen der Gesetzgebung – EU, Bund und Länder – als Verpflichtung für unterschiedliche Akteure verankert.

Auf der europäischen Ebene wird in der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) für Grundwasser „ein guter mengenmäßiger und chemischer Zustand“ und für oberirdische Gewässer „guter chemischer und ökologischer Zustand“ eingefordert. Diese Zielvorgaben werden in Deutschland auf Bundesebene im Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) aufgegriffen und für Immissionsbetrachtungen konkretisiert durch die Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) und die Grundwasserverordnung (GrwV 2010). Die Landeswassergesetze enthalten i.W. Regelungen zur Zuständigkeit und weitere Ausführungsbestimmungen.

Anwendungsspezifische gesetzliche Regelungen für die (kommunale) Abwasserentsorgung finden sich in der Richtlinie Kommunalabwasser der EU (EU 1991). Der vorliegende Entwurf zur Novellierung der Richtlinie sieht u.a. eine Ausweitung und Verschärfung der Anforderungen an die Nährstoff- und Schadstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen vor (EU 2022). Die aktuell gültigen Anforderungen sind im Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) und in der Abwasserverordnung (AbwV 2004; Anhang 1 „Häusliches und kommunales Abwasser“) konkretisiert. Zur Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen, insbesondere für die Einleitung von Schmutzwasser und Regenwasser in Gewässer, liegt in Deutschland ein umfassendes technisches Regelwerk vor.

Die ordnungsgemäße Anwendung der gesetzlichen Regelungen zum Gewässerschutz und speziell zur umweltgerechten Abwasserentsorgung dient dem Schutz der Wasservorkommen und dem Erhalt und der Wiederherstellung sichtbarer, ökologisch intakter Gewässer. Die Aufwertung ihrer Funktion als Erlebnisraum für Freizeit und Erholung leistet in Verbindung mit der gewässerbegleitenden Vegetation auch einen Beitrag zur Verbesserung der Klimaresilienz der umliegenden Bebauung und der darin lebenden Menschen.

Trotz der beschriebenen gesetzlichen Regelungen zeigen die Erhebungen zum Gewässerzustand erhebliche Defizite in Bezug auf die Zielvorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Damit wird hier in erster Linie ein Defizit beim Vollzug der gesetzlichen Grundlagen und Regelungen gesehen, dessen Behebung aus Sicht des Autors das zentrale Handlungserfordernis im Gewässerschutz darstellt.

6.3 Risikobewusste Vorsorge gegen Starkregenüberflutungen

Die risikobewusste Vorsorge gegen Starkregenüberflutungen wurde in den letzten Jahren im Rahmen des kommunalen Starkregenrisikomanagements verstärkt aufgegriffen und in ersten Schritten etabliert. Die Inhalte, zielführende methodische Ansätze und die vordringlichen Handlungserfordernisse zur flächendeckenden Umsetzung wurden in der BDB-Studie 2022 ausführlich erörtert und dargestellt (Schmitt 2022). Für die Reduzierung der Klimarisiken durch eine Zunahme extremer Hochwasserereignisse liegen mit der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie bereits seit 2007 gesetzlich verpflichtende Vorgaben und aus der Umsetzung im nunmehr dritten Zyklus auch bereits umfangreiche Erfahrungen vor (EU 2007; Müller und Jüpner 2020). Mit den Erkenntnissen aus der Flutkatastrophe im Juli 2021 hat u.a. das Land Nordrhein-Westfalen Erfordernisse zur Anpassung und Verstärkung der Risikovorsorge in einem Arbeitsplan „Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels“ aufgegriffen (MUNLV 2022).

Als Weiterentwicklung der bisherigen methodischen Ansätze des Risikomanagements für Hochwasser und Starkregen arbeitet die DWA-AG HW-4-7 aktuell an der konkreten Einbeziehung der Resilienz in die bisherigen Konzepte der Risikobewertung (Jüpner et al. 2023). Ein Hauptanliegen gilt der Entwicklung qualitativer und quantitativer Kriterien zur Resilienzbestimmung sowie zur Bewertung der Auswirkungen möglicher Maßnahmen im Zyklus des Risikomanagements auf Objekte und Systeme, die potentiell von Hochwasser und Starkregenüberflutungen betroffen sind.

Eine organisatorische und methodische Weiterentwicklung stellt die Entwicklung integraler Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten dar. Methodische Ansätze für eine gesamtheitliche Betrachtung der Überflutungsrisiken durch lokale Starkregen mit urbanen Sturzfluten und der Risiken durch Hochwasser an größeren Flussläufen werden in (DWA 2023b) erörtert. Die Ansätze zielen auf eine Verbesserung der Risikokommunikation insbesondere mit der betroffenen Bevölkerung und über ein geschärftes Problembewusstsein auch der Klimaresilienz in Bezug auf zukünftig häufigere Hochwasser und Starkregen.

Die beschriebenen methodischen Ansätze und Instrumentarien zur Analyse, Bewertung und Kommunikation der Klimarisiken durch Zunahme von Starkregen und Hochwasser stellen eine zukunftsweisende Arbeitsgrundlage dar. Die Bearbeitung wird eine regional und lokal differenzierte Darstellung besonderer Risiken ermöglichen und geeignete Maßnahmen der Risikominderung und somit zur Verbesserung der Klimaresilienz ausweisen. Deren Umsetzung – baulich-technisch und organisatorisch – wird eine große verwaltungstechnische und finanzielle Herausforderung für die Kommunen und die Bundesländer darstellen.

6.4 Verbesserung der Wasserverfügbarkeit in Siedlungen

Mit der Häufung ausgeprägter Trockenperioden in den Jahren seit 2018, oftmals verbunden mit anhaltend hohen Temperaturen, dem stark gestiegenen Bewässerungsbedarf und den aufgetretenen Trockenschäden der Vegetation an Straßen, Plätzen und Parks („Stadtgrün“) sind die Klimarisiken aufgrund unzureichender Wasserverfügbarkeit in den Siedlungen deutlich zutage getreten. Damit einher gehen neben der Austrocknung des Oberbodens saisonal sinkende Wasserstände des oberflächennahen Grundwassers sowie zum Teil trockenfallende urbane Bachläufe. Somit kommt – in enger inhaltlicher Verzahnung mit den Anliegen des Gewässerschutzes und der Überflutungsvorsorge – der gezielten Stärkung des urbanen Wasserhaushalts zukünftig eine deutlich größere Bedeutung zu.

„Schwammstadt“ ist zu einem häufig genutzten Schlagwort und Synonym für einen weitestgehenden Rückhalt des Regenwassers innerhalb der Bebauung geworden (vgl. Abschnitt 3.3.6). Seine Anschaulichkeit erlaubt zumindest in der öffentlichen Diskussion und Kommunikation mit politischen Akteuren und der Bevölkerung den schnellen Transport der Botschaft: Der Umgang mit Wasser in der Stadt, gerade auch mit Regenwasser, muss sich ändern! Diese Änderung vollzieht sich auch international schon seit Beginn der 1990er Jahre mit dem Plädoyer für die „Bewirtschaftung des Regenwassers“ statt „vollständiger Ableitung“. Diese Neuorientierung als „integrales Regenwassermanagement“ illustriert in Abbildung 19 mit der Verzahnung der Elemente Vermeidung, Versickerung, Nutzung, Behandlung und verzögerte (offene) Ableitung. Sie wird im internationalen Kontext u.a. mit ‘Integrated Urban Stormwater Management’ bezeichnet (Fletcher et al. 2015).



Abbildung 19: Elemente des Integralen Regenwassermanagements (aus DWA 2020)

In der bestehenden Bebauung sind dieser Neuausrichtung durch örtliche Restriktionen und fehlende Handlungsspielräume allerdings oftmals enge Grenzen gesetzt. Dies gilt in besonderem Maße für die Idealvorstellung eines vollständigen Rückhalts des Regenwassers, auch bei Starkregen. Historisch gewachsene Stadtquartiere, aber auch Dorfkerne mit oftmals sehr dichter Bebauung, lassen sich kaum als Schwammstadt mit derart weitreichendem Rückhalt umfunktionieren (u.a. Uhl 2021).

Zudem erscheint „Schwammstadt“ als stark vereinfachtes Bild der komplexen Interaktionen des Regenwassers mit der Bebauung und mit der Fokussierung auf Rückhalt und Speicherung und der Erwartung, damit die negativen Auswirkungen sowohl von Starkregen als auch von Dürreperioden zu bewältigen.

Ein methodisch fundierter Ansatz zur Verbesserung der Wasserverfügbarkeit in Siedlungen wurde als Zielvorgabe im technischen Regelwerk der DWA mit der Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 102 und der Orientierung am lokalen Wasserhaushalt nicht bebauter Flächen verbindlich verankert (DWA 2020). Zentrale Aspekte sind die Stärkung der Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung und Versickerung über den ortsnahen Rückhalt des Regenwassers, seine oberflächennahe Speicherung mit Verfügbarkeit für die Vegetation und die gezielte Versickerung zur Grundwasserneubildung. Abbildung 20 illustriert die Zielvorstellung „naturnaher Wasserhaushalt“ in Verbindung mit der Etablierung blau-grüner Infrastruktur in der Stadt.

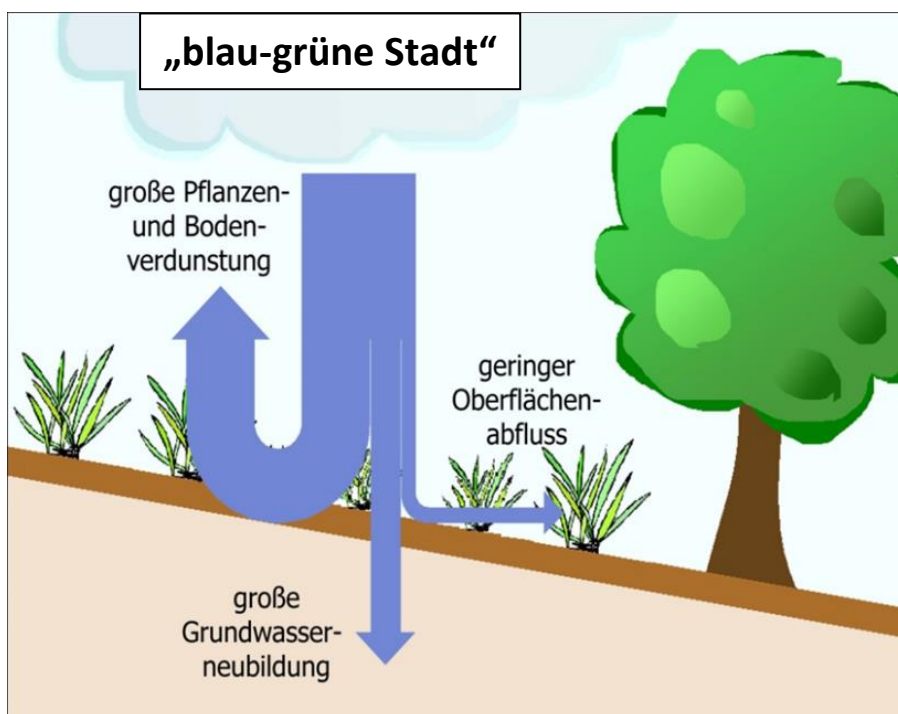


Abbildung 20: Zielvorstellung naturnaher Wasserhaushalt in der Stadt durch blau-grüne Infrastruktur

Im breiten Spektrum der Niederschlagsereignisse im Jahresverlauf gelingt dieser Rückhalt für den Großteil der Jahresniederschlagsmenge mit einer breiten Vielfalt dezentraler und zentraler Maßnahmen im Sinne blau-grüner Infrastruktur. Sie werden exemplarisch in Abbildung 21 mit versickerungsbetonten Entwässerungsstrukturen und in Abbildung 22 mit dezentralen Rückhaltmaßnahmen, die Verdunstung und Versickerung befördern, gezeigt.



Abbildung 21: Versickerungsbetonte Entwässerungsstrukturen in der Bebauung



Abbildung 22: Dezentraler Regenwasserrückhalt mit Verdunstung und Versickerung „im Quartier“

Eine stärker zentral ausgerichtete Anlage als Regenrückhaltebecken für Straßenabflüsse und Außengebietszuflüsse zeigt Abbildung 23. Mit der hier vorliegenden Ausrichtung auf Starkregen und den Schutz vor Überflutungen wird die Anlage nur geringere Effekte auf Verdunstung und Versickerung haben.



Abbildung 23: Rückhalteanlage für Straßenabflüsse und Außengebietszuflüsse

Mitunter erscheint es nicht zielführend und auch nicht wirtschaftlich, Maßnahmen zur Verbesserung des lokalen Wasserhaushalts mit dem zeitlichen Bezug auf den „Jahreszeitraum“ auch für die Aufnahme von Starkregen zu bemessen. Dittmer et al. (2023) regen an, dezentrale Versickerungsmulden nicht auf Starkregen definierter Wiederkehrzeit (üblich derzeit $T_n = 5$ a), sondern für das Ziel einer Versickerung von z.B. 85 % des Jahresniederschlagsvolumens auszulegen. Die Mulden können so deutlich kleiner ausgelegt und bei einem deutlich geringeren Flächenbedarf leichter – auch in bestehenden Bebauungsstrukturen – umgesetzt werden. Diese Überlegungen gelten auch bei der kombinierten Ausrichtung dezentraler Rückhalte- und Speicheranlagen auf Verdunstung und Versickerung sowie bei der Auslegung von Baumrigolen. Damit bedarf die Bewältigung von Starkregen gesonderter Lösungsansätze.

Für außergewöhnliche Starkregen (Wiederkehrzeiten > 50 bis 100 Jahre) werden temporär genutzte Flutmulden und Notwasserwege notwendig und zielführender sein, bei denen nicht der Rückhalt, sondern die Ableitung aus der Bebauung bzw. die Überleitung auf Flächen mit geringem Schadenspotenzial, z.B. als multifunktionale Retentionsflächen, im Vordergrund steht. Dabei sollte eine Differenzierung je nach den örtlichen Gegebenheiten und der Hauptnutzung der Flächen erfolgen (Benden et al. 2017): Retentionsräume, die über das gesamte Regenspektrum beschickt werden, sollten maßgeblich die Verdunstung und Versickerung befördern und weisen einen zusätzlichen Speicherraum für seltene Starkregen auf. Retentionsflächen mit anderen Hauptnutzungen (Verkehr, Sport, Freizeit, Erholung) würden nur im Falle extremer Starkregen geflutet. Ansätze hierfür wurden im Forschungsvorhaben MURIEL (Benden et al. 2017) entwickelt und der BDB-Studie „Starkregen und urbane Sturzfluten – Agenda 2030“ exemplarisch vorgestellt (Schmitt 2022).

7 Folgerungen und Ausblick

7.1 Resilienz und Klimarisiken

Das Entwicklungsziel „klimaresiliente Stadt“ fügt sich in das seitens der Stadtplanung neu formulierte Leitbild urbaner Resilienz für die Stadtentwicklung. Die Schaffung bzw. Verbesserung der Resilienz, allgemein und in Bezug auf die hier im Fokus stehenden Klimarisiken, zielt auf eine Erhöhung der Widerstandskraft der Bebauung und die Förderung der Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit gegenüber äußeren Störeinflüssen, auch durch eine größere Flexibilität und Transformierbarkeit der Systemelemente.

Mit dieser begrifflichen Konkretisierung bedingt das Entwicklungsziel einer klimaresilienten Stadt die Einbeziehung einer Vielzahl von Handlungsfeldern, die Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen und eine koordinierte Bearbeitung in der Zielverfolgung. Die Analyse der sich abzeichnenden Klimarisiken in den einzelnen Handlungsfeldern weisen auf einen hohen Bedarf umfangreicher Maßnahmen der Klimaanpassung. Die wesentlichen Klimarisiken im Kontext der Studie beziehen sich auf zwei zeitliche Skalen. Ereignisbezogen betrifft dies die Zunahme von Starkregen, Hochwasser, Sturm, Hagel, Hitze und Dürre in Intensität und Häufigkeit („extreme Wetterereignisse“). Der Anstieg des Meeresspiegels, das Abschmelzen der Gletscher, die Abnahme von Schneefällen im Winterniederschlag sowie mögliche periodische Veränderungen des Jahresniederschlags und Verschiebungen in der jahreszeitlichen Verteilung stellen (mögliche) Langzeitfolgen des Klimawandels dar.

7.2 Kommunale Handlungsfelder der Klimaanpassung

Angesichts dieser Klimarisiken erscheint es konsequent, dass die Bundesregierung ein Klimaanpassungsgesetz auf den Weg gebracht hat (KANg 2023). Es zeichnet sich ab, dass den Kommunen eine Mitwirkung in erheblichem Umfang abverlangt wird mit zusätzlichen Aufgaben der kommunalen Daseinsvorsorge. Dabei stellen Stadt- und Siedlungsentwicklung, Raumplanung, Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Energiewirtschaft und Gebäude die zentralen Handlungsfelder dar.

Naturgemäß kommt den planerischen Entscheidungen zur Raum-, Stadt- und Siedlungsentwicklung als Weichenstellung im Sinne der Klimaanpassung eine besondere Bedeutung zu. Dies betrifft auch die möglichst frühzeitige Einbeziehung wasserwirtschaftlicher Erfordernisse der Klimaanpassung und der Belange des Hitzeschutzes. Planerische Elemente sind die Verstärkung von Frischluftschneisen, die Schaffung von Klimainseln innerhalb der Bebauung sowie verbindliche Vorgaben zur Anordnung und Gestaltung von Gebäuden zur Generierung von Kühlungseffekten im Bebauungsplan.

Darauf aufbauend muss die Architektur den Handlungsbedarf bei der Anpassung von Gebäuden an zunehmende Hitzeperioden aufgreifen. Die risikobewusste Ausrichtung von Schlaf- und Wohnräumen, eine abgestimmte Auswahl von Baumaterialien sowie Begrünung von Dächern und Fassaden, auch zur Verstärkung von Verschattungseffekten, erscheinen als zielführende Ansätze.

Die Infrastruktur der Energiewirtschaft, kommunal und überregional, bedarf ebenfalls gezielter Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der Klimarisiken. Extreme Stürme und Starkregen können Überlandleitungen, Umspannwerke und Trafostationen gefährden. Beim

Ausbau der kommunalen Energieinfrastruktur muss eine möglichst hohe Systemresilienz durch Begrenzung der räumlichen Exposition der Anlagen und der Vulnerabilität gegenüber den genannten Klimarisiken sowie durch Einbau redundanter Systemkomponenten angestrebt werden. Risikomindernd wirkt die zunehmende Dezentralisierung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieformen.

Im Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur stellt die erwartete Verschärfung von Niedrigwasserphasen an schiffbaren Flüssen ein hohes Klimarisiko dar, dem mit Maßnahmen außerhalb der kommunalen Zuständigkeit zu begegnen ist. Dringender Handlungsbedarf auf kommunaler Ebene wird allerdings bei der Minderung der Überflutungsrisiken für unterirdische Verkehrsanlagen und Unterführungen gesehen. Die Zugänge zu unterirdischen Gleisanlagen und die Einfahrten von Straßentunnels und Tiefgaragen bedürfen verbesserter Schutzmaßnahmen gegen urbane Sturzfluten.

7.3 Klimaanpassung in der urbanen Wasserwirtschaft

Herausforderungen und Handlungserfordernisse der Klimaanpassung in der urbanen Wasserwirtschaft beziehen sich auf die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung, den Gewässerschutz, die Starkregenvorsorge und die Verbesserung der Wasserverfügbarkeit in den Siedlungen. Die langfristigen Faktoren des Klimawandels, Abschmelzen der Gletscher, geringere Schneefälle im Winterniederschlag und längere Vegetationsperioden sowie mögliche Veränderungen in der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung wirken sich nachteilig auf die Grundwasserneubildung und die allgemeine Wasserverfügbarkeit aus. Eine konsequente Umsetzung der gesetzlichen Verpflichtungen zum Gewässerschutz dient auch der Sicherung der natürlichen Wasservorkommen. Eine gesicherte Trinkwasserversorgung erfordert die Koordinierung der Wasserentnahmen auf regionaler Ebene, die stärkere Vernetzung der kommunalen Anlagen der Wasserversorgung und die Ausweitung von Verbund- und Fernwasserversorgung, ergänzt durch gezielte Kampagnen zur sparsamen Wassernutzung und die langfristige Ausweitung der Regenwasser- und Grauwassernutzung.

Der kommunalen Überflutungsvorsorge steht mit dem Starkregenrisikomanagement ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Verfügung, das seitens einer größeren Verbindlichkeit und einer Standardisierung methodischer Ansätze bedarf. Hier werden die großen Herausforderungen bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung von Hochwasser- und Überflutungsrisiken gesehen, sowohl bezüglich der Finanzierbarkeit der Maßnahmen als auch was Flächenbedarf, Flächenverfügbarkeit und die Akzeptanz durch die jeweils betroffene Bevölkerung betrifft. Angesichts ausgeprägter Hitze- und Trockenperioden in den Jahren 2018, 2019 und 2022 ist die Verbesserung der urbanen Wasserverfügbarkeit zu einem zentralen Anliegen geworden, dem mit einem weitgehenden Rückhalt des Regenwassers in der Bebauung, der Stärkung des Wasserhaushalts und blau-grüner Infrastruktur begegnet werden soll. Hier ergeben sich Synergieeffekte durch Koordination mit Anliegen der Stadtentwicklung zur Klimaanpassung gegen Hitzestress durch „mehr Grün und mehr Blau“ in der Stadt. Es ist Aufgabe des integralen Regenwassermanagements, die genannten Anliegen der urbanen Wasserwirtschaft mit den Belangen der Stadt- und Siedlungsentwicklung zu verknüpfen, Synergieeffekte zu heben und konträre Zielsetzungen über eine fachliche Abwägung bestmöglich aufzulösen.

Die vorstehend beschriebenen Ansätze zur Klimaanpassung sind für ausgewählte Handlungsfelder mit den maßgeblichen Klimarisiken und Stressfaktoren als Übersicht in Abschnitt 7.5 zusammengestellt.

7.4 Gemeinschaftswerk „klimaresiliente Stadt“

Die vorstehenden Ausführungen verdeutlichen die Bandbreite der Handlungsfelder und ihrer jeweiligen Klimarisiken, aber auch ihre enge Verzahnung über vielfältige Wechselwirkungen, die bei der Entwicklung von Maßnahmen der Klimaanpassung zu berücksichtigen sind. Die Erörterung der Begrifflichkeiten – Resilienz und Klimarisiko – unterstreicht gleichzeitig, dass eine Konkretisierung, was Resilienz bedeutet und wie eine Minderung der Klimarisiken zur Zielerreichung gelingt, eine fokussierte Analyse der einzelnen Handlungsfelder erfordert. Die Erkenntnisse hieraus sind dann über die Identifizierung gleichartiger und gegensätzlicher Zielsetzungen zu übergreifenden Folgerungen zusammenzuführen, Handlungserfordernisse zu formulieren und in der Gesamtschau zu formulieren.

Die sachlichen Gegebenheiten notwendiger Maßnahmen der Klimaanpassung wie auch der im Klimaanpassungsgesetz des Bundes gezogene rechtliche Rahmen weisen auf die kommunalen Gebietskörperschaften als wesentliche Handlungsebene. Für die kommunale Daseinsvorsorge resultiert mit der Klimaanpassung ein neues – oder bezogen auf die Starkregenvorsorge um ein deutlich aufgeweitetes – Aufgabenfeld. Somit werden die Kommunen einen erheblichen Anteil an dieser bedeutenden Zukunftsaufgabe zu tragen haben. Der Weg zur klimaresilienten Stadt erfordert ein Gemeinschaftswerk aller kommunalen Akteure, der politisch Verantwortlichen und der verschiedenen Planungsdisziplinen.

7.5 Übersicht Handlungsfelder – Klimarisiken – Klimaanpassung

Handlungsfeld	Klimarisiken & Stressfaktoren	Zielführende Maßnahmen der Klimaanpassung
1. Stadt- und Siedlungsentwicklung	zunehmende Hitzebelastung	Netz an Grün- und Freiflächen, quartierbezogene Grünanlagen als „Klimakomfortinseln“; Berücksichtigung Frischluftschneisen und Verschattung bei Bauleitplanung;
	anhaltende Dürreperioden	Trockenheitsresistente Vegetation, Brauchwasser zur Bewässerung, blau-grüne Infrastruktur, Regenwasserrückhalt, Verbesserung Wasserhaushalt;
	Zunahme von Starkregen	Belange Überflutungsvorsorge in Bauleitplanung integrieren; Reduzierung Exposition und Schadenspotenzial der Bebauung;
2. Gebäude	zunehmende Hitzebelastung	Auswahl von Bauformen und Baumaterialien zur Erzielung von Kühleffekten; Verschattung von Gebäuden, Dach- und Fassadenbegrünung;
	Zunahme von Starkregen	Eigenverantwortung zur Überflutungsvorsorge stärken (lokaler Objektschutz, Gründach, Rückhalt von Starkregen);
3. Energiewirtschaft	anhaltende Dürreperioden	Kraftwerksverbund zur Überbrückung kritischer Situationen der Kühlwasserversorgung; Flexibilisierung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energiequellen und dezentrale Anlagen;
	Zunahme von Starkregen	Lokaler Objektschutz kritischer Energie-Infrastrukturanlagen;

4. Verkehr und Verkehrsinfrastruktur	Verschärfung Niedrigwasser	Aktionsplan Anpassung III (DAS 2020), u.a. Verbesserung Vorhersage
	Zunahme von Starkregen	Verbesserter Überflutungsschutz für Zugänge unterirdischer Gleisanlagen und Straßentunnel; Installierung von Warnsystemen an Unterführungen;
5. Urbane Wasserwirtschaft	Abschmelzen der Gletscher, Rückgang Wasserverfügbarkeit	<u>Langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung:</u> Verbesserung der Grundwassererneuerung; koordinierte Steuerung von Wasserentnahmen, stärkere Vernetzung kommunaler Anlagen der Wasserversorgung, Ausbau regionaler Verbundsysteme und Fernwasserversorgung; Schutz der Wasservorkommen durch verbesserten Gewässerschutz; Grauwater und Regenwater als Brauchwater;
	Zunahme von Starkregen	<u>Starkregenrisikomanagement:</u> Verbindliches, standardisiertes Risikomanagement; Entwicklung integraler Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten; Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur gezielten Risikominderung bei Einbeziehung von Resilienzkriterien;
	Zunahme Verdunstung zu Lasten der Versickerung durch längere Vegetationsperioden und höhere Lufttemperatur; Veränderung jahreszeitlicher Niederschlagsverteilung, anhaltende Dürreperioden	<u>Verbesserung der Wasserverfügbarkeit in Siedlungen:</u> Integrales Regenwatermanagement mit Betonung von Rückhalt und Versickerung „vor Ort“; Stärkung lokaler Waterhaushalt; blau-grüne Infrastruktur; Verzahnung mit Starkregenvorsorge, u.a. multifunktionale Rückhalteflächen, Flutmulden, Notwaterwege;

8 Literaturverzeichnis

a1) Europäische Richtlinien und Verordnungen

- EU (2020): Der Europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; COM (2019) 640 final, Brüssel 09.12.2020
- EU (2019): Ein europäischer Klimapakt. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; COM (2020) 788 final, Brüssel 11.12.2019
- EU (1991): Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (91/271/EWG), L 135/40, 30. (1991) S.91
- EU (2000): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik („Wasserrahmenrichtlinie“), Amtsblatt der EG Nr. L 327 v. 22.12.2000 (2000/60/EG), S.1-73
- EU (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken („Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie HWRM-RL“). Amtsblatt der Europäischen Union L 288/27 vom 06.11.2007
- EU (2022): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast). 2022/0345 (COD), Brussels, 26.10.2022

a2) Gesetze und Verordnungen des Bundes

- AbwV (2004): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV), Anhang 1 Häusliches und kommunales Abwasser, BGBl. I 2004, 1118-1119
- BauGB (2017): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. November 2017 (BGBl. I S. 3634, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 221)
- BMUV (2023): Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023; https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/BMUV_Wasserstrategie_bf.pdf (zuletzt besucht am 06.09.2023)
- DAS (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Die Bundesregierung, 17. Dezember 2008
- DAS (2020): Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Die Bundesregierung, 21. Oktober 2020
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung – GrwV) vom 09.10.2010 (BGBl. I S. 1513)
- KAnG (2023): Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) vom 20. Dezember 2023. BGBl. I Nr. 393, Veröffentlichungsdatum: 22.12.2023
- KlimaG BW (2023): Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg. GBl. 2023, 26 vom 07. Februar 2023
- KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12.12.2019, BGBl. I S. 2513; geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 18.08.2021, BGBl. I S. 3905
- OGewV (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20.06.2016 (BGBl. I S. 1373)
- ROG (2008): Raumordnungsgesetz (ROG) vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch ROGÄndG vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88)
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (**Wasserhaushaltsgesetz – WHG**), Ausfertigung 31.07.2009, zuletzt geändert durch Art. 1 Gesetz v. 19.6.2020 BGBl. I S. 1408

b) Technisches Regelwerk

- DWA (2006): Leitlinien der Integralen Siedlungsentwässerung (ISiE). Arbeitsblatt DWA-A 100, DWA-Regelwerk, Hennef, Ausgabe Dezember 2006
- DWA (2014): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS). Arbeitsblatt DWA-A 272, DWA-Regelwerk, Hennef, Ausgabe Juni 2014
- DWA (2016a): Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Merkblatt DWA-M 119, DWA-Regelwerk, Hennef, Ausgabe November 2016
- DWA (2016b): Hochwasserangepasstes Planen und Bauen. Merkblatt DWA-M 553, DWA-Regelwerk, Hennef, Ausgabe November 2016
- DWA (2020): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 102, A 102-1 und A 102-2, DWA-Regelwerk, Hennef, Ausgabe Dezember 2020
- DWA (2022): Audit Überflutungsvorsorge – Hochwasser und Starkregen. Merkblatt DWA-M 551, DWA-Regelwerk, Hennef, Entwurf Februar 2022 (Gelbdruck)

c) Fachliteratur

- Baier A., Krieger K., Meininger F., Döring J. (2021): Veröffentlichung von Starkregengefahrenkarten im deutschen Raum. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (68), Heft 3, März 2021
- BBSR (2018): Stresstest Stadt: Wie resilient sind unsere Städte? Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Februar 2018
- BBSR (2019): Leitfaden Starkregen – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2. Auflage April 2019
- BBSR (2022): Klimaanpassung und Normungsverfahren – Analyse bestehender bautechnischer Normen und Regelwerke für einen Anpassungsbedarf an die Folgen des Klimawandels. Endbericht, Forschungsprogramm KLIBAU, Az. 10.08.17.7-19.02
- Becker M., Pfeiffer E., Becker C.W., Hasse J.U. (2015): Wassersensible Stadtentwicklung (WSSE): Strategien, Maßnahmen und Umsetzungsbeispiele. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (8), August 2015
- Benden J. (2021): Persönliche Kommunikation, November 2021
- Benden, J.; Broesi, R; Illgen, M.; Leinweber, U.; Lennartz, G.; Scheid, C.; Schmitt, T. G. (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teile 1 bis 3, MURIEL Publikation (DBU Förderung, AZ: 32223/01)
- Bettmann T., Baumeister C., Müller C., Zimmer M., Fischer J., Schäffer M. (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und die Gewässerökologie. Präsentation zur Vorstellung Zukunftsplan Wasser Rheinland-Pfalz (Entwurf) am 22.09.2023 in Ingelheim
- BMBF (2015): Zukunftsstadt – Strategische Forschungs- und Innovationsagenda. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Februar 2015
- BMI (2021): Memorandum „Urbane Resilienz“ - Wege zur robusten, adaptiven und zukunftsfähigen Stadt. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, November 2021
- BMI (2022): Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen. Umsetzung des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015-2030)- Der Beitrag Deutschlands 2022-2030, Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI), Juli 2022

- CEDIM (2021): Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland). Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“ (21. Juli 2021), CEDIM Forensic Disaster Analysis (FDA) Group, Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (DOI: 10.5445/IR/1000135730)
- Difu (2022): Klimaanpassungs-Check für Kommunen in NRW. Deutsches Institut für Urbanistik – Difu – Köln, 2022 <https://repository.difu.de/handle/difu/583679> (zuletzt besucht: 28.11.2023)
- Dickhaut W. (2021): BlueGreenStreets. Multicodierte Strategie einer wassersensiblen und hitzeangepassten Straßenraumgestaltung, Projektvorstellung im Online-Forum DBU digital, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, 30. April 2021
- Dittmer U., Wilhelm, F., Scheid C., Rumberg M., Jaworski t., Rott e., Minke R. (2023): Blau-grüne Infrastruktur in der Stadt der Zukunft. IN: 56. Essener Tagung für Wasserwirtschaft 2023, Schriftenreihe Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, Band 256
- DKK (2020): Was wir heute übers Klima wissen – Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind. Hrsg.: Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, September 2020, https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel.pdf
- DST (2015): Starkregen und Sturzfluten in Städten – Eine Arbeitshilfe. Hrsg.: Deutscher Städtetag, 04/2015
- DStGB (2022): Hitze, Trockenheit und Starkregen – Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Dokumentation Nr. 166, Hrsg. Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB) und Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Januar 2022
- DWA (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. DWA-Themen, T1/2013, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, August 2013
- DWA (2021): Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte. DWA-Positionen, April 2021 www.dwa.de
- DWA (2023a); Positionspapier „Klimawandel und Klimaschutz – Lösungen und Handlungsoptionen aus Sicht der Wasserwirtschaft“. gemeinsames Statement von bdew, DVGW, DWA und VKU <https://de.dwa.de/de/positionspapiere-5979.html> (zuletzt besucht: 05.09.2023)
- DWA (2023b): Integrale Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten. Arbeitsbericht der DWA-AG ES-2.8, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall, Heft 10, Oktober 2023
- DWA (2023c): Allianz, gemeinsam für eine wasserbewusste Stadtentwicklung. Positionspapier <https://de.dwa.de/de/wasserbewusste-stadt.html> (zuletzt besucht: 06.12.2023)
- DWD (2023): Wetter- und Klimalexikon des Deutschen Wetterdienstes. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=733890&lv2=101334>
- Engelhardt I. (2023): Dürremanagement, integrierte Wasserbewirtschaftungskonzepte und verbesserte Wasserspeicherung in der Region Berlin-Brandenburg. In: Statusseminar zur BMBF-Fördermaßnahme Wasser-Extremereignisse (WaX), 20./21.09.2023 in Potsdam
- Fletcher T.D., Shuster, W., Hunt W.F., Ashley R., Butler D., Scott A., Trowsdale S., Baarraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J-L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., Viklander M. (2015): SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, 12:7, 525-542, DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314
- Ganser, R., Schneider, F. (2022): Starkregen-Resilienzen in der Siedlungsplanung, Auf dem Weg zu einer systematischen Integration von siedlungswasserwirtschaftlichen Belangen in die Bauleitplanung, in: RaumPlanung 218/ 5-2022

- GDV (2020): Naturgefahrenreport 2020 – Die Schadens-Chronik der deutschen Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) Berlin, September 2020
- GDV (2023): Naturgefahrenreport 2023. Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Berlin September 2023
- Gebhard A. (2023): Die autoarme Innenstadt ist der richtige Weg. Interview mit Andrea Gebhard, Präsidentin der Bundesarchitektenkammer, DIE ZEIT Nr. 42, 05. Oktober 2023
- Haufe (2023): Haufe Online Redaktion https://www.haufe.de/immobilien/wirtschaft-politik/klimaschutzgesetze-der-bundeslaender_84342_569462.html
- IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Fünfter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Genf, Schweiz.
- IPCC (2021): Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, August 2021
- IWA (2023): The IWA Principles for Water Wise Cities. 2nd Edition, International Water Association, www.iwa-network.org (zuletzt besucht: 12.10.2023)
- Jakubowski P. (2013): Resilienz – eine zusätzliche Denkfigur für gute Stadtentwicklung. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4, 2013
- Jessen J. (2018). Leitbilder der Stadtentwicklung. In: Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, Verlag der ARL Hannover
- Jüpner R., Bachmann D., Christoffels E., Disse M., Hartmann T., Kron W., Leandro J., Pohl R. (2023): Resilienz im Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement – Bericht aus der DWA-Arbeitsgruppe HW 4-7, in: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 7/2023
- Kabisch S., Rink D., Banzhaf E. (2023; Hrsg.): Die Resiliente Stadt – Konzepte, Konflikte, Lösungen. Springer Spektrum Open Access <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66916-7>
- Krieger K., Schmitt T.G. (2018): Starkregenbezogene Gefährdungs- und Risikoanalysen für Entwässerungssysteme - Erfahrungen mit der Umsetzung und Kommunikation als Beitrag zur kommunalen Überflutungsvorsorge. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (65), Heft 8 2018
- Kurth D. (2021): Urbane Resilienz – eine Herausforderung für die Stadtentwicklungspolitik. In: Memorandum „Urbane Resilienz“ (BMI 2021)
- KWB (2023): SMART WATER – Mit digitalen Tools zur klimaresilienten Stadt. Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Jahresbericht 2023
- LAWA (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Hrsg.: LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Januar 2018
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 12/2016
- LUBW (2019): Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Anhang 6 – Risikoanalyse. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 11/2019
- Müller U. (2023): Anpassungsstrategien der öffentlichen Trinkwasserversorgung an Extremereignisse (TrinkXtrem). In: Statusseminar zur BMBF-Fördermaßnahme Wasser-Extremereignisse (WaX), 20./21.09.2023 in Potsdam
- Müller U., Jüpner R. (2020): Vom Hochwasserschutz zum Hochwasserrisikomanagement. In: Hochwasser-Handbuch (Hrsg. Pratt H, Jüpner R.), Springer Verlag, 3. Auflage 2020
- MUKE (2019): Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg – Von der Starkregengefahrenkarte zum kommunalen Handlungskonzept. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 05-2019

- MUKE (2023): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Fortschreibung, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Juli 2023
- MULNV (2022): Lernen aus dem Hochwasser – 10-Punkte Arbeitsplan Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Veröffentlichung am 20.01.2022
- PIK (2023): Klimaresilienz. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung PIK <https://www.pik-potsdam.de/de/institut/abteilungen/klimaresilienz/rd2-klimaresilienz> (zuletzt besucht: 11.10.2023)
- RISA (2015): Strukturplan Regenwasser 2030. Zukunftsfähiger Umgang mit Regenwasser in Hamburg, Hrsg. Hamburger Stadtentwässerung AöR und Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg, Juni 2015
- RLP (2023): Zukunftsplan Wasser (Erster Entwurf). Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz, 11. September 2023
- Roth D. (2022): Hydrologen warnen: Deutschland trocknet aus. In: National Geographic „Umwelt“, 23. März 2022 <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/hydrologen-warnen-deutschland-trocknet-aus> (zuletzt besucht: 03.11.2023)
- Scheid C., Illgen M., Leinweber U. (2019): Kommunales Risikomanagement als Beitrag zu einer verbesserten Überflutungsresilienz. In: Siedlungswasserwirtschaft 'from K'Town to KOSMOS'. Festschrift zur Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt. Kaiserslautern, 22. Februar 2019. Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Ressourcen, TU Kaiserslautern, Band 6
- Schmitt T.G. (2011): Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen – Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz?. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (58) Nr. 1, Januar 2011
- Schmitt T.G. (2022): Starkregen und urbane Sturzfluten – Agenda 2030. Hintergründe – Risiken – Handlungserfordernisse; Studie im Auftrag des Bundesverbandes Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. (BDB) Berlin https://bauing.rptu.de/fileadmin/WIR/pdfs/Publikationen/220531_BDB-Studie2022_TGSchmitt.pdf (zuletzt besucht: 05.09.2023)
- Schüttrumpf H., Kirschbauer L. (2022): Was haben wir aus dem Hochwasser 2021 gelernt? In: Wasser und Abfall, Heft 9, September 2022
- Stäger T. (2023): Klima und Extreme. Beitrag vom 17.07.2023, ARD-Wetterkompetenzzentrum
- StMUV (2020): Wassersensible Siedlungsentwicklung. Empfehlungen für ein zukunftsfähiges und klimaangepasstes Regenwassermanagement in Bayern, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), Oktober 2020
- Tagesschau (2023): Nachrichtenportal www.tagesschau.de/2023
- UBA (2017): Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen – Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassung an den Klimawandel“ der Bundesregierung. Februar 2017 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba_2017_leitfaden_klimawirkungs_und_vulnerabilitatsanalysen.pdf (zuletzt besucht: 8.08.2023)
- UBA (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (Kurzfassung). UBA-Texte Climate Change 26/2021 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf (zuletzt besucht: 26.08.2023)

- UBA (2022): Klimarisikoplan auf kommunaler Ebene. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der ISO 14091; Umweltbundesamt und KomPass Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, Juni 2022 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2022_uba-fachbroschuere_kra_auf_kommunaler_ebene.pdf (zuletzt besucht: 28.08.2023)
- Uhl M. (2021): Europäische Städte sind keine Schwämme. Interview, Aqua & Gas Nr. 10, 2021
- Uhl M. (2023): persönliche Mitteilungen Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, FH Münster
- UMP (2021): Klimainsel Kelsterbach. Urban Media Design Project GmbH & Co. KG, Offenbach/Main, Januar 2021 <https://www.urbanmediaproject.de/news/klimainsel-kelsterbach> (zuletzt besucht am 06.10.2023)
- UNRIC (2023): Ziele für eine nachhaltige Entwicklung - Agenda 2030. UNRIC Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen: <https://unric.org/de/17ziele/> (zuletzt besucht: 12.10.2023)
- WaX (2023): BMBF-Fördermaßnahme Wasser-Extremereignisse (WaX), Statusseminar 20. und 21. September 2023 in Potsdam, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Anhang: Quellennachweis der Abbildungen und Bildrechte

Abbildungen auf der Titelseite (im Uhrzeigersinn):

- <https://www.tagesschau.de/wetter/wetterthema/klimaextreme-100.html>
- <https://pixabay.com/photos/climate-change-thermometer-3836835/>
- <https://pixabay.com/photos/dryness-drought-cracks-dry-3618653/>
- eigene Aufnahme
- Dr.-Ing. J. Benden, MUST Köln (Benden 2021)

Abb. 1: eigene Collage, ausgewählte Schlagzeilen aus tagesschau.de/2023

Abb. 4: aus DKK 2020; Copyright: Anstieg globale Mitteltemperatur (C) NASA GISS

Abb. 5: Häufigkeitsverteilung Wetterextreme. Hessischer Rundfunk Anstalt des öffentlichen Rechts, Bertramstraße 8 60320 Frankfurt (Staeger 2023)

Abb. 7: Dr.-Ing. Ch. Scheid, aus Scheid et al. (2019)

Abb. 8: Prof. Dr.-Ing. W. Dickhaut (HCU), bgmr Berlin, BMBF-Forschungsprojekt BlueGreenStreets (Dickhaut 2021)

Abb. 9: Dr.-Ing. J. Benden, MUST Köln (Benden 2021)

Abb. 11: Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, FH Münster (Uhl 2023)

Abb. 14: Niedrigwassersituation am Rhein 2018 (<https://pixabay.com/photos/rhine-low-water-drought-3876012/>)

Abb. 15: aus GDV (2020)

Die hier nicht aufgeführten Abbildungen entstammen eigenen Aufnahmen und Darstellungen.