

Konzeption einer Entscheidungshilfe für resiliente Wasserwirtschaft und effektive Klimaanpassung

Diana Spurzem, Sophie Charlotte Kuhlmann, Sascha Henninger, Dörte Ziegler

(Diana Spurzem, Hochschule Koblenz, spurzem@hs-koblenz.de)
(Sophie Charlotte Kuhlmann, Hochschule Koblenz, kuhlmann@hs-koblenz.de)
(Prof. Dr. Sascha Henninger, RPTU Kaiserslautern, sascha.henninger@ru.rptu.de)
(Prof. Dr. Dörte Ziegler, Hochschule Koblenz, ziegler@hs-koblenz.de)

1 ABSTRACT

Die Wasserwirtschaft wird durch den Klimawandel besonders herausgefordert, da Anzahl und Intensität von (Sturz-)Fluten und Dürren zunehmen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen durch Klimaanpassung erfordert komplexe und interdisziplinäre Ansätze, die mit unsicheren Prognosen einhergehen. In den derzeitigen Planungsprozessen sind notwendige Betroffenheits- und Wirksamkeitsanalysen noch nicht vollständig etabliert. Entscheidungen werden häufig von externem Fachwissen geleitet, ohne dass eine individuelle Analyse erfolgt. Dies schränkt die Umsetzung von wirksamen Klimaanpassungsmaßnahmen und damit die Resilienz der Wasserwirtschaft im Hinblick auf Hochwasser und Dürren ein.

Dieses Forschungsvorhaben befasst sich mit der Frage, wie Maßnahmen im Hinblick auf die Resilienz der Wasserwirtschaft und die Klimaanpassung gleichzeitig und niederschwellig ausgewählt werden können. Es wird untersucht, wie Kommunen mit diesen Herausforderungen umgehen, und welche Maßnahmen dazu beitragen, die Vulnerabilität für den Klimawandel zu verringern und die Resilienz der Wasserwirtschaft zu erhöhen. Um Kommunen bei der Verbesserung der Resilienz und der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen, wird eine Entscheidungshilfe vorgeschlagen, welche die betroffenenorientierte und standortgerechte Entscheidungsfindung fördert. Ein Pilotprojekt zur Umsetzung von Baumrigolen in der Stadt Koblenz (Rheinland-Pfalz, Deutschland) dient – mit einem Vergleich zu anderen Kommunen – als Erfahrungsgrundlage.

Klimaanpassung und Klimaresilienz in der Wasserwirtschaft stellen, im Hinblick auf die sich schnell verändernden Bedingungen aufgrund der Komplexität und Unsicherheiten des Klimawandels, große Herausforderungen für Entscheidungsträger dar (IPCC, 2014). Bei der Bewertung möglicher Maßnahmen müssen nicht nur Kosten oder physikalische Kriterien wie Überschwemmungsgebiete berücksichtigt werden, sondern auch Kriterien der Verwundbarkeit, die sowohl wirtschaftliche als auch soziale Situationen der Betroffenen berücksichtigen. Solche interdisziplinären Kriterien werden in die vorgeschlagene Entscheidungshilfe integriert.

Die Stadt Koblenz führt derzeit ein innovatives blau-grünes Infrastrukturprojekt durch. Durch die Installation von Baumrigolen und die Entsiegelung von Flächen soll die Widerstandsfähigkeit der Stadt hinsichtlich des Klimawandels verbessert werden, indem das städtische Mikroklima verbessert, Hitzestress reduziert und die Auswirkungen von Starkregen gemildert werden. Bei der Umsetzung sind verschiedene Herausforderungen zu bewältigen, z. B. interdisziplinäre Planungsprozesse, fehlende Bodendaten oder Platzmangel. Als Pilotprojekt beruhte die Auswahl der Maßnahmen (Baumrigolen, Entsiegelung von Flächen usw.) eher auf Expertenwissen als auf einer eingehenden Bewertung der Wirksamkeit und Eignung. Zu letzteren drei Aspekten werden Informationen während und nach der Umsetzung ergänzend gesammelt und bewertet.

Anhand der gewonnenen Informationen aus Koblenz und anderen Städten werden geeignete Maßnahmen ausgewählt, die sowohl Resilienz in der Wasserwirtschaft als auch Klimaanpassung fördern (z. B. Baumrigolen). Die Analyse ist der Ausgangspunkt für einen integrierten Bewertungsrahmen. Mit diesem können die Kommunen künftige Entscheidungen und die praktische Umsetzung verbessern, um die Anfälligkeit für den Klimawandel zu verringern und die Widerstandsfähigkeit der Wasserwirtschaft zu verbessern.

Keywords: Resilienz, Unterstützung, Planung, Entscheidung, Konzept

2 EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Mit dem 2024 veröffentlichten Klimaanpassungsgesetz sowie der Deutschen Klimaanpassungsstrategie (2009) ist Klimaanpassung als Ziel definiert. Gleichzeitig nimmt die Bedeutung von Klimaresilienz im wissenschaftlichen Diskurs zu. Dadurch entsteht Handlungsdruck für Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger in Kommunen. Dabei sind die übergeordneten Konzepte schwer greifbar und die

Messbarkeit für Kommunen begrenzt. Dies überträgt sich auf die Umsetzungskonzepte auf kommunaler Ebene. Begrenzte Datenverfügbarkeit erschwert das Vorgehen. Indikatoren und Wirkungsketten, welche den Prozess erleichtern sollen, sind häufig nicht ohne Weiteres auf die eigene Kommune übertragbar. Die Hürden für eine standortgerechte Ausrichtung von Maßnahmen zur Klimaanpassung und Klimaresilienz erscheinen somit meist hoch. Dies führt häufig dazu, dass sich die Auswahl der Maßnahmen eher an zugänglichen Erfahrungswerten (von Nachbarkommunen, Planern o.ä.) oder Expertenwissen orientiert als an transparenten, datenbasierten Betroffenheits- und Wirksamkeitsanalysen.

Hier zeigt sich ein Spagat: Einerseits müssen die komplexen Zusammenhänge und Wirkungsketten berücksichtigt werden, andererseits ist eine Vereinfachung dieser Zusammenhänge notwendig, um eine praktische Umsetzung unter Berücksichtigung der Betroffenheit zu ermöglichen. Hier limitieren oftmals Aspekte wie finanzielle und personelle Ressourcen die Umsetzung von nachweislich wirksamen Klimaanpassungsmaßnahmen. Die Schwierigkeit für Kommunen liegt darin, integrierte und standortgerechte Lösungsvorschläge für die Herausforderungen der Klimaresilienz und Klimaanpassung zu identifizieren sowie in die vorhandenen Planungsprozesse integrieren zu können (Stadt Koblenz, 2025). Um die Auswahl der Maßnahmen passgenau auf die Betroffenheitsindikatoren zu übertragen, gibt es bisher keine übergreifend anerkannte Methodik.

Um dies zu erleichtern, wird ein Bewertungsrahmen entwickelt. Dabei werden messbare Indikatoren identifiziert, welche mit kommunal erfassbaren und zugänglichen Daten betrachtet werden können. Es soll so eine Entscheidungshilfe entwickelt werden, welche bei der Auswahl von geeigneten Maßnahmen anhand von Betroffenheitsindikatoren unterstützt, um die identifizierte Betroffenheit zu reduzieren. Es ist eine erste Prüfhürde zur Identifizierung und cross-checking von möglichen baulichen Maßnahmenvarianten. Kommunen sollen in einem weiteren Schritt die Bewertung dann an ihre jeweiligen Bedingungen anpassen. So soll die zielgenaue Auswahl von Maßnahmen zur Steigerung resilienter Wasserwirtschaft und Klimaanpassung verbessert werden. Außerdem werden potentielle Synergieeffekte in den Konzepten der Resilienz und Klimaanpassung sichtbar gemacht. Letztlich gilt es den größten gemeinsamen Nenner zu finden und die Verbindung von gemessenen Herausforderungen und standortgerechten Maßnahmen zu vereinfachen. Hierbei wird sich auf bauliche Maßnahmen in Bezug auf Wasser und Temperaturentwicklung konzentriert.

3 HINTERGRUND

3.1 Konzeptionelle Gemeinsamkeiten von Klimaresilienz und Klimaanpassung

Um mit möglichst wenigen Maßnahmen einen möglichst breiten Effekt zu erzielen, werden insbesondere die Gemeinsamkeiten von Klimaresilienz und Klimaanpassung betrachtet. Klimaanpassung definiert sich durch die Verminderung der Verletzlichkeit bzw. dem Erhalt und der Steigerung der Anpassungsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundeskabinett 2008). Die Vulnerabilität gegenüber Klimawirkungen bestimmt im Wesentlichen die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen. Fuchs et al. (2011) definieren das Ausmaß der Klimavulnerabilität mit den Komponenten des erwarteten Naturereignisses (Betroffenheit), der biophysikalischen Sensibilität einer Region sowie der Anpassungskapazität. Effektive Klimaanpassungsmaßnahmen führen zu einer Reduktion der Vulnerabilität (Exposition, Anfälligkeit und Bewältigung) (Birkmann et al., 2012). Ziel ist es weniger vulnerabel zu sein und damit die Anpassung der Region zu steigern.

Klimaresilienz hingegen hat kein einheitliches Verständnis in der Literatur (Fekete et al., 2014; Camacho et al., 2024; DWA T2/2024), was die „Übersetzung“ in die Praxis zusätzlich erschwert. Grundsätzlich beschreibt die Resilienz den Umgang mit disruptiven Ereignissen. Zu den drei übergeordneten Bestandteilen – Widerstandsfähigkeit, Adaptionsfähigkeit und Transformationsfähigkeit – gibt es Übereinstimmung in der Literatur. Dabei definiert Widerstandsfähigkeit die Fähigkeit, disruptiven Ereignissen standzuhalten, ohne grundlegende Identität, Struktur oder Funktion einzubüßen. Es herrscht ein enger Zusammenhang mit der Kapazität eines Systems, Belastungen zu absorbieren und sich davon zu erholen, ohne dass tiefgreifende Veränderungen notwendig sind (Walker & Salt, 2006). Die Adaptionsfähigkeit beschreibt die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umstände und Reaktion auf neue Herausforderungen, unter Aufrechterhaltung der grundlegenden Funktionsweise (Adger, 2000). Transformationsfähigkeit stellt die

Transformation als die Fähigkeit dar, bestehende Rahmenbedingungen, die möglicherweise die Resilienz einschränken, zu überwinden und radikal neue Wege zu beschreiten, die nachhaltigere und widerstandsfähigere Systeme schaffen (vgl. Pelling 2011; Folke et al. 2010). Das Kernkonzept der Resilienz ist „die Anerkennung unserer Unwissenheit; nicht die Annahme, dass zukünftige Ereignisse erwartet werden, sondern dass sie unerwartet sein werden“. (Mentges et al., 2018). So ist Resilienz mehr als die Kehrseite der Vulnerabilität, jedoch gibt es Überlappungen (Modaressi, 2013).

Was Klimaanpassung und Klimaresilienz verbindet, ist das Vorhandensein von unterschiedlichen, teils abstrakten Konzepten, die Ziele definieren, welche nur schwer greifbar sind. Sie zielen auf den Umgang mit Unsicherheit („Welches Klimaszenario wird wann Realität?“) und mehreren Gefährdungen (Hitze, Sturzfluten etc.). Vulnerabilitätsanalysen und Klimawirkungsketten bilden die Basis der Handlungsanalysen (UBA, 2017 & 2022). Weiterhin wird ein prozessuales Verständnis benötigt, da keine ad-hoc Lösungen zu definieren sind. Mit „scale-, place- und system-specific“ erläutert Keating et al. (2017) die standortspezifische Abhängigkeit von Resilienz. Das Vorkommen von zahlreichen Indikatoren (z. B. City Resilience Water Approache by Saika et al., 2021 oder Baseline Resilience Indicators for community (BRIC) by Cutter et al., 2010) als teilweise normative Grundlage ist vor dem Hintergrund der damit notwendigen komplexen Datensammlungen und Analysen lokal schwer umzusetzen. Somit stellen sie auf dem Weg zur standortgerechten und zielgerechten Umsetzung für kommunale Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger eine enorme Herausforderung dar.

3.2 Kommunale Planungsprozesse hin zu klimaresilienter Wasserwirtschaft und Klimaanpassung

Um das aktuelle Vorgehen und gegebenenfalls Defizite in kommunalen Planungsprozessen zu Klimaanpassung und klimaresilienter Wasserwirtschaft identifizieren zu können, werden zunächst die bestehenden Prozesse betrachtet.

Die Leitfäden zu kommunalen Planungsprozessen sowie die Literatur empfehlen als ersten Schritt eine Vulnerabilitäts- und/oder Betroffenheitsanalyse zu den jeweiligen Klimawirkungen.

Im Anschluss daran sollen klare Ziele mit messbaren Indikatoren formuliert werden. Dabei ist die Sachebene (d.h. die die Veränderung von Niederschlagsereignissen) stets von der Wertebene (d.h. die politische Entscheidungsebene) zu trennen und eine konsistente Struktur zu wahren (UBA, 2015). Auch soll die Analyse valide und verlässlich sein. Weiterhin sind die Betroffenen und Beteiligten möglichst in einem partizipativen Prozess zu berücksichtigen (UBA, 2015 & 2017 & 2022). Darauf aufbauend sollen dann passgenaue Maßnahmen identifiziert und umgesetzt werden.

In der Praxis ist es für kommunale Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger unter Berücksichtigung der vorhandenen personellen und sonstigen Ressourcen eine Herausforderung die Analysen durchzuführen, unter anderem da die Datenverfügbarkeit und -zugänglichkeit oftmals schwierig ist (Scharte et al., 2016). Gleichzeitig stehen die Kommunen unter einem enormen Handlungsdruck.

Eine grundsätzliche Herausforderung stellt auch die Greifbarkeit und Operationalisierung der Konzepte zur Klimaresilienz und Klimaanpassung dar. Folglich wird häufig auf Erfahrungswerte zurückgegriffen, welche zumeist keinen Schaden anrichten und ggf. auch wirksam in Bezug auf die Konzepte sind. Oftmals bleibt die Frage aber offen, ob es weitere, möglicherweise wirksamere Maßnahmen gegeben hätte.

3.3 Derzeitige Bewertungsschemata von Resilienz und Klimaanpassung

Klimaresilienz und Klimaanpassung stehen als übergeordnete, erstrebenswerte Ziele im Raum – teilweise mit normativem Charakter. Die Messbarkeit und Bewertung zum Erreichen der Ziele macht eine Operationalisierung notwendig. Aufbauend auf dem in der Literatur fehlenden Konsens einer Definition von Resilienz ist auch die Operationalisierung komplex (Birkmann et al., 2009). So umfasst Resilienz nicht nur bauliche Maßnahmen, sondern auch Fragen der Governance und politischen wie gesellschaftlichen Handlungsfähigkeit.

Damit stehen die Konzepte im Spannungsfeld zwischen den Herausforderungen der Messbarkeit auf der einen und der Notwendigkeit der Messbarkeit auf der anderen Seite. Um die Konzepte als Grundlage der Entscheidungsfindung nutzen zu können, ist eine Evaluierung und Messbarkeit notwendig (Bertilsson et al., 2019).

Birkmann et al. (2012) sehen das „Leitbild der umfassenden Resilienz [als] kaum hilfreich“ an (ebenda, S. 97). Resilienz bzgl. einzelner Ereignisse ist leichter messbar als langfristige schleichende Prozesse. Folglich wird eine Operationalisierung für eine Gesamtresilienz als schwer umsetzbar angesehen. Anders ausgedrückt ist die Definition generischer Indikatoren schwierig und die Erfassung dieser wiederum nochmals schwieriger (Laurien et al., 2022). Der in der Literatur prominente Ansatz von Cutter „Resilience of what? To what? For whom?“ nimmt die Grenzen der Messbarkeit des abstrakten Konzeptes der Resilienz auf und stellt Systemgrenzen und Funktionen in den Vordergrund.

Diesem Ansatz folgend stehen die einzelnen Funktionen eines Systems der Operationalisierung im Vordergrund. Diese wiederum können als Subsysteme zur Resilienz des Gesamtsystems zusammengefügt werden. Definierte Subsysteme können kritische Infrastruktur, die Ökonomie, Governance oder Lieferketten sein (Carlson, 2012). Aufgrund der Komplexität des Resilienzbegriffs gibt es Stimmen, dass die Operationalisierung lediglich eine Annäherung darstellen kann. Auch wird die externe Validierung und damit die Vergleichbarkeit erschwert (Camacho, 2024).

In der Konsequenz existieren mittlerweile viele verschiedene Bewertungsansätze zwecks Messbarkeit der Resilienz. Gemäß Sharif (2016) folgen diese überwiegend fünf Herangehensweisen:

- Bewertung anhand der Ausgangsbedingungen
- Bewertung anhand von Schwellenwerten orientiert an Programmzielen
- Bewertung anhand von Grundsätzen der ausgeprägten Resilienz
- Bewertung im Vergleich zu Gleichartigen
- Bewertung anhand von Erholungsgeschwindigkeit

Dem Ansatz Cutters folgend wird dabei thematisch meist zwischen fünf Dimensionen unterschieden (Sharif, 2016):

- Umwelt
- Soziales
- Ökonomie
- Geschaffene/bauliche Infrastruktur(-einrichtungen)
- Institutionen

Auch das Umweltbundesamt folgt dem Ansatz, dass Resilienz nicht als Gesamtheit gemessen werden kann, und definiert für Klimawirkungs- und Risikoanalysen sog. Cluster mit untergeordneten Handlungsfeldern (UBA, 2021). Die Cluster sind teilweise deckungsgleich mit den von Sharif (2016) identifizierten Dimensionen:

- Land (z. B. biologische Vielfalt, Boden, Landwirtschaft)
- Wasser (z. B. Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Fischerei)
- Infrastruktur (z. B. Bauwesen, Energiewirtschaft)
- Wirtschaft (z. B. Industrie und Gewerbe)
- Gesundheit (Menschliche Gesundheit).

Die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) (2009) ist in 13 Handlungsfelder untergeordnet, thematisch decken sie sich mit den Handlungsfeldern des Umweltbundesamts. So nehmen beim UBA untergeordnete Themen in der DAS eigene Handlungsfelder ein, wie z.B. die biologische Vielfalt, welche beim UBA dem Handlungsfeld Land zugeordnet ist.

Zahlreiche Leitfäden und Anwendungshilfen zur Anpassung an den Klimawandel sind bereits veröffentlicht. So ist das Vorgehen für Kommunen mehrfach systematisch beschrieben und ein überwiegend übereinstimmendes Verfahren (Klimawirkungs- und Betroffenheitsanalyse, Ziele formulieren, Maßnahmen identifizieren, Monitoring) beschrieben (vgl. Klimalotse).

Die Validierung einzelner Indikatoren gestaltet sich bezüglich der Datenverfügbarkeit und Methodik als schwierig (Feldmeyer et al., 2021). Zudem wird die Gewichtung kontrovers diskutiert (Camacho, 2024).

Auch soziale Aspekte sind für das System relevant, aber in derzeitigen Statistiken oft nicht oder nicht ausreichend reflektiert (Feldmeyer et al., 2021).

In Interviews mit Fachämtern einer Stadtverwaltung gewonnene Erkenntnisse bestätigen diese Beobachtungen. Die Vielzahl an vorhandenen Leitfäden und Rahmenwerken zur Klimaanpassung, die jedoch keine verbindlichen gesetzlichen Vorgaben enthalten, kann zu bürokratischen Herausforderungen führen. Insbesondere besteht Unklarheit darüber, welche Dokumente und Empfehlungen für die praktische Umsetzung bevorzugt herangezogen werden sollen. Klimaanpassung erfordert eine interdisziplinäre Herangehensweise. Die vorliegenden Leitfäden sind häufig nicht gezielt auf die spezifischen Anforderungen der für bauliche Maßnahmen zuständigen Fachämter ausgerichtet, sondern übergreifend formuliert. Dadurch werden sie vorrangig von den für Klimawandelthemen zuständigen Stellen rezipiert, während ihre Relevanz und Anwendbarkeit für die bauausführenden Fachämter begrenzt bleibt. Infolgedessen kann es zu einer gewissen Zurückhaltung oder Skepsis gegenüber der Nutzung dieser Instrumente kommen, insbesondere wenn sie nicht hinreichend auf die spezifischen lokalen Rahmenbedingungen zugeschnitten sind (Stadt Koblenz, 2025). Folglich führen generisch formulierte Leitlinien oder Rahmenwerke häufig zu Zurückhaltung in interdisziplinärer Zusammenarbeit. Eine Brücke zwischen Theorie und Praxis kann hier ein Ausgangspunkt für mögliche Umsetzungen schaffen.

Insgesamt sind Bewertungsschemata vorhanden und damit ist eine Vereinfachung der Umsetzung von Klimaanpassung und Resilienz in Kommunen angestoßen, allerdings nicht komplett. Insbesondere die integrierte und standortgerechte Auswahl von Maßnahmen und Lösungen für größere Resilienz und Klimaanpassung ist weiterhin herausfordernd.

4 VORGEHENSWEISE/METHODIK

Um eine Entscheidungshilfe für die Maßnahmenauswahl zu entwickeln, sollen Potentiale für Klimaanpassung und Klimaresilienz niederschwellig sichtbar gemacht werden. Zur Maßnahmenidentifikation wurden Kriterien aus Sicht der Anwenderinnen und Anwender identifiziert (siehe Kapitel 4.1).

Bei der Ausgestaltung der Entscheidungshilfe lag der Fokus auf den Klimastimuli Hitze und Wasserhaushalt, da diese als besonders relevante Klimawirkungen in den spezifischen Planungsbereichen in deutschen Kommunen gelten.

Um eine Übertragbarkeit in die kommunale Praxis zu erreichen, wurden die Kriterien zur verbesserten Anwendung aus Sicht der lokalen Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger ausgewählt. Darauf aufbauend wurden die Kriterien Datenverfügbarkeit, räumliche Planung auf Quartiersebene, Betroffenheitsanalyse und Wirksamkeitsanalyse sowie bauliche Maßnahmen im Bereich Hitze und Wasserhaushalt ausgewählt.

Die Herausforderung der Datenbeschaffung ist ein essenzielles Kriterium, da es Ressourcen bindet, unter zeitlicher Dringlichkeit steht, Analysefähigkeit fordert, Verfügbarkeit annimmt oder finanzielle Mittel für mögliche externe Analysen und weiteres voraussetzt. Dies ist in kommunalen Verwaltungen oftmals nicht gegeben, weshalb die Daten leicht beschaffbar sein sollten oder es eindeutig kommuniziert wird, welche möglichen externen Untersuchungen notwendig wären, um die Daten zu beschaffen bzw. zweckorientiert auszuwerten.

Räumliche Planungsverantwortung soll gegeben sein, damit Kommunen aktiv eingreifen können und die Befugnis haben entsprechende Maßnahmen umzusetzen. Als Entscheidungshilfe zur ersten Identifizierung von Maßnahmen ist dies in einem späteren Schritt stets mit einer überregionalen Betrachtung (z. B. des Einzugsgebietes) zu ergänzen.

Anhand einer Literaturrecherche mit diesen Kriterien nach oft genannten Folgen, Auswirkungen und Betroffenheiten durch Kopplung mit Vulnerabilität, wurden häufige Betroffenheiten von Kommunen identifiziert. Neben Klimaanpassungskonzepten inkl. Betroffenheitsanalysen der Städte Bielefeld, Kleve und Koblenz wurden Literaturwerke wie bestehenden Analyseinstrumente (z. B. Cutter et al., 2010, UBA, 2015 & 2017), das Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) 2023 sowie weitere einschlägige Gesetze (z. B. Wasserhaushaltsgesetz 2009) betrachtet. Ebenfalls wurde die DIN EN ISO 14091:2021 | Anpassung an den Klimawandel – Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung berücksichtigt. Weiterhin wurden Interviews mit drei Fachämtern der Stadt Koblenz durchgeführt, welche Einblicke in die Planungsprozesse,

die Begriffsverständnisse und Datenverfügbarkeit ermöglichen. Mit den entwickelten Kriterien wurden anschließend Indikatoren identifiziert.

Darauf folgte der Einbezug von Maßnahmen zur Stärkung der Klimaresilienz und Klimaanpassung, welche auf Schnittmengen aus Leitfäden des Umweltbundesamtes und der Bundesländer sowie bestehenden Forschungsvorhaben wie beispielsweise dem KURAS-Leitfaden basieren (Matzinger et al., 2017). Auch hier wurden Informationen aus Klimaanpassungskonzepten und Interviews mit der Stadt Koblenz ergänzt. Die so ausgewählten Maßnahmen sind auf bauliche Maßnahmen eingegrenzt und bedienen zudem ebenfalls die erarbeiteten Kriterien. Für die Erarbeitung der Entscheidungshilfe wurde die Wirksamkeit der Maßnahmen auf Basis der Literaturrecherche bewertet.

Um zu vermeiden, dass Handlungen von externer Expertise geleitet und Maßnahmen so möglicherweise nicht optimal ausgewählt oder umgesetzt werden, zielen die Indikatoren auf eine Ermöglichung von standortgerechter Planung ab. Dies geschieht durch die Einbindung von Betroffenheitsanalysen und Wirksamkeitskontrollen. Die Betroffenheit des Raums sowie die Wirksamkeit der Maßnahmen sollen möglichst gleichermaßen über die Indikatoren messbar sein. Dies ist eine Voraussetzung für die Auswahl der Indikatoren.

Die Maßnahmensammlung ist begrenzt auf bauliche Maßnahmen mit Hitze und Wasserhaushalt als Querschnittsthemen. Da Maßnahmen u. U. mehrere Wirkungen haben können, sind Überlappungen bzw. Mehrfachzuweisungen möglich.

INDIKATOREN IN DER KLIMARESILIENTEN WASSERWIRTSCHAFT UND DER KLIMAAANPASSUNG IM URBANEN RAUM		
	INDIKATOR (MESSBAR)	MÖGLICHE DATENQUELLE
ÜBERFLUTUNG	Wasserstand	Starkregengefahrenkarte/ Hochwassergefahrenkarte
	Fließgeschwindigkeit	Hydraulische Modellierung
	Versickerungsfähigkeit	Versickerungspotentialkarte, Bestand RRB u. Überschwemmungsfläche
	Wasserspeicher	Fassungsvermögen implementierter Speicher
HITZEBELASTUNG	Erreichbarkeit von Grün	Städtisches Geoportal, Kartenwerke
	Temperatur	Luft-, u. Oberflächentemperatur, Thermografieaufnahmen, Landesamt
	Anteil Grünfläche	Kartenwerke, Bestandsaufnahmen
	Kaltluftschneisen	Klimaanalyse, Geoportal
TROCKENHEIT	Trockenstress der Bepflanzung	Feststellbar durch Stadtbaummanager

*RRV = Rohrigolenversickerung | RBF = Retentionsbodenfilter | RRB = Regenrückhaltebecken

Eigene Darstellung | Datenquelle: Stadt Kleve (2024), Stadt Bielefeld (2019), Stadt Münster (2015)

Abbildung 1: Indikatoren der klimaresilienten Wasserwirtschaft und der Klimaanpassung mit möglichen Datenquellen

5 ERGEBNISSE/IDENTIFIZIERTE INDIKATOREN UND MAßNAHMEN

Unter Berücksichtigung der zuvor definierten Kriterien wurden neun Indikatoren identifiziert, welche sich den Klimawirkungen Überflutung, Hitzebelastung und Trockenheit zuordnen lassen. Die Indikatoren

gleichen jeweils einer Messgröße, welche in der Praxis erfassbar und somit bewertbar ist. Außerdem wird darüber die Verlässlichkeit des Rahmens sichergestellt. Dafür sind zum einen die Auswirkungen des Klimawandels wie bspw. steigende Temperaturen, zum anderen aber auch entsprechende Empfindlichkeiten einzubeziehen, die eine lokale Betroffenheit zur Folge haben. Einflussfaktoren der Empfindlichkeit können beispielsweise eine dichte Bebauung oder ein Mangel an Schattenflächen sein (Klimalotse). In Tabelle 1 sind die genannten Klimawirkungen mit zugehörigen Indikatoren und möglichen Datenquellen aufgelistet.

Im nächsten Schritt erfolgt die Erarbeitung möglicher Maßnahmenansätze für die Reduzierung der Betroffenheit, d. h. es erfolgt eine Identifikation geeigneter Maßnahmen.

Es gibt Anpassungsmaßnahmen, die unabhängig von den Unsicherheiten der zukünftigen Klimaveränderungen vorteilhaft sind. Maßnahmen, die auch dann positive Effekte haben, wenn keine oder sogar entgegengesetzte Klimaveränderungen eintreten, gelten als sogenannte „Win-Win-“ oder „No-Regret“-Ansätze. Dazu gehören beispielsweise Maßnahmen, die zugleich anderen Zielen wie dem Klimaschutz und somit auch der Kostenreduktion dienen.

Ein weiterer Ansatz besteht in Anpassungen, die durch geringe zusätzliche Investitionen realisiert werden können. Ein Beispiel hierfür ist die Installation größerer Rohrdurchmesser bei der Erneuerung eines Abwassersystems, um zukünftige Starkregenereignisse besser bewältigen zu können. Ebenso relevant sind Maßnahmen, die flexibel und reversibel gestaltet sind. Dazu zählt unter anderem der Verzicht auf Bebauung in Kaltluftschneisen, um die natürliche Belüftung eines Stadtgebietes zu erhalten. Ebenso können Maßnahmen sinnvoll sein, die eine spätere Anpassung ermöglichen, ohne dass hohe Folgekosten entstehen.

Kurz- bis mittelfristig wirksame Maßnahmen können zudem dazu beitragen, Investitionsentscheidungen hinauszuzögern und somit einen erweiterten Planungshorizont zu schaffen. Durch eine solche Strategie bleibt mehr Zeit für eine umfassende Analyse und die Entwicklung geeigneter Schutzkonzepte (Umweltbundesamt, 2022).

Anhand ausgewählter Leitfäden (insbesondere Matzinger et al., 2017; Hörnschemeyer et al., 2023) wurden die folgenden baulichen Maßnahmen mit Wirksamkeit in den Auswirkungen Hitze, Trockenheit und Wasserhaushalt ausgewählt:

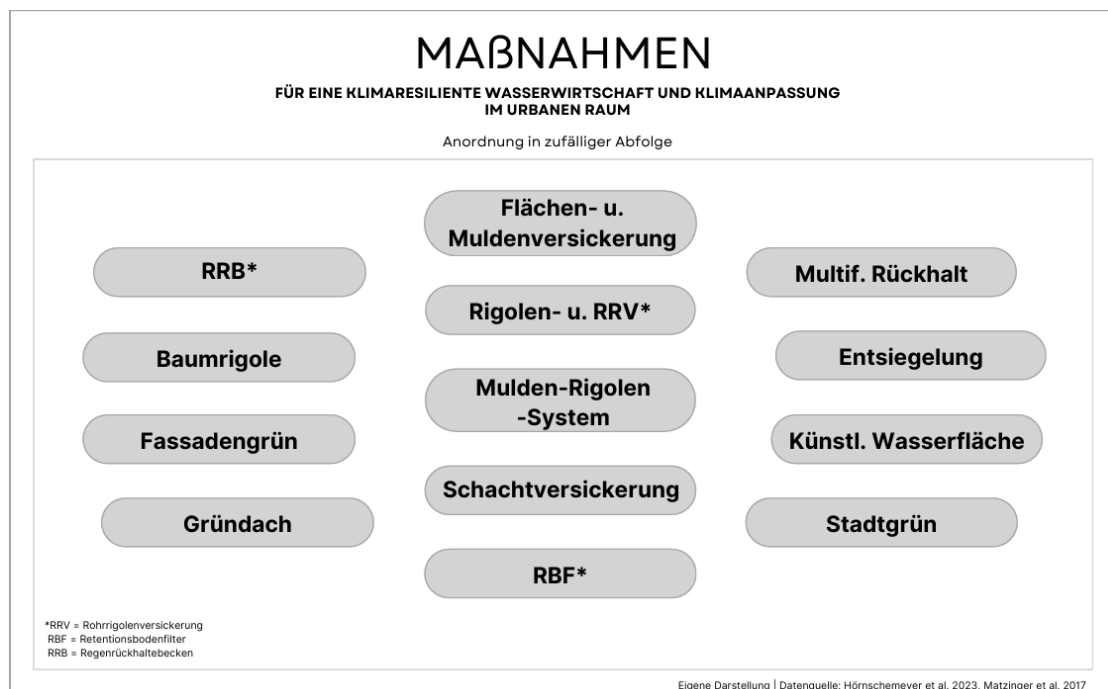


Abbildung 2: Bauliche Maßnahmen, die zu klimaresilienter Wasserwirtschaft wie zu Klimaanpassung beitragen

Die gefilterten Maßnahmen stammen fast ausschließlich aus Ansätzen der blau-grünen Infrastruktur.

Um die Maßnahmenauswahl zur Milderung der Folgen des Klimawandels und zur Stärkung der Klimaresilienz zu fördern, wird nachfolgend die Entscheidungshilfe vorgestellt.

5.1 Zuordnung der Indikatoren und Maßnahmen

In kommunalen Entscheidungsprozessen kann eine Übersicht an möglichen Maßnahmen für ihre regionale Betroffenheit einbezogen werden. Auch können Alternativen zu einer überlegten Maßnahme identifiziert werden, um neben der Wirksamkeit weitere Faktoren wie u. a. Finanzierung, Robustheit oder positive Nebeneffekte betrachten zu können. Die Zuordnung von Indikatoren und Maßnahmen erfolgt über den potentiellen positiven Beitrag zu den Indikatoren, wie er in anderen Studien festgestellt wurde (Matzinger et al., 2017; Hörschemeyer et al., 2023, DWA, 2024). Die Wirksamkeit spielt eine wegweisende Rolle, allerdings ist das priorisierte Ziel der Entscheidungshilfe, Potentiale zu identifizieren und zwar bezogen auf alle Einwirkungen (Überflutung, Hitze und Trockenheit). Da die Wirksamkeit stark von der Ausgestaltung der einzelnen Maßnahmen sowie der Randbedingungen abhängt (z. B. Substratstärke eines Gründachs, Versickerungsfähigkeit des Bodens), bedarf die Feststellung dieser einer detaillierteren Analyse. Tabelle 2 zeigt die Zuordnung von Indikatoren und Maßnahmen und lässt Wirksamkeitspotentiale erkennen. So sind mögliche Wirkungen einzelner Maßnahmen zu erkennen und potentiell geeignete Maßnahmen können gewählt werden, je nach gewünschter Wirkung.

Ein nächster möglicher Analyseschritt ist ein Katalog mit Ausschlusskriterien sowie notwendigen Randbedingungen der einzelnen Maßnahmen. So können mögliche Maßnahmen identifiziert werden, aber auch unmögliche ausgeschlossen werden.

5.2 Anwendung der Entscheidungshilfe

Die vorgestellte Entscheidungshilfe zielt auf die Vereinfachung von kommunalen Planungsprozessen. Oftmals beginnt die Entscheidungsfindung mit dem Ergebnis – mit der Identifizierung von Maßnahmen aufgrund von Förderungen, Erfahrungen aus Nachbargemeinden oder von Ingenieurbüros. Mit der hier vorgestellten Entscheidungshilfe können kommunale Entscheidungsträger eine Voranalyse treffen. Anhand der Indikatoren können sie mögliche Betroffenheiten von Gebieten in Bezug auf die Klimawirkungen Wasser und Temperatur identifizieren und im selben Schritt mögliche Maßnahmen hierzu identifizieren. Um grundlegende Informationen zu analysieren, ohne auf finanzielle oder personelle Mittel angewiesen zu sein, bringt der Entscheidungsrahmen Abhilfe, da die Wirksamkeit von Maßnahmen mit der Betroffenheit des Standorts oder des Quartiers abgeglichen wird. So kann eine Kommune örtliche und thematische Betroffenheiten der Gemeinde identifizieren und schnell feststellen, welche Maßnahmen zur Schließung der Lücke in Frage kommen. Außerdem können so mögliche Alternativen zu bekannten Maßnahmen in Erwägung gezogen werden. Dabei sind die einzelnen Maßnahmen neben der Wirksamkeit, auch in Bezug auf Flexibilität, Robustheit, Umsetzbarkeit, finanzielle Tragbarkeit, positive Nebeneffekte und Nachhaltigkeit (UBA, 2022) zu analysieren.

Durch die einfache Identifizierung von Maßnahmen anhand von wissenschaftlich belegten und zugänglichen Daten sowie der Verknüpfung mit der Betroffenheit können potentielle Maßnahmen identifiziert werden. Die abstrakten Konzepte von Klimaresilienz und Klimaanpassung bekommen somit mögliche konkrete Ausgestaltungen und berücksichtigen gleichzeitig die Interdisziplinarität. Anschließend sind diese potentiellen Maßnahmen in der weiteren Planung bzw. im weiteren Entscheidungsprozesse näher zu beleuchten. Es ist im Einzelnen zu untersuchen, wie welche Potentiale der Maßnahmen bestmöglich ausgestaltet werden können. Zu dieser Betrachtung gehört auch der Umgang mit Unsicherheiten.

6 PRAXISBEISPIEL KOBLENZ „KLIMARESILIENTE VERKEHRS- UND QUARTIERSENTWICKLUNG KOBLENZ-RAUENTAL“

In Reaktion auf extreme Wetterereignisse initiierte die Stadt Koblenz in Kooperation mit der Hochschule sowie der Universität Koblenz ein Pilotprojekt, das der Adaptation an den Klimawandel gewidmet ist. Dieses Vorhaben, gefördert im Rahmen des Programms „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR), trägt den Titel „Klimaangepasste (-resiliente), integrierte Verkehrsraum- und Quartiersentwicklung am Beispiel der Moselweißer Straße im Stadtteil Koblenz-Raumental“. Ziel ist die klimaresiliente Umgestaltung eines Teilabschnitts der Moselweißer Straße im Stadtteil Raumental, um daraus Schlussfolgerungen für zukünftige Verkehrs- und Quartiersentwicklungen abzuleiten.

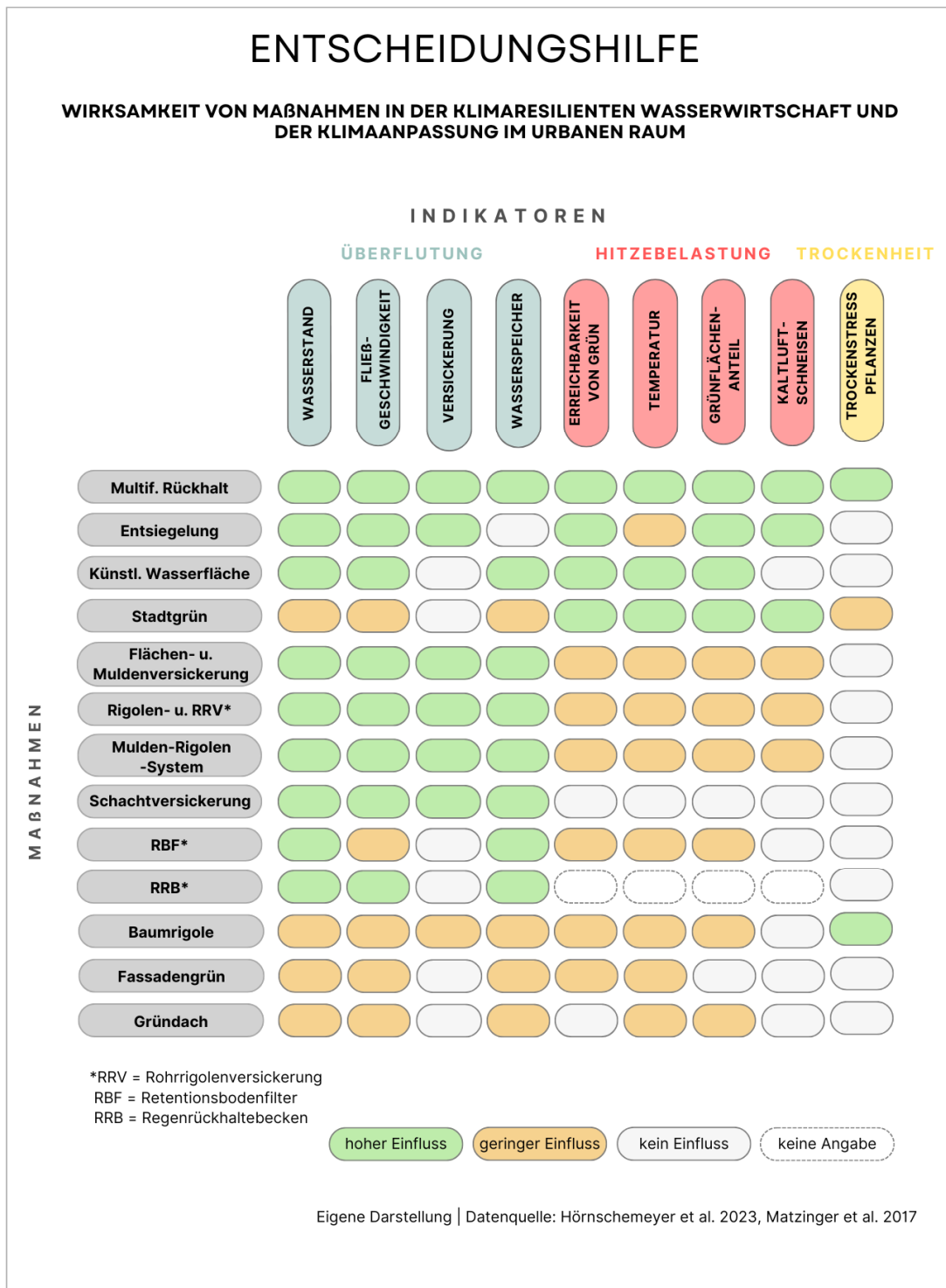


Abbildung 3: Entscheidungshilfe zur Identifizierung von Maßnahmen anhand von Indikatoren zur Wirksamkeit

Im Fokus des Projekts stehen die Installation von acht Baumrigolen im Straßenraum sowie die Teilentsiegelung eines Kirchenvorplatzes. Hier fand die Maßnahmenauswahl durch einen internen Abstimmungsprozess über mehrere Monate statt. So wurde eine Straße im innerstädtischen Überwärmungsbereich zur Begrünung mit Stadtbäumen gesucht. Das Grünflächenamt der Stadt wählte mögliche Standorte v.a. in Anbetracht mangelnder Begrünung, ausreichender Breite des Straßenraums und der Baumpflanzungen ohne Konflikte mit Leitungstrassen aus. Eine detaillierte Betroffenheitsanalyse der möglichen Standorte wurde nicht durchgeführt. Letztendlich fand eine Einigung auf die Moselweißer Straße statt. Die Entscheidung für den finalen Abschnitt ergab sich aus mehreren Faktoren: der Fokussierung auf öffentliche Flächen, dem Ausschluss gewerblicher Areale durch den Fördergeber sowie den spezifischen Gegebenheiten des ausgewählten Bereichs – einer Straße in Verbindung mit einem Kirchenvorplatz, wo sich

zudem eine Jugendbegegnungsstätte befindet. Da ein Interesse an der Erprobung verschiedener Baumrigolensysteme bestand, erfolgte die Auswahl nicht ausschließlich nach der Betroffenheit, sondern maßgeblich unter Berücksichtigung der räumlichen Gegebenheiten und der baulichen Machbarkeit.

Anhand dieses Beispielprojekts wird die Entscheidungshilfe angewandt, um festzustellen, ob die gewählten Maßnahmen in Retrospektive zum Standort passen oder ob äußere Faktoren die Auswahl dahingehend beeinflusst haben, dass die Eignung des Ortes für die geplanten Maßnahmen nicht gesichert ist. Es soll weiterhin abgeschätzt werden, ob die Anwendung Vorteile bietet wie Zeitersparnis, verbesserte Priorisierung und damit verbesserte Zielerreichung zu Klimaresilienz in der kommunalen Wasserwirtschaft/Klimaanpassung.

Dies wird erreicht, indem Maßnahmen mit Wirkungen bei den selben Indikatoren gesucht werden. So werden durch die Baumrigolen die Indikatoren „Anteil Grünfläche“, „Temperatur“, „Wasserspeicherung“ und „Erreichbarkeit kühlender Grünflächen“ begünstigt. Die Entsiegelungsmaßnahme unterstützt die Indikatoren „Anteil Grünflächen“, „Temperatur“ sowie „Versickerungsfähigkeit“. Da eine zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführte Betroffenheitsanalyse im Projektgebiet insbesondere einen aufgeheizten Straßenraum durch hohe Versiegelung, wenig Grün und fehlende Verschattung beschreibt sowie mögliche punktuelle Überflutung bei Starkregen, sind die ausgewählten Maßnahmen als geeignet einzustufen. Die Entscheidungshilfe bietet den Vorteil, dass auch mögliche Alternativen in Betracht gezogen werden können. So stellen die Maßnahmen „Flächen- und Muldenversickerung“ sowie „Rigolen- und Rohrrigolenversickerung“ mögliche alternative Maßnahmen dar mit ähnlicher Wirkung wie „Baumrigolen“ und „Entsiegelung“. Im Koblenzer Projekt war ein weiteres Ziel, neue Standortsysteme für Bäume zu testen, um mögliche Speichersysteme zu entwickeln. Diese Erkenntnis ist für die Übertragbarkeit in andere Stadtgebiete von Bedeutung, da nicht überall die Kosten für teure Baumrigolen gedeckt werden können. Durch das Aufzeigen von Alternativen können auch weitere Aspekte wie beispielsweise Umsetzungs- und Betriebskosten, Synergien oder Robustheit der Maßnahme in den Fokus genommen werden.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Entwicklung einheitlicher Rahmenbedingungen, die eine effiziente Maßnahmenauswahl für Klimaresilienz und Klimaanpassung ermöglichen, ist von großer Wichtigkeit. Trotz vieler Leitfäden und Anwendungsrahmen ist eine praktikable Übertragbarkeit noch immer eine Herausforderung. Durch den erstellten Entscheidungshilfe wurde dieser Aspekt weiter angestoßen, sodass kommunale Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger niederschwellig eine erste Betroffenheitsanalyse verknüpft mit Potentialen baulicher Maßnahmen vornehmen können. Der Rahmen bietet ein Angebot in der unerlässlichen interdisziplinären Zusammenarbeit einen gemeinsamen Nenner zu finden und datenbasiert Alternativen zu betrachten. Er ermöglicht damit eine Richtungsvorgabe auf Sachebene unabhängig von politischen oder sonstigen Rahmenbedingungen. Gleichzeitig erhöht er die anfängliche Transparenz für die Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger wie für die weiteren Beteiligten. Der Rahmen ist damit ein erster Schritt in der Planung, ohne weitere detailliertere Analysen zu ersetzen. Die Indikatoren ermöglichen gleichermaßen ein Monitoring der Wirksamkeit der Maßnahme.

Durch die Anwendung der Entscheidungshilfe am Koblenzer Projektbeispiel konnten dessen Anwendbarkeit und Vorteile aufgezeigt werden. Er zeigt mögliche Alternativen, welche eine vergleichbare potentielle Wirksamkeit hervorrufen, sodass die Betroffenheit auf Hitze und Überflutung in die Bewertung miteinbezogen werden können.

Eine zukünftige Weiterentwicklung der Entscheidungshilfe ist geplant. Die Wirksamkeit der Maßnahmen kann spezifiziert werden, sodass eine Parametrisierung nach Standort erfolgt. Weiterhin wurde begonnen, die Entscheidungshilfe um einen Ausschlusskatalog der einzelnen Maßnahmen in Bezug auf lokale Gegebenheiten zu erweitern. Ebenso sind soziale Aspekte noch stärker mit einzubeziehen, insbesondere in der Vulnerabilitätsanalyse. Für ausgewählte Kommunen sollen beispielhafte Indikatoren erfasst werden, um die Entscheidungshilfe mit konkreten Daten zu hinterlegen.

8 REFERENZEN

Batica, J.; Gourbesville, P.: Methodology for flood resilience index. In: 3rd IAHR Europe Congress, book of Proceedings. 2014.

- Buth, M.; Kahlenborn, W.; Prof. Dr. Greiving, S.; Dr. Fleischhauer, M.; Dr. Zebisch, M.; Dr. Schneiderbauer, S.; Dr. Schausser, I.: Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung. In: Umweltbundesamt (Hrsg.), 2017.
- Buth, M.; Kahlenborn, W.; Savelsberg, J.; Becker, N.; Prof. Dr. Greiving, S.; Dr. Fleischhauer, M.; Dr. Zebisch, M.; Dr. Schneiderbauer, S.; Dr. Schausser, I.: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Sektorenübergreifende Analyse des Netzwerks Vulnerabilität. Fachkonferenz am 01. Juni 2015 in Berlin. Umweltbundesamt (Hrsg.) [.pdf] Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2186/dokumente/vorbereitungspapier_konferenz_netzwerk_vulnerabilitaet.pdf (abgerufen am 09.02.2025)
- Cai, H.; Lam, Nina; Qiang, Y.; Zou, L.; Correll, R.M.; Mihunov, V.: A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. In: *International Journal of Disaster Risk Reduction* 31. 2018.
- Camacho, C.; Webb, R.T.; Bower, P.; Munford, L.: Adapting the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC) Framework for England: Development of a Community Resilience Index. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 21. 2024.
- Cutter, S.L.; Derakshshian, S.: Implementing Disaster Policy: Exploring Scale and Measurement Schemes for Disaster Resilience in: *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 20180029. 2019.
- Cutter, S.L.; Burton, C.G.; and Emrich, Christopher T.: Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. In: *Journal of Homeland Security and Emergency Management*: Vol. 7: Iss. 1, Article 51. 2010.
- DWA (Hrsg.): DWA-Themen. T2/2024. Resilienz im Hochwasser- und Starkregenmanagement. April 2024.
- Fekete, A.; Hufschmidt, G.; Kruse, S.: Benefits and Challenges of Resilience and Vulnerability for Disaster Risk Reduction In: *international Journal Disaster Risk Sciences*. 2014.
- Fuchs, s.; Kuhlicke, c.; Meyer, V.: editorial for the special issue: vulnerability to natural ha-zards. the challenge of integra-tion. in: *natural hazards* 58, 2, 609–619. 2011.
- Hörnschemeyer, B.; Kleckers, J.; Stretz, C.J.; Klemm, C.; Budde, J.; Arendt, R.; Lewe, M.; Albers, F.: Leitfaden RessourcenPlan – Teil 3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements: Maßnahmensteckbriefe. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier. Münster. FH Münster, IWARU Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt. 2023.
- Holländer, R.; Winkler, U.; Laforet, L.: Resilienz in der Wasserversorgung. Herausforderungen für die Daseinsvorsorge am Beispiel Leipzig. In: Denzel et al. (Hrsg.): *Von der Industriemetropole zur resilienten Stadt. Leipzig im regionalen und überregionalen Vergleich*. Springer. 2022.
- IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kahlenborn, W.; Porst, L.; Voß, M.; Fritsch, U.; Renner, K.; Zebisch, M.; Wolf, M.; Schönthaler, K.; Schausser, I.: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Kurzfassung. In: Umweltbundesamt (Hrsg.), *Climate Change* 26/2021.
- Keating, A.; Campbell, K.; Szoenyl, M.; McQuistan, C.; Nash, D.; Burer, M.: Development and testing of a community flood resilience measurement tool. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17, 77-101. 2017.
- Khan, M.T.I.; Anwar, S.; Sarkodie, S.A.; Yaseen, M.R.; Nadeem, A.M.; Ali, Q.: Comprehensive disaster resilience index: Pathways towards risk-informed sustainable development. In: *Journal of Cleaner Production* 366. 2022.
- Kjeldsen, T.R.; Rosbjerg, D.: Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. In: *Hydrological Sciences Journal* 49. 2004.
- Matzinger, A., et al.: Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – Ergebnisse des Projektes KURAS. 2017.
- Modaressi, Hormoz: Enhancing resilience of communities and territories facing natural and na-tech hazards. ENSURE project. Final Report. Project FP7 n°212045. 2013.
- Moghadas, M.; Asadzadeha, A.; Vafeidisb, A.; Fekete, A.; Kottera, T.: A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. In: *international Journal of disaster risk Reduction* 35. 2019.
- Saikia, P.; Beane, G.; Garriga, R.; Avella, P.; Ellis, L.; Fisher, S.; Leten, J.; Ruiz-Apilanez, I.; Shouler, M.; Ward, R.; Jimenez, A.: City water resilience framework: a governance based planning tool to enhance urban water resilience. In: *Sustainable Cities and Society* 77. 2021.
- Scharte, B.; Thoma, K.: Resilienz – Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In: Wink, R. (Hrsg.), *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung, Studien zur Resilienzforschung*. Springer, 2016.
- Sherrieb, K.; Norris, F.H.; Galea, S.: Measuring capacities for Community Resilience. In: *Soc Indic Res* 99. 2010.
- Stadt Bielefeld: Bielefeld fit für den Klimawandel – Klimaanpassungskonzept. 2019. [.pdf] Online: https://www.bielefeld.de/sites/default/files/datei/2022/Endbericht_Klimaanpassungskonzept_0.pdf [abgerufen am 15.01.2025]
- Stadt Kleve: Klimaanpassungskonzept der Stadt Kleve. 2024. [.pdf] Online: https://www.kleve.de/system/files/2024-06/Kleve_KLAK_Bericht_FINAL_Doppelseiten_240227_stark%20reduziert.pdf [abgerufen am 15.01.2025]
- Stadt Koblenz: Klimawandelangepasste Umgestaltung im Koblenzer Rauental. 2024. Online: <https://www.koblenz.de/umwelt-und-planung/klimaschutz/klimaresiliente-verkehrsraum-und-quartiersentwicklung-koblenz-rauental/> [abgerufen am 15.01.2025]
- Stadt Münster: Klimaanpassungskonzept. 2015. [.pdf] Online: https://www.stadt-muenster.de/fileadmin/user_upload/stadt-muenster/67_klima/pdf/Vision/Klimaanpassungskonzept.pdf [abgerufen am 13.01.2025]
- Umweltbundesamt: KLIMALOTSE 3.0. 2022. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5612/dokumente/klimalotse_3.0_offline_version_2022.pdf
- UN World Conference on Disaster Risk Reduction. Sendai Framework 2015-2030.
- UN World Conference on Disaster Risk Reduction Hyogo Framework 2005-2015.
- Zuniga-Teran, A.; Gerlak, Andrea K.; Mayer, B.; Evans, Tom P.; Lansley, Kevin E.: Urban resilience and green infrastructure systems: towards a multidimensional evaluation. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability* 44. 2020.