

## **Klimaresiliente Wasserbewirtschaftung in Mittelgebirgen realisieren: Operationalisierung des Konzepts, Maßnahmenauswahl und Wirksamkeitsanalyse**

Sophie Charlotte Kuhlmann<sup>1</sup>, Sascha Henninger<sup>2</sup>, Dörte Ziegler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Koblenz, Koblenz, Deutschland

<sup>2</sup> RPTU Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern, Deutschland

**Kurzfassung:** Resilienz gegenüber Klimawandelfolgen ist insbesondere in der Wasserbewirtschaftung mit wechselnden Extremereignissen (z.B. Starkregen und Dürre) als abstraktes Ziel definiert. Die Umsetzung, die in Deutschland durch Kommunen gewährleistet werden soll, stellt aufgrund definitorischer Herausforderungen und noch nicht praktikabler Operationalisierung eine Herausforderung dar. Das Resilienzkonzept und die Wechselwirkung mit Vulnerabilität wird anhand einer Literaturrecherche auf die Wasserwirtschaft und den Klimawandel hin konkretisiert.

Auf Grundlage vorhandener Bewertungsschemata und (in Kombination mit) Vulnerabilitätsanalysen werden Indikatoren für bauliche Maßnahmen erarbeitet, welche später auf zwei Fallstudiengebiete in Mittelgebirgen angewendet werden. Die Indikatoren dienen dem Monitoring der Klimaresilienz und umfassen u.a. Überschwemmungsgebiete mit Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten sowie betroffene Personen, aufgeschlüsselt u.a. nach Altersgruppen und Einkommen.

Die Wirksamkeit von Transformation zu mehr Resilienz wird über die Indikatoren bezogen auf unterschiedliche Entscheidungsprozesse in den zwei Fallstudiengebieten untersucht. Hierbei fließen sowohl Ergebnisse von Modellierungen zu Extremereignissen (Starkregen und Trockenheit) sowie mögliche Handlungsszenarien aus bisherigen Erfahrungen mit Extremereignissen ein.

**Key-Words:** Klimaresilienz, Extremereignisse, Operationalisierung, Wasserbewirtschaftung, blau-grüne Infrastruktur, wirksamkeitsorientiertes Monitoring

## 1 Bedeutung von Klimaresilienz in der Wasserbewirtschaftung

Starkregenereignisse und Dürren werden in Zukunft wahrscheinlich öfter und intensiver auftreten (IPCC, 2022). Um der Unsicherheit der Eintrittswahrscheinlichkeit der Klimawandelfolgen entgegenzutreten, ist die Klimaresilienz als weiteres Konzept neben die Klimaanpassung getreten. Während sich Klimaanpassung auf bestimmte, angenommene Ereignisse bezieht, beinhaltet Klimaresilienz den Umgang mit dem Nicht-Erwarteten. Eine Transformation zu mehr Klimaresilienz soll vornehmlich auf kommunaler Ebene geschehen (BMI, 2022; BMIBH, 2021). Offen bleibt meist jedoch die Frage, welche (baulichen) Maßnahmen in der Praxis am effektivsten dazu beitragen, um das häufig wenig konkrete Konzept der Klimaresilienz von Kommunen umzusetzen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Klimawandelfolgen ist – insbesondere auf die regionale Verteilung – nicht statistisch erfasst. Der Weltklimarat schätzt dies in seinen Assessment Reports qualitativ ab (IPCC, 2022). Während der klassische Hochwasserschutz sich noch auf Eintrittswahrscheinlichkeiten bezieht, müssen Entscheidungen zum Klimawandel mit Ungewissheit getroffen werden (Birkmann et al., 2023). Dies wurde in Europa und in Deutschland bereits durch die Hochwassermanagementrichtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) und die Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes (2009) teilweise integriert.

Grundsätzlich wird unter Resilienz der Umgang mit disruptiven Ereignissen (schleichend oder ad-hoc) verstanden und dieses Konzept der Resilienz etabliert sich zunehmend. Auch wenn es derzeit kein einheitliches Verständnis von Resilienz gibt, besteht in der Literatur Einigkeit, dass das Kernkonzept von Resilienz die Annahme mit einbezieht, *“dass zukünftige Ereignisse [...] unerwartet sein werden”* (Mentges et al., 2023). Für das vorliegende Papier werden drei Dimensionen von Resilienz unterschieden: Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und Transformationsfähigkeit. Die drei Dimensionen sind über Eigenschaften wie Flexibilität und Robustheit zu erreichen, sodass Resilienz als Eigenschaft und nicht als statischer Zustand betrachtet wird (Scharte & Thoma, 2016). Folglich sind die Konsequenzen von Klimawandelfolgen nicht ausschließlich von den Einwirkungen wie Starkregen abhängig, sondern auch von gesellschaftlichen Entwicklungen und Veränderungen sozio-ökologischer Systeme (Birkmann et al., 2023). Zum Umgang mit Klimawandelfolgen ist es unerlässlich, sich auch mit der Vulnerabilität zu befassen, die in der Klimafolgendebatte in diesem Zusammenhang ausführlich (betrachtet und) analysiert wird. Vulnerabilität bezeichnet ganz allgemein die Anfälligkeit gegenüber Störungen (IPCC, 2012). Beide Konzepte sind sich sehr nah, weisen jedoch auch Unterschiede auf. Eine anerkannte Wechselwirkung ist, dass eine kleinere Vulnerabilität zu einer größeren Resilienz führt und umgekehrt (Tappeser et al., 2017). Auch der *Hyogo Framework* der Vereinten Nationen (2005-2015) sieht Resilienzbildung als strategisches Ziel und Priorität für sich alleine und Vulnerabilitätsreduktion als eine Maßnahme unter anderen (Vetter et al., 2023). Bei

einer Operationalisierung von Resilienz ist folglich Vulnerabilität mit zu betrachten, reicht aber alleine nicht aus, da z.B. die Transformationsfähigkeit nicht ausreichend abgebildet werden.

Während im klassischen Hochwasserschutz Maßnahmen anhand des Risikos als Funktion zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit und Schaden etabliert wurden, ist dies in Bezug auf Klimawandel und Resilienz nicht mehr sinnvoll (Manyena, 2006). Resilienz bezieht neben vorhersehbaren Ereignissen auch die Unvorhersehbarkeit von Klimawandelfolgen mit ein. Auch wird die zeitliche Dimension über den Klimawandel und die Anpassungsfähigkeit erweitert. Beides bezieht sich auf zukünftig eintretende bzw. Elemente, die erst aktiviert werden müssen und derzeit noch nicht in Kraft sind, während sich Schutzmaßnahmen üblicherweise auf heute existierende bzw. berechenbare Elemente beziehen (Buth et al., 2015).

Dieses Verständnis geht über das Hochwassermanagement und das dort vorhandene zyklische Denken hinaus. Vorhersagezeiträume sind sehr viel kürzer, und die Folgenabschätzung ist noch nicht in allen Kommunen erfolgt – was das Fehlen von Starkregenkarten zeigt. Gleichzeitig werden messbare Größen für die Bemessung von Maßnahmen zur Risikoreduktion für die Entscheidungsfindung und Wirksamkeitsanalyse benötigt. Die Ungewissheit im Klimawandel wird mit der Zeit durch Forschung weiter reduziert – der Erkenntnisgewinn wird jedoch auch die Komplexität erhöhen, was wiederum Entscheidungsfindungen erschweren kann (Birkmann et al., 2023).

Im Rahmen des Forschungskollegs *Resiliente Transformationsräume - innovative Strategien für eine nachhaltige und krisenfeste Raumentwicklung in ländlich geprägten Mittelgebirgsregionen* soll das Resilienzkonzept in Bezug zur Wasserbewirtschaftung analysiert und entwickelt werden. Dazu werden bestehende Bewertungsschemata analysiert und darauf aufbauend Indikatoren für die Anwendung in der Wasserbewirtschaftung in der kommunalen Praxis entwickelt. Die Frage ist, wie sich die kommunale Wasserbewirtschaftung effizient und zielgerichtet zu einer höheren Klimaresilienz entwickeln lässt. Am Beispiel von zwei Fallstudiengebieten sollen der Stand dieser Entwicklung sowie die mögliche Weiterentwicklung des Monitorings aufgezeigt werden. Eine Operationalisierung muss folglich das Spannungsfeld zwischen Komplexität und der Notwendigkeit einer praktikablen Messbarkeit überbrücken.

## **2 Operationalisierung von Resilienz in der Wasserbewirtschaftung**

### **2.1 Vorhandene Bewertungsrahmen und -indikatoren**

In der Literatur besteht keine Einigkeit darüber, ob die Gesamtresilienz eines Systems messbar ist bzw. ob es generische Indikatoren für Resilienz gibt (Birkmann et al., 2012;

Laurien et al., 2022). Dennoch haben sich viele Indizes und Indikatoren entwickelt. Diese unterscheiden sich im Betrachtungszeitraum sowie in der Betrachtungsebene: individuell/ gemeinschaftlich sowie lokal/ regional/ national/ international. Auch der Gegenstand ist unterschiedlich. Während sich einige auf Wasserthemen und bestimmte Einwirkungen wie Hochwasser oder Sturzfluten beziehen (z.B. *Flood Resilience Index* von Batica & Gourbesville, 2014), verfolgen andere den Ansatz einer Gesamtresilienz eines Systems wie bspw. einer Kommune (z.B. *Baseline Resilience Indicators for Communities* von Cutter et al., 2010). Die Erfassung ist ebenfalls heterogen: partizipativ mit Gemeinden oder über Expert\*innen-Interviews bis hin zur Eigenauskunft politischer Entscheidungsträger\*innen. Viele der Bewertungsschemata haben ihren Ursprung im Feld der *Disaster Risk Reduction* bzw. im *Disaster Risk Management* und werden analog in der Resilienzforschung angewendet.

Cutter et al. (2019) verfolgt den Ansatz, Systemgrenzen und Funktionen in den Vordergrund zu stellen – d.h. zu fragen „*Resilience of what? To what? For whom?*“. Subsysteme oder Systemgrenzen können kritische Infrastruktur, Ökonomie, Governance und Lieferketten oder auch Umwelt, Soziales und Institutionen sein (Carlson et al., 2012; Sharifi, 2016). Auch das Umweltbundesamt (2021) und die Deutsche Anpassungsstrategie (van Rùth et al., 2023) betrachten unterschiedliche Handlungsfelder bei der Betrachtung von Resilienz – z.B. Umwelt, Ökonomie, geschaffene/ bauliche Infrastruktur(-einrichtungen) und Institutionen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Resilienz mehr ist als die Summe der Subsysteme. Bei einer gebündelten Betrachtung kann es zu Unter- oder Überschätzen der Gesamtresilienz kommen. Dies ist u.a. auf Datenlücken und nicht abschließend erforschte/ definierte Beziehungen zurückzuführen (Carlson et al., 2012; Shin et al., 2018). Gleichzeitig wird eine potentielle Gewichtung von Faktoren diskutiert. Einerseits wird Gewichtung als „*most subjective index construction decision*“ (Aroca-Jiménes, 2023) angesehen und andererseits wird wenig Evidenz für die Annahme eines „*equal weighting*“ gesehen (Camacho et al., 2024). Held (2023) sieht in der Entscheidung zur Gewichtung von Bewertungsindikatoren einen stark normativen Charakter, sodass diese Verantwortung nicht bei der Wissenschaft, sondern bei Politik und Verwaltung gesehen wird. Wissenschaft generiert über zusätzliches Wissen bzgl. Wirksamkeiten etc. die Grundlagen für die Entscheidung. Vulnerabilitätsanalysen hingegen sind bereits homogener als Bewertungsansätze für Resilienz, wenn auch soziale Aspekte (wie z.B. Alter, Mobilität) noch nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt sind (Feldmeyer et al., 2021).

## 2.2 Auswahl von Indikatoren

Die Messbarkeit von Resilienz stellt also eine wesentliche Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis bzw. zur Implementierung von Resilienz dar (Cai et al., 2018). Dem Ansatz von Cutter et al. (2017) folgend werden im vorliegenden Vorhaben Systemgrenzen festgelegt. Insgesamt wurden 24 bestehende Bewertungsschemata mittels einer Stichwortanalyse über Literaturdatenbanken auf Indikatoren untersucht,

und dabei der Fokus in Siedlungsgebieten der Mittelgebirgsregionen auf folgende Aspekte gelegt:

- bauliche Infrastruktur (als Abgrenzung zu *governance* und politischer Entscheidungsebene),
- Wasserhaushalt,
- Wirkungen von Starkregen und Hitzebelastung/ Dürre.

Vollmer und Birkmann (2012) haben Anforderungen an die Auswahl von Indikatoren bzgl. Klimaanpassung formuliert, welche auch auf die Klimaresilienz übertragbar sind:

- schlüssiger Wirkungszusammenhang,
- Verständlichkeit,
- Berücksichtigung der vorliegenden Datenbasis,
- Regelmäßigkeit in zeitlicher Erhebung,
- überschaubarer Umfang und
- möglichst wenige Überschneidungen.

In der Praxis ist die Datenverfügbarkeit häufig ein weiterer limitierender Faktor, sodass diese ebenfalls einbezogen wurde. Die in der Vulnerabilitätsforschung am häufigsten verwendeten Indikatoren beziehen sich auf Personen und beinhalten Einkommen, Arbeitsverhältnis, Bildung, Alter und bisherige Erfahrung mit Extremereignissen (Cai et al., 2018). Hierbei ist jedoch hervorzuheben, dass es bzgl. der sozialen Dimension des Klimawandels noch erheblichen Forschungsbedarf gibt.

In den bestehenden Bewertungsschemata wurden darauf aufbauend folgende Indikatoren bzgl. Resilienz und Vulnerabilität identifiziert. Die Zuordnung der Indikatoren zu den Dimensionen (Resilienz in grün und Vulnerabilität in gelb; s. Abb. 1) ist nicht ausschließlich zu verstehen. Ein Indikator kann überwiegend zu einer Dimension beitragen und weiterhin zu anderen.

Die bisherige Erfahrung mit Hitze und Starkregen ist weniger ein Indikator als ein Bewertungsfaktor, der bei der Bewertung von Transformationsfähigkeit beitragen kann.

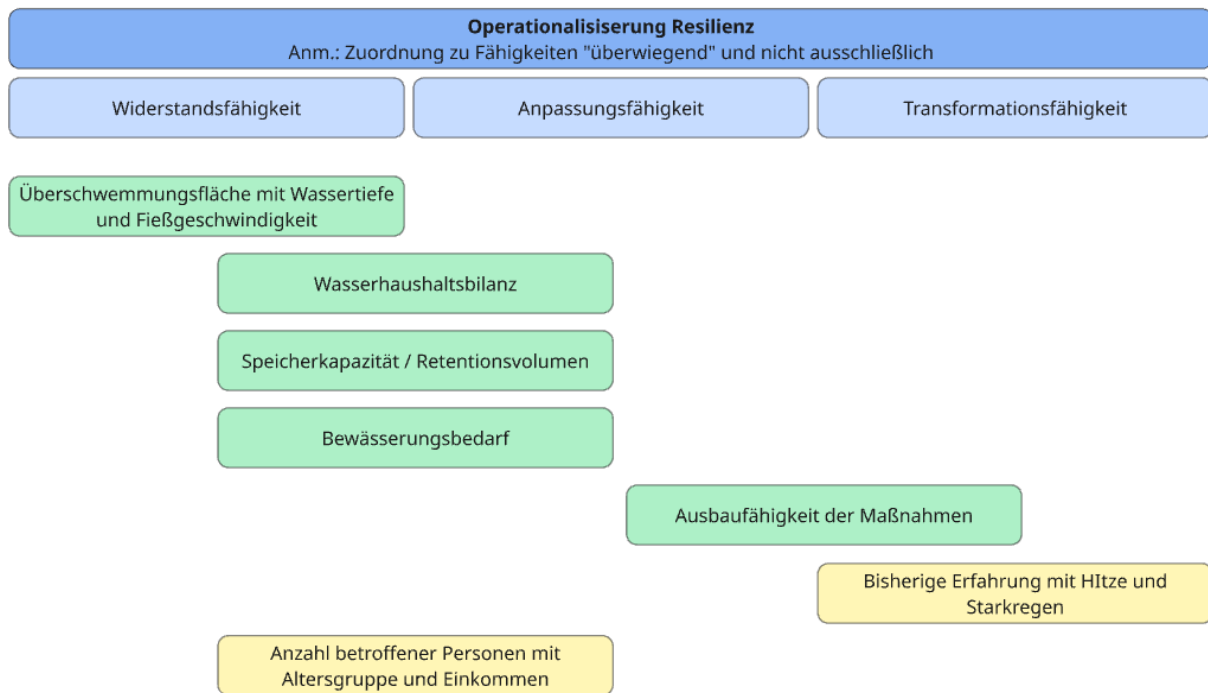


Abbildung 1: Zuordnung Indikatoren und Bewertungsfaktoren zu Resilienzdimensionen.

### 2.3 Zielvorgaben der Indikatoren und deren Messung

Zielvorgaben sind in politischen Dokumenten überwiegend vage formuliert, wie z.B. in der *Water Resilience Strategy* der EU Kommission, die drei wesentliche Ziele vorsieht (ebenda, 2025):

- Wiederherstellung und Schutz des Wasserkreislaufs,
- Aufbau einer wassersensiblen Wirtschaft inkl. Bürger\*innen und ökonomischen Akteur\*innen und
- Sicherstellung von sauberem und erschwinglichem Wasser sowie sanitären Einrichtungen für alle zu jeder Zeit, Befähigung der Bürger\*innen zur Wasserresilienz.

Als konkrete Ziele werden ein Wasserfußabdruck für Produkte und vermehrter Austausch zu Schwammregionen formuliert.

Die *Sustainable Development Goals* der Vereinten Nationen nennen in den Zielen 11 und 13 zwar teilweise quantifizierbare Indikatoren zu Katastrophen- (*Disaster-Resilienz*) (z.B. Anzahl von Toten, Vermissten und direkten Betroffenen pro 100.000 Einwohner), es fehlt aber eine Zielangabe.

Auf Landesebene führt der *Zukunftsplan Wasser* in Rheinland-Pfalz bspw. etwas konkreter aus, dass die Regenerierung und Stabilisierung des Wasserkreislaufs auf

den naturnahen Wasserkreislauf bezogen wird - auch hier stehen der Mensch und seine geschaffene Umwelt als Schutzgüter im Zentrum.

Die Zielvorstellungen, die für Kommunen auf dem Weg zur Klimaresilienz in der Wasserbewirtschaftung relevant sind, werden aufbauend auf den genannten Quellen in Tabelle 1 wie folgt abgeleitet:

Tabelle 1: Klimaresiliente Wasserbewirtschaftung auf kommunaler Ebene: Übersicht Indikatoren, Zielvorgaben und Messung.

Lfd. Nr.	Indikator	Zielvorgabe	Messung
1	Wasserhaushaltsbilanz	Annäherung an den naturnahen Wasserhaushalt	Vergleich Anteil der Komponenten
2	Überschwemmungsfläche mit Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit	Möglichst keine bis geringe Überflutungsfläche; für Überflutungsflächen möglichst keine bis geringe Überschneidung mit Zeile 3	Modellierung (z.B. scenarify oder NASIM)
3	Anzahl betroffene Personen unterteilt in/ nach <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altersgruppe</li> <li>- bisherige Erfahrung mit Hitze und Starkregen</li> <li>- ökonomische Faktoren (Einkommen)</li> </ul>	Geringe bis keine betroffenen Personen	Modellierung und Verschneidung mit Datenerhebung der Kommunen

Die zeitliche Dimension der Anpassungs- und Transformationsfähigkeit wird dabei auch über qualitative Interviews erfasst. Mithilfe semi-strukturierter Interviews wird analysiert, welche Erfahrung mit Starkregen und Trockenheit bisher u.U. zu Anpassungen geführt hat, wie Unvorhersehbares einbezogen wird sowie welchen Einfluss die Ergebnisse der Wirksamkeitsbetrachtungen auf Entscheidungsfindungsprozesse haben können bzw. werden.

### 3 Fazit und Ausblick

Das Resilienzkonzept wurde für die Wasserwirtschaft und die Folgen des Klimawandels analysiert und konkretisiert. Für die Anwendung auf kommunaler Ebene

wurde das Konzept mit Indikatoren und Zielvorgaben operationalisiert. Der bisherige Stand der Arbeit wird im nächsten Schritt mit der Anwendung der Indikatoren auf zwei Fallstudiengebiete in Mittelgebirgen fortgeführt. In beiden Gebieten gibt es bereits Erfahrung mit Starkregenereignissen und beide Gebiete erfahren bereits einen durchschnittlichen Temperaturanstieg von ca. 1,5 °C, sodass Klimawandelfolgen bereits spürbar sind. Ebenso liegen bereits erste Konzepte vor, wie diesen zu begegnen ist (z.B. Klimaanpassungskonzepte und Starkregenvorsorgekonzepte). Außerdem verfügen beide Gebiete über in Mittelgebirgen typische topographische Randbedingungen und ähneln sich in den Parametern Größe der Einzugsgebiete und Siedlungsstruktur sowie Flächennutzung. Beide stehen vor der Herausforderung mit den Extremen des Wasserhaushalts im Zuge des Klimawandels umzugehen.

Bauliche Maßnahmen der blau-grünen Infrastruktur werden von bzw. mit den entsprechenden Verbandsgemeinden ausgewählt und auf ihre Wirksamkeit anhand der Kriterien analysiert. Ebenso wird untersucht, welchen Einfluss die Kenntnis der Wirksamkeit auf die Entscheidungsfindung in den Gemeinden hat, um den Einfluss von standortspezifischem Erkenntnisgewinn auf die Transformation zu untersuchen.

## 4 Literatur

- Aroca-Jiménez E., Bodeque J.M., García J. (2023). An Integrated multidimensional resilience index for urban areas prone to flash floods: Development and validation. In: Science of the total environment 894.
- Batica, J.; Gourbesville, P.: Methodology for flood resilience index. In: 3rd IAHR Europe Congress, book of Proceedings. 2014.
- Birkmann J., Bouwer L.M., Greiving S., Serdeczny O.M. (2023). Die Bewertung von Gefahren, Expositionen, Verwundbarkeiten und Risiken. In: Brasseur, G.P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2. Auflage. Springer Spektrum.
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMIBH) (Hrsg.) (2021). Memorandum Urbane Resilienz – Wege zur robusten, adaptiven und zukunftsfähigen Stadt. [PDF] Online: [https://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/NSPWeb/SharedDocs/Blogeintraege/DE/memorandum\\_urbane\\_resilienz.html](https://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/NSPWeb/SharedDocs/Blogeintraege/DE/memorandum_urbane_resilienz.html) (abgerufen am 24.02.2025)
- Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI) (2022). Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen. [PDF] Online: [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Sendai-Katrima/deutsche-strategie-resilienz-lang\\_download.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Sendai-Katrima/deutsche-strategie-resilienz-lang_download.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (abgerufen am 24.02.2025)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009). Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie. [PDF] Online:



[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/broschuere\\_dem\\_klimawandel\\_begegnen\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/broschuere_dem_klimawandel_begegnen_bf.pdf) (abgerufen am 08.07.2025)

- Buth M., Kahlenborn W., Savelsberg J., Greiving Prof. S., et al. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Hrsg.: Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015.
- Cai H., Lan N., Qiang Y., Zou L., Correll R.M., Mihunov V. (2018). A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. In: International Journal of Disaster Risk Reduction 31.
- Camacho C., Webb R.T., Bower P., Munford L. (2024). 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.
- Carlson et al (2012). Resilience: Theory and Applications. Decision and Information Sciences Division. Argonne National Laboratory
- Cutter S.L., Derakshshan S. (2019). Implementing Disaster Policy: Exploring Scale and Measurement Schemes for Disaster Resilience in: Journal of Homeland Security and Emergency Management 20180029
- Cutter S.L., Burton C.G., Emrich C.T. (2010). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. In: Journal of Homeland Security and Emergency Management: Vol. 7: Iss. 1, Article 51.
- EU Water Resilience Strategy. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Water Resilience Strategy. Brussels, 04.06.2025
- Feldmeyer D., Nowak W., Jamshed A., Birkmann J. (2021). An open resilience index: Crowdsourced indicators empirically developed from natural hazard and climatic event data. In: Science of Total Environment 774.
- Held H. (2023). Entscheidungen unter Unsicherheit in komplexen Systemen. In: Brasseur, G.P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2. Auflage. Springer Spektrum.
- IPCC (2022). Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama

- (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K., Schauser I. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Kurzfassung). Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 26/2021. Juni 2021. [PDF] Online: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021\\_teilbericht\\_zusammenfassung\\_bf\\_211027\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf) (abgerufen am 08.07.2025)
- Laurien F., Martin J.G.C., Mehryar S. (2022). Climate and disaster resilience measurement: persistent gaps in multiple hazards, methods, and practicability. In: Climate Risk Management. 37.
- Manyena S.B. (2006), The concept of resilience revisited. In: Disasters, 30: 434-450.
- Mentges, Andrea; Lukas Halekotte, Moritz Schneider, Tobias Demmer, Daniel Lichte: A resilience glossary shaped by context: Reviewing resilience-related terms for critical infrastructures. In: international Journal of Disaster Risk reduction 96 (2023)
- Scharte B., Thoma K. (2016). Resilienz – Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In: Wink, R. (Hrsg.), Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung, Studien zur Resilienzforschung. Springer.
- Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. In: Ecological indicators. 69.
- Shin S. et al. (2018). A systematic review of quantitative resilience measures for water infrastructures systems. In: water, 10, 164.
- Tappeser V.; Weiss D.; Kahlenborn W. (2017). Nachhaltigkeit 2.0 – Modernisierungsansätze zum Leitbild der nachhaltigen Entwicklung. Diskurs "Vulnerabilität und Resilienz". In: Texte 91/2017. Umweltbundesamt.
- van Aalst O.D.M.K., Birkmann J., Fordham M., McGregor G., Perez R., Pulwarty R.S., Schipper E.L.F., and Sinh B.T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.
- Van Rühl P., Schönthaler K., Wolf M., Gabriel M. (2023): Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der

Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung.  
Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

Vetter A.; Eisenack K.; Kind C.; Mahrenholz P.; Naumann S.; Pechan A., Willen L. (2023) Das Politikfeld „Anpassung an den Klimawandel“ im Überblick. In: Brasseur, G.P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2. Auflage. Springer Spektrum.

Vollmer M. und Birkmann J. (2012). Indikatoren und Monitoring zur Vulnerabilität und Anpassung an den Klimawandel; In: Jörn Birkmann, Jochen Schanze, Peter Müller, Manfred Stock (Hrsg.): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung Grundlagen, Strategien, Instrumente; ARL, Hannover, S. 66 ff

**Korrespondenz an:**

Sophie Charlotte Kuhlmann  
Konrad-Zuse-Straße 1, 56075 Koblenz, Deutschland  
Telefon: +49 (0)261 9528 670  
E-Mail: [kuhlmann@hs-koblenz.de](mailto:kuhlmann@hs-koblenz.de)