



# Das Hochwasser von Mitte Juli 2021

*Jens Reinert , Elena-Maria Klopries  und  
Holger Schüttrumpf *

Im Juli 2021 kam es in Teilen Deutschlands, besonders in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, zu einer der schwersten Hochwasserkatastrophen der letzten Jahrzehnte (Junghänel et al. 2021; Bell et al. 2022). Begünstigt durch eine seltene atmosphärische Konstellation setzte sich eine Regenfront über diesen Regionen fest und brachte extreme Niederschlagsmengen. In der Folge wurden in kürzester Zeit die Flüsse zur Gefahr. Besonders betroffen waren in Deutschland die Flussgebiete der Ahr, Erft, Inde und Wupper sowie kleinere Nebenflüsse. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) und andere meteorologische Institutionen hatten bereits am 10. Juli erste Warnungen herausgegeben, die sich in den folgenden Tagen intensivierten (DWD 2021). Diese Hinweise deuteten auf ein extremes Wetterereignis hin, das die üblichen Muster von Starkregen und Überflutungen deutlich überschritt. Ein solcher Niederschlag in solch kurzer Zeit übersteigt die natürlichen und baulichen Hochwasserschutzstrukturen. Die Böden waren aufgrund eines nassen Vormonats bereits gesättigt, was den Abfluss während des Hochwasserereignisses beschleunigte. Die Wassermassen konnten kaum noch in den Boden versickern, wodurch die ohnehin großen Wassermengen direkt in die Flüsse und Bäche flossen. Diese Entwicklung führte zu einem schnellen Anstieg der Pegel in vielen Gewässern. Im Rahmen der Aufarbeitung des Ereignisses wurde an verschiedenen Messstationen ein rasantes Überschreiten definierter Warnschwellen identifiziert, was jedoch nicht flächendeckend und zeitnah an die Bevölkerung und Einsatzkräfte weitergeleitet werden konnte. In engen Tälern wie dem Ahrtal wirkte die Landschaft fast wie ein Trichter, der die Wassermassen auf engem Raum kanalisierte und dadurch die Durchflussgeschwindigkeit enorm steigerte. Dieses Zusammenspiel von starkem Oberflächenabfluss und hoher Fließgeschwindigkeit führte zu einem beispiellosen Anstieg der Wasserstände in kürzester Zeit. Die Wellenfront trieb das Wasser mit enormer Geschwindigkeit durch das Tal, was eine Evakuierung oder Vorbereitung auf das Hochwasser an vielen Stellen unmöglich machte. Zusätzlich zur Landschaftsform führte die bestehende Bebauung entlang der Flüsse zu weiteren Engpässen, die die Wassermassen verstärkten und an bestimmten Stellen katastrophale Auswirkungen hatten.

### 3.1 Chronologie der Wettervorhersage

---

Das Julihochwasser 2021 war meteorologisch betrachtet bereits Tage vor seinem Höhepunkt am 14. und 15. Juli erkennbar. Der DWD hatte frühzeitig auf die ungewöhnliche Wetterlage hingewiesen, die durch das Tiefdruckgebiet „Bernd“ verursacht wurde. Bereits am 10. Juli 2021 veröffentlichte der DWD in seiner „Wochenvorhersage Wettergefahren“ die ersten Hinweise auf ein „markantes Niederschlagsereignis“. Die meteorologischen Modelle prognostizierten dabei Dauerregen mit Starkregenphasen, die potenziell zu Überflutungen führen könnten (Junghänel et al. 2021). Das Besondere an „Bernd“ war die stationäre Lage des Tiefdruckgebiets, das durch blockierende Hochdruckzellen in seiner Bewegung stark eingeschränkt war. Dies führte dazu, dass dieselben Regionen über Tage hinweg von anhaltenden Regenfällen betroffen waren.

Am 11. Juli konkretisierte der DWD seine Warnungen und sprach von gebietsweise extremen Regenmengen von über  $100\text{ l/m}^2$  innerhalb von 24 h. Die Prognosen fokussierten sich zunehmend auf den westdeutschen Raum, insbesondere auf Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Diese Regionen wurden aufgrund der orografischen Gegebenheiten – etwa durch die Mittelgebirgszüge der Eifel und des Sauerlands – als besonders gefährdet identifiziert.

Am 12. Juli 2021 veröffentlichte der DWD eine „Vorabinformation Unwetter“, die die potenziell katastrophalen Auswirkungen der bevorstehenden Niederschläge hervorhob (DWD 2021; Reinert et al. 2023). Es wurde explizit darauf hingewiesen, dass die Mengen die Kapazitäten der Bodenaufnahme übersteigen und zu erheblichem Oberflächenabfluss führen könnten. Diese Warnungen richteten sich sowohl an die Bevölkerung als auch an Fachbehörden wie die Wasserwirtschaftsämter und Katastrophenschutzstellen. Zeitgleich erhielten Fachstellen über spezielle Systeme wie das FeWIS (Feuerwehr-Wetter-Informationssystem) und WaWIS (Wasserwirtschafts-Wetter-Informationssystem) detaillierte meteorologische Prognosen. Am Abend des 12. Juli wurden diese Warnungen weiter verschärft, um die möglichen Auswirkungen des bevorstehenden Ereignisses zu verdeutlichen.

Am 13. Juli wurden schließlich „Extreme Unwetterwarnungen“ der höchsten Stufe ausgesprochen (DWD 2021). Diese basierten auf aktualisierten Modellläufen, die Dauerregen von bis zu  $200\text{ l/m}^2$  oder mehr in besonders betroffenen Einzugsgebieten von Wupper, Erft, Rur und Ahr vorhersahen. Über den bereits beobachteten Dauerregen hinaus, der die Böden stark gesättigt hatte, wurde vor Starkregen mit Spitzenwerten gewarnt, der besonders in engen Flusstälern zu schnell ansteigenden Wasserständen führen könnte. Diese Vorhersagen wurden in den darauffolgenden Stunden mehrfach an die zuständigen Behörden weitergeleitet.

Am 14. Juli bestätigte sich die Intensität der Vorhersagen, als die Regenmengen tatsächlich in außergewöhnlicher Schwere einsetzten. In der Region fielen binnen 24 h teils über  $150\text{ l/m}^2$ . Orte wie Hagen, Köln und das Ahrtal erreichten Werte, die für Wiederkehrintervalle von mehr als 100 Jahren charakteristisch sind (Tradowsky et al. 2023). Besonders problematisch war, dass die hohe Dynamik der Ereignisse die Koordination der Warnkette erheblich beeinträchtigte. Viele Pegelstände stiegen schneller an, als es die hydrologischen Modelle prognostizieren konnten, und lokale Behörden gerieten zunehmend unter Druck, kurzfristige Entscheidungen zu treffen.

#### Hinweis für Entscheidungsprozesse

Die meteorologischen Warnungen waren aus Sicht der Vorhersagetechnik insgesamt zuverlässig, doch die Interpretation und Weiterleitung dieser Informationen zeigte Schwächen. Eine der größten Herausforderungen lag in der effektiven Kommunikation der Warnungen an die Bevölkerung. Laut einer Untersuchung gaben etwa 30 % der Betroffenen an, keine Warnung erhalten zu haben (Thieken et al. 2023). Dies weist darauf hin, dass der Übergang von meteorologischen Vorhersagen zu konkreten Handlungsanweisungen für die Bevölkerung noch erhebliche Lücken aufweist.

Das Ereignis zeigte, wie entscheidend eine enge Verzahnung zwischen meteorologischen Warnsystemen, hydrologischen Prognosen und dem Katastrophenschutz ist. Während die meteorologischen Modelle die außergewöhnliche Lage früh erkannten, war die Abstimmung zwischen den beteiligten Akteuren nicht ausreichend, um die Dramatik des Ereignisses in vollem Umfang zu antizipieren (DKKV 2024). Die Erkenntnisse aus diesem Ereignis haben grundlegende Diskussionen über Verbesserungen in der Vorhersage- und Warnkette angestoßen. Insbesondere die Verbesserung der Datenübermittlung und die Abstimmung zwischen den beteiligten Fachbehörden stehen dabei im Fokus, um zukünftig besser auf ähnliche Extremsituationen reagieren zu können.

### 3.2 Einordnung des Niederschlagsverlaufs

---

Vom 12. bis 15. Juli brachte das Tief über Teile Nordrhein-Westfalens und Rheinland-Pfalz Niederschlagsmengen, die sonst in einem gesamten Juli üblich wären – und teils sogar darüber hinausgingen. Dieses Ausmaß war das Ergebnis einer seltenen Kombination von meteorologischen und geografischen Faktoren.

Der Niederschlag intensivierte sich am 14. und 15. Juli und verursachte eine hohe Bodensättigung, wodurch das Wasser nicht mehr in den Boden versickern konnte. Das führte zu einer starken Oberflächenabflussbildung, die besonders steile und stark versiegelte Einzugsgebiete schnell überflutete. Im Ahrtal, einem der am schlimmsten betroffenen Gebieten, schwellen die Flüsse innerhalb weniger Stunden an. Die Hydrologie zeigte in diesen Regionen, dass die vorhandene Wassermenge, bedingt durch die starken Regenfälle, den natürlichen Abfluss deutlich überstieg und das Einzugsgebiet der Ahr, aber auch Nebenflüsse in anderen Regionen, mit einer beispiellosen Geschwindigkeit überflutet wurden.

Bereits am 12. Juli setzte Regen in den westlichen Landesteilen ein, zunächst punktuell und vergleichsweise moderat (Junghänel et al. 2021). Doch mit der langsamen Verlagerung des Tiefdruckkerns verstärkten sich die Niederschläge zunehmend. Am 13. Juli konzentrierte sich die Aktivität auf ein breites Band von der Eifel bis ins Ruhrgebiet. Lokale Regenschauer brachten in wenigen Stunden bis zu  $801/\text{m}^2$ . Diese ersten Spitzenwerte waren ein Vorbote dessen, was am Folgetag folgte, als das Ereignis seinen Höhepunkt erreichte. Besonders dramatisch war die Lage in der Eifel und im Ahrtal, wo die eng begrenzten Täler die Wassermassen kanalisiert und die Hochwasserdynamik erheblich verstärkten.

Die Intensität der Niederschläge war dabei nur ein Aspekt. Das Besondere an diesem Ereignis war die außergewöhnliche Dauer der Starkregenperiode. Durch die Stationarität des Tiefdruckgebiets, das sich nur langsam bewegte, wurden dieselben Regionen über mehrere Tage hinweg immer wieder von Regenfällen getroffen. Diese Kombination aus Dauerregen und intensiven Schauern führte dazu, dass die Böden bereits nach kurzer Zeit vollständig gesättigt waren und keine weiteren Wassermengen mehr aufnehmen konnten.

Das Extremereignis zeigte, wie stark außergewöhnliche Wetterlagen die hydrologischen Systeme belasten können. Der Übergang von intensiven lokalen Schauern zu flächendeckendem Dauerregen, kombiniert mit den gesättigten Böden und den spezifischen geografischen Gegebenheiten, führte zu einer Situation, die in ihrer Dynamik und ihren Auswirkungen beispiellos war.

### 3.3 Das System und die Grenzen der Hochwasservorhersage

---

Die Hochwasservorhersage und -warnung spielten eine zentrale Rolle bei der Einschätzung der Lage vor und während der Katastrophe im Juli 2021. Die Verantwortung für diese Aufgaben lag in Nordrhein-Westfalen beim Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) und in Rheinland-Pfalz beim Landesamt für Umwelt (LfU). Beide Behörden kombinierten meteorologische Vorhersagen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit hydrologischen Modellen, um die erwarteten Wasserstände in den Flüssen abzuschätzen.

In Nordrhein-Westfalen begann der Hochwasserinformationsdienst des LANUV bereits am 13. Juli 2021 mit der Veröffentlichung hydrologischer Lageberichte. Diese Be-

richte kombinierten Wettervorhersagen mit Pegelmessungen und informierten Behörden sowie die Öffentlichkeit über bevorstehende Hochwassergefahren. Der erste Bericht wies bereits auf mögliche Starkregenmengen von bis zu  $2001/\text{m}^2$  hin und warnte vor stark ansteigenden Wasserständen an Flüssen wie Rur, Erft und Sieg. In den darauffolgenden Tagen wurden insgesamt sechs weitere Lageberichte erstellt, die die Entwicklung der Wasserstände kontinuierlich dokumentierten und die Behörden in die Lage versetzten sollten, präventive Maßnahmen zu ergreifen.

In Rheinland-Pfalz erfolgte eine ähnliche Vorgehensweise. Das Landesamt für Umwelt in Mainz setzte seine Hochwasservorhersagezentrale in den Tagen vor dem Hochwasser in einen 24-Stunden-Betrieb. Von Ende Juni bis Anfang August 2021 wurden Hochwassermeldungen an insgesamt 23 Tagen verbreitet. Am 14. Juli erreichte die Warnlage für die Eifel Flüsse, darunter die Ahr, ihre höchste Stufe. Es wurden über verschiedene Kanäle wie KATWARN, NINA und „Meine Pegel“ Warnungen verschickt. Die Vorhersagen für Wasserstände, insbesondere an der Ahr, waren jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Diese resultierten aus der hohen Variabilität der Niederschlagsmengen und -orte sowie den fehlenden Pegelraten, da viele Messstationen durch das Hochwasser zerstört oder außer Betrieb gesetzt wurden.

Die Hochwasservorhersagen basierten auf komplexen hydrologischen Modellen, die kontinuierlich mit Wetterdaten aktualisiert wurden. In Rheinland-Pfalz wurde beispielsweise das LARSIM-Wasserhaushaltsmodell verwendet, das die Niederschlags- und Abflussdynamik in den Einzugsgebieten abbildet. Für die Pegel Altenahr, Kordel und Prüm zur Lay konnten durch diese Modelle frühzeitig Höchststände prognostiziert werden, jedoch nicht in der Präzision, die für eine gezielte Warnung und Evakuierung erforderlich gewesen wäre. Ein Problem war die Diskrepanz zwischen den simulierten und tatsächlich eingetretenen Wasserständen. Der Höchststand am Pegel Altenahr wurde auf über 10 m geschätzt und lag somit deutlich über den modellierten Werten von maximal 7 m.

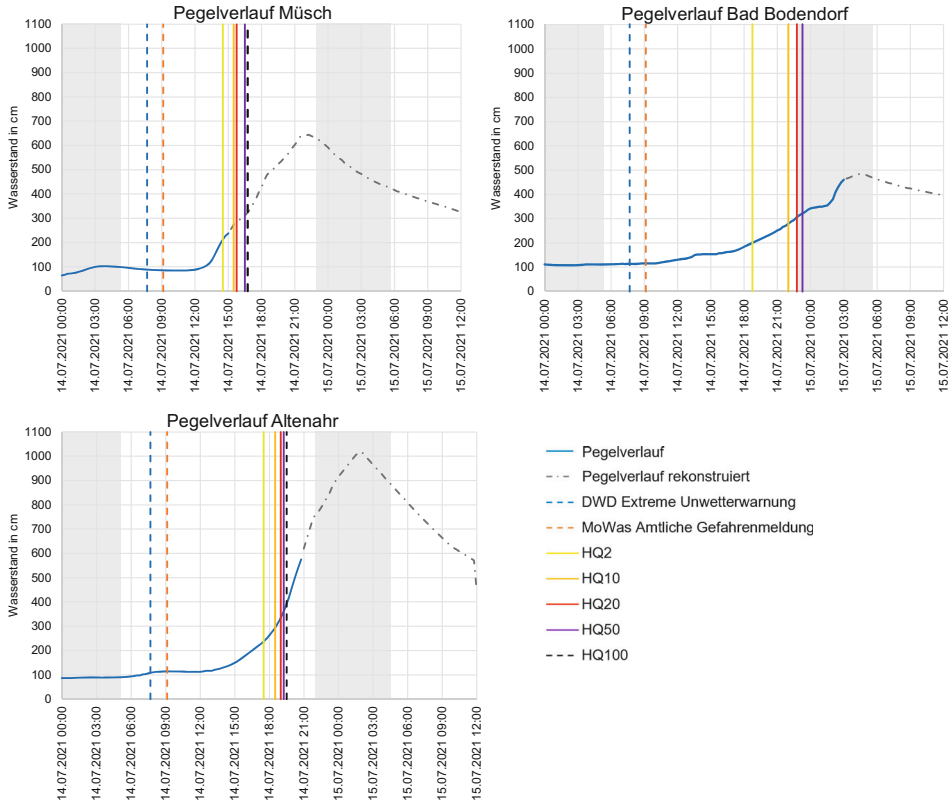
Ein weiterer Schwachpunkt war die Kommunikation der Warnungen. Obwohl viele Warnmeldungen rechtzeitig erstellt wurden, erreichten diese nicht immer die Bevölkerung oder wurden nicht korrekt interpretiert. In beiden Bundesländern wird nun an der Weiterentwicklung der Hochwasservorhersagesysteme gearbeitet, um kurzfristig frühzeitig präzisere Warnungen geben zu können. Dazu gehören unter anderem der Ausbau von Pegelmessstationen, die Verbesserung der Datenübertragung sowie die stärkere Verknüpfung von meteorologischen und hydrologischen Informationen.

Die Ereignisse haben verdeutlicht, dass die Hochwasservorhersage ein entscheidender Bestandteil des Risikomanagements ist, jedoch auch erhebliche Herausforderungen birgt, insbesondere bei Extremereignissen wie im Juli 2021 (DKKV 2024).

### 3.4 Hochwasserentstehung und -verlauf

---

Wasserstände in den betroffenen Flüssen stiegen rasant an, und vielerorts waren die Pegelmessstationen und die Hochwassermessinfrastruktur entweder unzureichend ausgestattet oder fielen durch die Überlastung aus. Die Pegelstationen, die im Normalfall bei Hochwasservorhersagen helfen, waren teilweise nicht einsatzfähig oder aufgrund der extremen Bedingungen unzugänglich (Reinert et al. 2023; DKKV 2024). Außerdem wurde festgestellt, dass einige der existierenden Pegelstationen an kritischen Flüssen und Nebenflüssen für die Warnungen im Hochwasserfall nicht genutzt wurden. Das erschwerte die Früherkennung der schnell steigenden Wasserstände. Durch die fehlende Möglich-



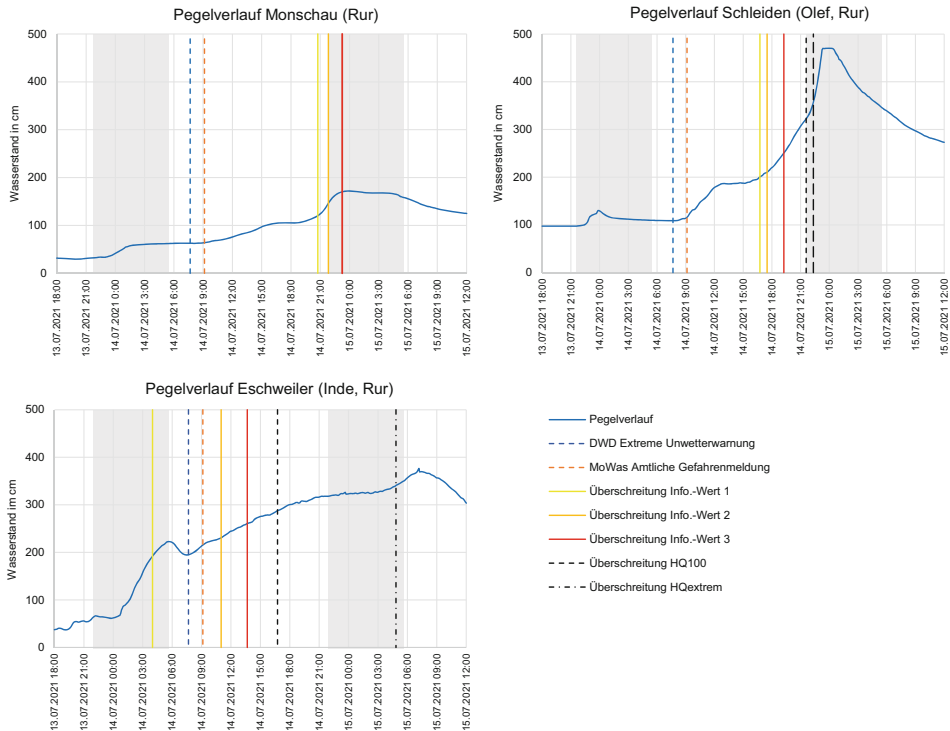
■ **Abb. 3.1** Pegelverläufe Ahr inkl. Überschreitungszeitpunkte HQ2, HQ10, HQ20, HQ50, HQ100; Nachtphase in grau dargestellt. (Eigene Darstellung; Datengrundlage: LfU Rheinland-Pfalz)

keit, die Gefahr in Echtzeit zu überwachen, verzögerte sich auch die Übermittlung der Warnungen an Einsatzkräfte und Bevölkerung erheblich.

### Hinweis für Entscheidungsprozesse

Eine große Herausforderung stellte die unzureichende Messinfrastruktur dar. In vielen kleineren Flüssen und Nebenflüssen fehlten Pegelmessstationen, was die Überwachung und Einschätzung der Lage deutlich erschwerte. Pegelmessstationen, die für die Hochwasserinformation genutzt wurden, fielen während des Hochwassers, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen, zu einem großen Teil aus oder wurden durch die Wassermassen beschädigt, wodurch die Erfassung der tatsächlichen Wasserstände erheblich beeinträchtigt war.

Hydraulisch gesehen, bewegte sich das Wasser aufgrund der steilen Hänge in bestimmten Gebieten wie der Eifel und den Randgebieten des Sauerlands mit enormer Geschwindigkeit. Die Flüsse und Bäche, die durch natürliche Engstellen oder durch menschliche Bebauung begrenzt waren, konnten die Wassermengen nicht mehr führen. Im Ahrtal etwa verwandelte sich das Flussbett in einen reißenden Strom, der auf seinem Weg Autos,



■ **Abb. 3.2** Pegelverläufe Rur (NRW) inkl. Überschreitungszeitpunkte Informationswerte 1–3, HQ100, HQextrem; Nachtphase in grau dargestellt. (Eigene Darstellung; Datengrundlage: LANUV Nordrhein-Westfalen)

Brücken, Gebäude und Straßen mitriss (Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2022). Die Hydraulik des Wassers in diesen engen Tälern führte dazu, dass die Flüsse ihre Ufer überfluteten und sich das Wasser an bestimmten Stellen enorm staute, bevor es sich mit noch größerer Kraft weiter ergoss. Diese schnellen Anstiege (vgl. ■ Abb. 3.1 und 3.2) und Fließgeschwindigkeiten waren nur schwer unter Kontrolle zu bringen und ließen vielen Anwohnern wenig bis gar keine Zeit zur Evakuierung.

### 3.5 Datengrundlage und Reaktionsfähigkeit

Während der kritischen Phase zwischen dem 12. und 15. Juli stellte der DWD ein breites Portfolio an Warnprodukten bereit. Über Kanäle wie die WarnWetter-App, das Feuerwehr-WetterInformationssystem (FeWIS) und das WasserwirtschaftsWetterInformationssystem (WaWIS) erreichten die Warnungen Millionen von Nutzerinnen und Nutzern (DWD 2021). Auch individuelle Beratungen wurden intensiviert: Über 150 individuelle Gespräche mit Katastrophenschutzeinrichtungen fanden allein durch die Außenstelle Essen statt. Diese multilaterale Kommunikationsstrategie zielte darauf ab, sowohl die Bevölkerung als auch Behörden bestmöglich auf die bevorstehende Lage vorzubereiten.

Trotz dieser Bemühungen zeigten die Ereignisse, dass die Übertragung der Warnungen von meteorologischen Gefahren in konkrete hydrologische Warnungen und Handlungsanweisungen an die Bevölkerung an vielen Stellen nicht optimal funktio-

nierte. Die Lehren aus diesen Ereignissen unterstreichen die Notwendigkeit einer noch engeren Verknüpfung meteorologischer und hydrologischer Vorhersagen sowie einer effektiveren Kommunikation entlang der gesamten Warnkette.

Das Hochwasser 2021 hat deutlich gemacht, dass die bisherigen Systeme zur Überwachung und Frühwarnung an ihre Grenzen gestoßen sind (LAWA 2022; Reinert et al. 2023; DKKV 2024). Die Niederschlags- und Wasserstandsdaten konnten die Dringlichkeit und Geschwindigkeit des Ereignisses nicht schnell genug erfassen, was zu einer erheblichen Verzögerung in der Reaktionskette führte. Die Ereignisse zeigten zudem auf, dass die bestehenden meteorologischen und hydrologischen Warnungen besser an die komplexen hydrologischen und hydraulischen Bedingungen der jeweiligen Einzugsgebiete angepasst werden müssen. Die enorme Kraft, mit der das Wasser in den engen Tälern der Eifel floss, und die schnelle Überflutung in städtischen Gebieten haben offengelegt, dass eine umfassende Überprüfung der Hochwasserschutzmaßnahmen und Warnsysteme notwendig ist, um auf zukünftige Ereignisse dieser Art besser vorbereitet zu sein.

Die meteorologischen, hydrologischen und hydraulischen Faktoren des Hochwassers 2021 verdeutlichen, dass das Ereignis über bisherige Erfahrungen hinausging und die Infrastruktur und Warnprozesse an ihre Grenzen brachte. Besonders problematisch waren Verzögerungen in der Übertragung der Warnungen. In manchen Gebieten wurden Warnungen erst in letzter Minute oder gar nicht an die Bevölkerung weitergegeben, und so standen viele Menschen dem plötzlich eintreffenden Hochwasser unvorbereitet gegenüber.

Eine eingehende Analyse der Warn- und Reaktionsprozesse erfolgte im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts HoWas2021 (Förderkennzeichen 13N16226 – 13N16231, Projektlaufzeit Dezember 2021 – Dezember 2023), welches vom BMBF gefördert wurde. Das Projekt analysierte zentrale Herausforderungen in den Bereichen Governance und Kommunikation während der Krise. Zu den Schlüsselerkenntnissen gehört die Notwendigkeit, die Warnsysteme robuster zu gestalten und hydrologische Daten in entscheidungsrelevante Informationen zu übersetzen. Diese müssen effektiv kommuniziert werden, sowohl an Entscheidungsträgerinnen und -träger als auch an die betroffene Bevölkerung. Ein weiteres Ergebnis betont die Bedeutung einer besseren Zusammenarbeit zwischen wasserwirtschaftlichen Behörden und Katastrophenschutzstrukturen, um Reaktionszeiten zu verkürzen und die Effektivität der Maßnahmen zu steigern. Das Projekt liefert zudem Handlungsempfehlungen zur Stärkung von Infrastruktur und Kommunikationswegen, um künftige Extremereignisse besser bewältigen zu können. Weitere Informationen und detaillierte Ergebnisse sind in der Schriftenreihe „Governance und Kommunikation im Krisenfall des Hochwasserereignisses im Juli 2021“ (DKKV-Schriftenreihe Nr. 63) verfügbar.

### 3.6 Fazit

---

Das Hochwasser im Juli 2021 in Deutschland, insbesondere in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, zählt zu den schwersten Flutkatastrophen der letzten Jahrzehnte. Das Tiefdruckgebiet „Bernd“ verursachte extreme Regenmengen von bis zu 200 l/m<sup>2</sup> in wenigen Tagen. Besonders betroffen waren das Ahrtal und enge Flusstäler, wo die Wassermassen durch steile Hänge und Bebauung kanalisiert wurden, was zu enormer Geschwindigkeit und Schäden führte. Bereits ab dem 10. Juli warnte der Deutsche Wetterdienst vor der außergewöhnlichen Wetterlage. Dennoch zeigten sich Schwächen in der Verknüpfung

meteorologischer und hydrologischer Warnsysteme sowie in der Kommunikation mit Behörden und Bevölkerung. Viele Menschen wurden unzureichend informiert, was schnelle Reaktionen erschwerte. Das Ereignis überstieg die Kapazitäten bestehender Schutzsysteme und unterstreicht die Dringlichkeit einer umfassenden Überarbeitung der Warnstrukturen, um auf zukünftige Extremereignisse besser vorbereitet zu sein.

### Zusammenfassung

- Die Übertragung der Warnungen von meteorologischen Gefahren in konkrete hydrologische Warnungen und Handlungsanweisungen für Behörden und die Bevölkerung ist zentral und zeigt derzeit Verbesserungsbedarf.
- Das Ereignis 2021 überstieg die Kapazitäten bestehender Schutz- und Warnsysteme und unterstreicht die Dringlichkeit einer umfassenden Überarbeitung der Warnstrukturen, um auf zukünftige Extremereignisse besser vorbereitet zu sein.
- Eine durchgängige Echtzeitvorhersage gekoppelter meteorologischer, hydrologischer und hydraulischer Vorhersagen mit validierten Schwellwerten sowie einer transparenten Unsicherheitsdarstellung ist erforderlich.
- Klare Zuständigkeiten, eingeübte Entscheidungsprozesse und adressatengerechte Impact-Kommunikation sind zentral und Warnarchitektur muss dringend so überarbeitet werden, dass im Ereignisfall schneller und konsistenter gehandelt werden kann.

**Danksagung** Die Autorinnen und Autoren von ► Kap. 3 bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie beim DLR Projektträger und dem VDI Technologiezentrum für die Unterstützung und Förderung der Projekte KAHR und HoWas2021. Diese Forschung wurde vom BMBF unter den Förderkennzeichen 01LR2102A-M (KAHR) sowie 13N16226 – 13N16231 (HoWas2021) finanziert.

### Literatur

- Bell R, Kron W, Thiebes B, Thieken A, Winkhardt-Enz R, Schwarz M, Kleeschulte I (2022) Die Flutkatastrophe im Juli 2021 Ein Jahr danach: Aufarbeitung und erste Lehren für die Zukunft. Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e. V., Bonn
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2022) Analyse zum Juli-Hochwasser 2021 und Ableitung von Konsequenzen aus Sicht des LAWA-AH. [https://www.lawa.de/documents/analyse-zum-juli-hochwasser-2021-barrierefrei\\_1689857053.pdf](https://www.lawa.de/documents/analyse-zum-juli-hochwasser-2021-barrierefrei_1689857053.pdf). Zugegriffen: 20. Jan. 2025
- DKKV (2024) Governance und Kommunikation im Krisenfall des Hochwasserereignisses im Juli 2021. DKKV-Schriftenreihe Nr. 63. DKKV, Bonn ([https://dkkv.org/wp-content/uploads/2024/01/HoWas2021\\_DKKV\\_Schriftenreihe\\_63.pdf](https://dkkv.org/wp-content/uploads/2024/01/HoWas2021_DKKV_Schriftenreihe_63.pdf), zuletzt geprüft am 20.01.2025)
- DWD (2021) Bericht zum Ablauf und Umfang der operationellen Warn- und Beratungstätigkeit des Deutschen Wetterdienstes im Vorlauf und während des Unwetters 12.–15. Juli 2021 in NRW und Rheinland-Pfalz, ausgelöst durch das Tief „Bernd“. Deutscher Wetterdienst, Offenbach ([https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/berichts\\_warnchronologie.pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/berichts_warnchronologie.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 20.01.2025)
- Junghänel T et al (2021) Hydroklimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Hydroklimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Klima und Umwelt
- Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz (2022) Der Wiederaufbau in Rheinland-Pfalz. nach der Naturkatastrophe vom 14./15. Juli 2021. [https://wiederaufbau.rlp.de/fileadmin/wiederaufbau/2022/02-Februar/Der\\_Wiederaufbau\\_in\\_Rheinland-Pfalz\\_2021-2022.pdf](https://wiederaufbau.rlp.de/fileadmin/wiederaufbau/2022/02-Februar/Der_Wiederaufbau_in_Rheinland-Pfalz_2021-2022.pdf). Zugegriffen: 20. Jan. 2025

- Reinert J, Wingen M, Klopries E-M, Schüttrumpf H, Dittmer C, Lorenz DF et al (2023) Hochwasserwarnung: Lessons to Learn nach dem Julihochwasser 2021. Korrespondenz Wasserwirtsch 7:428–434. <https://doi.org/10.3243/kwe2023.07.003>
- Thielen AH et al (2023) Performance of the flood warning system in Germany in July 2021 – insights from affected residents. <https://nhess.copernicus.org/articles/23/973/2023/>. Zugegriffen: 20. Jan. 2025. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-244>
- Tradowsky JS, Philip SY, Kreienkamp F, Kew SF, Lorenz P, Arrighi J et al (2023) Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021. Clim Change 176(7):90. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03502-7>

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

