

Potsdam, 31. Juli 2021

Extreme Hochwasser bleiben trotz integriertem Risikomanagement eine Herausforderung

Autorinnen und Autoren: Annegret Thieken¹, Matthias Kemter^{1,2,3}, Sergiy Vorogushyn², Lisa Berghäuser¹, Tobias Sieg^{1,2}, Stephanie Natho¹, Guilherme S. Mohor¹, Theresia Petrow¹, Bruno Merz^{1,2}, Axel Bronstert¹

¹Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Karl-Liebknecht-Straße 24-25, 14476 Potsdam

²Deutsches GeoForschungsZentrum – Helmholtz-Zentrum Potsdam, Sektion Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

³Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

Kontakt: thieken@uni-potsdam.de

Vor 217 Jahren, am 21. Juli 1804, traf ein verheerendes Hochwasser das Ahrtal. Die Schilderungen der Verwüstungen – zahlreiche Todesopfer, zerstörte Häuser und Brücken – ähneln sehr den Bildern, die uns seit dem 14. Juli aus dem Ahrtal und benachbarten Regionen erreichen, obwohl seit Jahrzehnten Hochwasserschutz und weitergehende Hochwasservorsorge optimiert werden. Dennoch war das Ausmaß dieser Überflutungen nicht aus den vorliegenden Hochwassergefahren- und -risikokarten auszulesen. Angesichts kurzer Messzeitreihen ist die Erstellung von Entscheidungs- und Planungsgrundlagen für solche extremen Ereignisse, bei denen mehrere Elemente der Hochwasserwirkungskette sich ungünstig verstärken können, eine Herausforderung und mit großen Unsicherheiten behaftet. Gerade für Extremszenarien müssen vorhandene Wissens- und Datenbestände in Zukunft umfassender als bisher ausgewertet werden – auch vor dem Hintergrund des Klimawandels, der die Häufigkeit und Intensität von Ereignissen verstärken könnte. Versagensfälle sollten durchdacht werden und in Gefahrenkarten und Bewältigungsstrategien einfließen, wobei rechtzeitige Warnung und risikoadäquates Verhalten eine wichtige Rolle spielen. Die Grenzen unseres Wissens sollten besser ausgelotet und kommuniziert werden.

Einleitung: Hochwasserrisikomanagement in Deutschland

Seit den großen Rheinhochwassern in den 1990er Jahren wird in Deutschland zunehmend ein integriertes Hochwasserrisikomanagement verfolgt. Dies beinhaltet die Kartierung von hochwassergefährdeten Bereichen und potenziellen Schäden, die Vermeidung weiterer Bebauung und Infrastrukturen in hochgefährdeten Gebieten, die Bemessung, Errichtung und Verbesserung von Schutzbauten und Retentionsflächen, die Warnung vor Schadensereignissen, die Organisation, Ausbildung und Übung der Katastrophenbewältigung sowie die Förderung der privaten Eigenvorsorge inkl. einer Elementarschadensversicherung. Dabei werden auch Ereignisse betrachtet, die noch nicht beobachtet wurden und/oder die vorhandenen Schutzsysteme herausfordern, d. h. die Bemessungswerte von Bauwerken übersteigen. Idee ist, die Begrenztheit des Schutzes hinter Deichen, Dämmen und ähnlichen Schutzbauwerken zu verdeutlichen und auch für solche extremen Ereignisse Bewältigungs- und Schadensminderungsstrategien zu erarbeiten. Damit soll das Versprechen eines HochwasserSCHUTZES durch ein Management des RISIKOS abgelöst werden. Zu guter Letzt beinhaltet ein Risikomanagement auch, dass jedes tatsächlich eingetretene Ereignis umfassend ausgewertet wird, um Schwachstellen zu identifizieren, aus Versäumnissen zu lernen und das gesamte Management zu verbessern¹.

Da viele Akteure an diesen Prozessen beteiligt sind, ist ein komplexer Abstimmungsprozess nötig. Nach dem schweren Hochwasser im August 2002 an Elbe und Donau mit Schäden in Höhe von 11,6 Mrd. Euro (in Preisen von 2002) wurden gesetzliche Grundlagen geschaffen, um ein integriertes Management zu etablieren und kontinuierlich zu verbessern. So wurden 2005 das Artikelgesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes² verabschiedet sowie 2007 die europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) erlassen, die 2009 in das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) integriert wurde. Die HWRM-RL beinhaltet eine Identifikation potenziell hochwassergefährdeter Gebiete, u. a. durch die Analyse vergangener Hochwasserereignisse, die Erstellung und Veröffentlichung von Gefahren- und Risikokarten für gefährdete Gebiete sowie die Etablierung von Managementplänen.

Das Hochwasser im Juni 2013 hat zwar wiederum Schäden in Milliardenhöhe verursacht, hat aber eine weitaus größere Fläche betroffen. In nachfolgenden Analysen wurden Fortschritte und Erfolge in nahezu allen Vorsorgebereichen identifiziert³, die Schäden gemindert haben, auch wenn eine genaue Attribution zu einzelnen Maßnahmen nicht erfolgt ist. Dem Gedanken eines integrierten Hochwasserrisikomanagements folgend wurden nach dem Hochwasser 2013 weitere Regelungen im WHG festgelegt, insbesondere Nutzungseinschränkungen und -auflagen für Gebiete, die hinter Deichen und anderen Schutzanlagen liegen oder in denen Hochwasser entstehen.

In diesem Paradigmenwechsel vom Schutzversprechen zum Risikomanagement sticht Nordrhein-Westfalen bereits im Jahr 2000 mit der ersten Veröffentlichung von Gefahrenkarten inklusive potenzieller Hochwasserschäden entlang des Rheins in Deutschland vorbildhaft hervor. In Rheinland-Pfalz tragen Hochwasserpartnerschaften erheblich zu einem abgestimmten integrierten Hochwasserrisikomanagement bei. Beide Bundesländer wurden am 14. Juli 2021 durch ein außergewöhnlich extremes Hochwasser mit mehr als 180 Todesopfern und milliardenhohen Schäden hart getroffen. Nach 1945 hat

¹ vgl. DKKV (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland: Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. DKKV-Schriftenreihe 29; DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland. DKKV-Schriftenreihe 53.

²<https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hochwasserschutzgesetz.pdf>

³ DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013. DKKV-Schriftenreihe 53.

nur die Sturmflut 1962 mehr Todesopfer (347 laut EM-DAT) durch Hochwasser in Deutschland gefordert. Damit wird voraussichtlich selbst das erste Ziel des Sendai-Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge⁴, nämlich die Todesfallrate durch Naturgefahren pro 100.000 Einwohner im Zeitraum 2020–2030 im Vergleich zur Periode 2005–2015 deutlich zu senken, in Deutschland nicht erreicht werden können. Daher stellt sich die Frage, warum das Hochwasserrisikomanagement im Juli 2021 viele negative Auswirkungen nicht verhindern konnte. Insbesondere Versäumnisse in der Warnung, Alarmierung und Evakuierung werden diskutiert, d. h., es ist zu untersuchen, welche Warnungen wo und wann vorlagen und welche Entscheidungen z. B. in Bezug auf Evakuierungen getroffen wurden. Auch die Informiertheit und das Verhalten der betroffenen Bevölkerung werden zu untersuchen sein. Für eine umfassende Antwort ist es noch zu früh, da wesentliche Daten noch nicht vorliegen oder noch nicht ausgewertet werden konnten. Dieser Beitrag möchte dennoch schlaglichtartig die Bedeutung und Komplexität extremer Ereignisse beleuchten und erste Schlussfolgerungen für die Gestaltung und Verwendung der extremen Hochwasserszenarien geben.

Der Ausgangspunkt: Gefahrenkarten als Planungs- und Entscheidungsgrundlagen

Die HWRM-RL gibt vor, dass Gefahren- und Risikokarten mindestens für ein 100-jährliches Hochwasser sowie ein noch extremeres Hochwasser zu erstellen sind. Diese Karten sind alle sechs Jahre zu aktualisieren, u. a., um mögliche Änderungen aufgrund des Klimawandels sowie Änderungen in den Einzugsgebieten und Gewässern zu berücksichtigen. Im Ergebnis liegen seit Dezember 2013 für Fluss- und Küstenhochwasser bundesweit Gefahrenkarten vor, in denen man adressgenau recherchieren kann, wie gefährdet ein Standort ist⁵, wobei die Definition des extremen Hochwasserszenarios in Deutschland nicht einheitlich ist. Die Karten wurden bis Ende 2019 aktualisiert, insbesondere wurde an einer Harmonisierung an den Bundesländergrenzen gearbeitet.

Auf diesen Gefahrenkarten basiert in Deutschland vielerorts die amtliche Festsetzung von Überschwemmungsgebieten (vgl. § 76 WHG), in denen laut WHG (§ 78 und § 78a, 78c) Bauverbote und weitere Nutzungseinschränkungen gelten. Im WHG (§ 78b, 78c) werden auch die Gefahrenkarten für extreme Hochwasser mit Nutzungseinschränkungen oder –auflagen verbunden. Die Gefahrenkarten, die bei der Umsetzung der HWRM-RL erstellt wurden, werden jedoch auch für weitere Zwecke eingesetzt, z. B. in der Risikokommunikation und Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung, bei der Einschätzung der Versicherbarkeit sowie der Planung und Vorbereitung von Evakuierungen. Während eines Ereignisses können sie wichtige Hinweise zur Einschätzung der Lage liefern – so die Erfahrungen mit dem Hochwasser im Juni 2013.

Angesichts des Hochwassers vom 14. Juli 2021 unterschätzen die vorliegenden Hochwassergefahrenkarten beispielsweise für die Ahr die Überflutungen jedoch deutlich. Für Altenburg, einen Ortsteil der stark geschädigten Stadt Altenahr, werden beispielsweise auch für ein extremes Hochwasser wenige Ausuferungen entlang der Mäanderbögen gezeigt, die mit Ausnahme von zwei größeren Bereichen kaum die Bebauung tangieren (Abb. 1, links). Die gefährdeten bebauten Gebiete werden zudem z. T. als Campingplatz mit kleinen Bungalows genutzt. Auch die landesweiten Hinweiskarten für Starkregen zeigen in diesem Bereich keine Auffälligkeiten⁶. Dieses Bild passt nicht zur großflächig überfluteten und stark geschädigten Ortschaft, die das Hochwasser Mitte Juli hinterlassen hat (vgl. Abb. 1, rechts). Kombiniert man die überfluteten Bereichen mit der Kartierung von geschädigten Gebäuden

⁴ UNISDR (2015): Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.

⁵ www.wasserblick.net

⁶ Vgl. <https://gda-wasser.rlp-umwelt.de/GDAWasser/client/gisclient/index.html?applicationId=85577>

durch den Rapid-Mapping Services von Copernicus, liegen in den überfluteten Bereichen der Gefahrenkarte für ein extremes Hochwasser (Abb. 1, links) insgesamt 486 (wahrscheinlich) geschädigte Gebäude (jedweder Art, inkl. der Bungalows auf den Campingplätzen), während es in der für das Juli-Hochwasser 2021 abgeleiteten Flutflächen (Abb. 1, rechts) insgesamt 850 Gebäude sind.

Möglicherweise haben diese Diskrepanzen zu Fehlentscheidungen, am 14. Juli 2021 nicht großräumig zu evakuieren oder das eigene Haus trotz Aufforderung nicht zu verlassen, beigetragen. Daher, stellt sich die Frage, wie die Diskrepanzen zustande kommen, wie sie in Zukunft verringert werden könnten und warum dies wichtig ist. Diese Fragen sollen in den folgenden Abschnitten andiskutiert werden.

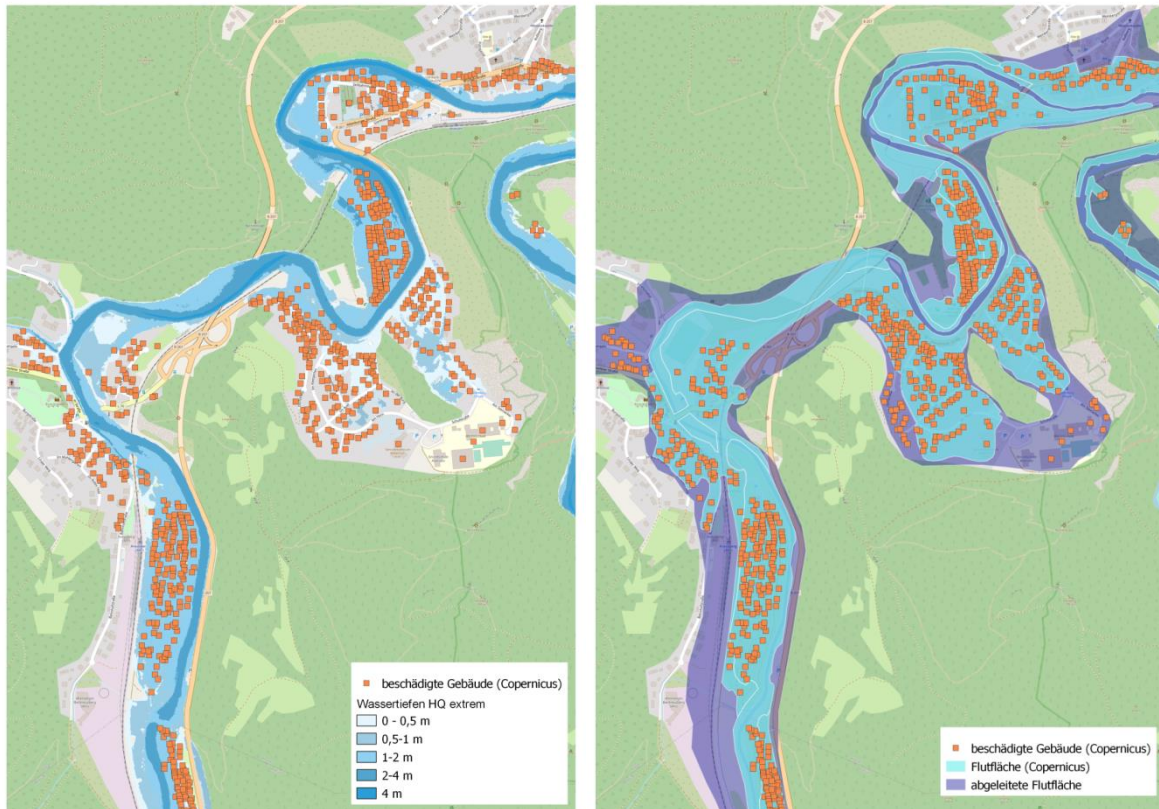


Abb. 1: Vergleich der Gefahrenkarte „HQextrem“ (links) mit den im Juli 2021 tatsächlich überfluteten Flächen (rechts) in Altenburg, einem Stadtteil von Altenahr.

a) linke Karte: Wassertiefen in der Hochwassergefahrenkarte mit seltener Auftrittswahrscheinlichkeit (HQextrem) des Bundeslandes Rheinland-Pfalz in Altenburg bei Altenahr (Quelle: WasserBLiCK - Bundesanstalt für Gewässerkunde & zuständige Behörden der Länder, <https://geoportal.bafg.de/CSWView/inspire.xhtml>; Datendownload: 25.06.2020) sowie (wahrscheinlich) beschädigte Gebäude durch das Hochwasser vom 14. Juli 2021 laut Copernicus Emergency Management Service (<https://emergency.copernicus.eu/>, Datendownload 22.07.2021).

b) rechte Karte: vorläufige Kartierung der im Juli 2021 überfluteten Flächen in Altenburg bei Altenahr (eigene Darstellung), basierend auf Daten des Copernicus Emergency Management Service in hellblau (<https://emergency.copernicus.eu/>, Datendownload: 22.07.2021) und Luftbildaufnahmen (© Polizei/dpa/picture alliance, <https://www.dw.com/de/vorher-nachher-bilder-der-flutkatastrophe/a-58296828> vom 21.07.2021). Die abgeleitete Flutfläche beinhaltet Bereiche beobachteter Überflutungsflächen, beschädigter und zerstörter Gebäude sowie Infrastruktur.

Kurze Beobachtungszeitreihen trügen

Ein Blick zurück kann helfen, die Diskrepanz zwischen dem geschätzten Extremereignis und dem tatsächlichen Ausmaß im Juli 2021 (vgl. Abb. 1) zu verstehen: Historische Hochwasser haben im Ahrtal immer wieder zu Zerstörungen geführt, wie die Chronik von Ahrweiler eindrucksvoll belegt⁷. Für einige schwere Hochwasser seit 1804 haben Roggenkamp &

⁷ <https://www.kreis-ahrweiler.de/kvar/VT/hjb1983/hjb1983.25.htm>

Herget (2014) Durchflüsse rekonstruieren können⁸. Kombiniert man die historischen Durchflüsse mit den Jahresmaximalabflüssen aus der lückenlos instrumentell gemessenen Abflusszeitreihe von 1946 bis 2019 am Pegel Altenahr, stechen sie sowohl in der Saisonalität als auch in der Höhe der Durchflüsse hervor⁹: Zwischen 1946 bis 2019 fällt in nur 14 aus 74 Jahren der Jahreshöchstabfluss in die Monate April bis Oktober, d. h. in das hydrologische Sommerhalbjahr. Dennoch wurde der höchste Durchfluss von 236 m³/s am 2. Juni 2016, d. h. vor ca. fünf Jahren, beobachtet¹⁰. Laut amtlicher Hochwasserstatistik entspricht dieses Ereignis in etwa einer Jährlichkeit von 100 Jahren¹¹. Von den fünf historischen Ereignissen, die Roggenkamp & Herget (2014) untersucht haben, traten zwei im Winter auf, und zwar am 11. Januar 1920 mit einem geschätzten Durchfluss von 170 m³/s und am 16. Januar 1920 mit 236 m³/s, sowie drei im Sommer: am 13. Juni 1910 (496 m³/s), am 24. Juni 1888 (280 m³/s) sowie am 21. Juli 1804 (ca. 1100 m³/s). Damit liegen alle Durchflüsse der historischen Sommerereignisse über dem höchsten beobachteten Durchfluss aus 2016.

Die Hochwasserstatistik, die den offiziellen Gefahrenkarten zugrunde liegt, stützt sich in der Regel nur auf instrumentelle Messzeitreihen, deren Länge vielerorts weniger als 70 Jahre beträgt, da viele Pegelaufzeichnungen während des zweiten Weltkriegs nur lückenhaft geführt werden konnten. Daher beginnen viele lückenlose Zeitreihen erst in den 1950er Jahren. Somit fehlen wichtige Informationen aus den historischen Ereignissen. Dies resultiert in zu kleinen Durchflüssen für das 100-jährliche und das extreme Hochwasserszenario.

Integriert man die historischen Ereignisse in die Hochwasserstatistik für den Pegel Altenahr¹², sinkt die von uns mit der allgemeinen Extremwertverteilung (GEV) geschätzte Jährlichkeit für das Ereignis im Juni 2016 von einem 70-jährlichen Abfluss (basierend auf den geschätzten Spitzenabflüssen^{10,11}) auf 44 Jahre (Spannweite: 38 bis 50 Jahre) unter Einbezug der historischen Hochwasser von 1910, 1918, 1920 und 1888 bzw. auf 30 Jahre (Spannweite: 28 bis 35 Jahre), wenn zusätzlich das Ereignis von 1804 berücksichtigt wird. Für das Hochwasser im Juli 2021 ergeben sich Jährlichkeiten von über 1000 Jahren.

Diese Limitationen der Hochwasserstatistik sind bereits aus anderen Gebieten bekannt, z. B. wurden ähnliche Diskrepanzen beim Augusthochwasser 2002 am Fluss Kamp in Österreich festgestellt¹³. Weitere Analysen müssen zeigen, ob bei starken Sommerniederschlägen im Einzugsgebiet der Ahr zudem andere Abflussbildungsmechanismen wirksam werden, die zu überdurchschnittlich hohem Oberflächenabfluss führen, d. h. einen höheren Abflussbeiwert haben. In der Extremwertstatistik unter Berücksichtigung von historischen Hochwassern deutet sich an, dass hier vermutlich eine Mischverteilung vorliegt, d. h., die Standard GEV

⁸ Roggenkamp & Herget (2014): Reconstructing peak discharges of historic floods of the river Ahr, Germany. *Erdkunde* 68(1): 49–59.

⁹ Hier ist zu beachten, dass für die Auswertungen nur Tagesmittelwerte vorlagen. Die offizielle Hochwasserstatistik, die gewässerkundlichen Hauptwerte sowie die historischen Durchflussschätzungen von Roggenkamp & Herget (2014) basieren jedoch auf Spitzenabflüssen, d. h. Stundenwerten oder 15-Minutenwerten. Um beide Datensätzen anzugleichen, wurde die Methode von Chen et al. (2017: Estimating instantaneous peak flow from mean daily flow, <https://doi.org/10.2166/nh.2017.200>) angewendet. Dies ist eine Annäherung, bei der die Spitzenabflüsse der Extremereignisse im vorliegenden Fall etwas unterschätzt werden. Da die Serie der Jahreshöchstabflüsse aus der Zeitreihe der Tagesmittelwerte abgeleitet und danach in Spitzenabflüsse umgerechnet wurden, sind auch Verschiebungen in der Zusammensetzung der Saisonalitäten in der Serie nicht auszuschließen.

¹⁰ Mit dem hier angewendeten Verfahren zur Umrechnung von Tagesmittelwerten in Spitzenabflüsse resultiert für das Ereignis vom 2. Juni 2016 ein Abfluss von 189 m³/s.

¹¹<http://213.139.159.46/prj-wwwauskunft/projects/messstellen/wasserstand/register3.jsp?intern=false&msn=2718040300&pegelname=Altenahr++&gewaesser=Ahr&dfue=1>

¹² Verfahren nach Bomers et al. (2019), <https://doi.org/10.5194/nhess-2019-83>.

¹³ Vgl. Merz & Blöschl (2008), <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007WR006745>

scheint die Extrema nicht adäquat zu berücksichtigen. Insgesamt deutet sich für die Ahr also an, dass a) die historischen Hochwasser nicht hinreichend bei der Extremwertstatistik und bei der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten berücksichtigt wurden und b) dass Sommerhochwasser anders generiert werden als Winterhochwasser und zwar seltener, aber höher ausfallen.

Extreme Ereignisse sind in vielerlei Hinsicht außergewöhnlich

Extreme Hochwasserereignisse und ihre Auswirkungen sind das Resultat einer Prozess- oder Wirkungskette, die beim auslösenden Niederschlag beginnt und beim Schaden endet. Dazwischen liegen Prozesse der Abflussbildung und -konzentration, der Wasserrückhaltung im Einzugsgebiet oder in technischen Anlagen (z. B. in Talsperren) sowie der Aufstauung, Ausuferung und Überflutung entlang der Gewässer. Der Einfluss des Menschen nimmt tendenziell entlang dieser Kette zu, d. h., dass wir zwar wenig Einfluss auf die konkrete Wetterlage und den Niederschlag haben, aber die Nutzung von gefährdeten Gebieten vollständig bestimmen können. Ein extremer Niederschlag wie der vom 14. Juli 2021 bewirkt verheerende Schäden, wenn mehrere Elemente dieser Prozesskette kaskadenartig, teilweise einander verstärkend, ablaufen. Für das hier diskutierte Ereignis sind folgende Faktoren zu nennen:

1. Abregnen extremer Niederschläge, die sowohl hinsichtlich der gesamten Regenmenge als auch hinsichtlich der Intensität (Menge pro Zeiteinheit) extrem sind. Solche Starkregenbedingungen häufen und verstärken sich in manchen Regionen durch die Klimaerwärmung¹⁴. Extreme Niederschläge können aber generell auch unter einem unveränderten Klima auftreten, jedoch vermutlich mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit.
2. Geringes Rückhaltevermögen im Einzugsgebiet, verursacht vor allem als Folge von Regenereignissen in den Tagen zuvor und/oder bei flachgründigen Böden. Versiegelte oder verdichtete Bodenoberflächen vermindern ebenfalls deren Aufnahmefähigkeit, was aber bei großräumiger Bodensättigung und/oder extremen Niederschlägen kaum verstärkend wirkt.
3. Sehr schnelles Zusammenfließen der Wassermengen im Einzugsgebiet und Abfluss im Flusssystem. Hier wirken steile Neigungen und „hydraulisch glatte“, d. h. wenig strukturierte Oberflächen der Hänge im Einzugsgebiet beschleunigend. Beides ist im Ahrgebiet der Fall.
4. Schnell ansteigender Wasserstand und zunehmende Abflussgeschwindigkeit, evtl. noch verstärkt und beschleunigt durch örtliche Verklausungen (d. h. Verstopfung eines Gewässers, z. B. durch Ablagerungen von Geröll und Schwemmholz an Brücken und anderen Engstellen) oder andere temporäre Strömungshindernisse.
5. Ausborden des Flusses und Überflutungen bzw. Durchströmen von niedrig gelegenen Flächen, z. T. auch mit erheblichem Abstand zum normalen Flussverlauf, bei Überschreitung der Abflusskapazität. Beschädigung der eingestauten Gebäude und Gefährdung der Personen in den Gebäuden. Transport und lokale Ablagerung von Sediment (Geröll, Schlamm), Schwemmholz und anderem Treibgut, die vermutlich auch Anprallschäden an Gebäuden und Brücken verursacht haben.

Eine Analyse aus den USA¹⁵ zeigt, dass Extremereignisse oft anderen atmosphärischen, hydrologischen, hydraulischen, geomorphologischen Prozessen folgen als häufig vorkommende Ereignisse oder dem Versagen von Infrastrukturen geschuldet sind. Daher sind ein besseres Verständnis der Prozesse entlang der skizzierten Wirkungskette sowie die

¹⁴ Bürger et al. (2019): Temperature-driven rise in extreme sub-hourly rainfall. Journal of Climate 32(22): 7597-7609.

¹⁵ Smith et al. (2018): Strange Floods: The Upper Tail of Flood Peaks in the United States. Water Resources Research 54(9): 6510-6542.

Diskussion von Versagensfällen (z. B. blockierte oder kollabierende Brücken) für die Erstellung und Verwendung von Extremszenarien wichtig.

Kontextualisierung von Warnungen fördern das Verständnis

Welche Relevanz hat die offenbar deutlich unterschätzte Überschwemmungsgefahr für die Alarmierung und Evakuierung der Bevölkerung am 14. Juli 2021? Zunächst ist festzuhalten, dass die Warnung vor extremen Unwetter- und Hochwasserereignissen nach 2002 durch die Einführung einer weiteren Warnstufe vor extremen Wettergefahren durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) konkretisiert wurde (Warnstufe 4 – amtliche Warnung vor extremem Unwetter). In den Warnkarten des DWD ist diese Stufe violett eingefärbt und deutet auf potenziell lebensbedrohliche Situationen und außergewöhnliche Maßnahmen hin. Durch eine verbesserte Zusammenarbeit und Datenübertragung zwischen dem Deutschen Wetterdienst, den Hochwasservorhersagezentralen (HVZ) und dem Katastrophenschutz sowie durch eine Umorganisation der Hochwasservorhersage- und Meldewege in vielen Bundesländern ist die komplexe Warnkette bei Hochwasser nach 2002 weniger anfällig geworden¹⁶. Alle Daten werden im länderübergreifenden Hochwasserportal¹⁷ zusammen dargestellt, sodass nun ein nationaler Überblick über die Hochwasserlage möglich ist – ein wichtiger Schritt vor allem in großen Einzugsgebieten. Die Einfärbung der Warnstufen ist zwischen DWD und HVZ abgestimmt, auch wenn die Bedeutung im Einzelfall etwas divergiert. Im Katastrophenschutz wurde durch die Einführung einer zweijährlichen länder- und organisationsübergreifenden Übung die Zusammenarbeit deutlich verbessert. Die Erfolge wurden beim Hochwasser 2013 sichtbar, das trotz ähnlicher Intensität zu weniger Todesopfern und Schäden geführt hat als das schwere Ereignis 2002¹⁸.

Für das vorliegende Ereignis wurde die Warnstufe 4 rechtzeitig für die vom Hochwasser geschädigte Region durch den DWD ausgegeben. Die konkrete Warnsituation am 14. Juli 2021 muss pro Flussgebiet und Ortschaft noch rekonstruiert werden. Todesfälle auf überfluteten Straßen und in überfluteten Gebäuden zeigen, dass die Warnungen nicht alle Menschen in den gefährdeten Gebieten rechtzeitig erreicht haben oder dass sie nicht adäquat handeln konnten. Neben der konkreten Warninformation der Wetterdienste und Hochwasservorhersagezentralen spielen für die Entscheidung einer Evakuierung oder anderer Vorkehrungen folgende Faktoren eine Rolle:

- 1) Die Güte der Vorhersagen der Niederschlagsmengen und -orte des Auftretens sind unsicher; diese Unsicherheit wird durch die Umsetzung in Abfluss- und Wasserstandsvorhersagen noch vergrößert.
- 2) Informationen über potenziell betroffene Gebiete, die aus den Gefahrenkarten abgelesen werden können, sollen helfen, gezielt zu evakuieren. Wenn die Karten ungenau sind (vgl. Abb. 1), fehlt eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Dasselbe gilt für Referenzen auf vergangene Ereignisse, z. B. hat die Erinnerung an die Sturmflut 1962 in Hamburg bei der Warnung vor einer Sturmflut im Herbst 2013 alle alarmiert. Fehlen solche Kontextualisierungen oder Ankerbeispiele, können Warninformationen vermutlich schwerer eingeordnet werden. Im Einzugsgebiet der Ahr wurde 1954/55 noch an das Hochwasser von 1804 erinnert, wie der Jahrbucheintrag von 1955 zeigt. Diese Erinnerungskultur scheint später verloren gegangen zu sein.
- 3) Gerade die schnelle Reaktion der Einzugsgebiete, d. h. die kurze Zeit zwischen dem auslösenden Niederschlag und der Überflutung von Gebäuden sowie die hohen

¹⁶ LAWA (2020), https://www.lawa.de/documents/evaluationsbericht_verbesserung_grundlagen_hw-vorhersage_1625483743.pdf

¹⁷ www.hochwasserzentralen.de

¹⁸ vgl. DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013. DKKV-Schriftenreihe 53, Bonn.

Fließgeschwindigkeiten mit hohem Zerstörungspotenzial lassen wenig Zeit für die Abwägung von Entscheidungen. Dies stellt ganz besondere Herausforderungen an Gemeinden in den Mittelgebirgen.

4) Die Tageszeit, zu der der auslösende Niederschlag fällt und die Hochwasserwelle auftritt, entscheidet, wer wann wie erreicht werden kann. Auch die Zugänglichkeit von Informationen kann durch schlechte Kommunikationsnetze in Tallagen oder bei Stromausfällen erheblich beeinträchtigt sein. Insbesondere nachts spielen Sirenen o. ä. eine wichtige Rolle. Vergangene Hochwasserereignisse zeigen zudem, dass ein erheblicher Teil von Betroffenen durch eigene Beobachtungen und Recherchen realisiert, dass die Hochwassergefahr für sie akut wird. In der Nacht ist dieser „Warnweg“ kaum vorhanden. Doch nur wer seine Gefahrenlage realisiert, kann sich auch vorbereiten.

5) Wissen und Risikowahrnehmung der Institutionen und der Bevölkerung bestimmen mit, wie schnell und umfassend Notmaßnahmen getroffen werden. Das Verständnis in der Bevölkerung um die Bedeutung von Warnstufen und Gefahrenkarten sowie das Wissen über daraus resultierende Schutzmaßnahmen sind hier zu hinterfragen. Betroffenenbefragungen anderer Ereignisse in Deutschland zeigen, dass von Starkregen und Sturzfluten Betroffene seltener gewarnt werden und dass das Handlungswissen bei Starkregen schlechter als bei Flusshochwasser ausgeprägt ist¹⁹. Doch nur wer im Ereignisfall richtig handeln kann, kann auch die Auswirkungen verringern²⁰. Daher sind technische Neuerungen in der Warnkette durch Bildungs- und Kommunikationsmaßnahmen zu ergänzen.

Ein großes Potential zur Verbesserung der Reaktion im Ereignisfall versprechen Impakt-Vorhersagen, also z. B. die Vorhersage, welche Gebäude und Infrastrukturanlagen vermutlich überschwemmt werden²¹. Hier gilt es, die bisherigen Modelle zur Abflussvorhersage um Modelle zu ergänzen, die Betroffenheiten und Auswirkungen abschätzen. Daher soll abschließend ein Blick auf die Abschätzbarkeit von Schäden geworfen werden.

Abschätzung von Hochwasserschäden als Herausforderung

Ökonomische Auswirkungen werden in direkte und indirekte Hochwasserschäden unterteilt. Direkte Auswirkungen umfassen Schäden an Gebäuden, Fahrzeugen oder Infrastruktur, die direkt auf den Kontakt mit dem Hochwasser zurückzuführen sind. Indirekte Auswirkungen können räumlich und zeitlich außerhalb des Hochwasserereignisses auftreten, beispielsweise durch Unterbrechungen von Lieferketten²². Für die Abschätzung direkter ökonomischer Auswirkungen werden Informationen über das Hochwasser, die betroffenen Objekte und deren Schadensanfälligkeit benötigt. Diese Informationen unterliegen in der Regel hohen Unsicherheiten, insbesondere kurz nach dem Ereignis. Die Einbeziehung und Darstellung dieser Unsicherheiten kann daher dazu beitragen, die Güte der Abschätzungen einzuordnen²³.

¹⁹ Thielen et al. (2021), NHESS Discussion Paper, <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-27>

²⁰ Kreibich et al. (2021): Knowing What to Do Substantially Improves the Effectiveness of Flood Early Warning. *BAMS* 102(7): E1450-E1463.

²¹ vgl. Taylor et al. (2018): Communicating high impact weather: Improving warnings and decision making processes. *IJDRR*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.04.002>; Merz, B. et al. (2020): Impact Forecasting to Support Emergency Management of Natural Hazards. *Reviews of Geophysics* 58(4): e2020RG000704.

²² Merz et al. 2010: Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Science* 10(8): 1697-1724

²³ Sieg et al. 2019: Integrated assessment of short-term direct and indirect economic flood impacts including uncertainty quantification. *PLOS ONE* 14(4): 1-21

Basierend auf der Hochwassermaske von Copernicus (vgl. hellblaue Fläche in Abb. 1, rechts) lassen sich die Schäden im Landkreis Ahrweiler an Wohngebäuden und Hausrat zwischen 232,31 und 238,49 Millionen Euro schätzen (Abb. 2). Die Wahrscheinlichkeiten geben einen Bereich möglicher Schäden an und ergeben sich aus unbekanntem Wassertiefen an den Gebäuden und nicht genau bekannten Gebäudewerten. Die Wahrscheinlichkeitsdichte kann daher auch als Maß der Sicherheit der Schadensschätzungen mit den vorhandenen Informationen interpretiert werden. Die Schätzungen basieren allerdings auf einem Schadensmodell für Flusshochwasser, welches Schäden durch Hangrutschungen oder Gerölllawinen nicht explizit berücksichtigt. Insbesondere die strukturellen Schäden an den Gebäuden können zu deutlich höheren Werten für die tatsächlichen Schäden führen²⁴. Zudem wurde nur die Hochwassermaske des Copernicus Emergency Management Service verwendet. Die Verwendung einer anderen Überflutungsmaske kann dementsprechend zu anderen Ergebnissen führen. Wie Abb. 1 (rechts) illustriert, unterschätzt der Copernicus-Rapid-Mapping-Service die überflutete Fläche. Nur 788 der insgesamt 850 (möglicherweise) geschädigten Gebäude liegen innerhalb der von Copernicus abgeleiteten überfluteten Fläche. Ähnliche Diskrepanzen sind auch bei Impakt-Vorhersagen nicht auszuschließen.

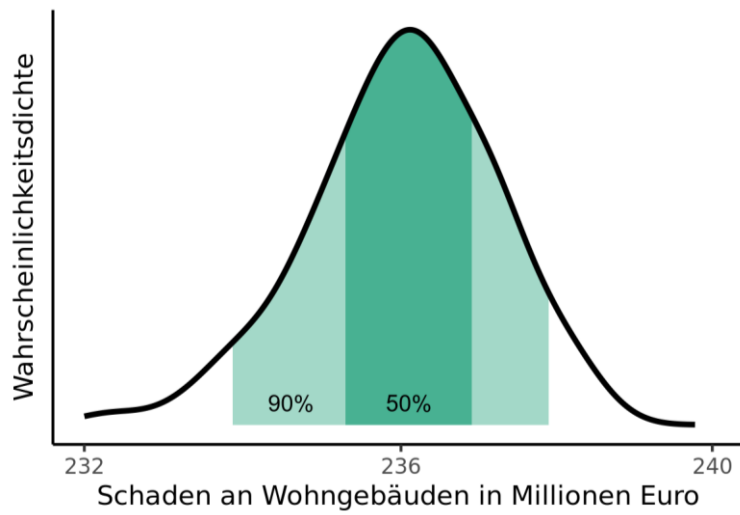


Abb. 2: Verteilung für das Hochwasser im Juli 2021 geschätzter Schäden an Wohngebäuden und Hausrat im Landkreis Ahrweiler. Die unterschiedlichen Grüntöne zeigen das 50% (dunkelgrün) und 90% (hellgrün) Intervall an. Nach diesen Schätzungen liegt der ökonomische Schaden an Wohngebäuden mit einer 90-prozentigen Wahrscheinlichkeit zwischen 233,87 und 237,89 Millionen Euro. Grundlage für die Identifikation betroffener Gebäude sind die Daten des Copernicus Emergency Management Service (<https://emergency.copernicus.eu/>, Datendownload: 22.07.2021).

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Generell ist anzumerken, dass eine umfassende Aufarbeitung des Ereignisses, inklusive der Identifikation aller Schwachstellen Zeit braucht. Vorschnelle und vor allem mono-kausale Schuld- und Ursachenzuweisungen – sei es an den Klimawandel oder die Warnung – bringen wenig Erkenntnisgewinn und helfen nicht, unsere Gesellschaft resilienter gegenüber solchen Naturgefahren zu machen. Eine umfassende und sorgfältige Ereignisanalyse inklusive aller Vorsorgebereiche, wie sie nach den Hochwassern 2002 und 2013 erfolgt ist, ist daher auch in diesem Fall ein Muss!

²⁴ Während Gebäude, die im Juni 2013 durch Flusshochwasser geschädigt wurden, einen mittleren Schädigungsgrad von 9% (19% für Hausrat) aufweisen, betrug dieser Wert 23% (42% für Hausrat) für Gebäude, die im Mai/Juni 2016 durch Sturzfluten geschädigt wurden; vgl. Thieken et al. (2021), <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-27>.

Erste weitere Schlussfolgerungen kann man allerdings aus den obigen Überlegungen heute schon ziehen: Der Blick auf historische Hochwasser und die Anfälligkeit der Hochwasserstatistik zeigt, dass historische Hochwasser systematisch aufgearbeitet werden müssen und – wo möglich und sinnvoll – in die Hochwasserstatistik und die Gefahrenkarten eingearbeitet werden sollten, insbesondere wenn kurze Beobachtungszeitreihen vorliegen, die keine extremen Ereignisse oder Ereignisse ohne z. B. geomorphologische Prozesse enthalten. Weiterhin ist zu untersuchen, ob bei extremen Ereignissen andere atmosphärische, hydrologische, hydraulische oder geomorphologische Prozesse wirksam werden als bei kleinen und mittleren Hochwasserereignissen.

Die europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie enthält klare Vorgaben hinsichtlich der Inhalte der Gefahrenkarten (Ausmaß der Überflutung, Wassertiefen und ggf. Fließgeschwindigkeiten). Um die Unsicherheiten – insbesondere bei den extremen Hochwasserszenarien – kenntlich zu machen, sollten zumindest die Bereiche, die nachweislich bei historischen Hochwassern überflutet waren, in den Karten zusätzlich gekennzeichnet werden. Dasselbe gilt für Bereiche, die hinter Schutzanlagen liegen und bei Versagen überflutet werden könnten. Auch Reaktionszeiten der Einzugsgebiete und Fließgeschwindigkeiten sind – trotz aller Unsicherheiten – konsequenter in die Gefahrenkarten einzuarbeiten, zumindest um lebensgefährliche Bereiche zu kennzeichnen.

Die Verwendung von Impact-Vorhersagen in der Warnung ist auszuloten. Hier ist zu bedenken, neben Unsicherheiten in den Hochwasserszenarien bei Abschätzungen der ökonomischen Auswirkungen ebenfalls fehlende oder vollständige Informationen über die exponierten Gebäude zu berücksichtigen und darzustellen. Die Angabe von Wahrscheinlichkeiten erleichtert die Einordnung der eingetretenen Schäden nach einem Ereignis oder der potenziellen Schäden für ein Hochwasserszenario.

Weiterhin ist zu überlegen, wie eine Qualitätskontrolle für essentielle Entscheidungs- und Planungsgrundlagen etabliert werden könnte. In der Wissenschaft gibt es das so genannte Peer-Review-Verfahren, bei dem Fachexpert:innen die Artikel von Forschenden vor der Veröffentlichung begutachten. Dieses Vorgehen könnte auch in den Fachverwaltungen für ausgewählte Planungs- und Entscheidungsgrundlagen zum Einsatz kommen. Dabei ist eine stärkere Einbeziehung der Wissenschaft und der neusten Erkenntnisse aus der Forschung wünschenswert.

Ein extremes Naturereignis wie das hier diskutierte bewirkt solch verheerende Schäden, wenn mehrere Prozessebenen kaskadenartig, teilweise einander verstärkend, ineinandergreifen. Ein gutes Risikomanagement erkennt die Bedeutung der Einzelkomponenten und deren Zusammenwirken. Schon in der Regionalplanung und örtlichen Bauplanung sollten mögliche Extremereignisse und zugehörige extreme Überflutungsszenarien Berücksichtigung finden. Auch für die Hochwasservorhersagen und die akuten Warnungen als Teil des Katastrophenschutzes sind solche Überflutungsszenarien von großer Bedeutung, um sich auf unbekannte Ereignisse einzustellen. Dazu hilft auch, die Erinnerung an längst vergangene Ereignisse aufrecht zu erhalten.