

Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., Vorogushyn, S.
(2021): Überraschende Hochwasserereignisse: Lehren
für Risikoanalysen. - Notfallvorsorge: die Zeitschrift
für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 52, 3,
19-23.

Überraschende Hochwasserereignisse: Lehren für Risikoanalysen

Autoren

Prof. Dr. Bruno Merz, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum & Universität Potsdam

PD Dr. Heidi Kreibich, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum

Prof. Dr. Annegret Thieken, Universität Potsdam

Dr. Sergiy Vorogushyn, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum

Abstract

Hochwasser weiten sich insbesondere dann zu Katastrophen aus, wenn Bevölkerung, Entscheidungsträger und Katastrophenschutz überrascht werden und unvorbereitet mit einer Extremsituation konfrontiert werden. Um gegen Überraschungen bestmöglich gewappnet zu sein, sollten Hochwasser-Risikoanalysen auch das Potenzial für Überraschungen ausloten. Dazu schlagen wir vor, Worst-Case-Szenarien und zusätzliche Ereignisauswirkungen – über Abflüsse und Überflutungsflächen hinaus – zu betrachten sowie eine kritischere Haltung gegenüber den eigenen Annahmen und Modellen einzunehmen.

Artikel

Die Höhe und Zerstörungskraft der Hochwasserabflüsse in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im Juli 2021 haben die betroffene Bevölkerung, aber auch Entscheidungsträger und Experten des Katastrophenschutzes und der Wasserwirtschaft überrascht. Mehr als 180 Tote (Abb. 1) und ein Hilfsfonds für Flutopfer in Höhe von 30 Milliarden Euro¹ verdeutlichen das Ausmaß der Katastrophe. Seit der Sturmflut in Hamburg 1962 gab es kein Hochwasser, das eine derart hohe Zahl von Menschenleben forderte. Ein Blick auf vergangene Hochwasserereignisse verdeutlicht, dass sich Hochwasser insbesondere dann zu Katastrophen ausweiten, wenn die Gesellschaft überrascht wird und unvorbereitet mit einem Extremereignis konfrontiert wird. Eine Studie zu Paaren von Ereignissen, wobei zwei vergleichbare Hochwasser in derselben Region auftraten, zeigte, dass die Auswirkungen substantiell gemindert wurden, wenn die betroffene Gesellschaft aus dem ersten Ereignis lernen konnte und nicht überrascht war³. Dieser Beitrag diskutiert, welche Lehren daraus für Risikoanalysen zu ziehen sind⁴.

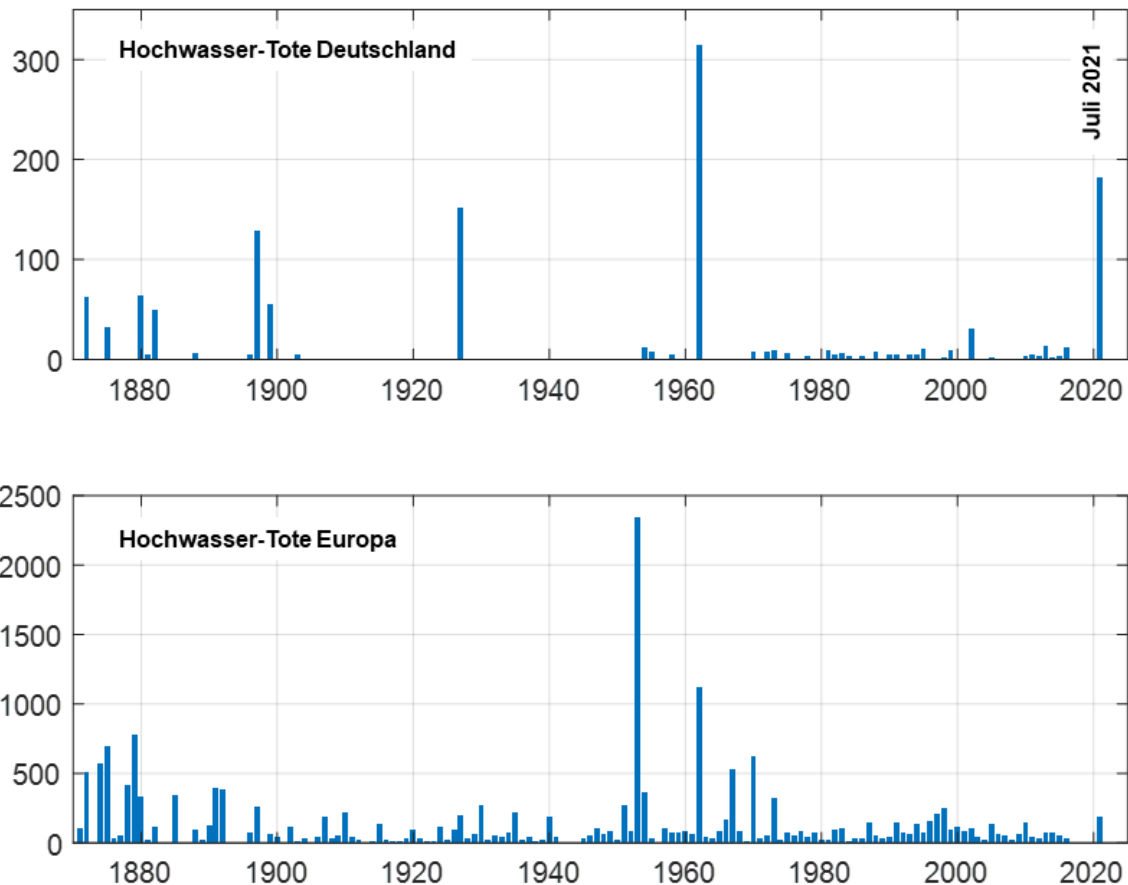


Abb. 1: Todesfälle durch Hochwasser in Deutschland und Europa für die Periode 1871-2016. Daten aus der HANZE Datenbank². Die Zahl für 2021 für Deutschland erfasst die Opfer durch die Juli-Hochwasser. Zahlen zu Todesopfern sind mit erheblichen großen Unsicherheiten behaftet.

Gründe für Überraschungen: Komplexe Hochwassersysteme

Hochwasserrisiken resultieren aus dem Zusammenspiel von natürlichen und gesellschaftlichen Prozessen. Diese umfassen atmosphärische Prozesse (z.B. extremer Ereignisniederschlag, gesättigte Böden durch nasse Perioden vor dem Ereignis), Landoberflächenprozesse (z.B. geringer Wasserrückhalt in den Einzugsgebieten, schneller Ablauf von Hochwasserwellen in Bächen und Flüssen), die Nutzungen an Bächen und in Flussauen (z.B. hochwasser-exponierte Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen) sowie die Anfälligkeit dieser Nutzungen, wenn diese durch ein Ereignis betroffen werden. Hochwassersysteme zeichnen sich durch Nichtlinearitäten, Instationaritäten und Interaktionen aus, und diese Komplexität sorgt für Überraschungen.

Nichtlinearitäten wurden beispielsweise bei der Abflussbildung nachgewiesen⁵. Extreme Ereignisse können sich von der Mehrheit der Hochwasser dadurch unterscheiden, dass die Speicherkapazität des Bodens erschöpft ist und Oberflächenabfluss in großen Teilen des Einzugsgebiets generiert wird. So war der Abflussbeiwert (Anteil des Niederschlags, der während des Ereignisses abfließt und zum Hochwasser beiträgt) des Flusses Kamp in

Österreich beim Hochwasser 2002 doppelt so hoch wie seine Abflussbeiwerte bei anderen Ereignissen⁶. In Kombination mit dem extremen Ereignisregen führte das zu einem Hochwasserscheitel in 2002, der drei Mal so groß war wie das Rekordhochwasser in den 100 Jahren davor. Mehrfach wurde gezeigt, dass Extremereignisse durch andere Prozesse erzeugt werden als die Mehrheit der Hochwasser⁷. Eine Analyse⁸ der Hochwasser von über 8,000 Einzugsgebieten der USA ergab, dass die extremsten Ereignisse („strange floods“) häufig durch andere atmosphärische, hydrologische oder geomorphologische Prozesse ausgelöst wurden als der Rest der Hochwasser. Die extremsten Hochwasser wurden oft durch Sommergewitter oder tropische Zyklone verursacht, während die Mehrheit der Hochwasser im Winter und Frühling auftreten und eher durch langanhaltende Regen und/oder Schneeschmelze gekennzeichnet waren. Ein ähnliches Verhalten ist auch im Ahrtal zu beobachten: die bisher extremsten historischen Ereignisse von 1804, 1910, 1888, 2016 und das Ereignis von 2021 sind alle in Juni bzw. Juli aufgetreten, während die kleineren Ereignisse über das Jahr verteilt sind^{9, 10}. Es liegt somit die Vermutung nahe, dass Extremereignisse im Ahrtal durch eine besondere hydro-meteorologische Situation hervorgerufen werden.

Zeitliche Veränderungen sind ebenfalls eine Quelle von Überraschungen. Beispiele sind die mit dem anthropogenen Klimawandel verbundene Zunahme von konvektiven Starkniederschlägen¹¹, die zu häufigeren und schwereren Sturzfluten und urbanen Überschwemmungen führen können, oder der Anstieg von Exposition und Anfälligkeit in Überschwemmungsflächen. So war das Hochwasser 2011 in Thailand für die multinationale Automobil- und Elektroindustrie eine große Überraschung mit Konsequenzen für die globale Produktion noch bis zu 2 Jahren nach dem Hochwasser¹². Obwohl die substantielle Hochwassergefährdung der Region bekannt war, waren die dramatischen Folgen von Überschwemmungen, insbesondere die Unterbrechungen von globalen Lieferketten, nicht vorhergesehen worden. Die Risikoänderung, vor allem durch die zunehmende Abhängigkeit von Just-in-time Belieferung, wurde nicht ausreichend registriert.

Gründe für Überraschungen: Kognitive Verzerrungen

Die Analyse vergangener Katastrophen zeigt auch, dass neben der Komplexität von Hochwassersystemen verzerrte Wahrnehmungen von Risiken bzw. Denkfehler eine bedeutsame Ursache von Überraschungen sind⁴. Ein Beispiel ist die Verfügbarkeitsheuristik („availability bias“). Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses wird umso höher eingeschätzt, je verfügbarer ein Ereignis ist, d.h. je leichter es fällt, sich an ein ähnliches Ereignis zu erinnern, z.B. durch eigene Erlebnisse oder Medienberichte. Ohne solche Beispiele wird das Risiko unterschätzt, weil sich Menschen eine solche Situation einfach nicht vorstellen können¹³. Vor dem Sommerhochwasser 2002 an Elbe und Donau konnte man sich ein Hochwasser in Deutschland mit mehr als 130 Deichbrüchen kaum vorstellen. Andere Denkfehler sind der „Overconfidence-Effekt“, d.h. das eigene Wissen wird als sicherer eingeschätzt als es tatsächlich ist, oder der „Confirmation bias“ bzw. Bestätigungsfehler, d.h. Informationen werden so gesucht, aufgenommen und interpretiert, dass sie die eigene Ansicht bestätigen. Solche Denkfehler sind besonders stark ausgeprägt in komplexen Situationen, wo viele Faktoren gleichzeitig wirken, und wenn die Unsicherheiten

groß sind und mit Wahrscheinlichkeiten gearbeitet wird – Bedingungen, die für Hochwasserrisikoanalysen zutreffen⁴.

Wie können Risikoanalysen Überraschungen minimieren?

Risikoanalysen sollten neben anderen Zielen, wie z.B. der Bemessung von Schutzmaßnahmen, auch dazu beitragen, Überraschungen zu vermeiden. Das erfordert einen breiteren Ansatz als bisher, denn typischerweise beschränken sich Risikoanalysen auf eine kleine Anzahl von Szenarien, betrachten nur einen eingeschränkten Teil der möglichen Ereignisauswirkungen und gehen nicht über Hochwasserereignisse mit Wiederkehrintervallen von 100 oder 200 Jahren hinaus. Im Idealfall sollten Risikoanalysen auch ein Worst-Case-Szenario umfassen sowie das Versagen von baulichen und organisatorischen Schutzmaßnahmen durchspielen: Was kann passieren, wenn Deiche brechen oder Warnketten nicht funktionieren? Neben Abschätzungen von Durchflüssen, Überschwemmungsflächen und den betroffenen Nutzungen sollten weitere Prozesse und Auswirkungen betrachtet werden, wie z.B. Transport von Geschiebe und Totholz, Verklausung von Durchlässen, Unterspülung von Brücken und Gebäuden, Hangrutschungen oder Freisetzung von Chemikalien. Es sollte auch überlegt werden, wo und unter welchen Bedingungen sich so ungünstige Situationen einstellen können, dass Menschen zu Tode kommen.

Dieser Ansatz erfordert einen anderen Umgang mit Risikomodellen. Einige der oben genannten Prozesse sind heute nicht in Risikoanalysen enthalten, weil hierfür kaum belastbare Daten und Parametrisierungen vorliegen. Dagegen wird sehr viel Aufwand in (hydrologische und hydrodynamische) Modellentwicklung und -kalibrierung investiert, um Hochwassermodelle zu erhalten, die möglichst gut das beobachtete Verhalten wiedergeben. Dieser (prinzipiell) sinnvolle Ansatz schlägt allerdings fehl, wenn in Extremsituationen Prozesse auftreten, die bei kleineren Hochwassern nicht beobachtet werden. Wenn es darum geht, auszuloten, was im Extremfall passieren kann, können auch Modelle, die große Unsicherheiten aufweisen, wertvolle Hinweise geben. Beispielsweise können Expertenwissen und semi-quantitative Methoden genutzt werden, um fehlende Beobachtungsdaten und Prozessmodelle möglichst zu kompensieren^{14, 15}.

Statistische Modelle für Hochwasserabflüsse gehen von unabhängigen, identisch verteilten Zufallsvariablen aus; es wird angenommen, dass alle Ereignisse aus derselben Grundgesamtheit stammen. Wenn Extremhochwasser jedoch von anderen Prozessen als die Mehrheit der kleineren Hochwasser dominiert werden, können diese Modelle in die Irre führen. Besonderes Augenmerk sollte bei Risikoanalysen deshalb auf Ereignisse und Prozesse am oberen Rand der Hochwasserverteilung gelegt werden. Es ist zu untersuchen, ob bzw. durch welche Prozesse sich extreme Hochwasser von kleineren unterscheiden. Hierbei sollte die gesamte Prozesskette von den atmosphärischen Prozessen bis hin zu den Auswirkungen einbezogen werden⁷.

Eine Möglichkeit zum besseren Verständnis von Extremereignissen sind Rekonstruktionen von historischen Hochwassern, also von Ereignissen vor dem Beginn von systematischen Abflussmessungen. Solche Rekonstruktionen lagen auch für das vom Hochwasser 2021 schwer betroffene Ahrtal vor⁹, wurden aber bei der Erstellung von Gefahrenkarten

offensichtlich nicht ausreichend berücksichtigt¹⁰. Dazu gehört auch der Ansatz, die Auswirkungen von historischen Extremen auf die heutige Gesellschaft abzuschätzen. Ein Beispiel ist das ARKStorm-Szenario für Kalifornien, das auf dem Wintersturm 1861/62 basiert. Eine Wiederholung würde den Hochwasserschutz großräumig überlasten, katastrophale Auswirkungen nach sich ziehen und ökonomische Schäden in der Höhe von 725 Milliarden US\$ verursachen¹⁶. Ein weiterer Ansatz stützt sich auf Beinahekatastrophen („near-misses“). Ausgehend von früheren Ereignissen werden dabei Szenarien entwickelt, wobei sich das Ereignis ungünstiger gestaltet als tatsächlich geschehen¹⁷ („downward counterfactuals“). Beispiele sind eine ungünstigere Überlagerung von Ereignisniederschlag mit der Einzugsgebietsreaktion, indem der historische Niederschlag in Raum oder Zeit verschoben wird.

Um gegen Überraschungen bestmöglich gewappnet zu sein, braucht es mehr Phantasie. In einer Studie zur Klimaanpassung der Stadt Rotterdam wurden „vorstellbare Überraschungen“ einbezogen¹⁸. Diese umfassten unter anderem den Zusammenbruch der thermohalinen Ozeanzirkulation, einen schnellen Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen der Eisschilde, das Einschleppen von Malariaerregern über den Seehafen oder Flughafen, und eine Änderung der Wasserpolitik Deutschlands mit Folgen für Hochwasserabflüsse in den Niederlanden. Eine Methode ist, Versagens- oder Extremsituationen vorzugeben und beispielsweise zu fragen: Stellen wir uns vor, dass sich unsere heutige Abschätzung in 10 Jahren als um das Fünffache zu niedrig herausstellt; wie könnten wir das erklären? Überlegungen, die von einer Extremsituation ausgehen und rückwärts gerichtet mögliche Pfade zu den Ursachen suchen, sind oft geeigneter um Überraschungen zu antizipieren, als der übliche vorwärts gerichtete Ansatz¹⁹.

Um Überraschungen zu reduzieren, sollten Risikoanalysen auch daraufhin untersucht werden, ob sie möglicherweise kognitive Verzerrungen enthalten⁴. Um beispielsweise Bestätigungsfehler zu minimieren, sollten alle Annahmen und Entscheidungen, die einer Risikoanalyse zugrunde liegen, offengelegt und begründet werden. Weiterhin sollte nach Informationen und Möglichkeiten gesucht werden, um die zugrundeliegenden Annahmen und Hypothesen zu widerlegen. Auch die Frage, ob bzw. welche katastrophalen Konsequenzen eintreten können, wenn Annahmen und Modelle falsch sind, sollte gestellt werden. Insofern ist auszuloten, wie sensitiv die Risikoabschätzung auf mögliche Modellfehler reagiert.

Schlussbemerkung

Bei der Analyse von Hochwasserrisiken schlagen wir mehr Phantasie, die Bereitschaft, Worst-Case-Szenarien und zusätzliche Ereignisauswirkungen – über Abflüsse und Überflutungsflächen hinaus – abzuschätzen, sowie eine kritischere Haltung gegenüber den eigenen Annahmen und Modellen vor, um besser gegen Überraschungen gewappnet zu sein. Dieser umfassendere Ansatz kann auch die Grundlage für die Frage sein: „Was darf nicht passieren?“ bzw. „Was ist nicht akzeptabel?“. Es lassen sich bei Extremereignissen nicht alle Schäden verhindern, aber derart hohe Opferzahlen wie im Juli 2021 sind nicht hinnehmbar. Bessere Risikoanalysen sind allerdings nur dann ein Baustein für ein besseres Risikomanagement, wenn es gelingt, dieses Wissen in das Management zu integrieren. Hier ist ein abgestimmter Prozess zur Integration solcher Ideen und Instrumente in das

Risikomanagement der Länder, Kommunen und des Bundes erforderlich, beispielsweise unterstützt durch eine Reihe von Workshops mit Beteiligung von Wissenschaft und Praxis mit dem Ziel, klare Verfahrensempfehlungen zu erarbeiten.

Fußnoten

1 Beschluss der Ministerpräsidentenkonferenz am 10.8.2021

2 Paprotny, D., HANZE database of historical damaging floods in Europe, 1870-2016. 4TU.ResearchData. Dataset. <https://doi.org/10.4121/uuid:5b75be6a-4dd4-472e-9424-f7ac4f7367f6> (2017).

3 Kreibich, H. et al., Adaptation to flood risk: results of international paired flood event studies. *Earth's Future* 5, 953–965 (2017).

4 Eine detailliertere Diskussion zur Rolle von Überraschungen bei Hochwasserereignissen findet sich in Merz, B., Vorogushyn, S., Lall, U., Viglione, A. & Blöschl, G., Charting unknown waters — on the role of surprise in flood risk assessment and management. *Water Resour. Res.* 51, 6399–6416 (2015).

5 Rogger, M. et al., Step changes in the flood frequency curve: process controls. *Water Resour. Res.* 48, doi: 10.1029/2011WR011187 (2012).

6 Merz, R. & Blöschl, G., Flood frequency hydrology: 2. Combining data evidence. *Water Resour. Res.* 44, W08433, <https://doi:10.1029/2007WR006745> (2008).

7 Merz, B. et al., Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, doi: 10.1038/s43017-021-00195-3 (2021).

8 Smith, J. A., Cox, A. A., Baeck, M. L., Yang, L. & Bates, P., Strange floods: the upper tail of flood peaks in the United States. *Water Resour. Res.* 54, 6510–6542 (2018).

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

10 Thieken, A. et al., Extreme Hochwasser bleiben trotz integriertem Risikomanagement eine Herausforderung. https://www.uni-potsdam.de/fileadmin/projects/natriskchange/Taskforces/Flut2021_StatementThiekenEtAl.pdf

11 Prein, A. F. et al., Increased rainfall volume from future convective storms in the US. *Nature Climate Change* 7(12), 880-884 (2017).

12 Haraguchi, M. & Lall, U., Flood risks and impacts: a case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making. *Int. J. Dis. Risk Reduct.* 14, 256–272 (2015).

13 Kuhlicke, C., The dynamics of vulnerability: Some preliminary thoughts about the occurrence of 'radical surprises' and a case study on the 2002 flood (Germany), *Nat. Hazards*, 55, 671–688, doi:10.1007/s11069-010-9645-z (2010).

14 Lamb, R. et al., Vulnerability of bridges to scour: insights from an international expert elicitation workshop. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17(8), 1393-1409 (2017).

15 Bähler, F., Wegmann, M., Merz, H., Pragmatischer Ansatz zur Risikobeurteilung von Naturgefahren. *wasser, energie, luft - eau, énergie, air* 93(7/8), 193–196 (2001).

16 Porter, K. et al., Overview of the ARkStorm scenario. In U.S. Geological Survey Open- File Report 2010–1312 183 (USGS, 2011).

17 Woo, G., Downward Counterfactual Search for Extreme Events." *Frontiers in Earth Science* 7(340), (2019).

18 Wardekker, J. A. et al., Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes. *Technological Forecasting and Social Change* 77(6), 987-998 (2010).

19 Bunn, D. W. & Salo, A. A., Forecasting with scenarios." *European Journal of Operational Research* 68, 291–303 (1993).