



Aufnahme nur kurzfristig erfassbarer Geländebefunde nach Hochwasserereignissen

Stefanie Stenger-Wolf , Holger Schüttrumpf , Elena-Maria Klopries , Catrina Brüll , Harish Selvam , Frank Lehmkuhl , Alexandra Weber , Philipp Schulte , Piero Bellanova , Jan Schwarzbauer , Henner Hollert , Sabrina Schiwy , Sarah Johann , Susanne Kozerke und Eva Vonden 

6.1 Anlass der Aufnahme kurzlebiger Daten

Nach einem Hochwasser werden Daten zur Analyse des Hergangs des Flutgeschehens benötigt. Die Daten sollen insbesondere Hinweise auf Schadensursachen geben, mit dem langfristigen Ziel der Entwicklung von Strategien zur Minderung der Auswirkungen. Seltene Hochwasser ($> HQ_{100}$) führen in der Regel zu Schäden in anthropogen genutzten Überschwemmungsgebieten und zur Verlagerung großer Mengen Sediment. Mit einer Hochwasserkatastrophe geht einher, dass die Lage zunächst unübersichtlich und das Schadensausmaß nicht direkt bekannt ist. Unter Umständen erreichte das Hochwasserereignis auch neue Pegelspitzenwerte und ein zuvor unbekanntes Ausmaß an Zerstörungen, wie es im Juli 2021 der Fall war (siehe ► Kap. 3).

6.1.1 Rekonstruktion des hydraulischen Abflussgeschehens

Die Aufnahme von sichtbaren Spuren der Flut helfen bei der späteren Rekonstruktion des Abflussgeschehens und können eine erste Einschätzung des Hochwasserereignisses bezüglich seiner Seltenheit ermöglichen. Von besonderem Interesse sind außerdem Abweichungen von einem erwarteten Hergang des Hochwassers, also eines zuvor bereits aufgezeichneten oder simulierten Events. Selbst wenn das Hochwasserereignis von bestehenden Pegeln erfasst werden konnte, kann durch Verkläuerungen und weitere hydraulische Prozesse die Situation von dem vorher Bekannten bzw. Berechneten abweichen.

Vor der Vor-Ort-Begehung sind Informationen zu Überschwemmungsgebieten und -tiefen in Hochwassergefahren- und Risikokarten zu finden. Diese wurden über hydro-numerische Simulationen ermittelt, was immer mit Vereinfachungen und Ungenauigkeiten einhergeht. Daher ist die Rekonstruktion eines eingetretenen vorabsimulierten Szenarios vor Ort ebenfalls von Interesse. Sowohl die tatsächlich eingetretene Ausbreitung der Überflutung und Wasserstände, als auch Fließgeschwindigkeiten sind hier wichtige Informationen. Denn hohe hydraulische Kräfte aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände führen schnell zu großen Schäden in betroffenen Gebieten.

Hinweis für die Praxis

Die eingetretenen Maximalwasserstände lassen sich im Nachgang eines Hochwasserereignisses gut durch Spuren der Hochwasserwelle selbst, sogenannte Flutmarken, bestimmen (► Abb. 6.1). Diese kommen dadurch zustande, dass Hochwasserwellen nicht aus klarem Wasser bestehen, sondern Sedimente, Schadstoffe und Treibgut mittransportiert werden, die beim Absinken des Wasserstandes Ablagerungen an Gebäuden und anderen Strukturen hinterlassen. Durch die hohen Fließgeschwindigkeiten finden sich ebenfalls Spuren an der Vegetation. So werden durch das Hochwasser beispielsweise an einer Hecke Blätter bis zu einer gewissen Höhe gleichmäßig nach innen gedrückt. Die Richtung der weggedrückten Blätter ist dann ein Hinweis auf die Fließrichtung, aber nicht auf die Geschwindigkeit. Außerdem finden sich nach einem Hochwasser häufig Feinsedimentablagerungen auf Blättern, die überflutet waren, womit sich die Überflutungshöhe zusätzlich validieren lässt (► Abb. 6.1). An Zäunen und Bäumen kann zudem Treibgut zurückbleiben. Fließgeschwindigkeiten hingegen lassen sich im Nachhinein nur schwer bestimmen.

Um diese abzuschätzen, können Videoaufnahmen herangezogen werden, die während des Hochwassergeschehens angefertigt wurden. Hier ist man in der Regel auf Anwohner und Anwohnerinnen sowie Einsatzkräfte angewiesen, die das Hochwassergeschehen unmittelbar miterlebt und dokumentiert haben. Häufig finden sich weitere hilfreiche Videos und Bildmaterial auf Social-Media-Plattformen.



■ **Abb. 6.1** Spuren der Hochwasserwelle an der Vegetation. (Foto: Holger Schüttrumpf, 31.07.2021)

Hinweis für die Praxis

Nicht zuletzt sollte eine umfangreiche Fotodokumentation von Gebäude- und Infrastrukturschäden sowie von geomorphologischen Veränderungen am Gewässerbett und Akkumulationskörpern auf den Auen angefertigt werden. Erosion und Akkumulation von Sedimenten ermöglichen Rückschlüsse auf die Lage des Hauptstromes, und Schadensmuster geben Hinweise auf hydraulische Kräfte, die auf das jeweilige betroffene Gebäude eingewirkt haben

(■ Abb. 6.2).



■ **Abb. 6.2** Abgelöste Verklinkerung an einer Hauswand gibt Hinweise auf hohe hydraulische Einwirkungen während des Hochwassers. (Foto: Stefanie Stenger-Wolf, 18.08.2021)

6.1.2 Rekonstruktion der Schadstoffausbreitung

Viele Schadstoffe lagern sich an Sedimenten an und werden mit diesen mittransportiert. Über das Sammeln und anschließende Auswerten von Sedimentproben lassen sich Rückschlüsse auf die Schadstoffbelastung nach dem Hochwasser sowie auf Stoffströme bilden. Bei der Überschwemmung anthropogen genutzter Auen werden nicht nur Gebäude und Infrastruktur zerstört, es werden auch verschiedenste Schadstoffe aus unterschiedlichsten Quellen von den Wassermassen erfasst und weiter nach Unterstrom (stromabwärts) transportiert (Crawford et al. 2021). In urbanen Gebieten kann es zum Aufschwimmen und Verdriften von Heizöltanks, die sich im Keller, aber auch neben Gebäuden befinden können, kommen. Kommt es zur Beschädigung der Tanks, resultieren Leckagen in einer Ölkontamination in überfluteten Bereichen (■ Abb. 6.3). Außerdem werden in Kellern, Garagen, Lagerhallen sowie in an Industriestandorten gelagerte Farben, Lacke, Treibstoffe und andere Gefahrenstoffe von eintretenden Wassermassen erfasst. Schadstoffeintrag aus von den Wassermassen erfassten Kraftfahrzeugen werden über Auen in Gewässer transportiert. Nicht zuletzt kommt es zum Eintrag von Abwasser aus überlasteten Kanalsystemen in die aufnehmenden Vorfluter und teilweise sogar zur Überflutung von Kläranlagen. In nahe am Gewässer gelegenen Gewerbe- und Industriegebieten ist das Eintragspotenzial von Schadstoffen im flutbedingten Havariefall besonders hoch. Neben dem Eintrag einer diversen Mischung aus verschiedenen Schadstoffen, zu denen polyzy-

■ **Abb. 6.3** Kennzeichnung von potentieller Ölkontamination an einem betroffenen Wohngebäude. (Foto: Harish Selvam, 18.08.2021)



klische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) und Pharmazeutika gehören, werden bei hohen Abflüssen zudem Altlasten auf Auenbereichen erodiert (Esser et al. 2022; Lehmkuhl et al. 2022a). Somit wird bei jedem Flutereignis eine individuelle und komplexe Mischung verschiedenster remobilisierter und neu eingetragener Schadstoffe freigesetzt, die mehr oder weniger starke toxische Wirkungen haben kann. Jedes Flutereignis ist daher ein einmaliges Ereignis hinsichtlich potenzieller Gefahren und muss dementsprechend individuell betrachtet werden. Aus Gründen des Bevölkerungs- und Umweltschutzes ist eine Identifikation und Bewertung der Schadstoffablagerungen von Interesse.

Auch eine Beprobung und anschließende Untersuchung der Wasserphase kann erste Aufschlüsse über die Kontamination der betroffenen Region liefern. Dies ist jedoch in Anbetracht der üblichen Beprobungsverfahren (Stichproben, maximal 24 h Mischproben über Großvolumen Festphasen Extraktion) und der anschließend unbedingt erforderlichen zeitnahen Probenaufbereitung nur eine kurze Momentaufnahme der Belastung der Wassersäule mit limitierter Aussagekraft im Vergleich zur Untersuchung der Schwebstoffe und Sedimente. Sofern sowohl Wasser- als auch Schwebstoff- oder Sedimentphase beprobt werden, sollten die unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich Probenahmegefäße sowie Auf- und Weiterbereitung des jeweiligen Probenotyps beachtet werden.

6.1.3 Kurzlebigkeit der Felddaten

Nach einer Hochwasserkatastrophe steht die Arbeit der Katastrophenschutz und Spontanhelfende an erster Stelle. Gleichzeitig gibt es Daten, die nur innerhalb weniger Tage oder Wochen aufgenommen werden können, weil sie witterungsbedingt oder durch Aufräumarbeiten verloren gehen. Hierzu zählen Sedimentablagerungen, die durch Aufräumarbeiten beseitigt oder zerfahren sowie zertreten werden. Durch erneute Niederschläge oder eine hohe Sonneneinstrahlung kommt es ebenfalls zur Veränderung der Ablagerungen. Flutmarken können durch die Sonne getrocknet, durch erneute Niederschläge weggewaschen und bei Aufräumarbeiten entfernt werden. Außerdem lassen sie sich häufig nur im situativen Kontext zuordnen. Ob es sich um eine anderweitige horizontale Verschmutzung einer Hauswand oder eine Flutmarke handelt, lässt sich manchmal nur an weiteren Spuren auf ähnlicher Höhe erkennen (■ Abb. 6.4). Auch Spuren an der Vegetation lassen sich ohne andere Hinweise oft nur schwer einordnen.

Die Beprobung von Flutsedimenten und das Einmessen von Flutmarken müssen folglich zeitnah nach dem Hochwasser erfolgen. Da insbesondere zentrale Infrastrukturen wie Brücken bereits wenige Tage nach dem Hochwasser zumindest provisorisch repariert werden, ist auch eine Fotodokumentation nur in einem kurzen Zeitfenster möglich.



■ **Abb. 6.4** An den Gebäuden sind Spuren des Hochwassers auf gleicher Höhe zu erkennen. (Bildquelle: Seckler und Wolf 2024)

6.2 Herausforderungen und Empfehlungen für die Aufnahme kurzlebiger Daten nach einem Katastrophenhochwasser

Nach einem extremen Hochwasser ist der optimale Einsatz der kurzfristig verfügbaren Datenaufnehmenden essentiell. Insbesondere wenn mehrere Einzugsgebiete betroffen sind, so wie es Mitte Juli 2021 der Fall war, können umfangreiche Ortsbegehungen und Lageaufnahmen unter Umständen zu lange dauern und Daten können in der Zwischenzeit verloren gehen. Es müssen folglich möglichst direkt Bereiche angesteuert werden, in denen eine Datenaufnahme sehr wahrscheinlich erfolgreich sein wird. Dies sind meist die Bereiche, in denen eine hohe Betroffenheit vorliegt. Als wichtigste Datengrundlage für die Vorbereitung dienen bestehende Hochwassergefahren- und -risikokarten. Hier können potentielle Schadens-Hot-Spots anhand von simulierten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ausgemacht werden.

Beim Aufsuchen dieser „Schadens-Hot-Spots“ darf bei aller Notwendigkeit wissenschaftlicher Aufarbeitung der Ereignisse die dramatische Situation für die betroffene Bevölkerung nicht in Vergessenheit geraten. Extreme Hochwasserereignisse können für große Teile der Bevölkerung traumatisch sein, wie für das Hochwasser 2021 an der Ahr nachgewiesen wurde (Zenker et al. 2024). Ist die Befragung von direkt Betroffenen zur Bewertung der Geländebefunde zwingend nötig, so sind solche Gespräche dringend mit einem größtmöglichen Maß an Vorsicht zu führen (vgl. ► Kap. 9). Der Arbeit von Einsatzkräften und Helfenden ist selbstverständlich zu jedem Zeitpunkt Vorrang zu gewähren.

6.2.1 Aufnahme von Flutmarken

Um in der Datenauswertung anhand von Flutmarken einen Überflutungsbereich aufspannen zu können, sollten ausreichend Flutmarken mit einer hohen Genauigkeit aufgenommen werden. Dabei werden interessante Bereiche möglichst lückenlos aufgenommen, denn das Ausspiegeln von Flutmarken ist mit zunehmender Entfernung von der Flutmarke mit Unsicherheiten verbunden. Büttner (2013) empfiehlt insbesondere für die Kalibrierung von 2D-hydraulischen Modellen eine Flutmarkendichte von mindestens 20 Messpunkten pro km² sowie eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Flutmarken. Es ist empfehlenswert, die Aufnahme von Flutmarken mit bestehenden Hochwassergefahrenkarten, in die ein grobes Raster eingetragen wird, vorzubereiten. Vor Ort sollte eine sorgfältige Auswahl an Messpunkten getroffen werden, da Schwankungen in den anhand von Flutmarken abgeschätzten Wasserstandshöhen die größten Ungenauigkeiten bei einer späteren Modellkalibrierung ausmachen können (Neal et al. 2009). Wenn die Kapazitäten dies zulassen, empfiehlt es sich, möglichst viele Datenpunkte aufzunehmen, damit Ungenauigkeiten im Mittel weniger ins Gewicht fallen.

Im urbanen Raum ist es zielführend, im Vorhinein Straßenzüge, die begangen werden sollen, grob auf Kartenmaterial zu markieren. Besonders interessant ist die Aufnahme von Flutmarken an Gebäuden, an denen bereits historische Hochwassermarken angebracht sind (■ Abb. 6.5). Außerhalb von Ortschaften können ebenfalls Bauwerke wie Pegelhäuser, Mühlen oder landwirtschaftlich genutzte Gebäude identifiziert werden. An Brücken aufgenommene Flutmarken sind mit Vorsicht zu betrachten, da Brückenpfeiler teilweise bereits im abschüssigen Gelände des Uferbereichs stehen. Dadurch können

■ **Abb. 6.5** Flutmarke in Walporzheim an der Ahr. Am Gebäude befindet sich eine ungefähre Kennzeichnung des Wasserstandes von 1804 und Harish Selvam zeigt den anhand von Flutmarken abgeschätzten Wasserstand des Hochwassers von Mitte Juli 2021 an. (Foto: Jan Oetjen, 2021)



dort aufgenommene Flutmarken tiefer liegend erscheinen und sich in der Auswertung als Ausreißer bemerkbar machen. Sind keine geeigneten baulichen Strukturen vorhanden, an denen nach Flutmarken gesucht werden kann, können ebenfalls Treibgut an Bäumen, an Zäunen sowie weitere Spuren an der Vegetation (siehe ► Abschn. 6.1.1) aufgenommen werden. Flutmarken können in der Regel gut mit einem Gliedermaßstab oder Maßband eingemessen werden. Sollte die Flutmarke den Messbereich überschreiten, kann eine Person als Referenzhöhe dienen (■ Abb. 6.5). Für die Aufnahme der Flutmarken empfiehlt sich das Abfotografieren mit einem Handy oder einer Kamera, die die GPS-Position des Bildes als sogenannten Geo-Tag aufnehmen kann. Ideal ist das Aufnehmen von drei Bildern, eines aus einer Entfernung, die das Wiedererkennen des Standorts zulässt, eins aus einer mittleren Nähe, durch die man die Position der Flutmarke verorten kann, und eins aus unmittelbarer Nähe zwecks Ablesens der Skala.

6.2.2 Probenahme von Flutsedimenten

Die Probenahme nach einem Katastrophenhochwasser kann in Abstimmung mit mehreren Institutionen der Wasserwirtschaft und Forschungsinstitutionen stattfinden, was die Verfügbarkeit an Vergleichsdaten und Ressourcen verbessert. Außerdem kann unter Umständen auf bestehende Protokolle aus früheren Studien zurückgegriffen werden.

■ **Abb. 6.6** Probenahme im Uferbereich an der Inde. (Foto: Eva Vonden, 04.08.2021)



Für die Auswahl von Bereichen, in denen Sediment- und Wasserproben genommen werden sollen, sind insbesondere betroffene Schadstoffemittenten von Interesse. Flussabwärts von Industrien und historischen Industriestandorten sind ebenfalls erhöhte Schadstoffkonzentrationen zu erwarten. Zur genaueren Eingrenzung von Probenahmestandorten können Fließgeschwindigkeiten in Hochwassergefahrenkarten wichtige Informationen liefern. Typischerweise lagern sich vermehrt Sedimente in Bereichen mit reduzierter Fließgeschwindigkeit ab. In urbanen Bereichen, die aufgrund von Gebäuden eine sehr hohe hydraulische Rauheit haben, lagern sich ebenfalls große Mengen an Sedimenten ab. Zudem sind urbane Bereiche Schadstoffemittenten, beispielsweise für Schadstoffe aus dem Kanalsystem, Haushaltschemikalien, Heizöl oder Treibstoffe. Proben aus Gebäuden selbst oder der unmittelbaren Umgebung von Gebäuden liefern aufschlussreiche Daten. In betroffenen Kellern sammeln sich große Mengen Sediment, die oftmals ein umfassendes Bild über das lokale Schadstoffinventar ermöglichen. Außerdem lässt sich eine Belastung von Sedimentproben anhand eines Ölgeruchs oder der Kennzeichnung von Ölschäden an betroffenen Gebäuden ausmachen. Auf Auen mit Grünland lässt sich die Aufwuchshöhe (Nettohöhe der Ablagerung) der Sedimente gut an dem Bewuchs feststellen (■ Abb. 6.6).

Basierend auf der analytischen Auswertungsmethode der Wasser- oder Sedimentprobe muss ein geeignetes Probenahmegefäß gewählt werden, da beispielsweise keine Weichmacher oder Metalle aus den Gefäßen in die Probe übergehen dürfen, die das



■ **Abb. 6.7** Lagerung von Flutsedimentproben im Kühlraum des IWW. Die Proben befinden sich in provisorischen Behältnissen, wie handelsüblichen Gefrierbeuteln und Einmachgläsern. (Foto: Stefanie Stenger-Wolf, 26.08.2021)

anschließende Ergebnis verfälschen könnten. Es wird daher empfohlen, ein Notfallsortiment geeigneter Probenahmegefäße, wie z. B. gereinigte Glas- oder Aluf Flaschen vorzuhalten. Idealerweise werden diese Probenahmegefäße direkt in einer Kiste gelagert, die lediglich in den Kofferraum verladen werden muss. Probenahmeequipment, wie etwa eine Handschaufel oder Einmalhandschuhe, Desinfektionsmittel sowie vorbereitete Probenahmeprotokolle, kann hier direkt bereitgehalten werden. Die Realität sieht häufig anders aus, und helfenden Institutionen und Personen, die mit der Probenahme nicht vertraut sind, sind pragmatische Instruktionen zu geben, die auch Kompromisse enthalten. So wurden für die Sammlung von Sedimentproben Mitte Juli 2021 gespülte Einmachgläser sowie handelsübliche Gefrierbeutel verwendet. Die Proben wurden am Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft bis zur weiteren Untersuchung kühl und dunkel gelagert. Zudem fand eine frühzeitige Verständigung bezüglich einer möglichst einheitlichen Protokollierung und Kennzeichnung der verschiedenen Proben statt. Proben, die in nicht optimalen Probenahmegefäßen genommen wurden, oder zwischenzeitlich nicht sachgemäß gelagert werden konnten, können häufig dennoch untersucht und ausgewertet werden. Mögliche Verfälschungen der Ergebnisse durch das Probenahmegefäß oder eine unsachgemäße Lagerung können beachtet werden, wenn beides lückenlos dokumentiert ist (■ Abb. 6.7). Es ist zwingend notwendig die Probennahmesituation fotografisch festzuhalten. Insbesondere wenn, wie oben beschrieben, „helfende Institutionen“ miteinbezogen werden, muss es im Nachhinein eine Möglichkeit geben, um zu überprüfen, ob überhaupt geeignetes Material entnommen wurde.

Gerade bei der Schadstoffbelastung von Sedimenten mit Schwermetallen sind Vergleichswerte notwendig, da es Einzugsgebiete mit hohen geogenen Hintergrundkonzentrationen gibt. Somit ist auch die Aufnahme von unbelasteten Sedimenten von Interesse sowie die Beprobung von Bereichen, zu denen es bereits Informationen aus früheren Studien gibt. Das Vorliegen von Vergleichsdaten aus früheren Studien ermöglicht die Einordnung der Analyseergebnisse der Flutsedimente.

Über die frühzeitige Abstimmung und Zusammenarbeit verschiedener Interessensgruppen (z. B. unterschiedliche Forschungsfelder wie Geologie, Hydrologie, Ökotoxikologie) kann ebenfalls die fachübergreifende Verwendbarkeit der Proben und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse, beispielsweise über das Anwenden von vergleichbaren Analyseverfahren, sichergestellt werden (Bellanova et al. 2024; Johann et al. 2024; Schwanen et al. 2022; Weber und Lehmkuhl 2024; Weber et al. 2023).

6.2.3 Allgemeine Vorbereitung des Feldmess- und Probenahmeinsatzes

Nach der Auswahl der zu begehenden Bereiche für die Aufnahme von Flutmarken und die Probensammlung, ist die Erreichbarkeit sicherzustellen. Orientiert werden sollte sich an öffentlichen Parkplätzen, die sich im Optimalfall nicht in unmittelbarer Gewässernähe befinden und wahrscheinlich nicht durch das Hochwasser betroffen sind. Hier können die offiziellen Hochwassergefahren- und Risikokarten herangezogen werden. Idealerweise liegt der Parkplatz nicht nur außerhalb des Überschwemmungsbereiches eines HQ_{100} , sondern auch eines HQ_{Extrem} . Gegebenenfalls sollten Alternativen eingeplant und Wegstrecken in Kauf genommen werden. Da Straßen und Brücken in stark betroffenen Überschwemmungsgebieten möglicherweise nicht mehr passierbar sind, sollten alternative Zufahrtwege geplant sein.

Generell wird empfohlen, betroffene Bereiche erst zu besuchen, wenn dies wieder gefahrlos möglich ist, die Pegelstände also rückläufig sind. Jedoch kann eine erste Aufnahme der Lage, die erste Informationen liefert, mittels Drohne bereits während des Hochwasserereignisses von sicheren Standorten außerhalb des Überschwemmungsgebietes aus möglich sein. Hier empfiehlt sich eine Drohne, die über „Real-time kinematic positioning“ (RTK), verfügt, da so auf Kontrollpunkte am Boden verzichtet werden kann (Abb. 6.8). Drohnenflüge bedürfen in der Regel Genehmigungen und sind mit sicherheitsbedingten Einschränkungen verbunden. Die generelle Fluggenehmigung sollten vorab vorliegen, und Flugrouten sollten so geplant werden, dass die sicherheitsbedingten Einschränkungen eingehalten werden. Hier empfiehlt sich die frühzeitige Abstimmung und Zusammenarbeit mit offiziellen Stellen. Daten können häufig zwischen verschiedenen Institutionen ausgetauscht werden, sodass durch eine frühzeitige Abstimmung Doppelarbeit vermieden werden kann.

Für die persönliche Sicherheit wird das Tragen von Einmalhandschuhen und eines Mundschutzes sowie das Mitführen von Desinfektionsmittel empfohlen, da vorab nicht bekannt ist, welche Schadstoffe oder auch Keime aus Kläranlagen während des Hochwassers transportiert wurden. Ebenfalls wird das Tragen von langer Kleidung und Sicherheitsschuhen empfohlen, um im Bereich von Trümmern und in unwegsamem Gelände geschützt zu sein. Aus Sicherheits- und Praktikabilitätsgründen wird das Arbeiten in Teams von mindestens zwei Personen empfohlen. Ein korrektes Verhalten vor Ort ist ebenfalls essentiell. Die Privatsphäre und Rechte betroffener Personen sind jederzeit zu wahren und eine Gefährdung von Betroffenen durch die Behinderung von Hilfskräften ist absolut zu vermeiden. Für die Betroffenen ist ein absoluter Ausnahmezustand eingetreten, viele Betroffene wurden traumatisiert oder befinden sich bei einer Datenaufnahme unmittelbar nach dem Ereignis immer noch in einem Schock-Zustand. Alle an der Datenaufnahme beteiligten Personen sollten dies während der gesamten Datenaufnahme



■ **Abb. 6.8** Letzte Vorbereitungen vor dem Start der Drohnenaufnahmen. (Foto: Stefanie Stenger-Wolf, 25.10.2022)

präsent haben und sich entsprechend respektvoll verhalten. Die Bedürfnisse Betroffener haben immer Vorrang und auf die Erfassung von Daten ist in bestimmten Situationen zu verzichten.

Personen sollten nie ohne vorherige Zustimmung fotografiert werden. Auch bei Wohngebäuden ist es ratsam, vorher zu fragen, insbesondere wenn diese von innen fotografiert werden. Zudem sollten an Betroffene keine Versprechungen bezüglich einer Datenauswertung gemacht werden, da diese gegebenenfalls nicht eingehalten werden können. Alternativ können offizielles Informationsmaterial oder der Verweis an offizielle Stellen vorbereitet und verteilt werden. Gespräche mit Betroffenen vor Ort können wertvolle Informationen aus erster Hand liefern, und häufig stehen Betroffene der Datenaufnahme positiv gegenüber, da sie die Verbesserung der zukünftigen Hochwasservorsorge unterstützen möchten. So können in Interviews mit Betroffenen weitere wichtige Daten und Hinweise gesammelt werden. Betroffene können häufig ungefähre Wasserstände rekonstruieren (■ Abb. 6.9).

Jeder Messeinsatz führt zu neuen Erfahrungen und Lehren für den nächsten Messeinsatz. Die hier beschriebenen Empfehlungen zur Aufnahme kurzlebiger Daten (■ Tab. 6.1) sind also als Empfehlungen zu sehen.

■ **Abb. 6.9** Anwohner zeigt den Höchstwasserstand während des Hochwassers an. (Foto: Elena-Maria Klopries, 03.08.2021)



Hinweis für die Praxis

■ **Tab. 6.1** Übersicht der Empfehlungen für die Aufnahme kurzlebiger Daten basierend auf den Erfahrungen der Autorinnen und Autoren

Ziel	Empfehlung	Ausrüstung	Daten- grundlagen
Rekonstruktion des Überschwemmungsgebiets und der maximalen Wasserstände anhand von Flutmarken	<ul style="list-style-type: none"> – Erstellen eines Rasters anhand des bei einem HQ_{Extrem} überfluteten Gebiets, in welchem zu begehende Straßenzüge, einzelne Gebäude und Bereiche markiert sind – Raster mit einer Flutmarkendichte von 20 Flutmarken pro km^2 	Zollstock, Maßband, Kamera oder Mobiltelefon mit einer Geotag-Funktion bei Bildaufnahme	Hochwasser- gefahren- und Risiko- karten

■ **Tab. 6.1** (Fortsetzung)

Ziel	Empfehlung	Ausrüstung	Daten- grundlagen
Luftbildaufnahme des Überschwemmungsgebietes sowie der Betroffenheit zu einem bestimmten Zeitpunkt	<ul style="list-style-type: none"> – Befliegung des Gebiets mit einer geeigneten Drohne in möglichst hoher Höhe – Festlegen von Flugrouten, über die betroffene Bereiche aufgenommen werden können, das Gewässer und Gebäude aber nicht direkt überfliegen werden 	Drohne, idealerweise mit RTK, Genehmigung	Hochwasser- gefahren- und Risiko- karten
Bestimmung der Schadstoffverteilung	<ul style="list-style-type: none"> – Auswahl von Gebieten flussabwärts von potentiellen Schadstoffquellen – Auswahl von Gebieten, für die es bereits Informationen gibt – Vorhalten von geeigneten Probenahmegefäßen – frühzeitige Abstimmung mit anderen Institutionen zwecks Vorgehens und Protokollierung – Lagerung und Prozessierung der Proben zwischen unterschiedlichen Disziplinen abzustimmen 	Kiste mit Probenahmegefäßen und Probenahme-ausrüstung	Hochwasser- gefahren- und Risiko- karten
Erreichen der betroffenen Gebiete	<ul style="list-style-type: none"> – Anstreben von öffentlichen Parkplätzen und Vorhalten von Alternativvorschlägen – Vorbereitung von alternativen Routen 	Fahrzeug, je nach Situation ein einfacher PKW oder ein geländegängiges Fahrzeug	Hochwasser- gefahren- und Risiko- karten
Persönliche Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> – Erst nach Abklingen der Pegel stark betroffene Bereiche besuchen – Tragen von Einmalhandschuhen, Mundschutz, Sicherheitsschuhen und langer Kleidung 	Mundschutz, Einmalhandschuhe, Sicherheitsschuhe, lange Kleidung, Desinfektionsmittel	Pegelinfor- mationen

6.3 Auswertung der nach dem Hochwasser von Mitte Juli 2021 aufgenommenen Daten

Beim Hochwasser von Mitte Juli 2021 wurden ab dem 14.07.2021 Daten in flutbetroffenen Regionen aufgenommen. Das Team aus Forschenden verschiedener Institutionen der RWTH Aachen University und Goethe Universität Frankfurt begann zunächst in Einzugsgebieten, die schnell erreichbar waren, und in denen bereits Daten aus früheren Forschungsarbeiten vorlagen. Der Schwerpunkt der Datenerhebung lag auf dem Einzugsgebiet der Inde, es wurden aber auch Daten entlang der Wurm, Rur und Urft aufgenommen (■ Abb. 6.10). In den ersten Wochen nach der Flut fanden ebenfalls Datenaufnahmen im kleineren Maßstab im Einzugsgebiet der Erft und Wupper statt. In Zusammenarbeit mit weiteren internationalen Forschungseinrichtungen, beispielsweise aus den USA und

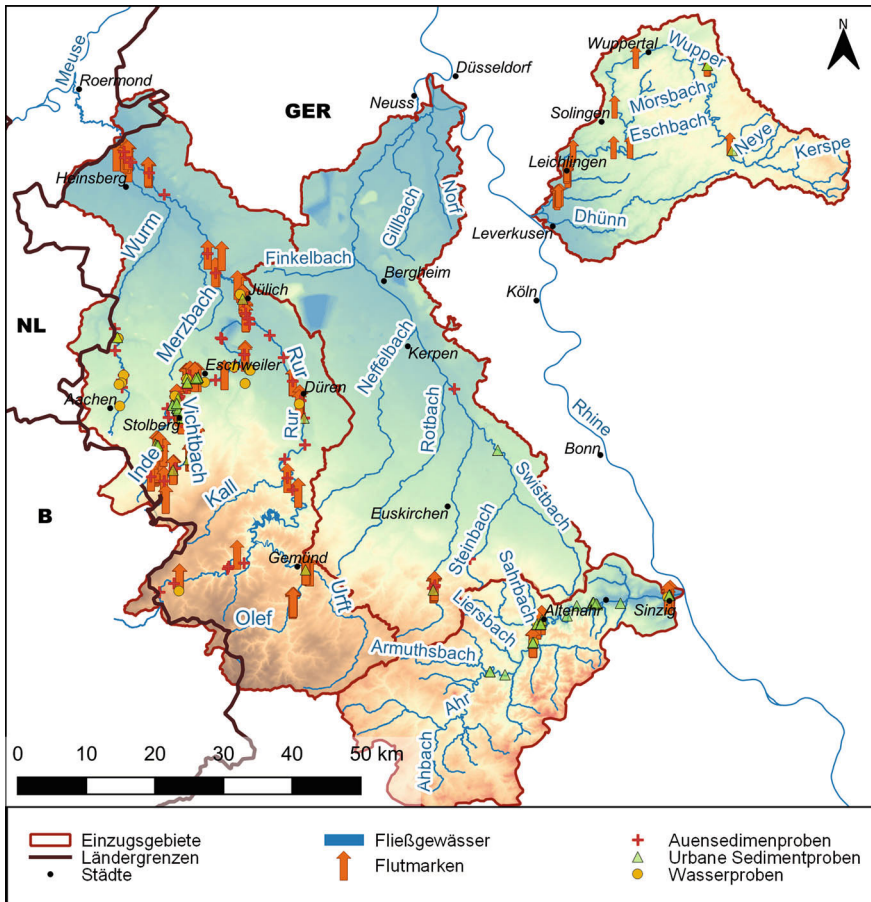


Abb. 6.10 Übersichtskarte der im Rahmen unserer Studien untersuchten vom Hochwasser betroffenen Flusssysteme in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz (Deutschland), mit allen Probenahmestellen und Hochwassermarkenbeobachtungen. (Eigene Darstellung)

den Niederlanden, wurden ab August 2021 ebenfalls Daten im Einzugsgebiet der Ahr aufgenommen.

Nach dem Hochwasserereignis wurden zunächst Grundlagendaten, wie die Flutmarken ausgewertet, und Erfahrungsberichte verfasst (Lehmkuhl et al. 2022b, 2022c; Schüttrumpf 2021; Schüttrumpf et al. 2022a, 2022b, 2022c). Die Flutmarken wurden geoinformationsgestützt flächendeckend im Rahmen einer Masterarbeit ausgewertet. Für die Rekonstruktion von Überflutungsflächen wurden aus dem vorhandenen Datensatz Gebiete ausgewählt, in denen eine Anzahl von mindestens zehn Flutmarken und eine Messdichte von mindestens 20 Flutmarken je km² vorliegen (Abb. 6.11; Kisseler et al. 2023).

Nach der Erstellung einer Datenbasis mit Grundlagendaten konnten diese für weitere Analysen verwendet werden, beispielsweise für die Kalibrierung eines hydronumerischen Modells zur Ermittlung der Sedimentverteilung in Eschweiler (Weber et al. 2023). Des Weiteren wurden die entnommenen Sediment- und Wasserproben in einer breiten

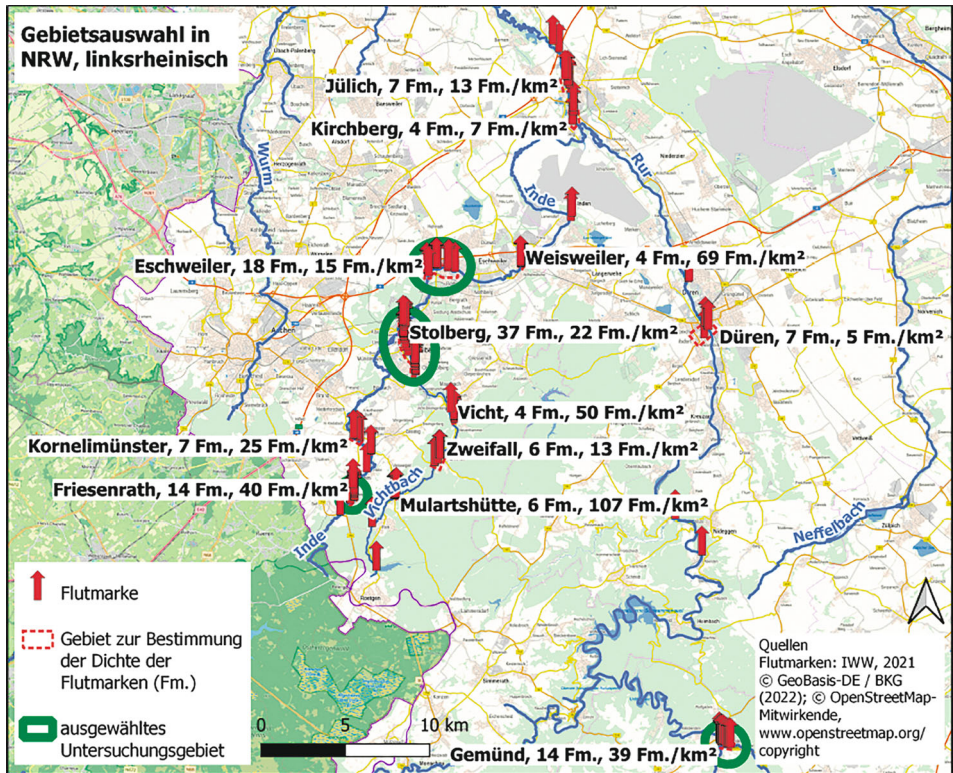


Abb. 6.11 Flutmarkendichte und Gebietsauswahl in Nordrhein-Westfalen. (Bildquelle: Masterarbeit Kisseler, 2022)

Biotestbatterie hinsichtlich einer potentiellen akuten und mechanismusspezifischen Toxizität untersucht. Ein Fokus lag dabei auf der Untersuchung der embryotoxischen und teratogenen Effekte in Zebrafischembryonen und -larven. Zudem wurde in Zelltests untersucht, ob eine potentielle endokrine, mutagene und dioxinähnliche Toxizität in den Proben vorliegt, die durch die komplexen Mischungen hervorgerufen werden können. Die vorherige Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Forschungsinstitutionen bei der Datenaufnahme bildete die Grundlage für weitere größtenteils interdisziplinäre Auswertungen (Bellanova et al. 2022, 2024; Johann et al. 2024; Keßels et al. 2024; Schwanen et al. 2022; Weber und Lehmkuhl 2024; Weber et al. 2023).

6.4 Fazit

Nach einem Hochwasserereignis ist die Erfassung von Daten entscheidend, um den Hergang der Flut zu analysieren und langfristige Strategien zur Schadensminderung zu entwickeln. Erhobene Daten helfen, die Ursachen von Schäden in anthropogen genutzten Überschwemmungsgebieten zu verstehen sowie Schadstoffeinträge und -ausbreitungen einzuschätzen. Insbesondere bei seltenen Hochwasserereignissen kann es schwierig sein, das Ausmaß des Schadens sofort zu erfassen.

Die Rekonstruktion des hydraulischen Abflussgeschehens erfolgt durch die Analyse von Flutmarken und anderen Spuren der Hochwasserwelle. Diese Daten liefern wichtige Informationen über Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten, welche für die Beurteilung der Schwere des Ereignisses entscheidend sind. Die Rekonstruktion des Überschwemmungsgebiets ist ebenfalls für die Validierung von hydronumerischen Modellierungen interessant, denn es können lokale Abweichungen durch Verklausungen auftreten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Rekonstruktion der Schadstoffausbreitung während einer Überschwemmung. In urbanen Gebieten können durch das Hochwasserge-schehen verschiedene Schadstoffe (re)mobilisiert werden, was eine Identifikation ihrer Ablagerungen notwendig macht. Dabei liefern vor allem Sedimentproben Rückschlüsse auf die Schadstoffbelastung nach dem Hochwasser. Eine chemische und ökotoxikologische Untersuchung kann dabei wichtige Informationen zur Schadstoffherkunft liefern und zu einer Einordnung der möglichen Effekte beitragen.

Die Kurzlebigkeit dieser Felddaten ist eine Herausforderung: Witterungsbedingungen und Aufräumarbeiten können dazu führen, dass wichtige Informationen schnell verloren gehen. Daher müssen Daten zeitnah erfasst werden, um ihre Gültigkeit zu gewährleisten.

Empfehlungen für die Datenerhebung umfassen eine sorgfältige Planung und Vorbereitung der Feldmessungen sowie den Einsatz geeigneter Technologien wie Drohnen zur Dokumentation der betroffenen Gebiete. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Institutionen kann zudem wertvolle Vergleichsdaten liefern und die Effizienz erhöhen. Bei der Probenahme sollten potenziell gefährdete Bereiche priorisiert werden, insbesondere in Bezug auf Schadstoffemittenten. Eine korrekte Lagerung und Dokumentation der Proben sind essentiell für spätere Analysen.

Die gesammelten Daten aus dem Hochwasser im Juli 2021 dienen als Grundlage für weitere interdisziplinäre Forschungsarbeiten und Modellkalibrierungen zur besseren Vorhersage zukünftiger Hochwasserereignisse.

Zusammenfassung

- Im Anschluss an ein Hochwasser ist die zeitige Erfassung von Geländebefunden entscheidend, denn diese interdisziplinären Daten helfen, Ursachen von Schäden in anthropogen genutzten Überschwemmungsgebieten zu verstehen und Schadstoffausbreitungen zu identifizieren.
- Da Schadstoffe oft sedimentgebunden transportiert werden, liefern Flutsedimente Informationen über eine Kontamination überschwemmter Flächen.
- Die Rekonstruktion des hydraulischen Abflussgeschehens, insbesondere nach Pegelausfällen, erfolgt durch die Analyse von Flutmarken, welche Informationen über Ausbreitung und Tiefe der Überschwemmung bieten.
- Videomaterial von der Flut kann zudem wichtige Informationen über Fließgeschwindigkeiten liefern.
- Die Kurzlebigkeit der Felddaten aufgrund von Witterung und Aufräumarbeiten stellt eine Herausforderung dar. Daher müssen Daten zeitnah erfasst werden.
- Die gesammelten Daten zum Hochwasser im Juli 2021 bilden die Grundlage für Modellkalibrierungen und weitere Forschungsarbeiten zur Verbesserung der Hochwasserservosorge in Deutschland und Europa.

Danksagung Wir bedanken uns für die folgenden Förderungen, welche die kurzfristige Datenaufnahme sowie die Auswertungen und weitere Verwertung der Daten ermöglicht

haben: Machbarkeitsstudie zur Beurteilung der Schadstoffbelastung von Sedimenten infolge des Juli-Hochwassers 2021 im Übergang vom Mittelgebirge zum Tiefland, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 496274914, Machbarkeitsstudie zur Beurteilung der ökotoxikologischen und toxikologischen Belastung von Sedimenten infolge des Juli-Hochwassers 2021 im Übergang vom Mittelgebirge zum Tiefland, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 497800446, Wissenschaftliche Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen – Klimaanpassung, Hochwasser und Resilienz (KAHR), BMBF Förderinitiative 01LR2102H.

Literatur

- Bellanova P, Schwarzbauer J, Reicherter K (2022) Toxic European Summer Flood; Dispersion of organic pollutants along the Vicht and Inde rivers, Germany <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8550>
- Bellanova P, Schwarzbauer J, Reicherter K (2024) Inventory of aqueous and sediment-associated organic pollutants released by the 2021 flood in the Vicht–Inde catchment, Germany. *Environ Sci Eur*. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00925-6>
- Büttner O (2013) 2D-Modellierung der Hydraulik und des Feinsedimenttransportes von Extremhochwässern in urbanen Gebieten. TU Braunschweig, Braunschweig (Dissertation)
- Crawford SE, Brinkmann M, Ouellet JD, Lehmkuhl F, Reicherter K, Schwarzbauer J, Bellanova P, Letmathe P, Blank LM, Weber R, Brack W, van Dongen JT, Menzel L, Hecker M, Schüttrumpf H, Hollert H (2021) Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *J Hazard Mater* 421:126691. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>
- Esser V, Wolf S, Schwaben C, Schulte P, Brüll C, Lehmkuhl F, Schüttrumpf H (2022) Schadstoffverlagerungen bei Hochwasserereignissen: Ergebnisse aus Langzeitstudien an der neuen Inde im Kontext des Juli-Hochwassers. In: RWTH (Hrsg) RWTH Themen: Hochwasser – Beiträge zu Risiken, Folgen und Vorsorge. Forschungsmagazin
- Johann S, Düster M, Bellanova P, Schwarzbauer J, Weber A, Wolf S, Schüttrumpf H, Lehmkuhl F, Hollert H (2024) Dioxin-like and estrogenic activity screening in fractionated sediments from a German catchment after the 2021 extreme flood. *Environ Sci Eur*. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00989-4>
- Keßels J, Wolf S, Römer W, Dörwald L, Schulte P, Lehmkuhl F (2024) Enormous headward and gully erosion in a floodplain area reclaimed for open-cast lignite mining during the July 2021 flood in the Inde River valley (Western Germany). *Environ Sci Eur*. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00997-4>
- Kisseler E, Wolf S, Sauter H, Schüttrumpf H (2023) Reduktion der Vulnerabilität gegenüber Hochwasser – Empfehlungen zur Flächennutzung auf Basis von Flutmarken des Juli-Hochwassers 2021. *Korrespondenz Wasserwirtsch* 2023(8):498–506. <https://doi.org/10.3243/kwe2023.08.003>
- Lehmkuhl F, Esser V, Schulte P, Weber A, Wolf S, Schüttrumpf H (2022a) Sediment pollution and morphodynamics of an extreme event: Examples from the July 2021 flood event from the Inde River catchment in North Rhine-Westphalia <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-5114>
- Lehmkuhl F, Schüttrumpf H, Schwarzbauer J, Brüll C, Dietze M, Letmathe P, Völker C, Hollert H (2022b) Assessment of the 2021 summer flood in Central Europe. *Environ Sci Eur*. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00685-1>
- Lehmkuhl F, Weber A, Esser V, Schulte P, Wolf S, Schüttrumpf H (2022c) Fluviale Morphodynamik und Sedimentkontamination bei Extremereignissen: Das Juli-Hochwasser 2021 im Inde-Einzugsgebiet (Nordrhein-Westfalen). *Korrespondenz Wasserwirtsch* 2(15):422–427
- Neal JC, Bates PD, Fewtrell TJ, Hunter NM, Wilson MD, Horritt MS (2009) Distributed whole city water level measurements from the Carlisle 2005 urban flood event and comparison with hydraulic model simulations. *J Hydrol Reg Stud* 368(1–4):42–55. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.01.026>
- Schüttrumpf H (2021) Das Juli-Hochwasser 2021 in NRW – Ein erster Erfahrungsbericht. *Wasser Abfall* 23:14–17
- Schüttrumpf H, Birkmann J, Brüll C, Burghardt L, Johann G, Klopries E-M, Lehmkuhl F, Schüttrumpf A, Wolf SS (2022a) Die Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal und ihre Folgen für den zukünftigen Hochwasserschutz. *Wasser Brunnen* 14:43–49 (<https://publications.rwth-aachen.de/record/850877>)

- Schüttrumpf H, Birkmann J, Brüll C, Burghardt L, Johann G, Klopries E, Lehmkuhl F, Schüttrumpf A, Wolf S (2022b) Herausforderungen an den Wiederaufbau nach dem Katastrophenhochwasser 2021 in der Eifel. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hrsg) Nachhaltigkeit im Wasserbau – Umwelt, Transport, Energie. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 68. Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik, S 5–16
- Schüttrumpf H, Brüll C, Klopries E-M, Lehmkuhl F, Wolf SS (2022c) Das Hochwasser 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz: Beobachtungen und Erfahrungen. In: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (Hrsg) Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Wasserwirtschaft im Klimawandel: digitale 55. Essener Tagung für Wasserwirtschaft. Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e. V., (<https://publications.rwth-aachen.de/record/847668>)
- Schwanen C, Bellanova P, Schwarzbauer J (2022) The 2021 Flood Disaster in Germany; Distribution, remobilization and accumulation of organic pollutants along the natural floodplains of the Rur river <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12558>
- Seckler C, Wolf S (2024) Zur Machbarkeit eines Tunnels zur Hochwasserentlastung von der Ahr in den Rhein. Wasser Abfall 26(5):51–57
- Weber A, Lehmkuhl F (2024) Mixed response of trace element concentrations in fluvial sediments to a flash flood in a former mining area. Environ Sci Eur. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00926-5>
- Weber A, Wolf S, Becker N, Märker-Neuhaus L, Bellanova P, Brüll C, Hollert H, Klopries E-M, Schüttrumpf H, Lehmkuhl F (2023) The risk may not be limited to the flooding – Polluted high flood sediments pose a health threat to the unaware public. Environ Sci Eur. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00765-w>
- Zenker M-L, Bubeck P, Thieken AH (2024) Always on my mind: indications of post-traumatic stress disorder among those affected by the 2021 flood event in the Ahr valley, Germany. Nat Hazards Earth Syst Sci 24(8):2837–2856. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-2837-2024>

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.

