

Fernerkundungs-Aktivitäten zu großräumigen hydrologischen Extremereignissen im Kontext des Nationalen Hochwasserschutzprogramms (NHWS)

SILKE MECHERNICH¹ & ROBERT WEIß¹

Zusammenfassung: Im Fall großräumiger hydrologischer Extremereignisse wie Hoch- oder Niedrigwasser, sind Vorbereitungen erforderlich um ein gesichertes Monitoring zu gewährleisten. Dieser Beitrag betrachtet die übergeordneten Anforderungen zur Vorbereitung eines Monitorings. Entsprechend wird die Notwendigkeit der Koordination mit allen beteiligten Institutionen ebenso benannt, wie die Notwendigkeit homogener und aktueller Geobasisdaten rund um relevante Gewässer. Des Weiteren wird beispielhaft auf die Ableitung von Wasser-Land-Grenzen aus satellitengestützten Radardaten (Sentinel-1, unabhängig von Tageslicht und Wolken) eingegangen und erste Ergebnisse des Projektes Sat-Land-Fluss vorgestellt.

1 Einleitung und Motivation

Während der materielle Schaden bei Hochwasserereignissen offensichtlich und die Bevölkerung stark betroffen ist, liegen die Schäden bei Niedrigwasserereignissen v.a. im wirtschaftlichen und ökologischen Bereich. So konnten beim Niedrigwasser am Rhein 2018 monatelang die Schiffe nur mit geringer Beladung fahren, was u.a. zu Lieferengpässen von Produkten für die chemische Industrie, Treibstoff und pharmazeutischen Waren führte. Der wirtschaftliche Schaden war so groß, dass 2019 seitens des damaligen Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI, heute Bundesministerium für Digitales und Verkehr, BMDV) der Aktionsplan Niedrigwasser Rhein (8-Punkte Plan) ins Leben gerufen wurde. Auf der anderen Seite treten immer wieder Hochwasserereignisse auf. Die Hochwasserkatastrophe im Bereich Ahr im Juli 2021 mit ihren unfassbaren Schäden, Verlusten von mindestens 220 Menschenleben sowie unzähligen Verletzten und Obdachlosen hat das Jahr 2021 stark überschattet.

Um in solchen Extremereignisfällen agieren und reagieren zu können ist es zwingend erforderlich den jeweiligen Extremereignisverlauf vorher, währenddessen und im Nachgang nachvollziehen zu können. Hierzu ist eine Fülle von quantitativen Daten gefordert. In Anbetracht der erforderlichen Schnelligkeit der Daten- und Produktverfügbarkeit im Ereignisfall, bietet die Fernerkundung ein großes Potential. Um eine effiziente Datenbereitstellung im Ereignisfall zu erreichen, ist es erforderlich, dass alle Beteiligten und betroffene Verwaltungen die Interessen und Anforderungen an die Daten und Produkte möglichst vorab koordinieren und konkrete Maßnahmenpakete vorbereiten. Dementsprechend arbeiten Bundes- und Landesbehörden u.a. im Rahmen des Nationalen Hochwasserschutzprogramms (NHWS) zusammen. Hierbei müssen mehrere Handlungsfelder berücksichtigt werden (s.a. BfG, BBK, BKG 2019), zu denen in der BfG aktuell u.a. Projekte mit den folgenden Zielen und Schwerpunkten verfolgt werden:

¹ Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, D-56068 Koblenz, Deutschland, E-Mail [mechernich, weiss]@bafg.de

- Koordination und Vorbereitung für den Ereignisfall
- Erforderliche Geobasisdaten
- Forschung und Entwicklung (F&E) zur Unabhängigkeit von Wetterbedingungen

Im Folgenden geben wir für jedes dieser Punkte je ein aktuelles Projektbeispiel.

2 Koordination und Vorbereitung für den Ereignisfall

Um im Ereignisfall vorbereitet zu sein und alle erforderlichen Daten fristgerecht, wirtschaftlich und gesichert in der erforderlichen Qualität zu erfassen, ist ein koordiniertes und strukturiertes Vorgehen erforderlich. Hierzu wurde beispielhaft mit den Konzeptarbeiten auf Bund-Länder-Ebene zur Erstellung eines Messprogramms „Quantitative hydrologische Extremereignisse – Elbe und wichtige Nebenflüsse“ (Messprogramm Extreme Elbe) begonnen.

2.1 Das Projekt Messprogramm Extreme Elbe (Quantität)

Dieses Messprogramm umfasst die Themen Wasser-Land-Grenzen, Abflussmessungen und Wasserspiegelfixierung. Wesentlicher Kernpunkt des Messprogramms ist die Erstellung einer exakten Handlungskette im Ereignisfall, sowie aller nötigen Unterlagen für die Bearbeitung. Dies beinhaltet v.a. folgende Klärungen:

- der Warn- und Auslösestufen,
- des Bearbeitungsgebietes (Gewässerstrecke, Vorschlag in Abb. 1; im Fall der Wasser-Land-Grenzen Bestimmung inkl. Breite des Messbereichs),
- der Verantwortlichkeiten der Koordination zur Erfassung der Daten und Erstellung der Produkte,
- einer eindeutigen fachlichen Beschreibung der erforderlichen Produkte, ggf. in Form einer oder mehrerer Leistungsbeschreibungen für Vergaben (inkl. Messhäufigkeit und Produktarten, inkl. Qualitätsbeschreibung),
- ein Marktüberblick zu in Frage kommenden Firmen für Vergaben,
- Produktbereitstellung (wo, wie schnell, usw.) und die
- Finanzierung.

Der aktuelle Vorschlag für das Monitoring von Wasser-Land-Grenzen ist multidisziplinär und berücksichtigt folgende Standbeine:

- die Nutzung von Satellitendatenauswertungen des Copernicus-Dienstes des Katastrophen- und Krisenmanagements (CEMS) „Rapid Mapping“ zur schnellen Einschätzung der Lage (Beispiel in Abb. 2),
- Bildflüge zum Zeitpunkt des Hochwasser-Scheitels bzw. Niedrigwasserstandes für eine qualitativ hochwertige und lückenlose Erfassung (Beispiel in Abb. 3),
- ggf. auch lokale Messungen von Hochwassermarken bzw. Geschwemmsellinien im Ereignisfall.

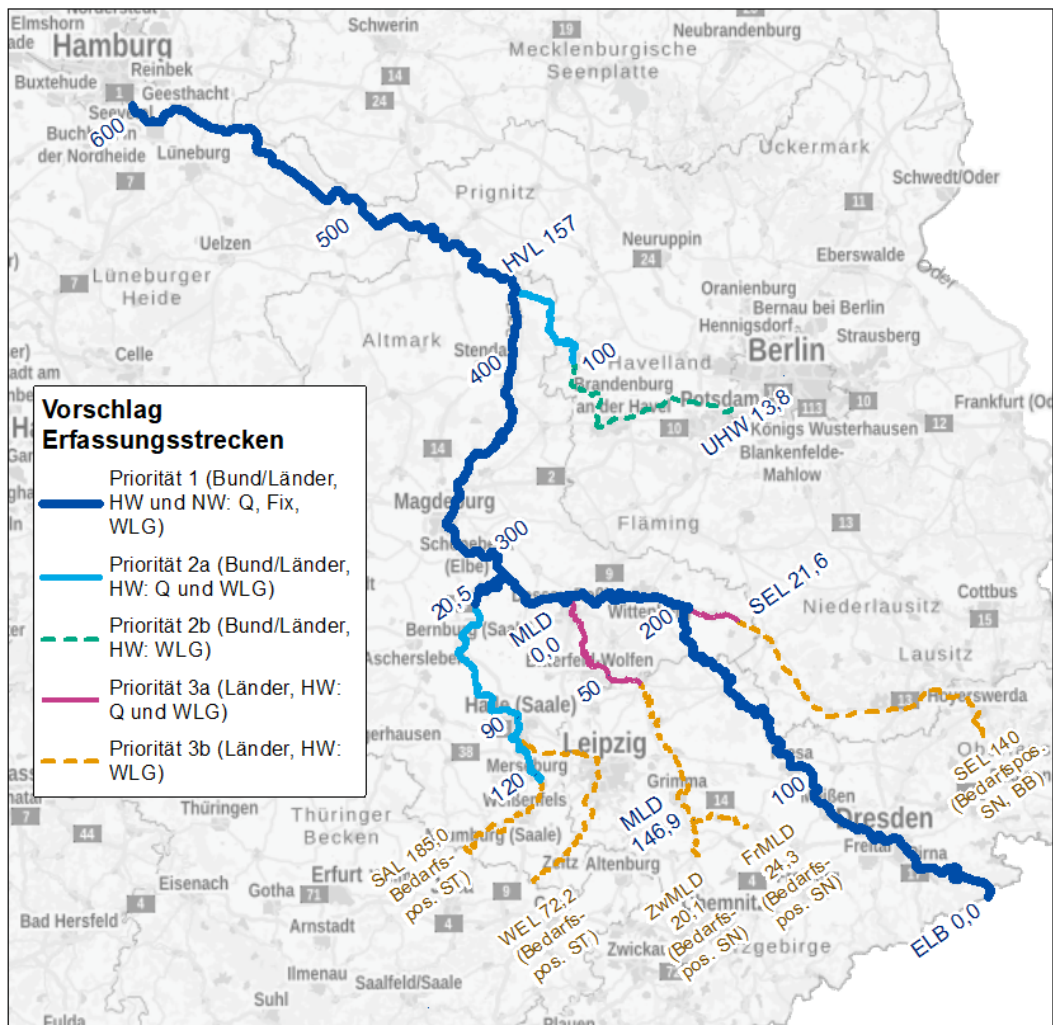


Abb. 1: Gegenwärtiger Vorschlag der zu erfassenden Flusstrecken und deren Priorisierung
 HW: Hochwasser, NW: Niedrigwasser, Q: Abflussmessungen, Fix: Wasserspiegelfixierungen, WLG: Wasser-Land-Grenzen-Bestimmungen, ELB: Elbe, SEL: Schwarze Elster MLD: (Vereinigte) Mulde, SAL: Saale, UHW: Untere Havelwasserstraße

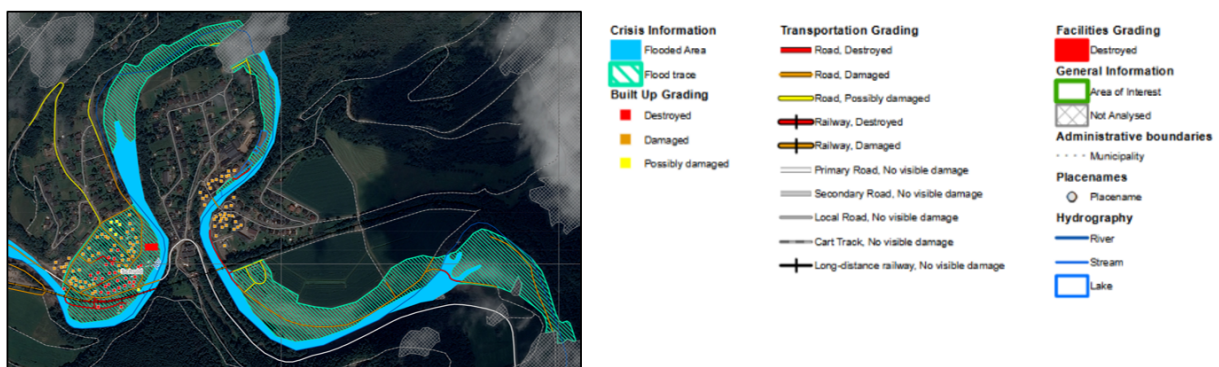


Abb. 2: Ausschnitt eines Produktes des Copernicus-Dienstes für Katastrophen- und Krisenmanagement (CEMS) der Aktivierung EMSR517, Hochwasser 07/21 an der Ahr (COPERNICUS EMERGENCY MANAGEMENT SERVICE 2021)

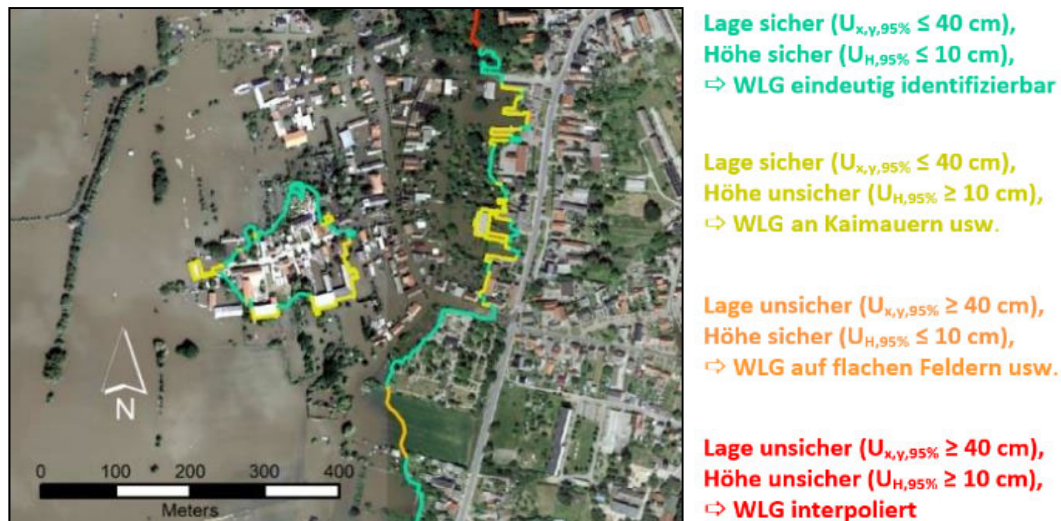


Abb. 3: Digitales Orthophoto des Hochwassers 2013 an der Elbe und die Wasser-Land-Grenzen, attribuiert nach ihren Lage- und Höhenunsicherheiten (Karte basierend auf Daten von BfG 2015)

Neben den fernerkundungsbasierten Produkten sind auch die Abflussmessungen und Wasserspiegelfixierungen Gegenstand dieses Projektes. Abflussmessungen dienen der Erfassung des aktuellen Abflusses im Sinne einer Angabe, wieviel m^3 Wasser pro Sekunde das Gewässer durchströmen. Diese Messungen werden schiffs- oder USV-basiert mit Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) Systemen durchgeführt. Eine Wasserspiegelfixierung dient der Erfassung der aktuellen Wasseroberfläche entlang der Gewässerachse. In der heutigen Zeit werden entsprechende Fixierungen mit schiffsbasierten Global Navigation Satellite Systems (GNSS) -Messtechniken durchgeführt.

Um die unterschiedlichen Bedarfe v.a. von Bund und Ländern abzudecken, wirken zahlreiche Institutionen der Länder sowie des Bundes mit. Auf die Art ist sichergestellt, dass die Erstellung von Mehrzweck-Produkten für verschiedenste Anwendungen gegeben ist. Die Projektgruppe setzt sich daher aus Bundesvertretern der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG, Projektleitung) und des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (WSA Elbe), sowie aus Vertretern verschiedener Landesdienststellen zusammen. Im Detail wirken seitens der Länder folgende Institutionen mit:

- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG SN)
- Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV SN)
- Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL SN)
- Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU BB)
- Landesbetriebes für Hochwasserschutz Sachsen-Anhalt (LHW ST)
- Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Westmecklenburg (StALU WM)
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH)

Vor dem Hintergrund der zahlreichen erforderlichen Absprachen und insbesondere der verbindlichen Klärung der Finanzierung soll das Messprogramm 2024 operationell sein. Es wird angestrebt das Projekt als verstetigtes Messprogramm zu etablieren.

3 Erforderliche Geobasisdaten

Für vielfältige Grundlageanwendungen, wie z.B. die Wasserstandsvorhersagen, die Simulation von Hochwasser-Wellenabläufen, oder die Berechnung von HW-Risikokarten, sind aktuelle, homogene und flächendeckende Geobasisdaten erforderlich. In diesem Zusammenhang wird momentan ein aktualisiertes und homogenes Digitales Geländemodell des Wasserlaufs (DGM-W) der Elbe erstellt.

3.1 Das Projekt DGM-W Elbe

Das Bearbeitungsgebiet des Bund-Länder-Projektes umfasst die Binnenelbe von der tschechischen Grenze bis Hamburg, zzgl. der Unteren Havelwasserstraße von Rathenow bis zur Mündung in die Elbe (Abb. 4). Geodätisch erfasst und modelliert werden dabei hochwasserrelevante Gebiete und die Gebiete der Altauen. In Summe werden 4285 km² entlang von 723 Fluss-km bearbeitet.

Die Daten, welche der DGM-W Modellierung zugrunde liegen, entstammen v.a. einer ALS-Datenerfassung die im Rahmen des Projektes erfolgt, aus aktuellen Echolotdaten, sowie erstmalig in einem DGM-W Projekt auch aus flächendeckenden bathymetrischen ALS-Daten (Niedrigwasserbefliegung 2018, KUEHNE 2021). Des Weiteren werden, wie bei jedem DGM-W, Bauwerksdaten der Wehre und Schleusen mit eingebunden. Die Verknüpfung der verschiedenen Datensätze stellt eine Herausforderung dar, da Datensätze unterschiedlicher Sensoren, unterschiedlichen Alters und verschiedenen geometrischen Eigenschaften etc. zu einem homogenen Modell fusioniert werden sollen.

Kernprodukte sind neben dem DGM-W auch die klassifizierten Laserdaten, ein DOM und Querprofile.

Die Projektleitung erfolgt bei diesem Projekt durch die BfG, wobei innerhalb von Projektgruppen alle beteiligten Institutionen des Bundes und der Länder mit eingebunden sind. Im Wesentlichen werden Ingenieurleistungen im Bereich der Datenerfassung und Datenaufbereitung vergeben. Die Kosten hierfür sind anteilig auf Bund und Länder verteilt.

Das Gesamtbearbeitungsgebiet ist in drei Lose aufgeteilt, die separat bearbeitet werden (vgl. Abb. 5 und 6). Die ALS-Befliegung des gesamten Projektgebietes findet im Winter 2021/2022 statt. Neben der Vorgabe zur Vegetations-, Eis- und Schneefreiheit sind weiterführende Rahmenbedingungen, wie etwa definierte Wasserstände bei den Befliegungen einzuhalten. Dies führt dazu, dass die Anzahl der potenziellen Flugtage im Winter relativ gering ist und jedes Flugfenster zu nutzen ist.

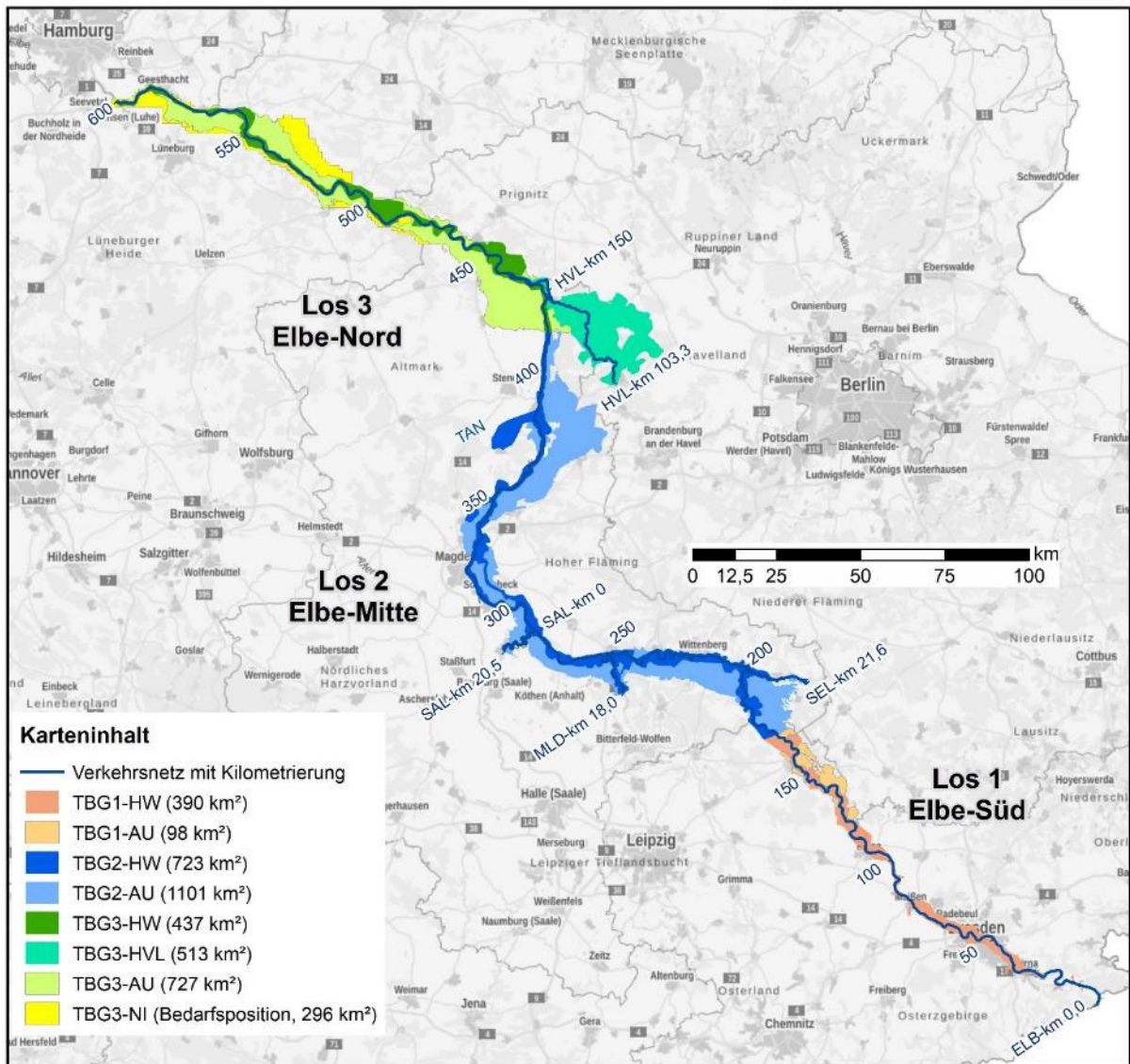


Abb. 4: Bearbeitungsgebiet des DGM-W Elbe inkl. der Gebietsunterteilungen, TBG: Teilbearbeitungsgebiet, HW: Hochwasser, AU: Altauen

Im staugeregelten Bereich der Unteren Havelwasserstraße (UHW) sind die Wasserstände im Winter standardmäßig relativ hoch, so dass auch außerhalb der UWH viele Flächen überflutet sind (Abb. 6). Nach einer detaillierten Abwägung der Interessen aller Beteiligten und betroffenen Institutionen, auch außerhalb der Projektgruppe, wurde ein gemeinsames Vorgehen abstimmt. Hierbei wurden über einen abgestimmten Zeitraum Zielwasserstände in der UHW definiert, die entsprechend der Planung realisiert werden konnten. Die Befliegung dieses kritischen Bereichs von 513 km² konnte im Dezember 2021 abgeschlossen werden. Dies war möglich, nachdem im Interesse aller Beteiligten die Entscheidung getroffen wurde, eine Befliegung innerhalb der Dämmerung durchzuführen, wodurch zwar in einem Teilgebiet keine nutzbaren Luftbilder als Sekundärprodukt erzeugt wurden, aber dafür der Zeitraum der Wasserstandsabsenkung möglichst kurzgehalten wurde.

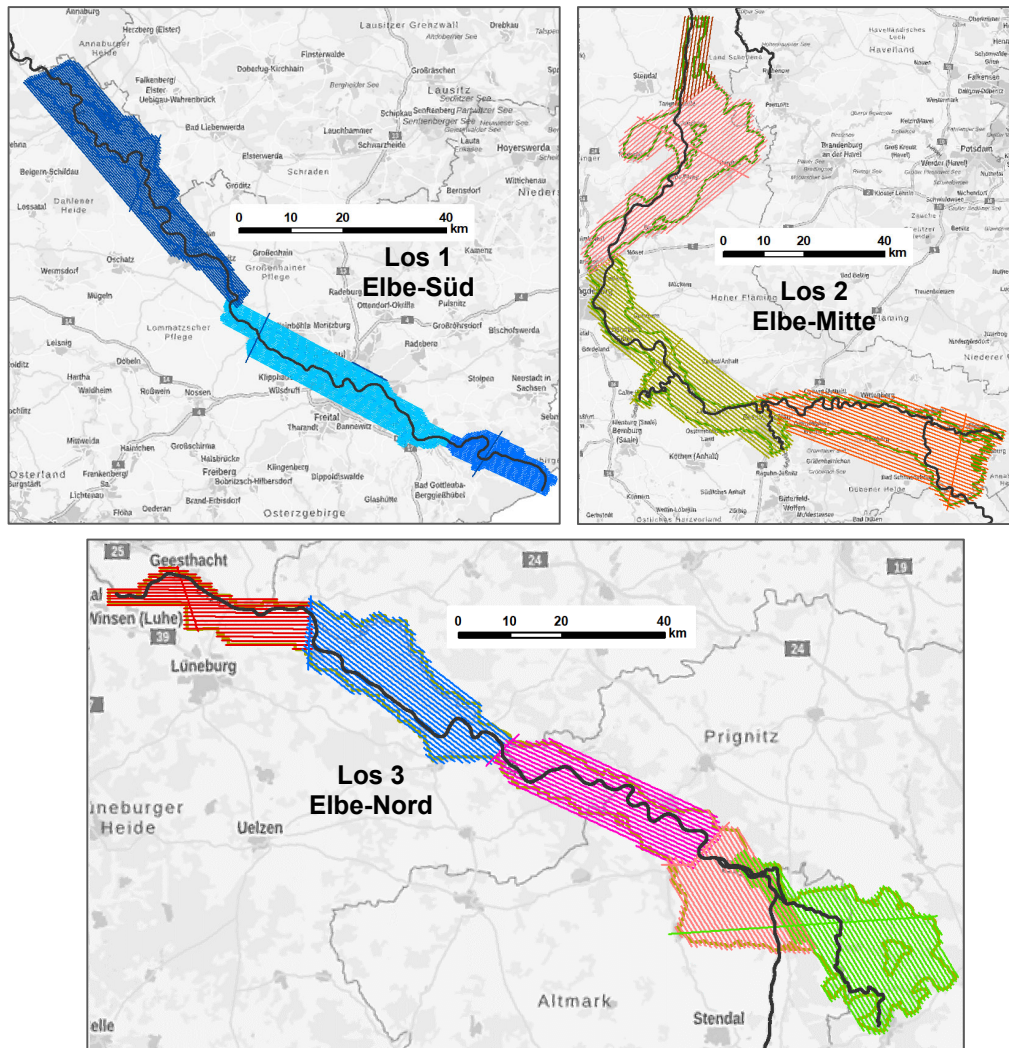


Abb. 5: Blöcke der Befliegung in Los 1 (links), Los 2 (Mitte) und Los 3 (rechts)

Für die freifließende Strecke der Elbe werden täglich die vorhergesagten Wasserstände geprüft und entsprechend die Flugfreigaben erteilt. Bis zum 15.01.2022 wurden ca. 15 % (550 km²) der Elbe-Flächen erfasst.

Neben der aktuellen konventionellen ALS Befliegung fand im Kontext des DGM-W Elbe auch eine flächendeckende Befliegung mit einem bALS System zum Zeitpunkt Niedrigwassers 2018 statt. Diese Befliegung war insofern neu, als dass hierbei erstmalig in Deutschland bei einem so großen Projekt eine flächendeckende Full-Waveform Aufzeichnung durchgeführt wurde und die so erfassten Daten auch einer vollständigen FWF Reprozessierung unterzogen wurden. Insofern stellt diese Befliegung das Maximum dessen dar, was aktuell mit der bALS Technik möglich ist. Aktuell befindet sich das Projekt im Zeitplan und sollte Ende 2024 abgeschlossen sein. Die dann vorliegenden Daten werden frei verfügbar sein.

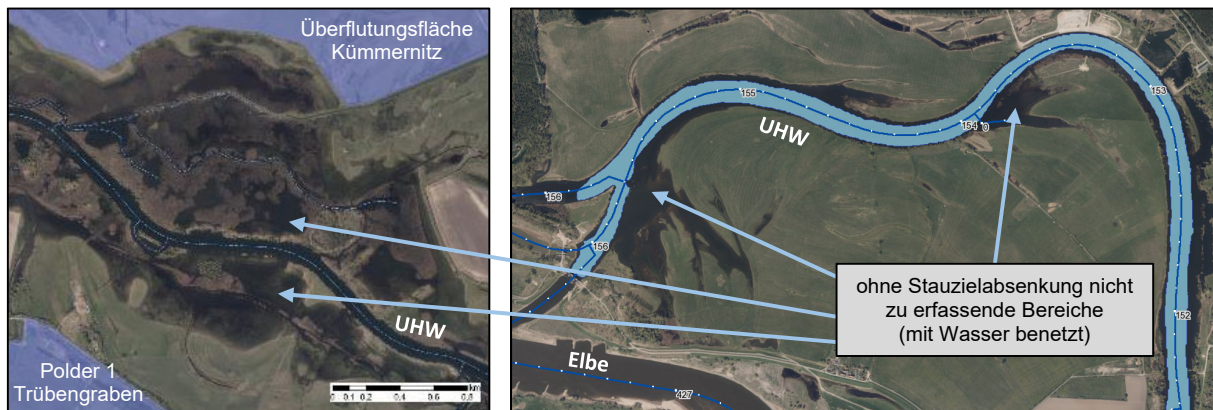


Abb. 6: Gebiet der UHW mit angrenzenden überfluteten Flächen, Hintergrund: DOP-DE ©GeoBasis-DE/BKG (2021)

4 F&E zur Extremereigniserfassung unabhängig von den Wetterbedingungen

Die meisten Messsysteme sind abhängig von guter Sicht und/oder ausreichenden Lichtverhältnissen (ALS, optisch). Synthetic Aperture Radar (SAR) Systeme haben dagegen die Eigenschaft Wolken zu durchdringen und als aktives Messsystem können sie somit jederzeit, unabhängig von Tageslicht und Wetterverhältnissen, angewandt werden. Entsprechend bietet die qualitätsgesicherte Auswertung von Radardaten ein sehr großes Potential um Extremereignisse gesichert erfassen zu können (MARTINIS et al. 2015).

V.a. zur Identifikation von glatten Wasseroberflächen eignen sich die SAR-Daten sehr gut. Meist wird hierbei die Intensität der Rückstreuung genutzt, da eine glatte Wasseroberfläche eine spiegelnde Eigenschaft aufweist, sodass die dazugehörigen Pixel eine sehr geringe Rückstreuung aufzeigen (MARTINIS et al. 2015; Abb. 7). Im Rahmen des europäischen Copernicus-Programms werden mit Sentinel-1A und -1B zwei SAR-Satelliten betrieben, die entsprechende Radaraufnahmen generieren können. Zwar liefern diese SAR-Systeme in regelmäßigen und bekannten Abständen neue Daten, jedoch entstehen aufgrund der relativ niedrigen Satellitenauflösung und anderen Problemen Datenlücken und Unsicherheiten, die in vorhandenen Produkten weitgehend undokumentiert sind.

Aufgrund der schrägen Aufnahmegeometrie kommt es bei SAR-Bildern zu geometrisch bedingten Abbildungseffekten, wie Foreshortening, Layover, Lagefehlern bewegter Objekte, und Abschattungen, die durch unebenes Gelände verursacht werden. Vor diesem Hintergrund ist die Aufarbeitung von Radardaten sehr komplex. Insbesondere die Abschattung (z.B. durch Steilkanten, Vegetation oder Gebäuden) stellt eine Herausforderung dar, da in diesem Bereich ähnlich zu Wasseroberflächen keine Rückstreuung auftritt. In Gebieten mit starker Vegetation und in urbanen Gebieten kann es zudem zu verstärkten, abgelenkten bzw. Mehrfachreflexionen kommen. Die Rauheit von Wasseroberflächen z.B. durch Windeinwirkung stellt eine weitere Herausforderung dar, da in diesem Fall das Wasser auch eine deutliche Rückstreuung aufweist (MARTINIS & RIEKE 2015).

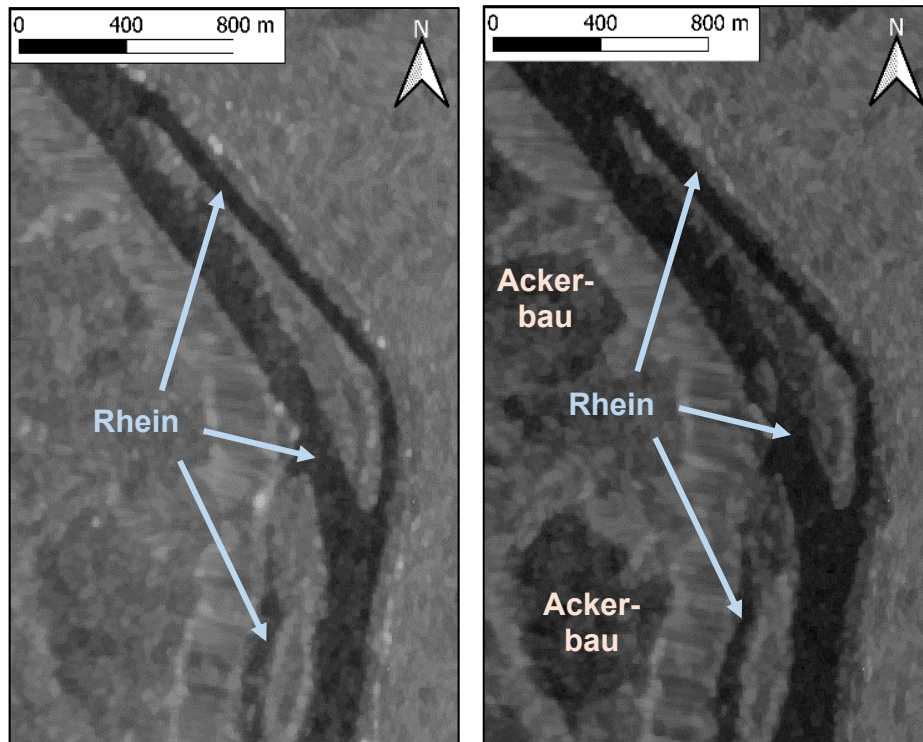


Abb. 7: Rückstreuintensitäten am Mittelrhein von der Sentinel-1B Szene vom 17.11.2018 (descending), der Polarisationen VV (links), VH (rechts); in schwarz/dunkelgrau sind Bereiche niedriger Rückstreuintensität dargestellt, die hier v.a. durch die glatte Wasseroberfläche des Rheins hervorgerufen wird

Es sind verschiedene Produktanbieter für Hochwasserereignisse verfügbar, deren Dienste entsprechend aufbereitete SAR-Daten bereitstellen. Zu nennen wären hierbei z.B. das „Global Flood Monitoring“ des Copernicus-Dienstes für Katastrophen- und Krisenmanagement (CEMS). Hier wird jedoch ein Großteil der Flächen ausgeschlossen (z.B. abgeschattete Gebiete, urbane Gebiete, Wald), was die Nutzung für vielfältige Zwecke stark einschränkt. Des Weiteren erstellt die CEMS-Komponente „Mapping“ unter der Voraussetzung einer Aktivierung schnelle Kartenprodukte aus verfügbaren Satellitendaten. Zusätzlich existieren verschiedene thematisch spezialisierte, oft kommerzielle Dienste. Allen gemeinsam ist, dass die Validierung der Kartenprodukte nicht oder nur sehr begrenzt durchgeführt wurde. Im Kontext dieser Punkte wurde das Projekt Sat-Land-Fluss initiiert.

4.1 Das Projekt Sat-Land-Fluss

In dem laufenden BfG-Projekt „Sat-Land-Fluss“ (Satellitenbasierte Wasser-Land-Grenzen-Bestimmung, DLR-Förderaufruf „Nationale Nutzung Copernicus“) erforscht und entwickelt die BfG das Verbesserungspotential der Satellitendatenauswertung. Hierfür werden Sentinel-1 Daten aufbereitet und mit zusätzlichen Geobasisdaten sowie hydrologischen Daten kombiniert. Ziel ist es, u.a. exemplarisch herauszuarbeiten wie hoch der Mehrertrag dieser Zusatzdaten ist. Die Anwendungsthemen des Projektes sind dabei einerseits Extremereignisse im Binnenbereich von Bundeswasserstraßen, aber auch die hochdynamische Situation im Tidebereich.

Methodisch wird in einem ersten Schritt eine geometrische und radiometrische Aufbereitung der Rückstreuintensitäten von S1-Szenen (Modus Interferometric Wide Swath, IW, Level 1 Single Looking Complex, SLC) mittels Sentinel Application Platform (SNAP) durchgeführt. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in Abb. 7 dargestellt. Basierend hierauf wird in Anlehnung an das Verfahren von TWELE et al. (2016) automatisiert ein Grenzwert bestimmt. Die Anwendung dieses Grenzwertes ist für den Niedrigwasserfall 2018 am Mittelrhein in Abb. 8a dargestellt. Die reale WLK ist hier sehr gut bekannt, da kurz zuvor bei einem gleichen Wasserstand eine Bildbefliegung (im Auftrag des WSA Oberrhein, Abwicklung durch die BfG) stattgefunden hat. Die stereoskopisch bestimmte WLK ist in Abb. 8 gelb dargestellt und verdeutlicht die Defizite, die die automatisiert abgeleitete Wassermaske der jeweiligen Polarisation ergibt. Entsprechend wird in den nächsten Schritten zur Ausgrenzung von Flächen in Höhenlagen der Algorithmus des „height above nearest drainage“ (HAND, NOBRE et al. 2011) angewandt, wobei hier die DGM5 Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) zugrunde gelegt werden. Des Weiteren wird die Lokalität der Fahrrinne genutzt zur Eliminierung von Schiffsrückstreuung sowie zur feingliedrigeren Auslösung im Fall schmaler Gewässerabschnitte. Die deutlichen Verbesserungen sind in Abb. 9b dargestellt.

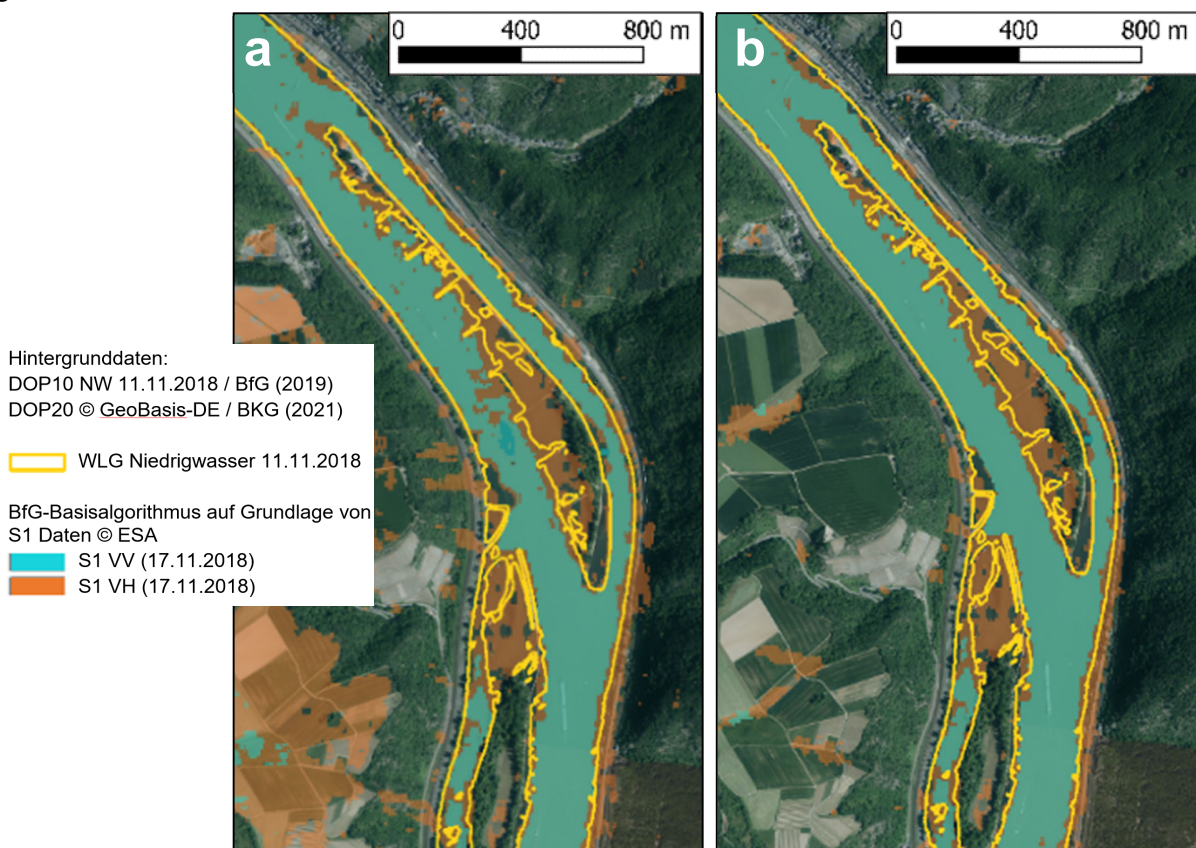


Abb. 8: Beispiel der ersten Schritte der Ableitung einer Wassermaske für das Niedrigwasser 2018 am Mittelrhein mit dem Basisalgorithmus von Sat-Land-Fluss, (a) Wassermaske aus den Polarisationen VV und VH basierend auf der Sentinel-1 (S1) Datenanalyse mit SNAP, (b) verbesserte Wassermaske der Polarisationen VV und VH nach Integration des HAND-Algorithmus und der Lage der Fahrrinne; WLG: Wasser-Land-Grenze, basierend auf stereoskopischer Auswertung eines Bildfluges

Weiterhin bestehen Herausforderungen, v.a. durch

- Wasseroberflächenrauheit oder angelegte Schiffe
- Abschattungen (Gelände, Bebauung, Vegetation)
- Durchfeuchtung oder relativ glatte Oberflächen
- Die niedrige räumliche Auflösung der S1-Daten

Diese Punkte werden aktuell durch Integration weiterer Zusatzdaten bearbeitet, v.a. durch Integration hochaufgelöster Geobasisdaten (u.a. DGM-Ws) sowie durch vorhergesagte bzw. gemessener Wasserstände. Die nachfolgende Validierung der Wassermasken und WLGs hat einen hohen Stellenwert. Das Projekt arbeitet in enger Kooperation mit verschiedenen Verwertungspartnern auf Bundesebene. Zu nennen wären hierbei vor allem das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), das Bundesamt für Kartografie und Geodäsie (BKG) mit dem SKD, das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) und die Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

Gemeinsam mit den Verwertungspartnern werden weiterführende WLG-Produkte erstellt, mit dem Fokus der Anwenderorientierung und Nutzbarkeit. Denkbar wären hier z.B. Zeitserien für Überflutungsflächen, jährliche Niedrigwasserstände oder die Identifikation Veränderungshotspots. Insgesamt können bei erfolgreichem Projektverlauf WLGs und weitere Produkte relativ kurzfristig und mit einem sehr geringen monetären Aufwand in höherer Qualität abgeleitet werden, als sie aktuell verfügbar sind.

5 Fazit & Ausblick

Insgesamt zeigen diese Projekte beispielhaft den Umfang erforderlicher Vorbereitungen für ein Monitoring hydrologischer Extremereignisse und verdeutlichen, dass zahlreiche Methoden, Kompetenzen und Koordinationen erforderlich sind. Insbesondere vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit ist eine optimale Abstimmung aller Beteiligten und aller Bedarfsträger zwingend geboten. Es muss das Ziel sein, alle Bedürfnisse seitens der involvierten Institutionen zu erfüllen und gleichzeitig die technischen Möglichkeiten vollumfänglich auszuschöpfen. Über allem steht dabei die Herausforderung, alle Aktivitäten so zu bündeln und zu fokussieren, dass ein maximaler fachlicher Profit aus den verwendeten Ressourcen generiert wird.

Mit dem Messprogramm Elbe Extrem soll eine mit allen Beteiligten abgestimmte Blaupause geschaffen werden, wie im Fall eines definierten Extremereignisses zu verfahren ist. Es ist das Ziel alle relevanten Daten nur einmal in hochwertiger Qualität zu erfassen und Redundanzen zu vermeiden. Dabei sollen alle Ergebnisse allen Beteiligten zur Verfügung stehen. Dieses Programm steht somit stellvertretend für eine abgestimmte und vorbereitete Vorgehensweise während eines Extremereignisses.

Im Vorfeld ist es die Aufgabe verschiedenster Institutionen auf entsprechende Extremereignisse vorbereitet zu sein. Diese benötigen aktuelle und vor allem hochwertige Geobasisdaten. Auch hier gilt es, die eingesetzten Ressourcen bestmöglich zu nutzen. Im Fall des DGM-W Elbe agieren Bund und Länder gemeinschaftlich und schaffen mit dem DGM-W Elbe ein homogenes Produkt, welches alle Anforderungen erfüllt. Durch die Kooperation zwischen Bund und Ländern können

die bestehenden Ressourcen bestmöglich genutzt werden. Ein weiterer Nebeneffekt ist eine Harmonisierung der Geobasisdaten zwischen Bund und den Ländern.

Die beiden vorgenannten Punkte des Messprogramms und des DGM-W Elbe stellen aus technischer Sicht den aktuellen Status Quo dar. Neue Techniken, insbesondere in der satellitengestützten Radarfernerkundung versprechen ein großes Potenzial, das es zu erschließen und nutzbar zu machen gilt. Im Kontext dieser Aufgabe sind aktuelle F&E Maßnahmen nötig, um die speziellen Bedürfnisse verschiedenster Bedarfsträger innerhalb Deutschlands zu befriedigen und die Möglichkeiten des europäischen Copernicus Programms optimal zu nutzen.

Die hier benannten Projekte der BfG und anderer Institutionen zeigen wegweisende Bausteine auf. Bis zum Erreichen des Ziels sind noch einige Meilensteine und vielfältige Ansätze zu bewältigen.

6 Danksagung

Die Autoren danken für die stets kooperative Mitarbeit der Vertreter der oben genannten Bundes- und Landesbehörden. Besonderer Dank geht dabei an die BfG-Kollegen Marcus Hatz und Jörg Belz für die zahlreichen Arbeiten für das Messprogramm Extreme Elbe, sowie an Bastian Gessler für seine Arbeit an dem Projekt Sat-Land-Fluss.

Des Weiteren danken wir der Geschäftsstelle der FGG-Elbe, insbesondere Wenke Kahrstedt, für die Möglichkeit der Durchführung der Projekte DGM-W Elbe und Messprogramm Extreme Elbe. Nicht zuletzt gilt unser Dank dem BMDV sowie dem Projektträger des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) für die Förderung des Projektes Sat-Land-Fluss (Förderkennzeichen 50EW2015).

7 Literaturverzeichnis

BFG, BBK & BKG, 2019: Ergebnisdokumentation zum Workshop „Großräumiges Hochwassermonitoring - Möglichkeiten, Grenzen, Chancen der Fernerkundung“ am 05./06.12.2018. https://www.bafg.de/DE/05_Wissen/02_Veranst/2018/2018_12_05_ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile, letzter Zugriff am 14.01.2022.

BFG, 2015: Flugzeuggestützte Erfassung der Hochwasserereignisse an Elbe und Donau, 2013 (PhgHW-Auswertung Elbe/Donau), Los 7: Fischbeck. Produkt: 3D-Wasser-Land-Grenzen (3DWLGren). Fertigstellung 21.01.2015.

BMVI, 2019: Gemeinsame Erklärung des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur und Vertretern der Stahl-, Chemie- und Mineralölindustrie, der Produzenten mineralischer Massenrohstoffe und des Binnenschiffahrtsgewerbes zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein („8-Punkte-Plan“), <https://www.vci.de/themen/logistik-verpackung/logistik/8-punkte-plan-gegen-niedrigwasser-binnenschiffahrt-gemeinsame-erklaerung-bmvi-verbaende.jsp>, letzter Zugriff am 14.01.2022.

COPERNICUS EMERGENCY MANAGEMENT SERVICE, © 2021 European Union: [EMSR517] Floods in Western Germany. [Bad Neuenahr-Ahrweiler: Grading Product, Monitoring 1, version 3, release 1, RTP Map #02](#), letzter Zugriff am 14.01.2021.

COPERNICUS EMERGENCY MANAGEMENT SERVICE: Mapping <https://emergency.copernicus.eu/mapping/>, letzter Zugriff am 14.01.2022.

- COPERNICUS EMERGENCY MANAGEMENT SERVICE: Global Flood Monitoring, <https://gfm-portal.geoville.com/products>, letzter Zugriff am 14.01.2022.
- KUEHNE, E., 2021: New Opportunities for Capturing the Topography of the River Elbe by Airborne Hydromapping in a Low Discharge Period 2018. PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, **89**, 177-182. <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00151-2>.
- MARTINIS, S., KERSTEN, J. & TWELE A., 2015: A fully automated TerraSAR-X based flood service. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **104**, 203-212; <https://doi.org/10.3390/rs10040583>.
- MARTINIS, S. & RIEKE, C., 2015: Backscatter Analysis Using Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Data in the Context of Flood Mapping at River Saale, Germany. Remote Sensing 7, 7732-7752, <https://doi.org/10.3390/rs70607732>.
- NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNETT, M., RENNÓ, C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., WATERLOO, M. & SALESKA, S., 2011: Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. Journal of Hydrology, **404**, 13-29, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>.
- TWELE, A., CAO, W., PLANK, S. & MARTINIS, S., 2016: Sentinel-1-based flood mapping: a fully automated processing chain. International Journal of Remote Sensing, **37**(13), 2990-3004, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304>.