

TEXTE

121/2019

Untersuchung von Potentialen zur Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten für die Umsetzung der Hochwasserrisiko- managementrichtlinie

Abschlussbericht

TEXTE 121/2019

Projektnummer 114103

FB000161

Untersuchung von Potentialen zur Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie

Abschlussbericht

von

Gunter Zeug, Mira Weirather

Terranea UG (haftungsbeschränkt), Geltendorf

Prof. Dr. Annegret Thieken, Lisa Dillenardt

UP Transfer GmbH an der Universität Potsdam, Potsdam

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Terranea UG (haftungsbeschränkt)
Bahnhofstr. 120
82269 Geltendorf

Abschlussdatum:

Juli 2019

Redaktion:

Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden
Cindy Mathan

Fachgebiet I 1.7 Umweltinformationssysteme und -dienste, Satellitenfernerkundung,
Dateninfrastruktur
Christian Schweitzer

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Untersuchung von Potentialen zur Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie

Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus entsteht seit 2014 eine moderne und leistungsfähige Infrastruktur für Erdbeobachtung und Geoinformation. Es beinhaltet eine Weltraumkomponente, eine Dienste Komponente sowie eine In-Situ Komponente. Die Weltraumkomponente umfasst die Sentinel Erdbeobachtungssatelliten und die zugehörige Infrastruktur, z. B. das Bodensegment. Die Dienste Komponente deckt die sechs thematischen Bereiche Land, Klimawandel, Atmosphäre, Meere, Krisen- und Katastrophenmanagement und Sicherheit ab. Die Kerndienste sind damit beauftragt, fertige Datenprodukte bereitzustellen. Die Produkte integrieren u. a. Daten der Sentinel Missionen, Daten aus beitragenden Missionen, In-situ- und Modelldaten.

Sowohl auf europäischer Ebene als auch auf nationaler Ebene laufen derzeit Überlegungen, wie Copernicus-Daten und Dienste auch für die Wasserwirtschaft besser genutzt und weiterentwickelt werden können. In diesem Sachverständigengutachten war zu untersuchen, in welchem Maße Copernicus Daten und Dienste herangezogen werden können, um einen Beitrag für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland zu leisten sowie um ggf. bundesweit vergleichbare Daten für die Berichterstattung zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie bereitzustellen.

Nach einem einführenden Überblick über Copernicus erfolgt eine Darstellung des Wissens- und Kenntnisstandes bei der Anwendung von Copernicus-Daten und Diensten im Hochwasserrisikomanagement. Die Untersuchungen hierzu erfolgten durch Expertengespräche, eine Literaturrecherche und eine Untersuchung von bisher durchgeführten Aktivierungen des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes in Deutschland. In einem zweiten Schritt wurde eine Zuordnung von Copernicus Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie durchgeführt. Ein weiterer Fokus liegt auf der Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten von Copernicus für eine bundeseinheitliche Schadenspotentialermittlung. Im Weiteren werden anhand von vier Fallbeispielen die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings demonstriert bzw. der Mehrwert einer Integration von Copernicus Datenprodukten aufgezeigt.

Aus Sicht der Autoren besteht ein hohes Potential für den Einsatz von Copernicus-Daten und Diensten für das Hochwasserrisikomanagement. Dieses wird von den Fachexperten v. a. in den Behörden der Bundesländer bisher noch nicht ausgeschöpft. Eine umfangreichere Nutzung wird empfohlen. Um die Akzeptanz hierfür zu erhöhen sind jedoch weitere Maßnahmen des Bundes und von Bundesländerseite notwendig. Weitere Schulungen in den Behörden zur Nutzung der bestehenden Dienste und Daten, eine Copernicus Arbeitsgruppe Wasserwirtschaft, eine Plattform zum Wissensmanagement und Pilotprojekte zum Test von Arbeitsweisen und Produkten sollten zeitnah umgesetzt werden, um das große Potential auszuschöpfen, welches Copernicus schon heute bietet.

Abstract: The use of Copernicus data and services for the implementation of the European Floods Directive.

The European Copernicus program creates a modern and efficient infrastructure for Earth observation and geoinformation. It includes a space component which develops and operates various Earth observation satellites, a service component that creates thematic data products from six different domains, and an in-situ component that coordinates access to in-situ data.

Discussions on how Copernicus data and services could support water management is currently under way, both at European and at national levels. The objective of this report is to examine the extent to which Copernicus data and services can be used to contribute to flood risk

management in Germany and, where appropriate, to provide comparable nationwide data for reporting on the implementation of the European Floods Directive.

After an introduction, the stakeholders' knowledge and experience regarding Copernicus applications in the context of flood risk management is presented. The investigations were made through expert interviews, a literature review and the analysis of previous Copernicus Emergency Management Service activations in Germany. In a second step, Copernicus data and services are matched with the individual implementation steps of the Floods Directive. Another focus is on nationwide damage potentials, their assessment and a possible contribution of Copernicus to these tasks. In four case studies, the potentials and limitations of Earth observation for flood risk management are demonstrated.

The present report examined potentials for the use of Copernicus data and services for the implementation of the European Floods Directive. From the authors' point of view, there is great potential for using Copernicus data and services for flood risk management.

However, this potential is not fully exploited by authorities, yet. A wider usage is therefore recommended. To increase its acceptance further measures should be taken by the federal government and the federal states. Further training in the agencies on the use of existing services and data, a dedicated working group on Copernicus for water management, a knowledge management platform and pilot projects to test operations and products should be implemented in a timely manner to exploit the great potential that Copernicus already offers today.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | 10 |
| Tabellenverzeichnis | 12 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 15 |
| Zusammenfassung..... | 18 |
| Summary | 27 |
| 1 Einleitung..... | 35 |
| 1.1 Hintergrund..... | 35 |
| 1.2 Ziel des Vorhabens..... | 35 |
| 1.3 Vorgehen..... | 36 |
| 2 Das Copernicus Programm | 38 |
| 2.1 Weltraumkomponente | 38 |
| 2.1.1 Technische Aspekte und Grenzen der Satellitenfernerkundung..... | 39 |
| 2.2 Dienste Komponente | 43 |
| 2.2.1 Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagement Dienst | 45 |
| 2.2.1.1 Kartierung | 45 |
| 2.2.1.2 Frühwarnung und Monitoring | 48 |
| 2.2.2 Copernicus Dienst zur Überwachung der Landoberfläche | 49 |
| 2.2.2.1 Landbedeckungs- und Landnutzungskartierungen..... | 50 |
| 2.2.2.2 Thematische Kartierung / Regionale Daten..... | 51 |
| 2.2.2.3 Bilder und Referenzdaten..... | 52 |
| 2.2.3 Copernicus Dienst zur Klimaüberwachung | 53 |
| 2.3 In-situ Komponente | 54 |
| 2.4 Nationale Koordination..... | 54 |
| 3 Wissens- und Kenntnisstands bei der Anwendung von Copernicus-Daten und Diensten im Hochwasserrisikomanagement..... | 55 |
| 3.1 Stand der Wissenschaft..... | 55 |
| 3.2 Anwendungsbeispiele aus Europa | 56 |
| 3.3 Nationale Aktivierungen des Copernicus Emergency Management Dienstes..... | 58 |
| 3.4 Expertengespräche | 60 |
| 3.4.1 Bundesbehörden und -institutionen | 60 |
| 3.4.1.1 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) | 60 |
| 3.4.1.2 Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) | 61 |
| 3.4.1.3 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) | 62 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.4.2 | Europäische Behörden..... | 63 |
| 3.4.2.1 | Europäische Kommission..... | 63 |
| 3.4.2.2 | Europäische Umweltagentur..... | 64 |
| 3.4.3 | Bundesländer..... | 64 |
| 3.4.3.1 | Copernicus Einsatz im Zuge der Hochwasserrisikomanagements..... | 66 |
| 3.4.3.2 | Chancen und Hindernisse..... | 66 |
| 3.4.3.3 | Wünsche..... | 67 |
| 3.5 | Zusammenfassung des Wissens- und Kenntnisstandes und Schlussfolgerungen..... | 68 |
| 4 | Zuordnung von Copernicus-Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie..... | 71 |
| 4.1 | Vorläufige Risikobewertung..... | 71 |
| 4.2 | Hochwassergefahrenkarten..... | 71 |
| 4.2.1 | Hydrologie..... | 72 |
| 4.2.2 | Topographie..... | 72 |
| 4.2.3 | Bodenbedeckung und Rauheit..... | 73 |
| 4.2.4 | Fließgewässerhydraulik..... | 76 |
| 4.3 | Hochwasserrisikokarten..... | 76 |
| 4.3.1 | Anzahl der potentiell betroffenen Einwohner..... | 77 |
| 4.3.2 | Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten..... | 78 |
| 4.3.3 | Industrieanlagen..... | 79 |
| 4.3.4 | Schutzgebiete..... | 80 |
| 4.3.5 | Weitere Informationen..... | 80 |
| 4.3.6 | Kulturgüter mit besonderer Bedeutung..... | 80 |
| 4.3.7 | Gefährdete Einzelobjekte..... | 81 |
| 4.4 | Hochwasserrisikomanagementpläne..... | 81 |
| 4.5 | Datenlücken..... | 85 |
| 4.6 | Zusammenfassung der Ergebnisse der Zuordnung von Copernicus-Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und Schlussfolgerungen..... | 86 |
| 5 | Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten bei der Schadenspotentialermittlung in Deutschland..... | 93 |
| 5.1 | Vermögenswerte..... | 96 |
| 5.2 | Schadensmodelle und -funktionen..... | 108 |
| 5.3 | Fallstudie Schadensabschätzung..... | 113 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.4 | Zusammenfassung der Ergebnisse zur Nutzung von Copernicus- Daten und Diensten bei der Schadenspotentialermittlung und Schlussfolgerungen..... | 114 |
| 6 | Fallstudien | 118 |
| 6.1 | Elbehochwasser 2013: Evaluierung der Ergebnisse der aktuellen CEMS Risk & Recovery Aktivierung und Vergleich mit CEMS Rapid Mapping Ergebnissen von 2013..... | 118 |
| 6.1.1 | Die Hintergründe | 118 |
| 6.1.2 | Ergebnisse Copernicus EMS Risk and Recovery (RRM)..... | 118 |
| 6.1.3 | Ergebnisse Copernicus EMS Rapid Mapping (RM)..... | 121 |
| 6.1.4 | Vergleich der Ergebnisse Copernicus EMS Risk and Recovery und Rapid Mapping..... | 122 |
| 6.1.5 | Informationen zu Bodenfeuchte und Niederschlag aus Copernicus-Daten (C3S, SWI)..... | 124 |
| 6.2 | Elbdeichrückverlegung bei Lenzen: Wirkungsabschätzung mittels Fernerkundung | 127 |
| 6.3 | Versiegelungsanalyse einer Aue anhand dreier Copernicus-Datensätze | 133 |
| 6.4 | Zusammenfassung der Ergebnisse der Fallstudien..... | 144 |
| 7 | Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 146 |
| 7.1 | Copernicus Daten und Dienste | 146 |
| 7.2 | Copernicus für die Ermittlung von Schadenspotentialen | 148 |
| 7.3 | Copernicus Wissen | 148 |
| 8 | Literaturverzeichnis..... | 150 |
| A | Annex 1 – Copernicus EMS Rapid Mapping – Hochwasser | 157 |
| B | Annex 2 – Copernicus EMS Risk & Recovery – Hochwasser..... | 160 |
| C | Annex 3 – Formular zur Anforderung von fernerkundungsbasierten Informationen | 164 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 1: | Sentinel-1 Flugstreifen über Deutschland zwischen dem 08.12.2018 und 12.12.2018..... | 40 |
| Abbildung 2 | Anzahl der Sentinel-2 Spektralbänder und abgedeckter Wellenlängenbereich..... | 40 |
| Abbildung 3: | Moselmündung / Deutsches Eck - Vergleich Landsat-8, Sentinel-2 (beide in Falschfarben) und Sentinel-1 (SAR)..... | 41 |
| Abbildung 4: | Wolken und Wolkenschatten in der Sentinel-2 Falschfarbendarstellung vom Leine-Hochwasser (schwarze Flächen in der Bildmitte) im Dezember 2017 (16.12.2017), Flussabschnitt Barnstedt – Eickeloh | 42 |
| Abbildung 5: | Sentinel-1 Aufnahmen der Leine am 14. November 2017 (links), dargestellt als dünne schwarze Linie und zum Zeitpunkt des Hochwassers am 17. Dezember 2017 (rechts) dargestellt als schwarze Fläche, Flussabschnitt Barnstedt – Eickeloh | 43 |
| Abbildung 6 | Schematische Darstellung der Eingangsdaten und Arbeitsschritte zur Erstellung des BEAM Datensatzes | 48 |
| Abbildung 7: | Bisherige Aktivierungen des Copernicus EMS – Rapid Mapping in Deutschland..... | 59 |
| Abbildung 8: | Flächenhafte Abdeckung von Natura 2000, Riparian Zones und Urban Atlas in Deutschland | 74 |
| Abbildung 9 | Ausschnitt des Natura 2000 Datenproduktes bei Lenzen | 75 |
| Abbildung 10: | Gunvor Raffinerie in Ingolstadt dargestellt im Copernicus VHR-2 Mosaic 2012 (2,5 m, links) und in Sentinel-2 (10 m, rechts) . | 79 |
| Abbildung 11 | Methodisches Vorgehen zur Abschätzung potentieller Schäden durch Hochwasser | 96 |
| Abbildung 12 | Abschätzung von Wohngebäudevermögen für den BEAM-Datensatz..... | 100 |
| Abbildung 13 | Abschätzung von Industrievermögenswerten für den BEAM-Datensatz..... | 101 |
| Abbildung 14 | Darstellung der flächenspezifischen Vermögenswerte für Wohngebäude für ganz Deutschland auf Basis des Datensatzes BEAM-Deutschland (Stand: 2012) | 103 |
| Abbildung 15 | Visualisierung der Verschneidung der Vermögenswerte für Industrie und Dienstleistungen (Service) aus dem BEAM-Datensatz mit extremen Hochwasserszenarien in Hamburg (Sturmflut) und Köln (Flusshochwasser) | 106 |
| Abbildung 16 | Charakterisierung von Modellen zur Abschätzung potentieller Hochwasserschäden..... | 109 |
| Abbildung 17 | Wasserstands-Schadensfunktionen für die Fallstudie | 111 |
| Abbildung 18 | Strukturelle Schadensklassen für Wohngebäude..... | 112 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 19: | Übersichtskarten der Untersuchungsgebiete; links die Rapid Mapping Aktivierung 2013 und rechts die Risk and Recovery Mapping Aktivierung | 119 |
| Abbildung 20: | Hochwasserdynamik und kumulative Ausdehnung der Überschwemmungsfläche | 120 |
| Abbildung 21: | Veränderungen der Überschwemmungsfläche während der Untersuchungszeitraums..... | 121 |
| Abbildung 22: | Sentinel 1 A / B Abdeckung der Elbe bei Boitzenburg (AOI01) über den RRM Untersuchungszeitraum | 124 |
| Abbildung 23: | Copernicus Soil Water Index (links) und Soil Moisture (rechts) | 125 |
| Abbildung 24: | C3S Niederschlagsdaten von Mai / Juni 2013 | 126 |
| Abbildung 25: | C3S Niederschlagsdaten von Juni 2013 | 127 |
| Abbildung 26 | Verlauf des Neudeichs..... | 128 |
| Abbildung 27 | Elbverlauf bei Lenzen im Sentinel-2 Falschfarbenbild (Bänder 8, 4, 3), (19.09.2018) | 129 |
| Abbildung 28: | Landsat-5 Falschfarbenbild (Bänder 4, 3, 2) der Hochwassersituation bei Lenzen am 15. April 2006..... | 129 |
| Abbildung 29: | Landsat-8 Falschfarbenbild (Bänder 5 ,4, 3) der Hochwassersituation bei Lenzen am 7. Juli 2013 | 130 |
| Abbildung 30: | Sentinel-2 Falschfarbenbild (Bänder 8, 4, 3) der Hochwassersituation bei Lenzen am 6. Februar 2018 | 130 |
| Abbildung 31: | Landbedeckung/-nutzung des Riparian Zones Layers von Copernicus..... | 131 |
| Abbildung 32: | CLC2006 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen. | 132 |
| Abbildung 33: | CLC2012 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen. | 132 |
| Abbildung 34: | CLC2018 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen. | 133 |
| Abbildung 35: | Überblick über das Untersuchungsgebiet | 134 |
| Abbildung 36: | Potentielle und tatsächliche Aue entsprechend des Riparian Zone Layers und Überschwemmungsgebiete für ein mittleres Hochwasser (HQ100)..... | 135 |
| Abbildung 37 | Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Urban Atlas | 136 |
| Abbildung 38 | Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Global Human Settlement Layer | 138 |
| Abbildung 39 | Änderung der Versiegelung zwischen 1975 und 2014 | 139 |
| Abbildung 40 | Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Imperviousness..... | 140 |
| Abbildung 41 | Histogramm der Versiegelungsklassen | 141 |
| Abbildung 42: | Veränderungen der Versiegelung im Global Human Settlement Layer 2000 – 2014 im Vergleich zur Veränderung im Urban Atlas 2006 – 2012 | 142 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 43: | Flächenvergleich Urban Atlas und Imperviousness Layer des Jahres 2006..... | 143 |
| Abbildung 44: | Formular des BBK zur Anforderung von fernerkundungsbasierten Informationen des Copernicus EMS | 164 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabelle 1: | Überblick über bereits gestartete Sentinel-Missionen | 38 |
| Tabelle 2: | Überblick über Copernicus Informationsdienste | 44 |
| Tabelle 3: | Rapid Mapping Produkte..... | 45 |
| Tabelle 4: | Risk & Recovery Mapping Produkte | 46 |
| Tabelle 5: | EFAS Produkte | 49 |
| Tabelle 6: | Produkte zur Landbedeckungs- und Landnutzungskartierung..... | 50 |
| Tabelle 7: | Produkte des Hot-Spot-Mapping..... | 52 |
| Tabelle 8: | Bilder und Referenzdaten..... | 53 |
| Tabelle 9: | Behördenübersicht, mit deren Vertretern Interviews geführt wurden | 60 |
| Tabelle 10: | Erforderliche Daten zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten und dafür möglicherweise geeignete Copernicus Daten | 72 |
| Tabelle 11: | Landbedeckungsdaten des Copernicus Land Monitoring Dienstes | 75 |
| Tabelle 12: | Thematische Inhalte der Hochwasserrisikokarten und dafür möglicherweise geeignete Copernicus Daten | 77 |
| Tabelle 13: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements - Angepasste Flächennutzungen | 82 |
| Tabelle 14: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Natürlicher Wasserrückhalt im Einzugsgebiet..... | 82 |
| Tabelle 15: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Natürlicher Wasserrückhalt in der Gewässerare | 82 |
| Tabelle 16: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Minderung der Flächenversiegelung..... | 83 |
| Tabelle 17: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten..... | 83 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 18: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Hochwasserinformation und Vorhersage | 83 |
| Tabelle 19: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Alarm- und Einsatzplanung | 84 |
| Tabelle 20: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Aufklärung, Vorbereitung auf den Hochwasserfall | 84 |
| Tabelle 21: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Aufbauhilfe und Wiederaufbau..... | 84 |
| Tabelle 22: | Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements - Sonstiges | 85 |
| Tabelle 23: | Identifizierte Datenlücken | 85 |
| Tabelle 24: | Copernicus Portfolio für die vorläufige Risikobewertung | 89 |
| Tabelle 25: | Copernicus Portfolio für die Erstellung von Gefahrenkarten ... | 90 |
| Tabelle 26: | Copernicus Portfolio für die Erstellung von Risikokarten..... | 91 |
| Tabelle 27 | Gegenüberstellung unterschiedlicher standardisierter Vermögenswerte für Wohngebäude..... | 102 |
| Tabelle 28 | Gegenüberstellung unterschiedlicher standardisierter Vermögenswerte für Gewerbe / Industrie..... | 104 |
| Tabelle 29 | Gegenüberstellung der exponierten Vermögenswerte in Gebieten, die von extremem Hochwasser in Hamburg (Sturmflut) und Köln (Flusshochwasser) betroffen sein können | 106 |
| Tabelle 30 | Ausgewählte Modelle zur Abschätzung direkter Hochwasserschäden in Deutschland | 109 |
| Tabelle 31 | Absolute Schäden durch Küstenhochwasser in Hamburg für verschiedene Sektoren und unterschiedliche Überflutungsszenarien in Mio. EUR (gerundet auf drei signifikante Stellen, Referenzjahr: 2018)..... | 113 |
| Tabelle 32 | Absolute Schäden durch ein extremes Flusshochwasser in Köln für verschiedene Sektoren in Mio. EUR (gerundet auf drei signifikante Stellen, Preisniveau 2018)..... | 114 |
| Tabelle 33: | Flächenvergleich der AOIs des RRM und des RM..... | 122 |
| Tabelle 34: | Ermittelte Versiegelungsanteile im Untersuchungsgebiet je nach verwendetem Datensatz. Es wurde jeweils das aktuellste Jahr verwendet..... | 143 |
| Tabelle 35: | Copernicus EMS EMSR044..... | 157 |
| Tabelle 36: | Copernicus EMS EMSR047..... | 157 |
| Tabelle 37: | Copernicus EMS EMSR166..... | 157 |
| Tabelle 38: | Copernicus EMS EMSR215..... | 158 |
| Tabelle 39: | Copernicus EMS EMSR261..... | 158 |

| | | |
|-------------|-----------------------------|-----|
| Tabelle 40: | Copernicus EMS EMSR287..... | 159 |
| Tabelle 41: | Copernicus EMS EMSR308..... | 159 |
| Tabelle 42: | Copernicus EMS EMSR056..... | 160 |
| Tabelle 43: | Copernicus EMS EMSR054..... | 160 |
| Tabelle 44: | Copernicus EMS EMSR048..... | 161 |
| Tabelle 45: | Copernicus EMS EMSR046..... | 161 |
| Tabelle 46: | Copernicus EMS EMSR035..... | 161 |
| Tabelle 47: | Copernicus EMS EMSR034..... | 162 |
| Tabelle 48: | Copernicus EMS EMSR028..... | 162 |
| Tabelle 49: | Copernicus EMS EMSR022..... | 163 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------------|--|
| ALKIS | Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem |
| AM+ | Asset Map + |
| API | Application Programming Interface |
| API-HUB | Schnittstelle für Zugang zu zentraler Sentinel Satellitendatenbank |
| ATKIS | Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem |
| BBK | Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe |
| BEAM | Basic European Assets Map |
| BfG | Bundesanstalt für Gewässerkunde |
| BKG | Bundesamt für Kartographie und Geodäsie |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| BW | Baden-Württemberg |
| C3S | Copernicus Climate Change Service |
| CAMS | Copernicus Atmosphere Monitoring Service |
| CBA | Cost Benefit Analysis |
| CEDIM | Center for Disaster Management and Risk Reduction Technologies |
| CEMS | Copernicus Emergency Management Service |
| CLC | Corine Land Cover |
| CLMS | Copernicus Land Monitoring Service |
| CLMEMS | Copernicus Marine Environment Monitoring Service |
| CODE-DE | Copernicus Data and Exploitation Platform - Deutschland |
| CSS | Copernicus Security Service |
| DELENAH | Direct Economic LossEs caused by Natural Hazards |
| DESTATIS | Statistisches Bundesamt |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt |
| DIAS | Copernicus Data and Information Access Services |
| EC-JRC | EU-Kommission – Generaldirektion Gemeinsame Forschungsstelle (Joint Research Center) |
| EDAC | Zentrum für die Ingenieursanalyse von Erdebenschäden |
| ECMWF | Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage |
| EMSA | Europäische Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs |
| ESA | European Space Agency |
| EUA | Europäische Umweltagentur |
| EU-DEM | Europäisches Digitales Oberflächenmodell |
| EUHYDRO | Europäischer Gewässernetzdatensatz |
| EUMETSAT | Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten |
| EUROSTAT | European Statistical Office |
| EU-SATCEN | Satellitenzentrum der Europäischen Union |

| | |
|----------------|--|
| FEP | First Estimate Product |
| FLEMO | Flood Loss Estimation Model |
| GDV | Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft |
| GIS | Geographisches Informationssystem |
| GMLZ | Gemeinsames Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern |
| HH | Freie Hansestadt Hamburg |
| HOWAD | Hochwasserschadens-Simulationsmodell |
| HWRM | Hochwasserrisikomanagement |
| HWRM-RL | Europäische Hochwasserrisikomanagementrichtlinie |
| IED | Industrieemissionsrichtlinie 2010/75/EU zur Genehmigung, Betrieb, Überwachung und Stilllegung von Industrieanlagen in der Europäischen Union |
| IKSE | Internationale Kommission zum Schutz der Elbe |
| IKSR | Internationale Kommission zum Schutz des Rheins |
| In-Situ | Alle Daten, die nicht auf Fernerkundungsmessungen beruhen (z. B. bodengestützte, luftgestützte und schiffsbasierte Messungen) |
| KNA | Kosten-Nutzen-Analyse |
| LAWA | Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser |
| LfULG | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie |
| LN | Landnutzungsdaten |
| LSA | Land Sachsen-Anhalt |
| MSI | Multispectral Imager (Sentinel-2 Sensor) |
| MURL | Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen |
| NHL | Normalherstellungskosten |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |
| NUTS | Nomenclature of Territorial Units for Statistics |
| PKW | Personenkraftwagen |
| RAIL | RAilway Infrastructure Loss |
| RM | Copernicus EMS Rapid Mapping |
| RRM | Copernicus EMS Risk and Recovery Mapping |
| SAR | Synthetic Aperture Radar |
| SENDAI | Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015 - 2030 der Vereinten Nationen |
| SN | Sachsen |
| TH | Thüringen |
| TLUG | Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie |
| UA | Urban Atlas |
| UFOPLAN | Umweltforschungsplan |
| UN-ISDR | United Nations International Strategy for Disaster Reduction |

| | |
|----------------|--|
| UN-IPCC | United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change |
| WHG | Wasserhaushaltsgesetz |
| WRR | Wasserrahmenrichtlinie |
| WZ2003 | Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 |
| ZENSUS | Amtliche Erhebung statistischer Bevölkerungsdaten – Volkszählung |
| ZKI | Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation |

Zusammenfassung

Sowohl auf europäischer Ebene als auch auf nationaler Ebene laufen derzeit Überlegungen, wie Copernicus-Daten und Dienste auch für die Wasserwirtschaft besser genutzt und weiterentwickelt werden können. In diesem Sachverständigengutachten ist zu untersuchen, in welchem Maße Copernicus Daten und Dienste herangezogen werden können, um einen Beitrag für das Hochwasserrisikomanagement (HWRM) in Deutschland zu leisten sowie um ggf. bundesweit vergleichbare Daten für die Berichterstattung zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) bereitzustellen. Der Fokus liegt auf der Dokumentation von Hochwasserereignissen sowie der Erstellung nationaler Hochwassergefahren- und -risikokarten. Darüber hinaus ist eine bundeseinheitliche Schadenspotentialermittlung von besonderem Interesse.

Das Sachverständigengutachten gliedert sich in fünf Teile:

1. Zunächst wird das Copernicus-Programm vorgestellt.
2. Dann erfolgt eine Darstellung des derzeitigen Wissens- und Kenntnisstandes bzgl. der Anwendung von Copernicus-Daten und Diensten für das Hochwasserrisikomanagement. Dafür wurden Interviews mit Vertretern von Europäischen- und Bundesbehörden sowie Experten aus den Bundesländern geführt. Darüber hinaus erfolgte eine Untersuchung von bisherigen Aktivierungen des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagement Dienstes. Eine Literaturrecherche über Anwendungen in Europa vervollständigt die Untersuchung.
3. Anschließend werden potentiell geeignete Copernicus-Daten und Dienste den jeweiligen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie zugeordnet. Die Umsetzungsschritte beinhalten die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos, die Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten sowie die Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen, die in regelmäßigen Abständen, d. h. alle sechs Jahre, zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren sind.
4. In einem weiteren Schritt wird untersucht, inwieweit Copernicus Daten (in erster Linie der für Deutschland vorhandene Datensatz Basic European Assets Map - BEAM) und Dienste für eine bundesweit einheitliche Schadenspotentialermittlung genutzt werden können. Darauf wird auch im Rahmen einer Fallstudie besonders eingegangen.
5. Anhand von drei weiteren Fallbeispielen werden die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings demonstriert und der Mehrwert einer Integration von Copernicus-Datenprodukten in das HWRM aufgezeigt. Als Fallbeispiele wurden die Deichrückverlegung in Lenzen (Elbe) und eine vergleichende Analyse von Ergebnissen zweier Aktivierungen des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes für das Elbehochwassers 2013 ausgewählt. Darüber hinaus wurde die Versiegelung einer Flussaue und die Veränderung der Versiegelung über einen längeren Zeitraum untersucht.

1. Copernicus

Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus entsteht seit 2014 eine moderne und leistungsfähige Infrastruktur für Erdbeobachtung und Geoinformation. Es beinhaltet eine Weltraumkomponente, eine Dienste Komponente und eine In-Situ Komponente. Die Weltraumkomponente umfasst die Entwicklung und den Betrieb der Sentinel Erdbeobachtungssatelliten. Die Dienste Komponente deckt die sechs thematischen Bereiche Land, Klimawandel, Atmosphäre, Meere, Krisen- und Katastrophenmanagement und Sicherheit ab. Die Kerndienste sind damit beauftragt, fertige Datenprodukte bereitzustellen. Die Produkte integrieren Daten der Sentinel Missionen, Daten aus beitragenden Missionen, In-situ - und

Modelldaten. In-situ Daten umfassen alle Daten, die nicht auf Fernerkundungsmessungen beruhen (z. B. bodengestützte, luftgestützte und schiffsbasierte Messungen), die für die Implementierung und den Betrieb von Copernicus-Diensten jedoch erforderlich sind.

2. Wissens- und Kenntnisstand

Die Experteninterviews mit verschiedenen Vertretern aus europäischen Institutionen, Bundesbehörden und Behördenvertretern der Bundesländer ergaben folgendes:

- ▶ Von Seiten des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) wird viel unternommen, um die Abläufe und Produkte des Copernicus Dienstes für Katastrophen- und Krisenmanagement (Copernicus Emergency Management Service – CEMS) bei potentiellen Nutzern v. a. aus dem Katastrophenschutz zu vermitteln. Nutzer aus der Wasserwirtschaft werden bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt. In den Schulungen werden neben Copernicus EMS auch der Nutzen anderer Copernicus Dienste und Datenprodukte, wie z. B. des Land Monitoring Dienstes, erläutert und empfohlen. Darüber hinaus wurden vom BBK Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit getroffen (Newsletter), um die potenziellen Nutzer regelmäßig zu informieren.
- ▶ Der Einsatz und die Aktivierung des Copernicus EMS sind oftmals von engagierten Einzelpersonen abhängig. Darüber hinaus sind die Zuständigkeiten für eine Aktivierung zwischen den Behörden innerhalb der Bundesländer nicht immer geklärt.
- ▶ In mehreren Bundesländern wurden erste Strukturen geschaffen, um die Verwendung von Copernicus Daten und Diensten im Hochwasserrisikomanagement zu fördern. In Sachsen-Anhalt wurde beispielsweise die Aktivierung des Copernicus EMS bereits in Stabsabläufe integriert. Auch Bayern nimmt eine Anleitung zur Nutzung von Copernicus in eine Arbeitshilfe zur Dokumentation von Hochwasserereignissen auf.
- ▶ Auf übergeordneter Verwaltungsebene wird der Copernicus EMS positiv eingeschätzt. Auf unteren, ausführenden Ebenen wird jedoch auch Kritik geäußert (die Kritik bezieht sich in erster Linie auf räumliche und zeitliche Auflösung und auf Angaben zu Produktgenauigkeiten).
- ▶ Die für Deutschland erstellte, detaillierte Version der „Basic European Assets Map“ (BEAM), die zur Ermittlung von Schadenspotentialen eingesetzt werden könnte, ist den Nutzern bekannt. Der Datensatz wird bisher jedoch nur ansatzweise für Schadenspotentialanalysen eingesetzt.
- ▶ Das European Flood Awareness System (EFAS) ist ein europäisches Hochwasservorhersagesystem, das vom Joint Research Center der Europäischen Kommission betrieben und den Mitgliedsstaaten zur Verfügung gestellt wird. EFAS wird in fünf Bundesländern (Bayern, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen) komplementär zu eigenen Vorhersagesystemen eingesetzt.
- ▶ In verschiedenen europäischen Regionen wird das Hochwasserrisikomanagement bereits mit Hilfe von Copernicus Daten und Produkten unterstützt.

- ▶ Die Europäische Kommission arbeitet daran „COPERNICUS für die Politik“ voranzutreiben. Das bedeutet, dass Copernicus-Daten und Dienste zukünftig für die bessere Überwachung der Umsetzung von Fachrichtlinien und der damit verbundenen Berichterstattung bzw. deren Nachsteuerung eingesetzt werden sollen.

Aus dieser Zusammenfassung ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Aus Sicht der Endnutzer sind weitere Schulungen und Workshops zum Einsatz von Copernicus Daten und Diensten für das HWRM erforderlich. Die Schulungen sollen am besten direkt vor Ort in den Behörden erfolgen.
- ▶ Die Vertreter der Wasserwirtschaft sollten zukünftig ebenfalls bei Schulungen berücksichtigt werden. Ob diese Schulungen durch das BBK erfolgen können oder Fachexperten anderer Einrichtungen damit beauftragt werden, muss geklärt werden.
- ▶ Es ist für die Anwender herausfordernd, einen Überblick über existierende bzw. abgeschlossene Projekte und Forschungsvorhaben zu behalten. Aus diesem Grund sollte eine Plattform entwickelt werden, die den Wissensaustausch ermöglicht.
- ▶ Um bei den Anwendern eine erhöhte Akzeptanz zu erreichen, muss der direkte Nutzen von Copernicus besser dargestellt werden. Dies kann durch Schulungen und Workshops, den Wissensaustausch mit Kollegen und vor allem Pilotprojekte erreicht werden.
- ▶ Zum länderübergreifenden Austausch sollen die Vertreter der Bundesländer (z. B. initiiert durch die LAWA) eine eigene Arbeitsgruppe „Copernicus in der Wasserwirtschaft“ ins Leben rufen.
- ▶ Die Kommunikationswege sind nicht immer transparent. Es muss organisatorisch gewährleistet sein, dass Nutzerempfehlungen und Wünsche an die richtigen Stellen beim Bund (BMVI, DLR, BfG, BBK, UBA) kommuniziert werden können. Die Ansprechpartner und Zuständigkeiten sind zu klären und zu kommunizieren. Die Kommunikationskanäle sollen wiederum bei Schulungen mitgeteilt werden. Bundeslandinterne Pfade bis zur Aktivierung des CEMS durch das BBK sind innerhalb der Bundesländer zu klären.
- ▶ Von Seiten der Bundesländer wurden verschiedene Datenproduktwünsche kommuniziert (siehe folgender Abschnitt 3). Es wird empfohlen, Demonstrationsprojekte zur pilothaften Umsetzung dieser Produkte zu initiieren. Dies wäre eine einfache Möglichkeit, die Produkte zu testen.
- ▶ Copernicus Produkte werden auf Basis einheitlicher Daten und nach standardisierten Verfahren erzeugt. Diese standardisierten Produkte könnten den Daten- und Informationsaustausch zwischen den Behörden, den Bundesländern, aber auch die Berichterstattung erleichtern. Entsprechende Aktivitäten der LAWA zur Ermittlung von Schadenspotentialen sind ein entsprechendes positives Beispiel.

3. Zuordnung von Copernicus-Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

Copernicus stellt heute bereits für viele Teilaspekte der HWRM-RL geeignete Datenprodukte bereit. Teilweise sind jedoch weitere Verarbeitungs- bzw. Veredelungsschritte notwendig, um die erforderliche Information zu generieren (z. B. Schadenspotentiale). Neben den Datenprodukten bieten die Sentinel-Satellitendaten eine hervorragende Grundlage, um verschiedene Parameter daraus abzuleiten. Dies erfordert jedoch Kenntnisse zur Verarbeitung dieser Daten. Falls diese nicht innerhalb der Behörden vorhanden sind, bieten zahlreiche spezialisierte Unternehmen entsprechende Dienste in Deutschland an.

Wesentliche Erkenntnisse sind:

- ▶ Kartenprodukte des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes über frühere Hochwasserereignisse können die vorläufige Risikobewertung sowie die Maßnahmenplanung in den Hochwasserrisikomanagementplänen unterstützen (z. B. Einsatzplanung, Aufklärung, Nachsorge und Regeneration).
- ▶ Landbedeckungskarten des Copernicus Dienstes zur Landüberwachung, wie CORINE Land Cover (CLC) aber auch der thematischen Kartierungen (Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000) lassen sich für die vorläufige Risikobewertung (Veränderung des Gewässernetzes und Schadenspotentiale) verwenden. Im Zuge der Erstellung der Gefahrenkarten können sie als Grundlage für die Erstellung von Rauigkeitskarten dienen. Für Risikokarten lassen sich die Karteninhalte zu potentiell betroffenen Einwohnerzahlen, zu wirtschaftlichen Sachwerten und zu Schutzgebieten ableiten.
- ▶ Der vorhandene BEAM Datensatz, der im Rahmen einer Copernicus Risk & Recovery Aktivierung für Deutschland erstellt wurde, bietet wertvolle Informationen zu Vermögenswerten in Privathaushalten, Wirtschaft, Landwirtschaft und Infrastruktur sowie Einwohnerzahlen. Er ist grundsätzlich für Schadenspotentialanalysen im Rahmen der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und für Risikokarten geeignet. Anforderungen an die räumliche Auflösung für die Maßnahmenbewertung im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen sind genauer zu prüfen.
- ▶ Nahe-Echtzeitprodukte des zukünftigen Schnee- und Eisdienstes können Eingangsparameter für Niederschlags-Abflussmodelle bereitstellen, die im Vorfeld der Gefahrenkartenerstellung angewandt werden.
- ▶ Die Sentinel-1 und Sentinel-2 Satelliten-Bilder bilden aufgrund ihrer räumlichen, zeitlichen und spektralen Auflösungen eine sehr gute Datengrundlage u. a. zur Erstellung einer aktuellen Gewässerkulisse, zur Dokumentation früherer Ereignisse und großmaßstäbiger Karten (z. B. von Industrieanlagen gemäß EU-Richtlinie 2010/75/EU und Kulturgütern) für die vorläufige Hochwasserrisikobewertung.
- ▶ Die Bilddaten sind auch anwendbar für Maßnahmen, die der Vermeidung, dem Schutz und der Vorsorge von Hochwasserereignissen dienen. Darüber hinaus sind Datenprodukte zur Landbedeckung und Bodenversiegelung aber auch Karten des Katastrophen- und

Krisenmanagementdienstes für die Bestandsaufnahme, Dokumentation und Kontrolle von Maßnahmen aus Hochwasserrisikomanagementplänen geeignet.

- ▶ Aufgrund von gleichen Datengrundlagen und standardisierten Verarbeitungsmethoden sind Copernicus Daten und Produkte für das nationale und internationale Flussgebietsmanagement bei grenzüberschreitenden Untersuchungen besonders gut geeignet.

Es wurden Datenwünsche identifiziert und von Nutzern kommuniziert.

- ▶ Datenwünsche umfassen z. B. Wassertiefen bei der Kartierung abgelaufener Hochwasser, Vegetation entlang von Gewässern, Gewässergüte nach Überschwemmungen von Industrieanlagen, Stabilität von Deichen, Eisgang auf Binnengewässern und andere mehr.
- ▶ Ein Teil der kommunizierten Datenlücken wird zukünftig in Form von neuen Copernicus Datenprodukten erhältlich sein (z. B. Eisgang, Wassertiefen). Auflösung und Genauigkeiten sind dann zu untersuchen.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Weiterer Entwicklungsbedarf in Bezug auf Daten ist von den Fachexperten der Bundesländer und Bundesbehörden zu identifizieren und zu kommunizieren. Die neu einzurichtende Arbeitsgruppe „Copernicus in der Wasserwirtschaft“ könnte hierfür eine geeignete Plattform sein.
- ▶ Da das Verfahren zur Aufnahme und Umsetzung neuer Datenprodukte im Rahmen der Copernicus Dienste zeitlich langwierig ist, empfiehlt sich, die gewünschten Daten im Rahmen von Pilotprojekten entweder selbst zu erzeugen oder deren Umsetzung durch kostenpflichtige Downstream-Dienste zu evaluieren.
- ▶ In jedem Fall wäre auch zu prüfen, ob sich ein gewünschtes Datenprodukt im Rahmen einer Copernicus EMS Risk & Recovery Aktivierung erstellen ließe. Diese Prüfung muss in Zusammenarbeit mit dem BBK erfolgen, da dies den EMS aktivieren muss.
- ▶ Zuvor sollte jedoch geprüft werden, ob ähnliche Fragestellungen bereits von Kollegen in Deutschland oder auch in anderen EU-Staaten bearbeitet wurden. Die oben vorgeschlagene Plattform zum Wissensmanagement kann hierfür ein geeignetes Werkzeug sein.

4. Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten bei der Schadenspotentialermittlung in Deutschland

Die Ermittlung potentieller Hochwasserschäden kann bei der Umsetzung von allen drei Schritten der HWRM-RL sowie im Ereignisfall relevant sein: 1) zur deutschlandweit einheitlichen Bestimmung von Risikogebieten, 2) zur Quantifizierung direkter Hochwasserschäden an Sachwerten, 3) zur Projektbewertung durch die Betrachtung von vermiedenen Schäden im Vergleich zu den Projektkosten sowie 4) zur Abschätzung tatsächlicher Schäden im Ereignisfall. Bei allen Anwendungen werden für die Abschätzung potentieller Schäden Informationen 1) zur Hochwassergefährdung, 2) zum exponierten

Vermögen sowie 3) zur Schadensanfälligkeit mit unterschiedlicher Genauigkeit benötigt. Im Sachverständigengutachten wurde geprüft, welche Eingangsdaten in Copernicus für die Schadenspotentialanalyse zur Verfügung stehen und wie diese hinsichtlich ihrer Eignung im HWRM bewertet werden können. Dabei wurden ansatzweise die Vermögenswerte aus dem BEAM-Datensatz auf Eignung für eine deutschlandweit konsistente Schadenspotentialanalyse für den ersten Schritt der HWRM-RL geprüft. Diese Analyse fand auf drei Ebenen statt: Zunächst wurden flächenspezifische Vermögenswerte für Wohngebäude und Wirtschaftsvermögen aus BEAM mit anderen Vermögenswerten, z. B. aus vergleichbaren Schadensabschätzungen sowie aus Arbeitshilfen für die Schadenspotentialermittlung von verschiedenen Bundesländern verglichen. In einem weiteren Schritt wurde für zwei Hochwasserszenarien das in den überfluteten Gebieten verortete Vermögen für Wohngebäude und Wirtschaftsgüter auf Basis von BEAM-Deutschland sowie auf Basis von Vermögensdatensätzen des Centers for Disaster Management and Risk Reduction Technologies (CEDIM) ermittelt. Als Szenarien wurden ein extremes Sturmflutszenario in Hamburg sowie ein extremes Flusshochwasser in Köln ausgewählt. Schließlich wurden für diese beiden Szenarien Schadenspotentiale berechnet und mit Ergebnissen aus vergleichbaren Studien verglichen.

Die Analysen führen zu folgenden Ergebnissen:

- ▶ Im Hinblick auf Gefährdungsinformationen können Copernicus-Daten und Dienste vor allem im Ereignisfall Daten zum Überflutungsmaß (Rapid Mapping) liefern sowie die Erstellung von Gefahrenkarten unterstützen (vgl. Abschnitt 4.2). Zusammen mit einem einfachen Schadensmodell könnten diese Produkte zu einer schnellen Schadensabschätzung im Ereignisfall weiterentwickelt werden oder zur Berichterstattung zum internationalen Sendai-Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015-2030 beitragen.
- ▶ Größeres Nutzungspotential liegt jedoch vermutlich in der Bereitstellung von konsistenten und regelmäßig aktualisierten Landbedeckungsdaten wie CORINE-Land Cover oder Urban Atlas. Damit lassen sich – konsistent in Raum und Zeit – bei Hochwasser (potentiell) betroffene Landnutzungen und damit verbundene Sachwerte analysieren. Allerdings erlauben diese Produkte keine gebäudescharfen Schadensabschätzungen, wie sie bei Projektbewertungen nötig sind. Auch linien- oder punkthafte Infrastrukturobjekte sind in der Regel nicht in diesen Daten enthalten. Zudem müssen den Landnutzungsklassen Vermögenswerte, z. B. aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung als Nettoanlagevermögen, zugeordnet werden.
- ▶ Eine räumliche Verfeinerung der CORINE Land Cover-Daten, inkl. einer Integration von Infrastrukturen, sowie eine Zuordnung von Vermögenswerten wird in Copernicus mit dem Datensatz BEAM (Basic European Assets Map) bereitgestellt. Dieser Datensatz ist in Deutschland für den Stand 2012 verfügbar und stellt Vermögenswerte für private Haushalte (Wohngebäude, Hausrat, PKW), Wirtschaft (Industrie und Dienstleistungen), Landwirtschaft und verschiedene Infrastrukturen zur Verfügung. Der Datensatz basiert auf amtlichen Statistiken und CORINE-Landbedeckungsdaten, die mit Daten aus dem Urban Atlas sowie Daten zu Infrastrukturen in ihrer räumlichen Auflösung erheblich verbessert wurden.
- ▶ Der Vergleich von flächenspezifischen Vermögenswerten für Wohngebäude und Wirtschaftsvermögen aus BEAM-Deutschland mit anderen Werten bringt – trotz gleicher oder sehr ähnlicher Ableitung der Vermögenswerte – große Unterschiede zwischen den

Werten hervor. Die Unterschiede können zum Teil durch die unterschiedliche räumliche Auflösung der zugrundeliegenden Landnutzungsdaten (CLC, ATKIS oder ALKIS) erklärt werden. Allerdings treten auch bei Verwendung von ALKIS-Daten große Unterschiede zwischen Bundesländern auf, die den Schluss nahelegen, dass ALKIS-Daten vermutlich zu inkonsistent für eine deutschlandweite Abschätzung sind.

- ▶ Grundsätzlich ist der BEAM-Datensatz für Hochwasserschadenspotentialanalysen geeignet. Durch die gute Integration von Infrastrukturen sowie die Anbindung an die Fortschreibung der CORINE-Daten bietet er Vorteile gegenüber ATKIS- oder ALKIS-Daten, z. B. einen klaren Zeitstempel sowie eine höhere Konsistenz bei der Ausweisung von Landbedeckungsklassen. Die Verteilung der Vermögenswerte auf einzelne Landbedeckungsklassen ist nicht vollständig dokumentiert. Die für eine Schadenspotentialanalyse notwendigen Schadensfunktionen oder Schadensmodelle müssen der Fachliteratur entnommen werden.
- ▶ In den Expositionsanalysen für Überflutungsszenarien in Hamburg und Köln zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen BEAM-Deutschland und den Forschungsdatensätzen, die sich (nur) zum Teil auf unterschiedliche Eingangsdaten und unterschiedliche monetäre Bewertungskonzepte zurückführen lassen. Diese Unterschiede zwischen BEAM und den Forschungsvermögensdatensätzen setzen sich auch in der Schadensabschätzung für die beiden Szenarien fort. Insgesamt zeichnet sich mit BEAM-Deutschland eine leichte Tendenz zur Unterschätzung von Vermögenswerten und der potentiellen Schäden ab.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Die Grundlagen zur Abschätzung von Vermögenswerten, d. h. die monetären Bewertungskonzepte, zu bewertende Güter, Eingangsdaten, Landnutzungsdaten und Methoden sind für eine bundeseinheitliche Schadenspotentialanalyse gut zwischen den Bundesländern abzustimmen und zu dokumentieren.
- ▶ Die Eignung des BEAM-Datensatzes sollte an vier bis fünf weiteren Fallstudien untersucht und mit Vermögensdatensätzen aus den Arbeitshilfen zur Schadenspotentialermittlung verschiedener Bundesländer verglichen werden. Dabei sollten verschiedene Bundesländer, topographische Lagen (z. B. Küste, Flachland, Mittelgebirge, Alpen) bzw. Hochwassertypen berücksichtigt werden.
- ▶ Für eine langfristige Nutzung ist zu klären, wie die Fortschreibung des BEAM-Datensatzes innerhalb des Copernicus-Programms geplant ist und was dies für Zugänglichkeit des Datensatzes bedeutet. Zudem ist für eine langfristige Verwendung des Datensatzes zu fordern, dass die Methodik (inklusive des Mappingverfahrens) vollständig dokumentiert werden sollte.
- ▶ Schließlich sollten alternative Lösungsansätze für die Schadenspotentialanalyse geprüft werden. Verschiedene Arbeitshilfen von Bundesländern zur Schadenspotentialermittlung zeigen, dass weitgehend Einvernehmen über die Wertermittlung besteht: So wird für Wirtschaftsgüter das Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen verwendet. Für die Vermögen der privaten Haushalte werden separate Ansätze, oft auf Basis von markt-

oder Versicherungswerten, angewendet. Klärungs- und Vereinheitlichungsbedarf gibt es hingegen bei der räumlichen Verteilung der Vermögen auf Landdeckungsklassen sowie der Anwendung von Schadensfunktionen/-modellen. Da die Forschung mittlerweile diverse Schadensmodelle entwickelt hat, sollte hierzu eine Vergleichsstudie durchgeführt werden, die auch die nachhaltige Anwendung der Modelle für die HWRM-RL im Blick hat. Dabei ist auf eine transparente Dokumentation aller Modellierungsschritte und Annahmen besonders Wert zu legen.

- ▶ Es sollte geprüft werden, ob Copernicus-Dienste – in Verbindung mit einem einfachen Schadensmodell – zur schnellen Schadensabschätzung im Ereignisfall oder zur kontinuierlichen und konsistenten Dokumentation von Hochwasserereignissen und ihren Auswirkungen verwendet werden sollen.

5. Fallstudien

Anhand von drei weiteren Fallstudien wurden die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings von Maßnahmen sowie die Ermittlung von Schadenspotentialen dargestellt. Sie umfassen die Aspekte Schutz und Vorsorge sowie Wiederherstellung / Regeneration.

- ▶ Am Beispiel der Deichrückverlegung Lenzen konnte gezeigt werden, dass sich Hochwasserschutzmaßnahmen anhand von Satellitenbilddaten beobachten und kontrollieren lassen. Die Bildaufnahmen unterstreichen, dass das Konzept der Deichrückverlegung zu den erhofften Ergebnissen geführt hat. Die bildliche Darstellung der Ergebnisse ist sehr aussagekräftig und kann auch für die Öffentlichkeitsarbeit herangezogen werden. Die Arbeiten in Lenzen waren bereits abgeschlossen, bevor die ersten Sentinel Satelliten gestartet waren. Es zeigt sich aber, dass selbst geringer aufgelöste Daten des US-amerikanischen Landsat Systems für eine Untersuchung ausreichen. Die heute verfügbaren Sentinel Bilddaten ermöglichen die Kontrolle der Maßnahmen in kurzen Zeitabständen und bei noch höherer räumlicher Auflösung. Die Copernicus Datenprodukte des Landbeobachtungsdienstes bilden die damit einhergehenden Änderungen der Landbedeckung ab.
- ▶ Für die vergleichende Untersuchung des Elbehochwassers 2013 stand nur der Endbericht (und keine Daten) der aktuellen Risk & Recovery Aktivierung, sowie Daten der 2013er Rapid Mapping Aktivierung zur Verfügung. Der vorliegende Endbericht unterstreicht jedoch, dass für eine eingehende Analyse eines Ereignisses im Jahr 2013 Bilddaten verschiedener Satellitensysteme verwendet werden müssen. Ein Vergleich mit der heutigen Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch Sentinel-1 Bilddaten hebt die verbesserte Ausgangslage für vergleichbare Analysen hervor. Das Beispiel stellt ebenfalls dar, dass Copernicus auch meteorologische Daten und Informationen z. B. zur Bodenfeuchte bereitstellt, die eine detaillierte Analyse und Dokumentation von Hochwasserereignissen ermöglicht, die über die reine Erfassung der Hochwasserfläche hinausgeht. Das vorliegende Beispiel einer Ereignisdokumentation eignet sich auch sehr gut, um sowohl die Bevölkerung über Risiken aufzuklären, als auch Einsatzpläne für Rettungskräfte anzupassen.

- ▶ Am Beispiel der Versiegelungsanalyse einer Flussaue und der Veränderungsanalyse über einen längeren Zeitraum wurde dargestellt, dass verschiedene Copernicus Datenprodukte erhältlich sind, die eine entsprechende Untersuchung ermöglichen. Jedes Datenprodukt zeigt unterschiedliche Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Methoden der Datenverarbeitung. Für eine langfristige Analyse empfiehlt sich die Verwendung des Global Human Settlement Layer. Für eine Analyse von urbanen Räumen eignet sich der Urban Atlas. Der Datensatz über den Grad der Bodenversiegelung in Europa (Imperviousness) ist laut Definition eigentlich ideal für entsprechende Untersuchungen geeignet. Im vorliegenden Fall konnten im Gegensatz zu den anderen beiden Datensätzen keine Veränderungen der Versiegelung für die Fallstudienregion festgestellt werden. Genaue Gründe dafür wären zu untersuchen. Die Bestandserhebung der Flächenversiegelung ist eine mögliche Maßnahme im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements im LAWA-Handlungsbereich „Natürlicher Wasserrückhalt“.
- ▶ Anhand der Fallbeispiele wurde der Mehrwert einer Integration von Copernicus-Datenprodukten aufgezeigt. Es existieren viele weitere Anwendungsmöglichkeiten, die in Zusammenarbeit mit potentiellen Endnutzern identifiziert und evaluiert werden sollten. Sofern für deren Umsetzung keine Standardprodukte vorhanden sind, eignen sich Pilotprojekte für eine testweise Umsetzung.

Das vorliegende Sachverständigengutachten untersuchte Potentiale zur Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie. Aus Sicht der Autoren besteht ein hohes Potential für den Einsatz von Copernicus-Daten und Diensten für das Hochwasserrisikomanagement.

Dieses wird von den Fachexperten v. a. in den Behörden der Bundesländer bisher noch nicht ausgeschöpft. Eine umfangreichere Nutzung wird empfohlen. Um die Akzeptanz hierfür zu erhöhen sind jedoch weitere Maßnahmen des Bundes und von Bundesländerseite notwendig. Weitere Schulungen in den Behörden zur Nutzung der bestehenden Dienste und Daten, eine Copernicus Arbeitsgruppe Wasserwirtschaft, eine Plattform zum Wissensmanagement und Pilotprojekte zum Test von Arbeitsweisen und Produkten sollten zeitnah umgesetzt werden, um das große Potential auszuschöpfen, welches Copernicus schon heute bietet.

Summary

Discussions on how Copernicus data and services could support water resources management are currently under way, both at European and at national levels. The objective of this report is to examine the extent to which Copernicus data and services can be used to contribute to flood risk management in Germany and, where appropriate, to provide comparable nationwide data for reporting on the implementation of the European Floods Directive.

The report investigates how and to which extent Copernicus data and services are already used by German stakeholders and how they could be further developed if needed. The focus is on documenting flood events and the creation of national flood hazard and flood risk maps. Moreover, a Copernicus-based contribution to a nationwide assessment of damage potentials is of particular interest.

The report is divided in five main sections:

1. In the first section the Copernicus program is introduced.
2. Current state of knowledge regarding the use of Copernicus data and services for flood risk management is presented. Several interviews were conducted with representatives of EU and federal authorities as well as with experts from the federal states. In addition, a study of previous German activations of the Copernicus Emergency Management Service was carried out. A literature review of applications in EU neighboring countries completed the study. In the second section Copernicus data and services are matched to the implementation steps of the Floods Directive. The Committee "Flood Protection and Hydrology" of the Federal / State Water Working Group (LAWA) has published recommendations for the preparation of flood hazard and risk maps and flood risk management plans. Their objective is to define criteria for the flood risk assessment and minimum requirements for flood hazard and flood risk maps, to enable harmonized and consistent maps across federal state borders. Based on these recommendations, it is discussed to what extent Copernicus data and services could be used in these implementation steps.
3. In the context of an integrated flood risk management there is an increasing interest in assessing potential damages. Measures against floods are no longer planned on the basis of the hazard, but rather on aspects of the risk. According to WHG (§ 73) "Flood risk [...] is a combination of the probability of occurrence of a flood event with the possible detrimental consequences on human health, the environment, cultural heritage, economic activities and material assets." Quantifying the potential or actual damage to assets is the goal of an assessment of damage potentials. For that purpose, damage models are applied linking information on flood risk with monetary values for the exposed assets. To quantify potential damages so called damage functions are used. For the third implementation cycle of the Floods Directive the German federal states agreed to carry out the preliminary flood risk assessment on the basis of damage potentials. A common methodological approach will be developed during the second implementation period. The third section is a case study investigating to what extent Copernicus data (primarily the Basic European Assets Map -BEAM) are applicable for a standardised assessment of damage potentials in Germany.
4. The fourth section includes three further case studies. They are used to demonstrate the added value of Copernicus data products for flood risk management applications. The case studies include an analysis of a dike relocation in Lenzen (Elbe) and a comparative analysis of two Copernicus Emergency Management Service activation for the Elbe flood in 2013. Moreover, it is investigated how the soil sealing within a riparian zone has developed over several years.

1. Copernicus

Since 2014, the European Earth observation program Copernicus has created a modern infrastructure for Earth observation and geoinformation. It includes a space component that develops various Sentinel Earth observation satellites and operates a services component. The service component covers the six different domains land, climate and atmosphere, oceans, crisis and disaster management and security. An in-situ component coordinates the access to in-situ data.

The core services provide data products integrating data from Sentinel missions, data from contributing missions, in-situ and model data. Except for security, all services provide data products that are potentially relevant to water management.

2. State of knowledge

Interviews with colleagues from European institutions, federal authorities and representatives of the federal states have revealed the following:

- ▶ A great effort has been made by the Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance (BBK) to share information about products and operations of the Copernicus Emergency Management Service with users from civil protection. Moreover, BBK undertakes public relations measures (newsletters) to regularly inform and train potential users. Workshops are organised to deepen the knowledge. In addition to the Copernicus EMS, the training includes also information about other Copernicus services and data products, such as the Land Monitoring service. However, users from the field of water management are often excluded from these trainings.
- ▶ The activation of the Copernicus EMS is often dependent on dedicated individuals. Moreover, the responsibilities for an activation are not always clear among the relevant authorities of the federal states.
- ▶ First federal states have set up structures to promote the use of Copernicus data and services. In Saxony-Anhalt the Copernicus EMS activation procedures have already been integrated into operational procedures. Bavaria included guidelines for the use of Copernicus data in a working aid for the documentation of flood events.
- ▶ At senior level, the Copernicus EMS is viewed positively. However, criticism is also voiced at lower, executing levels (the criticism primarily refers to spatial and temporal resolution and product accuracies).
- ▶ The Basic European Assets Map (BEAM) available for Germany is known to users. However, it is not used yet.
- ▶ The European Flood Awareness System (EFAS) is a European flood forecasting system operated by the Joint Research Center of the European Commission and made available to member states. EFAS is used in five federal states (Bavaria, Brandenburg, Hesse, Rhineland-Palatinate and Saxony) complementing their own flood forecasting systems.

- ▶ In several European countries, flood risk management is already supported by Copernicus data and products.
- ▶ The European Commission pushes "COPERNICUS for politics". This means that Copernicus data and services should be used for monitoring of the implementation of regulations and support the associated reporting.

Based on these findings the following is recommended:

- ▶ Further training and workshops on the use of Copernicus data and services are required. The training should be offered locally within the executing authorities and close to the experts dealing with flood risk management.
- ▶ Until now, BBK training has primarily addressed civil protection officials. Water management experts should be involved in the training. Whether these training courses can be carried out by BBK staff or experts from other institutions has to be clarified.
- ▶ It is challenging for users to keep track of existing or completed projects. A platform should be developed enabling knowledge management.
- ▶ To increase user acceptance, it is necessary to better illustrate the benefits of Copernicus. This can be achieved through training and workshops, sharing knowledge and pilot projects.
- ▶ For better exchange among federal state representatives a working group on Copernicus for water management should be set up. Such working group promotes the exchange of knowledge.
- ▶ Communication channels are not always transparent. It should be ensured that user recommendations and user wishes can be communicated to the right stakeholders at the federal level (BMVI, DLR, BfG, BBK, UBA). The contact persons and their responsibilities must be clarified and communicated. The communication channels should in turn be communicated during the training courses.
- ▶ Some data requirements were communicated by experts (see following section 3). It is recommended to initiate demo projects for the implementation of these products. This would be an easy way to test the products.
- ▶ Copernicus products are generated on the basis of consistent data and standardised workflows. Using standard products can facilitate the exchange of data and information between authorities and the reporting to the European Commission. Therefore, further standard products should be developed. Corresponding activities of LAWA for the determination of damage potentials are a positive example.

3. Copernicus data and services match with the implementation steps of the Floods Directive

Copernicus provides suitable data products for many flood risk management tasks. However, in some cases further processing or refining steps are necessary to generate the required

information (e.g. damage potentials). In addition to the existing data products, Sentinel satellite imagery provides an excellent basis for deriving various parameters. However, this requires expert knowledge to process the data. If such knowledge is not available within the authorities, a large number of service providers are available in Germany offering such services.

- ▶ Map products on past flood events can support the preliminary risk assessment and flood risk management plans (e.g. for resource planning, reconnaissance, reconstruction and mitigation).
- ▶ Land cover maps of the Copernicus Land Monitoring Service, such as Corine Land Cover (CLC) but also the thematic maps (Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000) can be used for preliminary risk assessments (e.g. to assess the alteration of the water network and damage potentials). They can build the basis for the creation of surface roughness maps required in the process of creating the flood hazard maps. For flood risk maps, data layers can be derived for numbers of potentially affected population, economic activities and protected areas.
- ▶ The available BEAM dataset provides valuable information about economic activities, population numbers and damage potentials. It is generally useful to conduct assessments of damage potentials.
- ▶ Near real-time products of the future snow and ice monitoring service can provide input parameters for runoff models which are applied in the process of creating the flood hazard maps.
- ▶ Due to their spatial, spectral and temporal resolution, Sentinel-1 and Sentinel-2 satellites provide a great source for e.g. creating up-to-date maps of river networks, to document historical flood events or to create large scale maps of critical infrastructures or cultural assets.
- ▶ The satellite imagery is also useful for measures dealing with the protection, prevention and avoidance of floods. Moreover, land cover, soil sealing data and flood extent maps support the documentation, assessment and control of measures defined in the flood risk management plans.
- ▶ Copernicus data are particularly well-suited for cross-border analysis which is due to the same data and standardised processing procedures.
- ▶ However, for certain issues a further processing of Copernicus data products is required (e.g. surface roughness).

The following data needs were communicated by the expert users:

- ▶ Water depth information, vegetation along rivers, water quality after technical hazards, dike stability, river ice and others.
- ▶ Some of the reported needs will be provided as standard products in the future (river ice and water depths).

Based on these findings the following is recommended:

- ▶ Data needs must be identified and communicated by experts of the federal states and federal authorities. The above mentioned working group on water management could be a suitable platform for this purpose.
- ▶ The process of implementing new data products in the Copernicus services is time-consuming. It is therefore recommended to either generate the desired data in pilot projects or to evaluate their implementation through downstream services.
- ▶ In any case, it should also be evaluated whether a desired data product could be created within the scope of a Copernicus EMS Risk & Recovery activation. Such evaluation must be carried out in cooperation with the BBK.
- ▶ However, it should also be checked whether similar issues have already been dealt with by colleagues in Germany or by other stakeholders in neighbour countries. The above mentioned knowledge management platform is a suitable tool for this purpose.

4. Use of Copernicus data and services in the assessment of damage potentials in Germany

The assessment of potential flood damages can be relevant for the implementation of all three steps of the Floods Directive as well as in case of a flood event: 1) for a uniform determination of risk areas across Germany, 2) for a quantification of direct flood damage to property, 3) for project evaluations by considering avoided losses compared to the project costs and 4) to estimate actual damage in case of a real flood event. In all applications, information 1) on the flood hazard, 2) the exposed assets and 3) their susceptibility is required with varying degree of accuracy for the estimation of potential damage. In this report, it was examined which input data are available in Copernicus for damage estimations and how they are evaluated with regard to their suitability for flood risk management. In this process, the asset values of the BEAM data set were to some extent evaluated with regard to their suitability for a Germany-wide consistent estimation of potential damage for the first step of the Floods Directive. The analysis was performed on three levels: First, area-specific assets for residential buildings and economic assets of BEAM were compared to other values, e.g. from comparable damage assessments as well as from guidelines for analyzing potential damage from different federal states. In a further step, the exposed residential and economic assets in flooded areas were determined for two scenarios, namely for an extreme storm surge in Hamburg and an extreme river flood in Cologne, based on BEAM Germany and on the basis of another nationwide assets data set created by researchers. Finally, potential flood losses were calculated for both scenarios and compared to similar studies.

The analyses delivered the following results:

- ▶ With regard to hazard information, Copernicus data and services can provide data on the extent of the flood (rapid mapping), especially in case of a real flood event, as well as support the creation of hazard maps (see section 4.2). In combination with a simple loss model, these

products could be further developed into a rapid damage estimation in case of an event or they could contribute to the reporting on the international Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030.

- ▶ However, greater use potential is likely to be provided by consistent and regularly updated land cover data such as CORINE-Land Cover or Urban Atlas. In this way, it is possible to analyze – consistently in space and time - land uses and related assets (potentially) affected by floods. However, these Copernicus products do not allow building-specific damage estimates as needed in project appraisals. Further, line or point infrastructure objects are usually not included in this data. In addition, asset values such as from the national accounts as net assets have to be assigned to the land use classes.
- ▶ A spatial refinement of the CORINE Land Cover data, including an integration of infrastructures, as well as an allocation of assets is provided with the data set BEAM (Basic European Asset Map). This dataset is available for all of Germany for the reference year 2012 and provides assets of the residential sector (for buildings, household contents, cars), economic sector (industry and services), agriculture and several infrastructures. The dataset is based on official statistics and CORINE Land Cover data whose spatial resolution was considerably improved by combining them with the Urban Atlas and data on infrastructures.
- ▶ The comparison of area-specific residential and economic asset values from the BEAM dataset with other values revealed huge differences in the specific values despite similar underlying approaches for deriving assets. The differences can partly be explained by the different spatial resolution of the underlying land use data. However, even with the same database as ALKIS data huge differences between federal states occurred which allow us to conclude that ALKIS data are probably too inconsistent for a Germany-wide estimation.
- ▶ Basically, the BEAM data set is suitable for damage potential analysis. Due to the good integration of infrastructures and the connection to the updating of CORINE data, it offers advantages over ATKIS or ALKIS data, e.g., a clear time stamp as well as a higher consistency in the assignment of land cover classes. The algorithm for distributing assets across different land cover classes is not fully documented. The damage functions or loss models needed for a damage potential analysis have to be taken from the scientific literature.
- ▶ The exposure analysis for inundation scenarios in the cities of Hamburg and Cologne revealed considerable differences between BEAM Germany and the research datasets, which can be (only) partly traced back to different input data and different monetary valuation concepts. These differences between BEAM and the research assets datasets also continue in damage estimation for the two scenarios. Altogether, BEAM Germany showed a slight tendency to underestimate assets and potential damages.

The following conclusions can be drawn from this:

- ▶ The bases of the estimation of assets for a countrywide analysis of potential damage, i.e. monetary valuation concepts, the types of assets to be valued, input data, land use data and methods must be well coordinated between the states and clearly documented.

- ▶ The suitability of the BEAM dataset should be further investigated in four to five case studies and it should be compared with existing asset data sets from various state guidelines for determining damage potential. In this process, different federal states, several topographical locations (coast, lowland, low mountain range, Alps) or types of flooding should be accounted for.
- ▶ For a long-term perspective, it has to be clarified how the continuous updating of the BEAM dataset within the Copernicus program is planned and what this means for accessibility of the dataset. In addition, for the long-term use of the dataset, it should be requested that the methodology (including the mapping approach) should be fully documented.
- ▶ Finally, alternative solutions for an analysis of potential damage should be explored. Various guidelines of the federal states for determining damage potential show that there is a broad agreement on the monetary valuation: for example, net assets at replacement costs are used as assets. For private households, separate approaches are used, often based on market or insurance values. However, there is a need for clarification and standardization with regard to the dasymetric mapping (i.e. the spatial distribution of assets on land cover classes) and the choice of damage functions / loss models. As research has recently developed various damage models, a comparative modeling study should be carried out on this, which also has an eye on the sustainable application of the models for the Floods Directive. Particular importance should be attached to the transparent documentation of all modeling steps and assumptions.
- ▶ It should be checked whether Copernicus Services should – in combination with a simple loss model – be used for a rapid damage assessment in case of an event or for a continuous and consistent documentation of flood events and their impacts.

5. Case studies

Based on three case studies, the use of a satellite-based monitoring of flood management issues and for the determination of damage potentials were presented. They cover the aspects of protection and preparedness as well as recovery / regeneration.

- ▶ Using the example of the dike relocation in Lenzen (Elbe), it was shown that construction measures can be monitored using satellite imagery. The images underline that the objective of the dike relocation has led to the anticipated results. The visual representation of the results can also be used for creating awareness. The work in Lenzen had already been completed before the first Sentinel satellites were launched. It turns out, however, that even low-resolution data from the US Landsat system will suffice for such analysis. The Sentinel imagery available today allows the monitoring of construction activities at short intervals and at even higher spatial resolution. The Copernicus data products of the Land Monitoring Service map the associated land cover changes.
- ▶ Unfortunately, no data of the recent Risk & Recovery activation were available for the comparative study of Elbe flood 2013. However, the activation's final report underlines that for an in-depth analysis of an event in 2013, image data from different satellite systems must

be used. A comparison with today's coverage of the study area by Sentinel-1 imagery highlights the improved situation for such analysis. The example shows also that Copernicus provides meteorological data and information about soil moisture allowing an in-depth analysis and documentation of historical flood events going beyond the detection of the flood extent. The example of flood event documentation is also very well suited to raising awareness among people about flood risks as well as to adapt emergency response plans.

- ▶ The sealing analysis of a flood plain and the change analysis over a longer period of time underlines that several Copernicus data products are available allowing such analysis. Each data product shows different results due to different data processing methods. For a long-term analysis, we recommend using the Global Human Settlement Layer. For a vector-based analysis, the Urban Atlas is suitable. The European imperviousness dataset which should, by definition, support such investigations did not deliver any results. Reasons for that should be investigated. The assessment of soil sealing levels is a possible measure in the context of flood risk management.
- ▶ An analysis of the BEAM dataset for the determination of damage potentials has shown that a data product exists already for a national assessment the damage potentials. Nevertheless, an update of monetary values and more information about data sources would be helpful for a final assessment.
- ▶ The case studies demonstrated the added value of integrating Copernicus data and products into flood management procedures. Additional use cases should be identified and evaluated in collaboration with potential end users. If no standard products are available for their implementation, pilot projects are suitable for a test implementation.

This report examines the use of Copernicus data and services for the implementation of the European Floods Directive. From the authors' point of view, there is great potential for using Copernicus data for flood risk management purposes. However, this potential is not exploited yet by the different stakeholders and experts especially at federal state level. Thus, a wider uptake is recommended. However, in order to increase its acceptance, additional measures are required. Further training inside the authorities, a Copernicus Working Group on Water Management, a knowledge management platform and pilot projects should be implemented timely to exploit the great potential that Copernicus offers already today.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus entsteht seit 2014 eine moderne und leistungsfähige Infrastruktur für Erdbeobachtung und Geoinformation. Unter Erdbeobachtung werden Messungen von Satelliten, Flugzeugen, aber auch boden- und seegestützte Beobachtungs-Infrastrukturen zusammengefasst. Copernicus ist unterteilt in die Komponenten Satelliten, in-situ Messdaten und Dienste. Letztere decken die sechs thematischen Bereiche Land, Klimawandel, Atmosphäre, Meere, Krisen- und Katastrophenmanagement und Sicherheit ab. Die Kerndienste sind damit beauftragt, fertige Datenprodukte bereitzustellen. Die Produkte integrieren Daten der Sentinel Satellitenmissionen, Daten aus beitragenden Missionen, In-Situ und Modelldaten. Bis auf den Sicherheitsdienst liefern alle Dienste Datenprodukte, die für die Wasserwirtschaft potentiell von Relevanz sind. Alle Copernicus-Daten und Produkte werden kostenfrei und für jede Art der Nutzung zur Verfügung gestellt.

Sowohl auf europäischer Ebene als auch auf nationaler Ebene laufen derzeit Überlegungen wie Copernicus-Daten und Dienste auch für die Wasserwirtschaft besser genutzt und weiterentwickelt werden können. In diesem Zusammenhang fanden bereits verschiedene Workshops statt. Auf EU-Ebene sollen die Copernicus-Daten und Dienste zukünftig im Bereich der Umweltfachrichtlinien stärker genutzt werden, was insbesondere die bessere Überwachung der Umsetzung der Richtlinien betrifft bzw. deren Nachsteuerung. Im Bereich Hochwasserrisikomanagement erfolgte bereits eine Nutzung von Copernicus-Diensten bei konkreten Hochwasserereignissen durch verschiedene Bundesländer. Diese wurden im Bund/Länder Ausschuss „Hochwasserschutz und Hydrologie“ (LAWA-AH) vorgestellt. Die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) führte ein Projekt zur „Satellitengestützten Auswertung des Elbehochwassers 2013 für die Region Prag bis Geesthacht“ durch. Für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie einigten sich die Bundesländer darauf, für den 3. Umsetzungszyklus die vorläufige Hochwasserrisikobewertung bundeseinheitlich anhand von Schadenspotentialen durchzuführen. Die hierfür heranzuziehenden methodischen Festlegungen sollen im 2. Zyklus erarbeitet werden. Beim einem durchgeführten LAWA-AH Workshop „Schadenpotentiale“ im März 2018 kam die Frage auf, ob nicht Copernicus-Datensätze zu den bundesweiten Vermögenswerten für die Bewertung von Schadenspotentialen bei Hochwasser genutzt werden können. Eine bundesweit einheitliche Methodik zur Schadenspotentialermittlung soll erarbeitet werden.

1.2 Ziel des Vorhabens

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit Copernicus-Daten und Dienste für die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie verwendet bzw. ggf. weiterentwickelt werden können.

Entsprechend der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL 2007/60/EG) ist nach Art. 4 der HWRM-RL das Hochwasserrisiko für jede Flussgebietseinheit bzw. für jede Bewirtschaftungseinheit vorläufig zu bewerten. Auf Grundlage dieser Bewertung werden diejenigen Gebiete bestimmt, bei denen ein potentielles signifikantes Hochwasserrisiko besteht oder für wahrscheinlich gehalten werden kann (Art. 5 der HWRM-RL). Für diese Gebiete sind Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten (Art. 6 der HWRM-RL) zu erstellen. Auf Grundlage der Karten sind nach Art. 7 HWRM-RL Hochwasserrisikomanagementpläne zu erarbeiten, die Ziele und Maßnahmen zu deren Erreichung enthalten. Diese Umsetzungsschritte

sind alle sechs Jahre zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren (Art. 14 der HWRM-RL). Bei der Überprüfung sind die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Hochwasser mit zu berücksichtigen. Wir befinden uns im 2. Umsetzungszyklus der HWRM-RL. Der erste Umsetzungszyklus wurde 2015 abgeschlossen und zeigte, dass weiterer Harmonisierungsbedarf zwischen den Bundesländern und innerhalb der Flussgebietsgemeinschaften besteht. Die Verwendung einheitlicher Datensätze bildet dabei eine wesentliche Grundlage.

Das Sachverständigen Gutachten soll untersuchen, in welchem Maße Satellitenfernerkundung bzw. Daten und Produkte aus dem Erdbeobachtungsprogramm Copernicus herangezogen werden können, um einen Beitrag für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland zu leisten sowie um ggf. bundesweit vergleichbare Daten für die Berichterstattung zur Umsetzung der HWRM-RL bereitzustellen. Dabei sollte der Fokus insbesondere auf eine bundeseinheitliche Schadenspotentialermittlung, die Dokumentation von Hochwasserereignissen sowie die Erstellung nationaler Hochwassergefahren- und -risikokarten gelegt werden.

1.3 Vorgehen

Zunächst erfolgte eine Untersuchung des Wissens- und Kenntnisstands in Bezug auf die Anwendung von Copernicus Daten und Dienste im Hochwasserrisikomanagement. Dafür wurden die Arbeiten auf Europäischer-, Bundes- und Bundesländerebene berücksichtigt, die durch Experteninterviews und Recherchen in Literatur und Workshop-Dokumentationen ermittelt wurden. Folgende Aspekte sollten herausgearbeitet werden:

- ▶ Empfehlungen in Bezug auf die Qualität der Copernicus Daten im Vergleich zu nationalen Daten
- ▶ Welche Parameter können mittels Fernerkundung erfasst werden (Fläche, Wassertiefe, Schadensdokumentation, langjährige Entwicklungen, ...)?
- ▶ Untersuchung zu Datenlücken
- ▶ Transparenz über Herkunft der Eingangsdaten und Methoden zur Produktermittlung (z. B. BEAM-Datensatz: wie wurden die Vermögenswerte ermittelt?)
- ▶ Können Europäische Daten mit nationalen Daten verschnitten werden? Für welche Fragestellungen ist die Qualität der Europäischen Daten ausreichend?
- ▶ Ist die Verwendung von Copernicus Daten und Diensten technisch praktikabel? Kann die Ereignisdokumentation durch Fernerkundung zur Plausibilisierung der Vor-Ort-Messungen dienen?
- ▶ Darstellungen von Möglichkeiten und Grenzen

Die Rechercheergebnisse sowie Informationen zu Copernicus Daten und Diensten wurden in einem zweiten Schritt den einzelnen Umsetzungsschritten der HWRM-RL zugeordnet. Dafür wurden die Empfehlungen der LAWA zur Überprüfung der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos, zur Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten sowie Hochwasserrisikomanagementplänen herangezogen.

In einem weiteren Schritt wurde die Eignung der Copernicus Daten und Dienste und hier insbesondere der BEAM-Datensatz für eine bundesweit einheitliche Schadenspotentialermittlung inklusive deren Kartierung untersucht. Hierfür wurden auch Vorarbeiten aus dem entsprechenden LAWA-AH Workshop „Schadenpotentiale“ vom März 2018 verwendet.

Anhand von vier Fallbeispielen wurden die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings demonstriert bzw. der Mehrwert einer Integration von Copernicus Datenprodukten aufgezeigt.

2 Das Copernicus Programm

Mit der EU-Verordnung Nr. 377/2014¹ wurde das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus eingerichtet. Die europäische Kommission, die europäischen Mitgliedstaaten und verschiedene Organisationen entwickeln unter Copernicus eine unabhängige, moderne und leistungsfähige Infrastruktur für Erdbeobachtung und Geoinformation. Wie eingangs bereits erwähnt, verfügt das Programm neben einer Weltraumkomponente, welche die Konstruktion und den Betrieb der Sentinel-Satelliten beinhaltet, über eine Dienste-Komponente und eine In-Situ Komponente, welche in den folgenden Abschnitten näher dargestellt werden.

2.1 Weltraumkomponente

Derzeit sind bereits sieben Sentinel-Satelliten im All (s. Tabelle 1). Sie erfassen die Erdoberfläche mit verschiedenen optischen und Radarsystemen. Die Mehrheit der Sentinel-Missionen sind als Zwillingssmission ausgelegt. Das heißt, dass zwei Satelliten gleicher Bauart die Erde umkreisen, so dass Daten in höherer zeitlicher Auflösung erfasst werden können. Für eine detailliertere Darstellung sei auf die nationale Copernicus Homepage verwiesen². Besonders hervorzuheben ist die Langfristigkeit des Copernicus Programms. Derzeitige Pläne der Europäischen Kommission zur Weiterentwicklung des Programms reichen bis über 2030 hinaus. Vorhandene Dienstleistungen und Angebote sollen mit gleichbleibender bzw. stetig steigender Datenqualität umgesetzt werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf die Umsetzung des künftigen Umweltmonitorings bzw. bezüglich Umstellungen oder Anpassung von Monitoringverfahren.

Tabelle 1: Überblick über bereits gestartete Sentinel-Missionen

| Name | Instrument | Frequenz/ Spektrale Auflösung | Räumliche Auflösung | Zeitliche Auflösung |
|------------------|--|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Sentinel-1 A / B | Synthetic Aperture Radar (SAR) | C-Band (5,404 GHz) | 5 m / 20 m / 40 m | 6 Tage |
| Sentinel 2 A / B | Optisch / Multispectral imager (MSI) | 13 Bänder | 10 m / 20 m / 60 m | 5 Tage |
| Sentinel 3 A / B | Optisch / SAR Altimeter / Microwave Radiometer | 9 Bänder | 300 m / 1 km / 1,2 km* | täglich |
| Sentinel 5P | Tropospheric Monitoring Instrument (Tropomi) | 8 Bänder | 7 km x 3,5 km | täglich |

* Räumliche Auflösung je nach Sensor

Der Datenzugang zu den Sentinels erfolgt über den Copernicus Open Access Hub³. Der Copernicus Open Access Hub stellt eine zentrale Datenbank dar und erlaubt die detaillierte Suche nach Daten der verschiedenen Sentinel-Missionen, z. B. nach Aufnahmezeitpunkt und Wolkenbedeckungsgrad. Er bietet auch die Möglichkeit, die Daten auf den lokalen Computer zu übertragen. Neben dem Open Access Hub steht eine API Schnittstelle (API – Application Programming Interface) zur Verfügung, mit der sich Bilddaten automatisiert übertragen und in Anwendungen integrieren lassen. Neben den zentralen Datenbanken und Zugangsschnittstellen

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0377&from=DE>

² <https://www.d-copernicus.de/daten/daten-sentinels/>

³ <https://scihub.copernicus.eu/>

werden Sentinel-Daten über zahlreiche weitere Plattformen bereitgestellt. Dies beinhaltet national geförderte Cloud Lösungen Systeme wie CODE-DE⁴ für Deutschland, aber auch privatwirtschaftlich betriebene Plattformen. Darüber hinaus wurden im Auftrag der Europäischen Kommission fünf weitere Plattformen entwickelt, über die ein zentraler Zugang zu Copernicus Daten und Informationen sowie Verarbeitungswerkzeugen ermöglicht werden soll, die sogenannten Copernicus Data and Information Access Services (DIAS)⁵. Neben der Datensuche ermöglichen DIAS die direkte Verarbeitung der Sentinel-Daten in Cloud-Umgebungen unter Anwendung eigener Algorithmen und Verschneidung mit eigenen Daten. Die Nutzung dieser Funktionalität ist jedoch oftmals kostenpflichtig.

Neben den erwähnten Sentinel Daten werden in Copernicus Satellitendaten von Drittanbietern hinzugekauft (Contributing Missions). Dies sind gewöhnlich Daten mit höherer räumlicher Auflösung im Vergleich zu den Sentinel Missionen. Diese Daten werden vor allem für die Erstellung der detaillierten Kartendarstellungen des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagement Dienstes, des Sicherheitsdienstes sowie für die thematischen Kartierungen im Rahmen des Landbeobachtungsdienstes (siehe Kap. 2.2) eingesetzt.

Satellitendaten sind zunächst Rohdaten, die in verschiedenen Verarbeitungsstufen bereitgestellt werden. Die Verarbeitungsstufen beinhalten z. B. die Gelände- und Atmosphärenkorrektur. Für die Ableitung spezifischer Informationen müssen die Bilddaten unter Verwendung von speziellen Verfahren und Methoden ausgewertet werden. Dafür stehen neben den oben genannten Cloud-Diensten auch spezielle Softwareanwendungen zur Verfügung. Die Verarbeitung erfordert Spezialwissen. Für die Auswertung der Daten bietet Copernicus zudem die kostenfreie Analysesoftware SNAP (Sentinel Application Platform)⁶ an.

2.1.1 Technische Aspekte und Grenzen der Satellitenfernerkundung

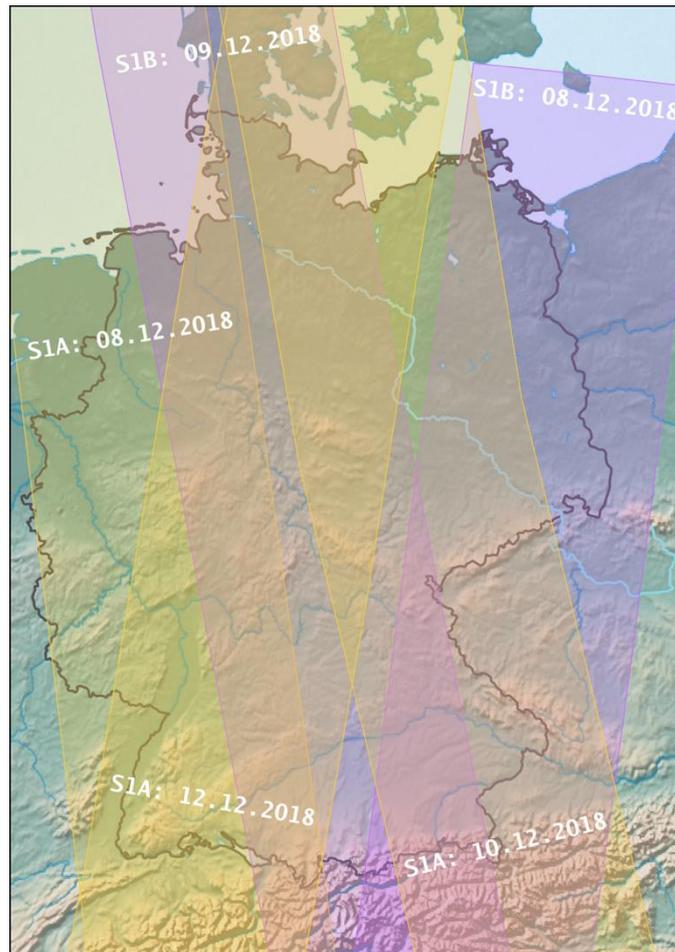
Obwohl die Ableitung wasserspezifischer Parameter aus Fernerkundungsdaten verbreitet ist, sind damit immer noch zahlreiche technische Herausforderungen verbunden. Dies liegt vor allem an den systembedingten Eigenschaften der Satellitenmissionen. Satelliten umkreisen die Erde in verschiedenen Höhen (siehe Abbildung 1). Je nach Instrumentierung und Flughöhe erfassen die Sensoren die von der Erdoberfläche reflektierte Energie der Sonne (oder einer anderen aktiven Energiequelle wie z. B. Radar) in verschiedenen spektralen Bandbreiten und räumlicher Auflösung. Die Anzahl der spektralen Bänder und das abgebildete Energiespektrum bestimmen maßgeblich die möglichen Anwendungsgebiete der Daten und die Anforderungen an deren Auswertung. Sentinel-2 verfügt beispielsweise über 13 spektrale Bänder, welche das Wellenlängenspektrum von 443,9 nm bis zu 2202,4 nm abdecken. Diese Bereiche reichen vom sichtbaren Licht, über das nahe Infrarot bis zum kurzwelligen Infrarot (siehe Abbildung 2).

⁴ <https://code-de.org/>

⁵ <https://www.copernicus.eu/de/datenzugriff/dias>

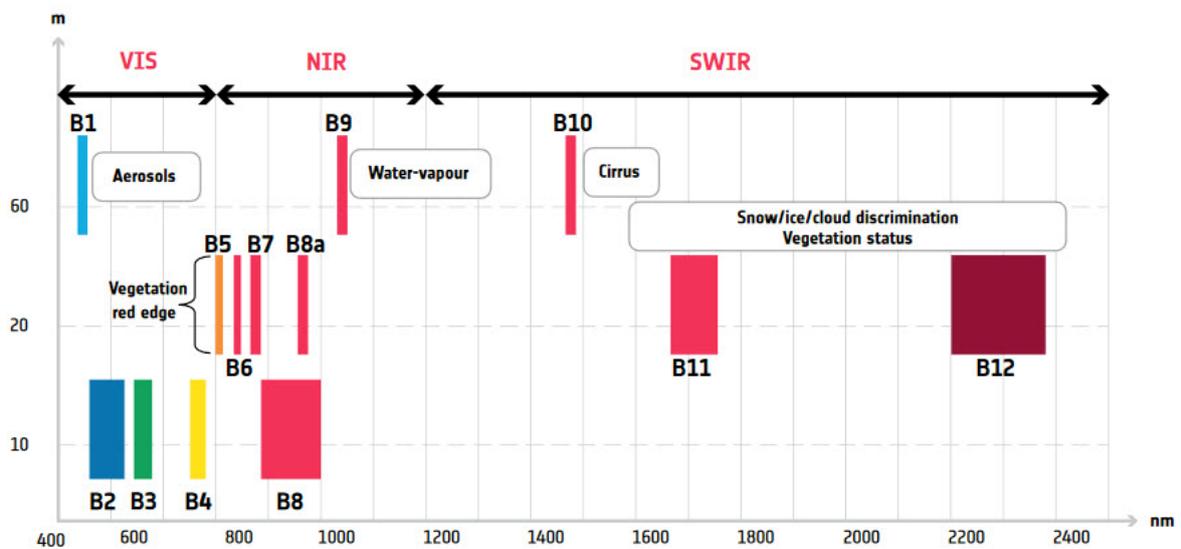
⁶ <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

Abbildung 1: Sentinel-1 Flugstreifen über Deutschland zwischen dem 08.12.2018 und 12.12.2018



Quelle: Eigene Darstellung aus Informationen der ESA

Abbildung 2 Anzahl der Sentinel-2 Spektralbänder und abgedeckter Wellenlängenbereich



Quelle: http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel-2_ESA_Bulletin161.pdf

Die räumliche Auflösung beschreibt gewissermaßen die Detailschärfe eines Satellitenbildes. Die Bänder von Sentinel-2 haben unterschiedliche räumliche Auflösungen von 10 m, 20 m und 60 m. Abbildung 3 veranschaulicht den Sachverhalt durch den Vergleich eines Bildausschnittes des amerikanischen Landsat-8 Satelliten mit 30 m Auflösung und Sentinel-2 mit 10 m Auflösung. Daneben verdeutlicht ein Ausschnitt aus Sentinel-1 den Unterschied von optischen und SAR-Aufnahmen. Bei heutigen Satellitenmissionen reicht die Auflösung von 0,3 m bis zu mehreren hundert Metern. Während die hochauflösenden Daten nur kleine Gebiete abdecken, können mit gering aufgelösten Daten große Flächen kartiert werden. Hochaufgelöste Daten werden von kommerziellen Anbietern vertrieben, geringer aufgelöste sind meist kostenfrei.

Abbildung 3: Moselmündung / Deutsches Eck - Vergleich Landsat-8, Sentinel-2 (beide in Falschfarben) und Sentinel-1 (SAR)



Quelle: Enthält modifizierte Copernicus Sentinel Daten (2019); Landsat-7 Bild mit freundlicher Genehmigung von U.S. Geological Survey

Abhängig von Flughöhe und Sensorik (z. B. Aufnahmewinkel, Beweglichkeit der Kamera) variiert die zeitliche Auflösung (Repetitionsrate). Diese beschreibt die Frequenz, mit der ein Ort auf der Erdoberfläche vom Satelliten erfasst wird. Die zeitliche Auflösung spielt gerade beim Hochwasserrisikomanagement eine wichtige Rolle, um eine kontinuierliche Beobachtung zu ermöglichen und um die maximale Ausbreitung der Überschwemmung abbilden zu können. Ist das Wasser bereits wieder abgeflossen, sind die vormals überschwemmten Flächen und Anschlaglinien nur noch schwer und über Näherungsvariablen wie Sedimentablagerungen erkennbar. Um eine Abbildung des Hochwasserscheitels zu ermöglichen, müssen oft Daten verschiedener Satellitenmissionen für die Analyse berücksichtigt werden. Durch die Zwillingsmissionen kann über Deutschland eine hohe zeitliche Abdeckung durch die Sentinel Satelliten erreicht werden. Abbildung 1 zeigt die Sentinel-1 Überflugstreifen über Deutschland zwischen dem 08.12.2012 und 12.12.2018. Daraus wird ersichtlich, dass viele Regionen in Deutschland aufgrund von Überlappungen von Sentinel-1 A und Sentinel-1 B innerhalb weniger Tage mehrmals abgedeckt werden. In einem Zeitraum von vier bis fünf Tagen werden bis zu drei Aufnahmen erzielt.

Die Aufnahmen optischer Satellitensysteme, wie der Sentinel 2, werden durch Wolken beeinträchtigt, so dass sie für die Kartierung von Hochwassern ggf. ungeeignet sind. Abbildung 4 zeigt das Leine-Hochwasser vom Dezember 2017. Die Darstellung der Sentinel-2 Daten veranschaulicht das Wolken- / Wolkenschatten Problem. Die Wiedergabe als Falschfarnebild wurde gewählt, weil Wasser deutlich als schwarze Fläche erkennbar wird, während Vegetation in rot und offener Boden in braun dargestellt werden.

Abbildung 4: Wolken und Wolkenschatten in der Sentinel-2 Falschfarne Darstellung vom Leine-Hochwasser (schwarze Flächen in der Bildmitte) im Dezember 2017 (16.12.2017), Flussabschnitt Barnstedt – Eickeloh

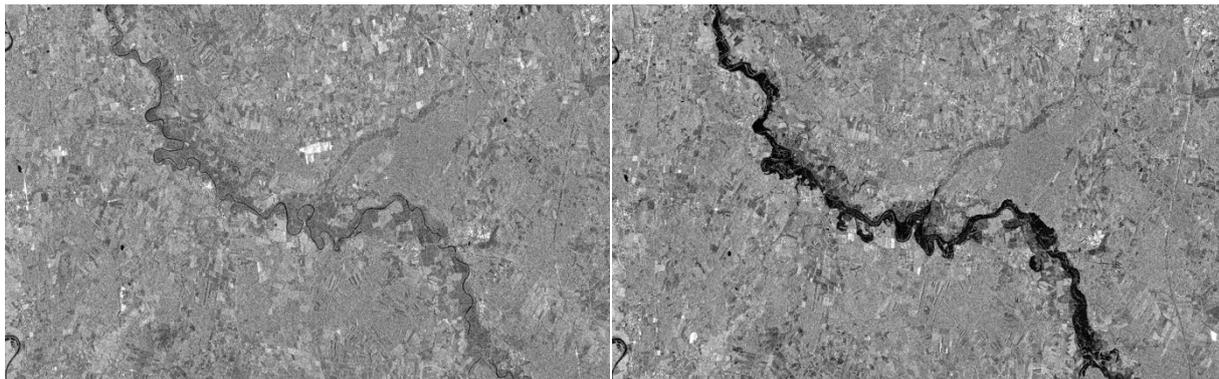


Quelle: Copernicus Sentinel Daten (2017)

Radarsysteme (Synthetic Aperture Radar – SAR), wie auf dem Satellit Sentinel-1 sind dagegen wetterunabhängig, da sie in Wellenlängenbereichen operieren, in denen die Atmosphäre durchlässig ist. Wasserflächen lassen sich daher recht zuverlässig aus SAR-Bildern ableiten (siehe Abbildung 5). SAR-Sensoren sind aktive Sensoren, d. h. sie senden eigene Impulse aus. Die von der Erdoberfläche reflektierte Energie wird vom Sensor erfasst. Daraus lassen sich durch digitale Bildverarbeitung Informationen aus den Bildern ableiten. Wasser reflektiert Radarstrahlen zwar stark, durch die schräge Aufnahmetechnik (side-looking radar) erfolgt jedoch eine geringe Rückstrahlung zum Sensor. Wasserflächen erscheinen deshalb dunkel. Aber auch hier hängt die Qualität der Ergebnisse von der Datenverarbeitung ab und Witterungseinflüsse wie Wind und dadurch erzeugte Wellen oder auch Schnee beeinflussen die Reflektion des Radarsignals. In Stadtgebieten ist die Ableitung einer Hochwassermaske auch aus SAR-Daten herausfordernd (Mason et al. 2018). Dies liegt unter anderem daran, dass wesentliche Bereiche der städtischen Bodenoberfläche für SAR möglicherweise nicht sichtbar sind, da Radarschatten und Überlagerungen durch Gebäude oder höhere Vegetation hervorgerufen werden. Dies kann zu fehlerhaften Klassifikationen führen. Die Erfassung von unterfluteter Vegetation ist ebenfalls schwierig.

Die oben genannten Aspekte beziehen sich vor allem auf die Erstellung von Hochwassermasken aus Satellitenbilddaten. Hochwassermasken stellen die überschwemmten Flächen dar, wie sie aus dem Bild extrahiert wurden. In einem geographischen Informationssystem können sie z. B. weiter analysiert werden. Sie sind nicht nur hilfreich zur Ableitung von überschwemmten Gebieten, sondern können auch zur Kartierung der durchschnittlichen jährlichen Wasserfläche verwendet werden. Zur Erhöhung von Genauigkeiten werden auch oftmals zusätzliche Variablen wie Geländeinformationen in die Analysen integriert.

Abbildung 5: Sentinel-1 Aufnahmen der Leine am 14. November 2017 (links), dargestellt als dünne schwarze Linie und zum Zeitpunkt des Hochwassers am 17. Dezember 2017 (rechts) dargestellt als schwarze Fläche, Flussabschnitt Barnstedt – Eickeloh



Quelle: Copernicus Sentinel Daten (2017)

Mittlerweile erfolgt ein vermehrter Einsatz unbemannter Drohnen zur Erfassung von Schäden nach Naturkatastrophen. Diese können aufgrund ihrer geringen Flugzeit jedoch nur kleine Gebiete abdecken. Die räumliche Auflösung der erzeugten Bilddaten ist im Vergleich zu Satellitenbilddaten sehr hoch (cm-Bereich). Je nach Einsatzgebiet ist ihre Verwendung an bestimmte Auflagen gebunden⁷. In jüngerer Zeit wird deshalb der Bau sogenannter High Altitude Pseudo Satellites (HAPS) vorangetrieben. Dies sind unbemannte Flugobjekte, die, mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, aus sehr großer Höhe (15 km - 20 km) die Erdoberfläche beobachten können und aufgrund einer Steuerungsmöglichkeit zeitnah ein Gebiet überfliegen und dort verbleiben können. HAPS befinden sich jedoch noch in der Entwicklung und werden erst in Zukunft für die Bewältigung von Naturkatastrophen eingesetzt werden können.

2.2 Dienste Komponente

Neben der Weltraumkomponente betreibt Copernicus sechs verschiedene Dienste. Basierend auf Daten der Sentinel-Satelliten und anderer Aufnahmesysteme sowie durch Integration von In-Situ Messdaten und Modellierungen werden von diesen Datenprodukte erzeugt und zu den Themenfeldern Land⁸, Meer⁹, Atmosphäre¹⁰, Klimawandel¹¹, Sicherheit¹² und Katastrophen- und Krisenmanagement¹³ bereitgestellt.

⁷ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LF/151108-drohnen.html>

⁸ <https://land.copernicus.eu/>

⁹ <http://marine.copernicus.eu/>

¹⁰ <https://atmosphere.copernicus.eu/>

¹¹ <https://climate.copernicus.eu/>

¹² <https://www.copernicus.eu/en/services/security>

¹³ <https://emergency.copernicus.eu/>

Die übergeordnete Koordination von Copernicus unterliegt der Europäischen Kommission. Sie wird unterstützt durch die ESA und die Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT). Die Servicekomponenten werden von verschiedenen Organisationen koordiniert. Alle Copernicus Dienste verfügen über eigene Datenportale, über welche die Datenprodukte aufgerufen und heruntergeladen werden können.

Im vorliegenden Sachverständigengutachten wird an vielen Stellen Bezug auf die Copernicus-Dienste und deren bereitgestellte Informationsprodukte genommen. Tabelle 2 fasst deren Informationsangebot zusammen.

Tabelle 2: Überblick über Copernicus Informationsdienste

| Name | Thematik | Abdeckung | Koordinator |
|---|--|-------------------------|------------------------------|
| Land (CLMS) | systematische Überwachung biophysikalischer Parameter; Landbedeckungs- und Landnutzungskartierungen; detailliertere Kartierungen zu bestimmten Themengebieten; Bild- und Referenzdaten (Satellitenbildmosaike, Geländeinformationen, ...). | Global / Europa / Lokal | EC-JRC / EEA |
| Meere (CMEMS) | Sicherheit auf See; Marine Ressourcen; Küsten- und Meeresumwelt; Wetter, saisonale Vorhersage und Klima. | Global / Europa | Mercator Ocean International |
| Atmosphäre (CAMS) | Luftqualität und atmosphärische Zusammensetzung; Ozonschicht und ultraviolette Strahlung; Emissionen und Oberflächenflüsse; Strahlungsbilanzen; Klimaschutz. | Global / Europa | ECMWF |
| Klimawandel (C3S) | Klimabeobachtung; Zeitserien und Reanalysen; Vorhersagen; Klimaprojektionen. | Global / Europa | ECMWF |
| Sicherheit (CSS) | Grenzüberwachung; Maritime Überwachung; Unterstützung des Europäischen Auswärtigen Dienstes. | Global / Europa | FRONTEX, EU SatCen, EMSA |
| Krisen- und Katastrophenmanagement (CEMS) | Kartenerstellung im Katastrophenfall, wie ein Hochwasserereignis (Rapid Mapping, Risk & Recovery Mapping) Frühwarnkomponente (Dürre, Hochwasser, Waldbrände). | Global / Europa | EC-JRC |

Die Untersuchungen zu dieser Studie haben ergeben, dass für das Hochwasserrisikomanagement (HWRM) bisher in erster Linie Datenprodukte des Copernicus Emergency Management Dienstes genutzt werden. Datenprodukte des europäischen Land-Monitoring Dienstes sowie des Klimawandeldienstes bieten ebenfalls relevante und potentiell nutzbare Datenprodukte an. Aus diesem Grund werden in den folgenden Kapiteln ausschließlich diese Dienste und deren Angebote näher dargestellt. Für weitere Informationen zu den übrigen

Copernicus-Diensten sei an dieser Stelle auf die Internetseiten der Europäischen Kommission¹⁴, der nationalen Copernicus Koordination¹⁵ sowie der Copernicus-Dienste selbst verwiesen.

2.2.1 Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagement Dienst

Der Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagement Dienst (engl. Copernicus Emergency Management Service – CEMS) steht seit April 2012 operationell zur Verfügung. Der Dienst soll Informationen zur Reaktion auf Notfallsituationen, wie Naturkatastrophen, technischen Unfällen und humanitärer Katastrophen, bereitstellen sowie Präventions- und Wiederherstellungsmaßnahmen unterstützen. Er dient in erster Linie professionellen Nutzern, die im Bereich des Risiko- und Naturkatastrophenmanagements aktiv sind. Der Copernicus EMS verfügt über zwei Servicekomponenten:

- ▶ Die CEMS-Kartierung mit dem sogenannten Rapid Mapping, dem Risk & Recovery Mapping und deren Validierung;
- ▶ Die CEMS-Frühwarnung und Monitoring für Hochwasser (EFAS), Waldbrände (EFFIS) und Dürren (DO);

2.2.1.1 Kartierung

Kern der CEMS-Kartierung ist die zeitnahe Bereitstellung von digitalen Karten, Geodaten und Berichten die aus Satelliten- oder Luftbildern, Sensordaten sowie weiteren Referenzdaten erstellt werden. Eine Aktivierung des CEMS kann nur durch autorisierte Nutzer erfolgen. Für Deutschland ist dies das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Nationale Nutzer, die diesen Dienst aktivieren möchten, kontaktieren das BBK, bzw. das dortige Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ).

Das sogenannte Rapid Mapping (RM) dient der schnellen Unterstützung von Managementaktivitäten unmittelbar nach bzw. während eines Katastrophenereignisses, zum Beispiel bei Hochwasser. Es lassen sich derzeit vier verschiedene Produkte anfordern, die in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt werden.

Tabelle 3: Rapid Mapping Produkte

| Produkt | Beschreibung |
|---|--|
| Referenzprodukte | Sie bieten einen Überblick über das Interessensgebiet. Der Inhalt besteht aus ausgewählten topografischen Merkmalen des von der Katastrophe betroffenen Gebiets, z. B. zu Infrastruktur und Vermögenswerten. Eine Referenzkarte basiert normalerweise auf einem Bild, das vor dem Ereignis aufgenommen wurde. |
| Ersteinschätzung (First Estimate Product – FEP) | Die Ersteinschätzung hat das Ziel, eine äußerst schnelle und daher u. U. eher grobe Einschätzung zum Ausmaß des Ereignisses innerhalb des Interessensgebietes zu ermöglichen. Die Informationen werden aus den am frühesten verfügbaren aktuellen Bilddaten nach dem Ereignis abgeleitet. FEP können dabei helfen, die Rapid Mapping Aktivierung zu evaluieren und gegebenenfalls abzuändern oder sogar abzubrechen. Das FEP im Hochwasserfall beinhaltet eine erste Hochwassermaske. Die Hochwassermaske zeigt die Flächen, die im Satellitenbild als Wasser klassifiziert (maskiert) wurden. |

¹⁴ <https://www.copernicus.eu/>

¹⁵ <https://www.d-copernicus.de/>

| Produkt | Beschreibung |
|--|---|
| Abgrenzung (Delineation) | Delineation-Produkte ermöglichen eine Bewertung des Ausmaßes und der Auswirkungen des Ereignisses. Die Aktualisierung der Produkte erlaubt eine Überwachung der Situation. Die Informationen werden aus Bildern abgeleitet, die so schnell wie möglich nach dem Katastrophenereignis aufgenommen wurden. Im Hochwasserfall beinhaltet die Delineationkarte eine Hochwassermaske zum Zeitpunkt der Satellitenbilddaufnahme. |
| Schadensgrad / Klassifizierung (Grading) | Die Grading-Produkte geben Auskunft über den Schadensumfang, seine räumliche Verteilung und Ausdehnung. Ein Monitoring, d.h. eine Kontrolle über einen Zeitraum, kann angefordert werden. Die Informationen werden aus Bildern abgeleitet, die so schnell wie möglich nach dem Katastrophenereignis aufgenommen wurden. Die Grading-Produkte beinhalten quasi die Information der Delineationkarte und erweitern sie mit Informationen zur Schadensbewertung. Im Hochwasserfall kann die Gradingkarte z. B. Informationen zur Größe des Überschwemmungsgebietes (Anschlagslinien) und (möglicherweise) beschädigter oder zerstörter Infrastruktur (Gebäude, Straßen, usw.) beinhalten. |

Siehe auch Copernicus EMS RM-Service Portfolio für weitere Informationen¹⁶

Das Risk and Recovery Mapping (RRM) unterscheidet sich vom Rapid Mapping neben den Produkten auch durch die Zeitkomponente. Die Datenprodukte dienen der Unterstützung von Aktivitäten im Risikomanagement, die nicht unmittelbar mit dem Management eines Notfalls verbunden sind. Sie dienen insbesondere der Prävention, Vorsorge und dem Wiederaufbau. Dies hat auch längere Erstellungs- und Lieferzeiten zur Folge. Aufgrund der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten können vom Nutzer Standardprodukte angefordert werden (z. B. Referenzkarten mit Angaben zur Infrastruktur, Exposition oder Risiko). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, individuelle Anforderungen zu definieren. Tabelle 4 fasst die Produktkategorien zusammen.

Tabelle 4: Risk & Recovery Mapping Produkte

| Produkt | Beschreibung |
|---|--|
| Referenzkarten | Sie bieten einen umfassenden Überblick über das Interessensgebiet und die zugehörige Infrastruktur im Kontext der Katastrophenvorsorge. |
| Situationskarten vor dem Ereignis (Pre-disaster situation maps) | Situationskarten vor dem Ereignis enthalten relevante und aktuelle thematische Informationen, die für die Planung und Vorsorge in Risikogebieten hilfreich sein können, um den Verlust von Schäden zu minimieren. Beispiele sind: Exposition, Verwundbarkeit, Resilienz, Risiko, Schutzgüter, Evakuierungspläne. |
| Situationskarten nach dem Ereignis (Post-disaster situation maps) | Situationskarten nach dem Ereignis bieten relevante und aktuelle thematische Informationen für den Wiederaufbau und dessen Fortschrittsüberwachung sowie die Kartierung der langfristigen Auswirkungen eines Ereignisses. Je nach Zeitdauer und Lageentwicklung müssen diese Karten möglicherweise häufig aktualisiert werden. |

¹⁶ <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/rapid-mapping-portfolio>

| Produkt | Beschreibung |
|---------|--|
| | Beispiele sind: Bedarfsermittlung nach einer Katastrophe, Wiederherstellungspläne, Überwachung von Wiederaufbau, Beobachtung von Wanderungsbewegungen und Flüchtlingslagern. |

Siehe auch Copernicus EMS RRM-Service Portfolio für weitere Informationen¹⁷

Die Aktivierung der Dienste durch das BBK erfolgt derzeit noch über ein Papierformular (s. C Annex 3). Das BBK unterstützt die aktivierenden Stellen bei der Zusammenstellung der benötigten Informationen. In naher Zukunft soll vom JRC dafür ein Webdienst bereitgestellt werden. Der oben erwähnte interne und unabhängige Validierungsdienst dient dem Qualitätsmanagement der CEMS-Dienste.

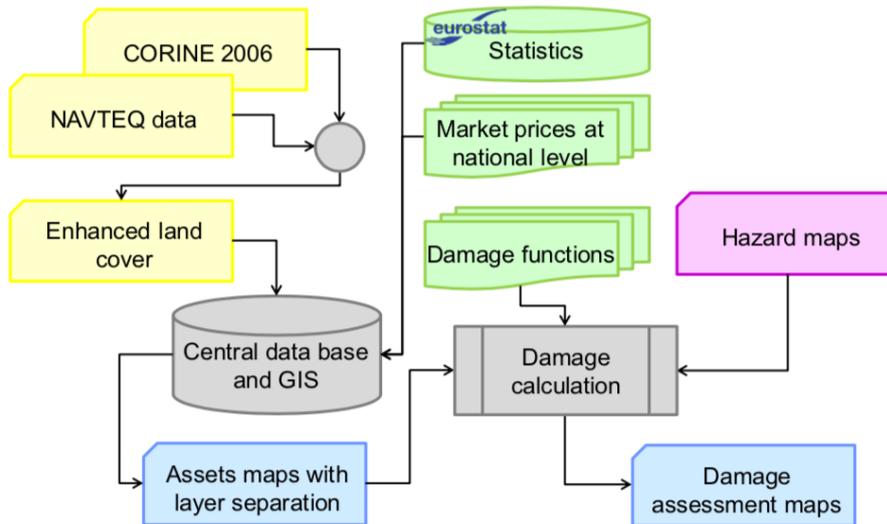
Nach Auskunft des JRC werden neben den bestehenden Produkten des CEMS zunehmend auch Spezialprodukte wie Informationen zu Wassertiefen angefordert. Aus diesem Grund ist geplant, das Produktangebot zu erweitern. Diese werden voraussichtlich Informationen zur maximalen Wasserausdehnung, der Überflutungsdauer und zu Wassertiefen beinhalten. Darüber hinaus ist beabsichtigt, Hochwasserereignisse nicht mehr nur nach Anforderung durch einen autorisierten Nutzer zu kartieren, sondern durch automatisierte Verfahren alle auftretenden Hochwasser zu erfassen.

Dies würde die Umsetzung der HWRM-RL erheblich unterstützen, zum einen bei der vorläufigen Risikobewertung (Schritt 1), d. h. der Identifizierung betroffener Gebiete, zum anderen evtl. bei der Validierung von Gefahren- und Risikokarten. Zudem könnte ein solcher Ereigniskatalog in die Berichtspflichten zu Sendai einfließen. Im Sendai Rahmenwerk der Vereinten Nationen zur Reduzierung von Katastrophenrisiken wurden sieben globale Zielvorgaben vereinbart, um die weltweiten Fortschritte bei der Umsetzung des Rahmenwerks durch quantifizierbare Indikatoren messbar zu machen und um weltweit einheitlich den Status und die Fortschritte darstellen, vergleichen und bewerten zu können. Die Erfassung des Status und des Grades der Zielerreichung unter Verwendung der vereinbarten Indikatoren erfordert die Nutzung verschiedenartiger Datenquellen, welche räumlich und zeitlich konsistent und vergleichbar sein müssen, um ein globales Monitoring zu ermöglichen.

Im Rahmen der Risk & Recovery Komponente wurde 2016 vom BBK die Erstellung der Basic European Assets Map (BEAM) für Deutschland in Auftrag gegeben. BEAM wurde im Rahmen von zwei Europäischen Forschungsprojekten erarbeitet und wird heute als kommerzielles Datenprodukt von der Geomer GmbH vertrieben. Der Datensatz wurde entwickelt, um monetäre Werte pro Flächeneinheit (€ / m²) zu schätzen, zu bewerten und zu vergleichen. Die vollständigen Vermögensinformationen setzen sich aus verschiedenen Ebenen zusammen, da im Rahmen einer Schadensberechnung jede Art von Vermögen durch Anwendung einer anderen Schadensfunktion berechnet werden muss. Neben den Vermögenswerten beinhaltet der Datensatz Informationen zur Bevölkerungsdichte. Die Vermögenswerte stammen aus Statistiken. Diese werden mit Daten der Landnutzung räumlich interpoliert. Dabei kommen CLC und Urban Atlas zum Einsatz. Eine nähere Beschreibung von BEAM erfolgt in Kapitel 5. Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung der BEAM Eingangsdaten und der Verarbeitungsschritte.

¹⁷ <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/risk-and-recovery-mapping-portfolio>

Abbildung 6 Schematische Darstellung der Eingangsdaten und Arbeitsschritte zur Erstellung des BEAM Datensatzes



Quelle: BEAM Handbuch¹⁸

2.2.1.2 Frühwarnung und Monitoring

Das Frühwarn- und Monitoring System besteht aus dem Europäischen Hochwasserfrühwarnsystem (EFAS), welches den hydrologischen Diensten der Mitgliedsstaaten und europäischen Institutionen Informationen über die aktuelle und prognostizierte Hochwassersituation bietet. Das Europäische Waldbrandinformationssystem (EFFIS) bietet entsprechende Informationen zum Schutz vor Waldbränden in der EU und in den Nachbarländern. Seit 2018 existiert ein dritter Frühwarndienst für Dürren. Im Rahmen dieser Studien wird nur auf das EFAS eingegangen.

EFAS stellt das erste operationelle Hochwasservorhersage- und Monitoringsystem für ganz Europa dar und unterstützt die Hochwasservorhersagen für die großen europäischen Flussgebiete. EFAS liefert den zuständigen nationalen und regionalen Behörden ergänzende Informationen, z. B. eine bis zu 10-tägige Hochwasserprognose, Sturzflutindikatoren oder Vorhersagen zu den möglichen Auswirkungen eines Hochwassers. Es wird in zahlreichen Mitgliedstaaten komplementär zu eigenen nationalen Vorhersagesystemen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es Staaten wie Irland, die über kein eigenes System verfügen und ausschließlich EFAS einsetzen, und andere Staaten, die auf EFAS Informationen verzichten. In Deutschland wird EFAS derzeit in Bayern, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen als Ergänzung zu eigenen Hochwasservorhersagesystemen eingesetzt.

Folgende Tabelle 5 fasst die verschiedenen EFAS Produkte zusammen.

¹⁸ <https://www.geomer.de/produkte/geodaten/basic-european-asset-map/index.html>

Tabelle 5: EFAS Produkte

| Produkt | Beschreibung |
|--|---|
| Hochwasservorhersage | Informationen zur Hochwasserwahrscheinlichkeit innerhalb der nächsten 10 Tage. Basierend auf täglichen und 6-stündigen Abflusswerten. Aktuelle Vorhersagen sind nur den teilnehmenden Staaten ¹⁹ zugänglich. Vorhersagen, die älter als ein Monat sind, sind frei zugänglich. In EFAS bestehen die Hochwasservorhersagen aus drei Komponenten: 1) Hochwasservorhersagen mittlerer Reichweite, 2) ereignisbasierte schnelle Hochwasserkarten und 3) Folgenabschätzung. |
| Sturzflutindikatoren (Flash flood indicators) | Basierend auf numerischen Wettervorhersagen und unter Berücksichtigung von Bodenfeuchteinformationen. Für Flussgebiete kleiner 2000 km ² . Produkte sind Punktinformationen zu Stellen im Flussnetzwerk, an denen die Sturzflutwahrscheinlichkeit während der nächsten 5 Tage hoch ist sowie Informationen zum potentiell betroffenen Gebiet. Durch Radarbasierte Niederschlagsüberwachung und Nowcasts für lokale Ereignisse (bis zu 4-stündige Vorhersage). Produkte sind Niederschlagskarten (15-minütige Aktualisierung) sowie Gefahrenkarten für die Gebiete, in denen innerhalb der nächsten 4 Stunden ein besonderes Sturzflutrisiko besteht. |
| Saisonale hydrologische Vorhersagen (Seasonal hydrological outlooks) | Die saisonalen hydrologischen Prognosen von EFAS geben einen Überblick über die Wahrscheinlichkeit hoher oder niedriger Abflüsse innerhalb der nächsten zwei Monate in einer Region (Aggregation von Flusseinzugsgebieten). Die erhältlichen Produkte sind Überblickskarten zu regionalen Abflussanomalien über den Prognosezeitraum hinweg sowie Zeitreiheninformationen zu wöchentlichen Durchschnittswerten der Ensemble-Abflussvorhersagen. |
| Auswirkungsprognose (Flood impact forecasts) | Die Auswirkungsprognosen sind vor allem für die Vorsorge von Bedeutung, und dienen Notfallplanungen und Abschätzungen zu potentiellen sozioökonomischen Folgen eines möglichen Hochwasserereignisses. |

Siehe auch Copernicus EMS EFAS Produkte für weitere Informationen²⁰

Neben Landesbehörden der oben erwähnten Bundesländer ist das BBK ein weiterer deutscher EFAS-Partner. EFAS-Vorhersagen werden an EFAS-Partner und das Emergency Response Coordination Centre (ERCC) in Brüssel übermittelt. EFAS-Prognosen werden auch eingesetzt, um frühzeitig die Aktivierung von sehr hochauflösenden Satellitenaufnahmen privater Anbieter zur Weiterverarbeitung im Copernicus-EMS auszulösen (tasking), so dass im Idealfall zum Zeitpunkt eines Hochwassers aktuelle Daten vorliegen.

2.2.2 Copernicus Dienst zur Überwachung der Landoberfläche

Der Copernicus Dienst zur Überwachung der Landoberfläche (engl. Copernicus Land Monitoring Service – CLMS) versorgt Nutzer in Europa und der ganzen Welt im Bereich terrestrischer Umweltanwendungen mit einer Vielzahl von geografischen Informationen bezüglich Bodenbedeckung, Landnutzung, Vegetationszustand, Wasserkreislauf und Energievariablen der Erdoberfläche. Der CLMS besteht aus vier Hauptkomponenten:

¹⁹ <https://www.efas.eu/en/partners-list-0>

²⁰ <https://www.efas.eu/en/products>

- ▶ Eine systematische Überwachung von Landbedeckung, Vegetation, Wasser- und Energieflüssen und der Kryosphäre erfolgt auf globaler Ebene mit mittlerer bzw. niedriger Auflösung (engl. global component).
- ▶ Die Landbedeckungs- und Landnutzungskartierungen beinhalten eine Klassifizierung der Bodenbedeckung sowie hoch aufgelöste Datensätze zu Bodenbedeckungsmerkmalen auf europäischer Ebene (engl. pan-european component).
- ▶ Das Hot-Spot-Mapping für detailliertere Informationen zu bestimmten Interessensgebieten wird mit hoher Auflösung für Gebiete hergestellt, die für spezifische Umweltprobleme besonders gefährdet sind (engl. local component). Beispiele sind der Urban Atlas und der Natura 2000 Datensatz.
- ▶ Die Komponente Bilder und Referenzdaten stellen einerseits hoch und sehr hoch aufgelöste Satellitenbildmosaiken auf europäischer und globaler Ebene und andererseits Referenzdatensätze zu einigen wichtigen geografischen Themen wie Hydrographie und Höhenprofile auf europäischer Ebene zur Verfügung (engl. imagery and reference data).

Für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland sind in erster Linie die letzteren drei Komponenten des CLMS von Relevanz. Aus diesem Grund werden sie in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

2.2.2.1 Landbedeckungs- und Landnutzungskartierungen

Für die Klassifizierung der Bodenbedeckung wird der Layer CORINE Land Cover (CLC) bereitgestellt. Komplementär zu CLC, werden zudem für einzelne Bedeckungsklassen hoch aufgelöste Datensätze, sogenannte High Resolution Layer (HRL) angeboten. In folgender Tabelle 6 wird auf die einzelnen Produkte im Detail eingegangen.

Tabelle 6: Produkte zur Landbedeckungs- und Landnutzungskartierung

| Produkt | Beschreibung |
|---------|---|
| CLC | <p>Zeitreihe seit 1990. Aktualisierungen erfolgten in sechsjährigem Intervall 2000, 2006, 2012 und 2018. Die Landbedeckung wird europaweit einheitlich mit 44 Klassen beschrieben. Für flächenhafte Objekte wird eine minimale Kartiereinheit von 25 ha angewandt, für lineare Objekte eine minimale Breite von 100 m. Zusätzlich zu den CLC-Datensätzen werden für jedes Intervall Change Layer (Änderungsdatsätze) angeboten: CHA 1990-2000, CHA 2000-2006, CHA 2006-2012, CHA 2012-2018.</p> <p>Die nationalen CLC-Datensätze werden in den Mitgliedsstaaten erstellt und anschließend von der EUA zusammengeführt. In Deutschland koordiniert die Erstellung das UBA in Zusammenarbeit mit dem BKG.</p> <p>Für Deutschland liegt auch ein Datensatz mit 10 ha minimaler Kartiereinheit vor (CLC10). Grundlage für CLC10 ist das Landbedeckungsmodell Deutschland 2012 (LBM-DE2012) mit einer detaillierten Gliederung in Landbedeckung (LB) und Landnutzung (LN) auf der Mindestgröße von 1 ha. Aus den Kombinationen von LB und LN werden eindeutige CLC-Klassen abgeleitet. Diese Daten werden für CLC10 anschließend auf eine Größe von 10 ha generalisiert.</p> |

| Produkt | Beschreibung |
|---------------------|---|
| HRL Imperviousness | <p>Der HRL Imperviousness kartiert den Prozentanteil und die Veränderung der Bodenversiegelung. Bebautes Gebiet setzt sich aus einer künstlichen, oft undurchlässigen Bodenbedeckungsschicht zusammen, die über lange Zeit bestehen bleibt. Der Layer erfasst die räumliche Lage dieser Bedeckungstypen und ergänzt die versiegelten Flächen mit dem Grad der Bodenversiegelung. Der Grad der Bodenversiegelung reicht von 1 - 100 und basiert auf dem Normalisierten Differenzierten Vegetationsindex (NDVI). Der HRL Imperviousness steht für die Jahre 2006, 2009, 2012 und 2015 mit einer Auflösung von 20 m und 100 m zur Verfügung. Zusätzlich gibt es Change Layer, die für die Intervalle dazwischen bereitgestellt werden.</p> |
| HRL Forests | <p>Der HRL Forests beinhaltet drei Produkttypen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Das Produkt Tree cover density beschreibt die Dichte der Baumbedeckung mit Werten von 0 - 100 % ▶ Das Produkt Dominant leaf type gibt an, ob Laub- oder Nadelbäume vorherrschen ▶ Das Produkt Forest type stellt neben dem Dominant Leaf Type noch einen weiteren Layer zur Verfügung, mit dem Bäume, die landwirtschaftlich genutzt oder in Städten sind, identifiziert werden können. <p>Alle drei Produkttypen sind für die Jahre 2012 und 2015 mit einer Auflösung von 20 m und 100 m verfügbar. Für Tree Cover Density existiert ebenfalls ein Change Layer.</p> |
| HRL Grassland | <p>Der HRL Grassland besteht aus drei Produkttypen für das Jahr 2015:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Grassland zeigt Grünland- und Nicht-Grünlandflächen mit einer Pixelgröße von 20 m und aggregierten 100 m. ▶ Grassland Vegetation Probability Index zeigt mit einem Wertebereich von 1 - 100 und einer Pixelgröße von 20 m die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Klasse. Dadurch kann die Verlässlichkeit der Klassifizierung besser eingeschätzt werden. ▶ Ploughing Indicator ist ein zusätzliches Produkt für Fachnutzer, das mit einer Pixelgröße von 20 m und einem Wertebereich von 1 - 6 die Jahre der letzten Hinweise auf eine Bearbeitung mit dem Pflug angibt. |
| HRL Water & Wetness | <p>Der HRL Water & Wetness stellt das Vorkommen von Wasser- und Feuchtgebieten für die Zeitspanne von 2009 bis 2015 mit einer Auflösung von 20 m und 100 m dar.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Das Produkt Water & Wetness klassifiziert die Gebiete in ständige Wassergebiete, temporäre Wassergebiete, ständige Feuchtgebiete und temporäre Feuchtgebiete ▶ Das Produkt Water & Wetness Probability Index ist ein zusätzliches Produkt für Fachnutzer, mit dem die Verlässlichkeit der Klassifizierung besser eingeschätzt werden kann. |

Siehe auch CLMS-Pan-European Service Portfolio für weitere Informationen²¹

2.2.2.2 Thematische Kartierung / Regionale Daten

Die detaillierten Informationen aus dem Hot-Spot-Mapping sind komplementär zu den Produkten der CLMS-Komponente der Landbedeckungs- und Landnutzungskartierungen und werden auf der Grundlage von hoch aufgelösten Bildern (2,5 m) kartiert. Die drei Produkte sind

²¹ <https://land.copernicus.eu/pan-european>

Urban Atlas (Stadtatlas), Riparian Zones (Flussaue) und Natura2000. Eine Beschreibung der Produkte erfolgt in nachstehender Tabelle 7.

Tabelle 7 Produkte des Hot-Spot-Mapping

| Produkt | Beschreibung |
|----------------|---|
| Urban Atlas | <p>Der Urban Atlas stellt Landbedeckungs- und Landnutzungsinformationen für europäische Functional Urban Areas (FUA), also funktionale Stadtgebiete und ihre Umgebung, bereit. Der Datensatz existiert für die Jahre 2006 und 2012. Die Klassifizierung erfolgt anhand von 17 städtischen Klassen mit einer minimalen Kartiereinheit von 0,25 ha und 10 ländlichen Klassen mit einer minimalen Kartiereinheit von 1 ha. Für jedes Polygon wird außerdem eine geschätzte Bevölkerungszahl angegeben.</p> <p>Zusätzlich werden noch Zusatzlayer bereitgestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Street Tree Layer gibt Straßenbäume innerhalb ausgewählter FUAs an. ▶ Das Produkt Building Height (Gebäudehöhe) zeigt die Gebäudehöhen für ausgewählte Innenstädte. |
| Riparian Zones | <p>Das Produkt Riparian Zones besteht aus drei Datensätzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Datensatz Delineation of Riparian Zones (Abgrenzung der Flussaue) zeigt die potentielle und tatsächliche Fläche der Flussaue. Die potentielle Fläche bezieht sich nur auf das natürliche Potential und gilt nur dann, wenn die Flussaue nicht durch die tatsächliche Landnutzung beeinflusst wäre. Die tatsächliche Flussaue wird durch die Landnutzung eingeschränkt. Die Daten wurden mithilfe von hydraulischen Modellen und Fernerkundungsdaten erfasst. ▶ Der Datensatz VHR Land Cover / Land Use stellt sehr hoch aufgelöste Informationen zur Landbedeckung / -nutzung innerhalb einer Pufferzone der großen und mittleren europäischen Flüsse bereit. Der Layer besteht aus 80 thematischen Klassen, die minimale Kartiereinheit beträgt 0,5 ha, die minimale Breite für linienhafte Objekte 10 m. ▶ Der Datensatz Green Linear Elements (grüne linienhafte Elemente) wird ebenfalls für eine Pufferzone der großen und mittleren europäischen Flüsse erstellt und stellt lineare Strukturen und Teilstücke von Bäumen und Sträuchern mit einer minimalen Länge von 100 m dar. Die minimale Kartiereinheit beträgt 500 m², |
| Natura 2000 | <p>Das Produkt Natura 2000 beschreibt mit 55 Klassen die Landnutzung / -bedeckung von Natura 2000-Schutzgebieten mit einer Pufferzone von 2 km. Das Produkt steht für die beiden Referenzjahre 2006 und 2012 zur Verfügung. Die minimale Kartiereinheit beträgt 0,5 ha, die minimale Breite für linienhafte Objekte 10 m.</p> |

Siehe auch CLMS-Local component Portfolio für weitere Informationen²²

2.2.2.3 Bilder und Referenzdaten

Hoch und sehr hoch aufgelöste Satellitenbilder sind die Grundlage für die Erstellung von europäischen Satellitenbildmosaiken. Sentinel-2 wird auch verwendet, um ein globales Satellitenbildmosaik zu generieren. Die Referenzdaten beinhalten die Datensätze EU-DEM, ein europaweites digitales Oberflächenmodell, EU-Hydro, ein photointerpretiertes Flussnetzwerk und modelliertes Abflussnetzwerk für die EUA-39-Länder und LUCAS, die europäische

²² <https://land.copernicus.eu/local>

Datenbank zur Bodenbedeckungs- / Bodennutzungsstatistik, deren Erstellung und Pflege von EUROSTAT koordiniert wird. Bis auf LUCAS, welches für das Hochwassermanagement in Deutschland weniger relevant ist, werden die erwähnten Datensätze in Tabelle 8 näher beschrieben.

Tabelle 8 Bilder und Referenzdaten

| Produkt | Beschreibung |
|-----------------------------------|--|
| Europäisches Satellitenbildmosaik | Für das europäische Satellitenbildmosaik steht 1) ein hoch aufgelöstes Mosaik (20 m) für die Jahre 2006, 2009, 2012 und 2015 und 2) ein sehr hoch aufgelöstes Mosaik (2,5 m) für das Jahr 2012 zur Verfügung. Die Mosaikteile können z. B. komplementär zu Orthophotos für großflächige Anwendungen eingesetzt werden. |
| Globales Satellitenbildmosaik | Softwaretool zum Erstellen von Satellitenbildmosaiken mit Daten der Sentinel-2 Satelliten. Freie Auswahl der Region und von Zeitschnitten möglich. Im Vergleich zu Orthophotos zwar geringere Auflösung, jedoch vollautomatisierte Erstellung von Bildmosaiken auf Basis aktuellster Sentinel-2 Bilddaten. Sehr gut geeignet als Hintergrundinformation und zum visuellen Vergleich verschiedener Zeitpunkte. |
| EU-DEM | Das Produkt EU-DEM ist ein digitales Oberflächenmodell für Europa. Es basiert auf Daten von SRTM und ASTER. SRTM sind frei verfügbare Höhendaten mit einer Auflösung von 30 m, sie sind aber nur für eine Breite zwischen 60° N und 58° S verfügbar. ASTER hat ebenfalls eine Auflösung von 30 m, deckt allerdings auch Bereiche der Erdoberfläche bis zu einer Breite von 83° ab. DEM werden für die hydraulische Modellierung benötigt. Aufgrund der geringen räumlichen Auflösung und vertikalen Genauigkeit ist EU-DEM nur zu Visualisierungszwecken geeignet. |
| EU-Hydro | EU-Hydro besteht aus 1) einem photointerpretierten Flussnetzwerk und 2) einem modellierten Abflussnetzwerk mit Einzugsgebieten und Abflusslinien für die EEA39-Länder. Die visuelle Interpretation von 1) erfolgte auf der Grundlage von sehr hoch aufgelösten Satellitenbildern mit einer Auflösung von 2,5 m. Verwendung als Gewässerkulisse ist zu prüfen. |

Siehe auch CLMS-Imagery and Reference Data für weitere Informationen²³

2.2.3 Copernicus Dienst zur Klimaüberwachung

Der Copernicus Dienst zur Klimaüberwachung (engl. Copernicus Climate Change Service - C3S) hat das Ziel, die Anpassungs- und Klimaschutzpolitik der Europäischen Union durch die Bereitstellung einheitlicher und maßgeblicher Informationen über den Klimawandel zu unterstützen. Angeboten werden Klimadaten und -instrumente auf der Grundlage der besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse. C3S ist Teil des Global Framework for Climate Services (GFCS) und ergänzt das Angebot von nationalen Wetter-, Klima- und Umweltdiensten. Über den Climate Data Store (CDS) werden Beobachtungen, Reanalysen, saisonale Vorhersagen und Klimaprojektionen veröffentlicht. Dabei werden die Methoden und Standards des Global Climate Observing Systems (GCOS) eingehalten. Für die Beobachtungsdaten wird das Konzept der Essential Climate Variables (ECVs) angewandt, die aus Satellitenmessungen und aus in-situ Messstationen abgeleitet werden. Reanalysen kombinieren frühere Beobachtungen mit Modellen, um konsistente Zeitreihen mehrerer Klimavariablen zu generieren. Die saisonalen

²³ <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ>

Vorhersagen und Klimaprojektionen basieren auf verschiedenen Modellen, die zum Teil von nationalen Wetterdiensten betrieben werden.

Neben den Klimadaten bietet der C3S auch monatliche Klimabulletins über den aktuellen Zustand des Klimas an. Darüber hinaus wird anhand zahlreicher Projekte dargestellt, wie die Datenprodukte des C3S helfen können, den Herausforderungen verschiedener Sektoren, wie z. B. Gesundheit, Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft und Energie in Bezug auf den Klimawandel zu begegnen und um Anpassungsstrategien zu entwickeln. Der CDS bietet eine Toolbox, die es ermöglicht, Daten des CDS direkt in einer Cloudumgebung zu prozessieren und zu visualisieren.

Für Fragestellungen des Hochwassermanagements können beispielsweise Daten zu Niederschlag, Abfluss, Bodenfeuchte, Schneewasseräquivalent und Seeis relevant sein. Für weitere Informationen sei an dieser Stelle auf den CDS verwiesen.²⁴

2.3 In-situ Komponente

Ein weiterer wichtiger Bestandteil von Copernicus ist die In-situ Komponente. In-situ-Daten sind für jedes Fernerkundungsprojekt unerlässlich. Die Daten werden für die Kalibrierung und Validierung von Satellitendaten benötigt und in Vorhersagemodelle aufgenommen. Sie tragen zur Analyse von Fernerkundungsdaten bei und liefern wichtige Referenzdaten für die Kartenerstellung. In-situ Daten umfassen somit alle Daten, die nicht auf Fernerkundungsmessungen beruhen. Folglich sind alle bodengestützten, luftgestützten und schiffsbasierten Messungen, die für die Implementierung und den Betrieb von Copernicus-Diensten erforderlich sind, Teil der In-Situ Komponente. Im Rahmen von Copernicus wird keine eigene in-situ Infrastruktur aufgebaut. Stattdessen sieht die Copernicus-Verordnung vor, dass Copernicus-Dienste bereits verfügbare in-situ Daten verwenden, die von den europäischen Mitgliedstaaten bereitgestellt werden. Trotz dieses dezentralen in-situ Ansatzes wurde die Koordinierung der In-Situ Komponente der Europäischen Umweltagentur übertragen.

2.4 Nationale Koordination

Im September 2017 hat das Bundeskabinett die Copernicus Strategie der Bundesregierung beschlossen. Ergänzend wurde ein ressortabgestimmtes Copernicus Arbeitsprogramm aufgelegt, welches rund hundert Maßnahmen aus zehn Ressorts beinhaltet. Die Federführung der nationalen Copernicus Umsetzung obliegt in Deutschland dem Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI). Das im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) angesiedelte Raumfahrtmanagement unterstützt das BMVI bei der Koordinierung. Nationale Fachkoordinatorinnen und Fachkoordinatoren aus Bundesbehörden begleiten die sechs Copernicus Dienste fachlich und unterstützen die Bunderegierung bei deren Ausgestaltung. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist für den Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt zuständig, der Deutscher Wetterdienst (DWD) für den Atmosphären- und Klimawandeldienst, das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für den Dienst Katastrophen- und Krisenmanagement, das Bundeskriminalamt (BKA) für den Sicherheitsdienst und das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) für den Landdienst. Dabei wird das BKG durch das UBA vertreten, welches die Belange aus dem Umwelt- und Naturschutz einbringt.

²⁴ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

3 Wissens- und Kenntnisstands bei der Anwendung von Copernicus-Daten und Diensten im Hochwasserrisikomanagement

3.1 Stand der Wissenschaft

Die Ermittlung von Überschwemmungsflächen durch fernerkundliche Methoden hat im letzten Jahrzehnt großes wissenschaftliches Interesse erfahren (Dasgupta et al. 2018). Neben der Verwendung von Karten als Entscheidungshilfe im Katastrophenfall (Schumann et al. 2016) werden sie auch bei der Kalibrierung und Bewertung von hydrologischen Modellen und bei der Verbesserung von Vorhersagen genutzt (Schumann und Domeneghetti 2016). Der methodisch einfachste Weg, Überschwemmungsflächen auf Satellitenbildern zu erkennen, ist der Einsatz von Daten optischer Sensoren im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich. Eine Vielzahl an Studien unterstreicht diese Herangehensweise (Malinowski et al. 2015, Feyisa et al. 2014, Li et al. 2015, Ogilvie et al. 2015, Jain et al. 2005). Eine Verbesserung von fernerkundungsbasierten Hochwassermasken unter Zuhilfenahme von digitalen Geländemodellen und modellierten Wassertiefen erreichen Notti et al. (2018).

Mit dem Start der Sentinel-2 Satelliten im Jahr 2015 können, aufgrund der häufigen Repetitionsrate und der hohen räumlichen Auflösung von 10 m im sichtbaren Bereich, diese Methoden noch besser in die Praxis umgesetzt werden. Weil optische Sensoren allerdings bei Wolkenbedeckung keine validen Daten liefern, hat sich die Radar-Fernerkundung inzwischen als Mittel zur systematischen Ermittlung von Überschwemmungsflächen etabliert. Neben dem Durchdringen von Wolken hat das Synthetic Aperture Radar (SAR), den auch das Sentinel-1 Satellitenpaar an Bord hat, noch andere Vorteile: Als aktiver Sensor ist SAR unabhängig von Tages- oder Nachtzeiten und von Wetterbedingungen (Martinis et al. 2015) und ermöglicht so das Monitoring von Hochwasserereignissen in kürzeren zeitlichen Abständen als mit optischen Systemen. Viele Studien bekräftigen die Eignung von Sentinel-1 zur Ableitung der überschwemmten Flächen (Clement et al. 2017, Perrou et al. 2018, Notti et al. 2018) und einige stellen Methoden für deren automatisierte Ableitung vor (Boni et al. 2016, Sala et al. 2016, Twele et al. 2016). Am zuverlässigsten erfolgt die Ableitung von Hochwassermasken bei homogenen Oberflächen und unter windstillen Bedingungen. In Realität ist beides meist nicht der Fall, so dass es aufgrund der rauen Wasseroberfläche (beeinflusst das Rückstreuverhalten) durch Wind oder des Vorhandenseins von Vegetation zu fehlerhaften Flächenzuweisungen kommen kann (Dasgupta et al. 2018). Unterflutete Vegetation lässt sich unter Umständen mit Sentinel-1 Daten extrahieren. Betrachtet man das Verhalten der rückgestreuten SAR-Impulse über einen längeren Zeitraum hinweg, kann man im Hochwasserfall eine Verstärkung des Signals bei unterfluteter Vegetation feststellen. Dies liegt an einer mehrfachen Reflektion des Signals an der Vegetationsstruktur. Tsyganskaya et al. (2018) konnten durch die Entwicklung solcher Zeitserienmerkmale das Ergebnis der Hochwassermaske um 27 % verbessern (Tsyganskaya et al. 2018). Die Studie wurde im Rahmen des Projektes „Deiche unter Druck – Technische und ökologische Vulnerabilität und Resilienz von Deichlandschaften“ durchgeführt. Ziel des Projekts war es, die Stabilität von Deichen und ihres Umlandes unter Verwendung von Sentinel-1/2 und nationaler Missionen (TerraSAR-X, RapidEye) zu untersuchen und eine effiziente Methode für das Monitoring von Deichen zu entwickeln (LMU 2019). Die Methode der SAR-Interferometrie²⁵ ermöglicht es, Veränderungen (Hebung und Senkung) der Bodenoberfläche im Zentimeterbereich zu erfassen. Mura et al. (2018) wendeten diese Methode

²⁵ <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/radar-interferometrie/13075>

erfolgreich an, um den Zustand von Deichen zu untersuchen. Dafür verwendeten sie eine Zeitreihe des deutschen TerraSAR-X Satelliten. Darüber hinaus gibt es Untersuchungen zur Nutzung von Bodenfeuchteinformationen aus Satellitendaten als Indikator über den Zustand von Deichen (Closson und Karaki 2014).

3.2 Anwendungsbeispiele aus Europa

In der populärwissenschaftlichen Literatur finden sich zahlreiche europäische Anwendungsbeispiele von Copernicus-Produkten oder Daten für das Hochwassermanagement.

- a) Im Westen Österreichs wurde ein Service namens CryoLand entwickelt, der vor allem auf der Grundlage von Sentinel-Daten Karten zur Schneebedeckung, Gletscherflächen und Seeeis sowie Eisflächen auf Flüssen erstellt. Für das Hochwassermanagement sind vor allem die Schneebedeckung und die Eisflächen auf Flüssen von Relevanz. Neben täglichen Karten zur Schneebedeckung werden auch tägliche Karten zur Schneeschmelzfläche in Europa erzeugt. Dafür werden multitemporale SAR-Daten eingesetzt. Die Schneeschmelzflächen können als Input für Modellierungen von Hochwasserereignissen infolge von Schneeschmelze verwendet werden (Nagler und Rott, 2014).
- b) In Ostschweden wurde das Modell E-HYPE entwickelt, das den täglichen Wasserhaushalt, Nährstoff- und hydrologische Flüsse und den Abfluss ins Meer berechnet. Mit dem Modell lassen sich Vorhersagen erstellen, die unter anderem zur Hochwasserfrühwarnung verwendet werden können. Die Satellitenfernerkundung dient als eine von mehreren Datenquellen. Verwendete Satellitendatenprodukte sind Geländemodelle, Landnutzung, Bodenversiegelung, Phänologie, Schneebedeckung und Seeeis. E-HYPE stellt im Gegensatz zu vielen anderen hydrologischen Modellen, die meist gebietsspezifisch sind, ein harmonisiertes System für ganz Europa dar. Ein weiteres Produkt ist beispielsweise ein Datensatz über die Hochwasserhäufigkeit, der sich zur Hochwasserrisikoevaluierung und Infrastrukturplanungen einsetzen lässt (Isberg et al., 2014).
- c) Das Konsortium des H2020 Projektes EUGENIUS stellt, ergänzend zum Copernicus EMS, Geoinformationen auf lokaler und regionaler Ebene bereit und kombiniert diese mit Satellitendaten von Sentinel-1 und Sentinel-2. SERTIT, ein Institut der Universität Straßburg, hat im Rahmen des Projektes einen Ansatz für das Monitoring von Hochwassern auf regionaler Ebene entwickelt. Dieser Dienst wurde bereits in Frankreich in der Region Grand Est während der großen Hochwasserereignisse im Januar 2018 eingesetzt. Für den gesamten Monat konnten 20 aufeinanderfolgende Sentinel-1 Szenen verarbeitet werden. Es stand also im Durchschnitt alle 1,5 Tage ein Radarbild (aufgrund überlappender Aufnahmestreifen) zur Verfügung. In Zukunft sollen die EUGENIUS Entwicklungen als kommerzielle Dienste auch in anderen europäischen Regionen angeboten werden (Tholey et al. 2018).
- d) In Irland wurden Sentinel-1 Daten zur Risikoabschätzung von grundwasserbedingten Überschwemmungen verwendet. Die grundwasserbedingten Überschwemmungen werden u. a. durch den Karstuntergrund hervorgerufen. Diese Hochwasser treten nicht unmittelbar nach Starkregenereignissen auf, sondern nach Regenfällen über eine längere Periode hinweg (Wochen & Monate), wenn der Grundwasserkörper gefüllt ist. Im Winter 2015 / 2016 traten starke Hochwasser im Westen Irlands auf, sodass zahlreiche Senken überschwemmt wurden. Die Erfassung und Beobachtung dieser Überschwemmungen sind aufgrund ihrer großen Anzahl mit herkömmlichen Methoden nicht möglich. Mittels Sentinel-1 Daten konnte das Ausmaß der Überschwemmungen vom Irischen Geologischen

- Dienst erfasst werden. Es ist geplant, Sentinel-1 Daten zukünftig in die operationelle Grundwasser-Hochwasserprognose zu integrieren (Naughton et al. 2018).
- e) In Slowenien wurde eine automatisierte Prozesskette zur Erfassung von Wasserflächen entwickelt, die im Portal *whereiswater.at* visualisiert werden. Hierzu werden ebenfalls Sentinel-1 Daten eingesetzt. Da alle Wasserflächen erfasst werden, werden auch vorhandene Wasserkörper ermittelt und integriert. Im Falle eines Hochwassers können die überschwemmten Flächen von den übrigen Wasserkörpern besser getrennt und so zielgerichteter als Hochwasserflächen klassifiziert werden. Eine weitere Funktionalität des Portals ist die sogenannte Wasser-Heatmap. Basierend auf Daten von Sentinel-1 zeigt sie die Anzahl von Tagen an, an denen das Gebiet von Wasser bedeckt war. Der größte Wert des Portals wird im Monitoring und der Evaluierung großer Hochwasserereignisse gesehen. Bisher deckt *whereiswater.at* nur Slowenien ab. Die slowenische Umweltagentur nutzt das Portal unter anderem zum Monitoring von gefluteten Karsten und zur Evaluierung der Vorhersagen von Abflüssen. Eine Kombination der Sentinel-1 Daten mit den optischen Sentinel-2 Daten wird evaluiert (Ivačič und Kokajl 2018).
- f) Einige Präsentationen bei den Nationalen Foren für Copernicus 2015, 2017 und 2018 hatten direkten, aber auch indirekten Bezug zum Hochwassermanagement. So realisiert das Land Nordrhein-Westfalen ein Fernerkundungsverfahren (unter Verwendung von Sentinel-Daten) zur Aktualisierung von ALKIS und ATKIS sowie zur Ableitung und Aktualisierung der Landbedeckung (Sandmann 2018). ALKIS und ATKIS werden bei der Erstellung der Hochwasserrisikokarten eingesetzt. Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaats Sachsen nutzt Copernicus, unter anderem zum Monitoring des Flächennutzungswandels in Bezug auf Wasserrückhalteflächen (Siemer 2018). INFRASTRUKTUR & PARTNER hat für die Staaten des Drin-Einzugsgebietes (Mazedonien, Kosovo, Albanien, Montenegro) potentielle Hochwasserrisikogebiete ermittelt (Bodenbender und Heiland 2018). Das Vorgehen basiert auf den Anforderungen der EU Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und orientiert sich an den Anforderungen der LAWA. Die potentiellen Risikoschwerpunkte wurden identifiziert, indem historische Hochwasserereignisse ausgewertet und hydrologische und ökonomische Analysen durchgeführt wurden. Zusätzlich wurden auch globale digitale Höhenmodelle und Landnutzungsdaten berücksichtigt. Darüber hinaus wurde der Copernicus EMS Risk & Recovery aktiviert, um eine Einschätzung des Hochwasserrisikos und der möglichen ökonomischen Auswirkungen im Einzugsgebiet durchzuführen. Weitere Informationen über dieses Projekt finden sich auch in Annex 2.
- g) Die BfG führt derzeit ein Projekt zum Monitoring der räumlichen Veränderung von Bauwerken und deren erweitertem Umfeld mithilfe der Fernerkundung durch. Da die eingesetzten TerraSAR-X-Daten, mit denen bereits gute Erfolge für die Erfassung der Schleusenanlage Hessigheim erzielt werden konnten, zukünftig nicht mehr kostenfrei verfügbar sind, sollen stattdessen Sentinel-1A / 1B Daten genutzt werden (BfG 2018).
- h) Die BfG führt ebenfalls das Projekt mDRONES4rivers durch, um den Nutzen von Drohnen für vegetationskundliche und hydromorphologische Aufgaben entlang von Bundeswasserstrassen zu untersuchen²⁶.
- i) Das „Höhere Institut für Umweltschutz und -Forschung“ (ISPRA) in Italien hat eine GIS-basierte Methode namens „BIGBANG – Nationwide GIS-based regular gridded hydrological water balance on a regular grid“ entwickelt, um für ganz Italien monatliche Werte für die Komponenten der Wasserbilanz zu berechnen. Sentinel-1 und Sentinel-2 Daten werden

²⁶ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/mdrone4rivers.html>

genutzt, um einen Wasserindex zu berechnen, eine Habitatskartierung durchzuführen und um die Ablaufmengen und Sedimentgrößen zu bestimmen (EC 2018).

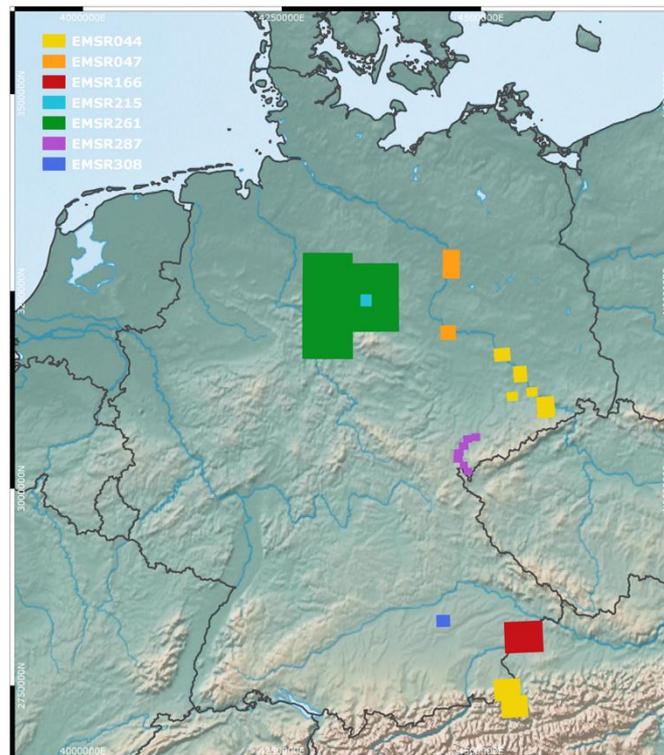
- j) Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte SenSituMon Projekt hat zum Ziel, innovative Methoden und Technologien zur Erzeugung von zeitnahen Informationsprodukten zur großflächigen Überwachung von Hochwasserereignissen aus Satelliten- und in-situ Sensordaten zu entwickeln (Bernsdorf et al. 2018). Die Forschungsergebnisse sollen als Grundlage für die Entwicklung und Vermarktung operationeller Dienste auf der Grundlage von Copernicus und anderer Satellitenmissionen dienen. Die Entwicklungen orientieren sich an Anforderungen von Versicherungen, um schnell auf hochwasserbedingte Schadensereignisse reagieren zu können. Der Verlauf von Überschwemmungen sollen dokumentiert werden, so dass detaillierte Informationen über das Auftreten, die Häufigkeit und die Dauer von Hochwasserereignissen für betroffene Gebiete vorliegen. Diese Informationen können beispielsweise zur Validierung von Hochwasserrisikobewertungen verwendet werden. Der Arbeitsschwerpunkt liegt zunächst in Nordrhein-Westfalen. Anhand der Ergebnisse soll die Skalierbarkeit des Ansatzes für ganz Deutschland und Europa bewertet werden.
- k) Die VdS Schadenverhütung GmbH hat auf Grundlage der Copernicus Datenprodukte „Imperviousness HRL“ und des „Urban Atlas“ eine Studie zu den Versiegelungsgraden in 50 Kommunen in Deutschland im Auftrag des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) durchgeführt. Je höher der Versiegelungsgrad, desto weniger Wasser kann im Boden versickern und desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für Überflutungen im städtischen Bereich (GDV 2018).
- l) Weitere Anwendungen von Copernicus finden sich im marinen Bereich. Der Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) stellt Produkte und Dienste für marine Anwendungen bereit. An der französischen Mittelmeerküste, welche regelmäßig von Hochwasserereignissen betroffen ist, kommt ein Vorhersagemodell zum besseren Verständnis des Hochwasserpentials des Tet Flusses zum Einsatz. Das Modell wurde durch Downscaling aus einem niedriger aufgelösten CMEMS Modells berechnet. Der Einsatz des Modells ermöglicht eine Vorhersage von möglichen Überschwemmungsflächen und eine bessere Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen (Copernicus 2019b). In Estland wurde ebenfalls durch Downscaling von CMEMS ein höher aufgelöstes Modell errechnet, um eine Webanwendung zur Hochwasservorhersage in Pärnu City zu erstellen. Die Webanwendung sagt 48 Stunden vor dem Ereignis Wassertiefen voraus und stellt sie über ein Portal zur Verfügung (Copernicus 2019a). In Portugal wurde ebenfalls durch das Downscaling von CMEMS Daten das MOHID Water System entwickelt, einem Frühwarnsystem zur Verringerung des Hochwasserrisikos (Copernicus 2019c).

Die vorgestellten Beispiele unterstreichen, dass das Hochwasserrisikomanagement in verschiedenen Regionen in Europa mit Hilfe von Copernicus Daten und Produkten bereits unterstützt werden. Die meisten der Anwendungen könnten auch in Deutschland umgesetzt werden.

3.3 Nationale Aktivierungen des Copernicus Emergency Management Dienstes

Seit Einführung des Copernicus EMS im Jahr 2012 wurde das Rapid Mapping bisher insgesamt 114 Mal im Rahmen von Hochwassern aktiviert. 90 dieser Aktivierungen erfolgten in Europa (inklusive Balkan).

Abbildung 7: Bisherige Aktivierungen des Copernicus EMS – Rapid Mapping in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung aus Informationen des Copernicus EMS

In Deutschland wurde der Rapid Mapping Service bisher sieben Mal aktiviert. Eine Aufstellung aller bisher getätigten CEMS Aktivierungen mit Hochwasserbezug in Deutschland sowie die dabei angeforderten Kartenprodukte finden sich im Anhang 1. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die geographische Lage der Untersuchungsgebiete. Die ersten Aktivierungen fanden bereits 2013 statt. Weitere erfolgten ab 2016. Bislang wurden Karten für Bayern, Niedersachsen, Sachsen und Sachsen-Anhalt erstellt. Die Ursachen der jeweiligen Hochwasser waren sowohl Starkregenereignisse, zum Teil verbunden mit Sturzfluten, und Flusshochwasser.

Der Risk & Recovery Dienst wurde für Hochwasserthemen bisher elfmal aktiviert. Davon erfolgte die Aktivierung zehnmal in Europa (inklusive Balkan), wovon zwei der Aktivierungen im Rahmen von Zivilschutzübungen erfolgten und nicht in Anhang 2 aufgeführt sind. Die Risk & Recovery Komponente dient nicht unmittelbar dem Katastrophenmanagement im Falle eines Hochwassers, sondern der Prävention, Vorsorge und der Risikoreduktion. So werden zum Beispiel rückwirkend Hochwasseranalysen angefordert, Hochwasserrisiken eingeschätzt und mögliche ökonomische Auswirkungen analysiert. Von deutschen Nutzern wurde der Dienst erst zweimal angefordert. Eine aktuelle Aktivierung (EMSN056: Historic flood delineation and analyses for Elbe / Vltava catchment) untersuchte das Elbehochwasser vom Juni 2013 für ausgewählte Regionen in Deutschland und Tschechien (siehe auch Kapitel 5.4 und entsprechende Fallstudie). Die Aktivierung erfolgte durch das BBK im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe. Die Ziele dieser Aktivierung waren, das gesamte Ausmaß der Überschwemmungen entlang der Elbe im Juni und Juli 2013 in vier ausgewählten Untersuchungsgebieten zu erfassen und eine detaillierte Analyse der Entwicklung des beobachteten Hochwassers für diesen Zeitraum durchzuführen. Die Ergebnisse beinhalten strategische Karten, GIS-Daten, statistische Auswertungen, ein Infoblatt und einen Endbericht. Die Ergebnisse sind noch nicht veröffentlicht und befinden sich derzeit noch in der internen Qualitätskontrolle beim Nutzer. Aus Sicht der IKSE lassen sich die Ergebnisse für die vorläufige Risikobewertung und in der Raumplanung einsetzen. Darüber hinaus bieten sie nicht nur

wertvolle Informationen für die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten, sondern sind auch wichtiger Beitrag für den nächsten Hochwasserrisikomanagementplan des Flussgebietes.

In einem weiteren Beispiel (EMSN046: Detailed flood delineation in Hildesheim, Germany) erfolgte rückwirkend die Kartierung des Hochwassers vom Juli 2017 im Raum Hildesheim (Flüsse Nette, Lamme und Innerste)²⁷. Neben den Referenzkarten wurden Informationen zur Landbedeckung angefordert. Darüber hinaus erfolgte die Kartierung der beobachteten Wasserausdehnung sowie die Abschätzung der maximalen Wasserausdehnung. Die beobachtete Wasserausdehnung wurde aus SAR-Daten abgeleitet. Die maximale Wasserausdehnung wurde anhand der Isolinien der maximalen Wassertiefe bestimmt. Diese wurden auf Grundlage des beobachteten Hochwasserstandes und Schätzungen des maximalen Wasserstandes unter Berücksichtigung des sogenannten Topographic Wetness Index (TWI) abgeleitet. Der TWI soll die Auswirkungen der lokalen Topographie auf hydrologische Prozesse quantifizieren und die räumliche Verteilung der Bodenfeuchte und deren Sättigung modellieren.

Die Aktivierung erfolgte durch das BBK im Auftrag des Landkreis Hildesheim. In Annex 2 finden sich Angaben zu den bisher erfolgten Risk & Recovery Aktivierungen mit Hochwasserbezug in Europa.

3.4 Expertengespräche

Mit zahlreichen Behördenvertretern wurden Gespräche geführt (siehe Tabelle 9). Die Interviews beinhalteten Fragen zum Wissensstand und zu bisherigen Erfahrungen mit Copernicus im Bereich des Hochwasserrisikomanagements, zu Potentialen und Hindernissen bei der Nutzung und Wünschen aus Anwendersicht.

Tabelle 9: Behördenübersicht, mit deren Vertretern Interviews geführt wurden

| Behörde |
|---|
| Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) |
| Bundesamt für Gewässerkunde (BfG) |
| Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) - Ausschuss Hochwasserschutz und Hydrologie |
| Joint Research Center (JRC) |
| Europäische Umweltagentur (EEA) (per E-Mail) |
| Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz |
| Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz |
| Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein |
| Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen |
| Landesamt für Umwelt Brandenburg |
| Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt |

3.4.1 Bundesbehörden und -institutionen

3.4.1.1 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)

Das BBK ist Fachkoordinator des Copernicus EMS in Deutschland. Das dort angesiedelte Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) ist die einzige autorisierte Stelle, um Produkte des Copernicus EMS für Deutschland anzufordern. Zur Wissensvermittlung organisiert das BBK Workshops mit Vertretern der Bundesländer. Im Fokus

²⁷ <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN046>

stehen hierbei Vertreter des Katastrophenschutzes. In diesem Zusammenhang wurde unter anderem eine circa 1,5 tätige Schulung inkl. Theorie und Praxis zu Fernerkundung im Katastrophenschutz vorbereitet. Darüber hinaus werden ca. 250 Adressaten über einen E-Mail-Newsletter mit Informationen zum Copernicus EMS versorgt. Über den Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV) der Innenministerkonferenz wurden vom BBK die entsprechenden Akteure des Katastrophenschutzes über Copernicus informiert und die Verfahrenswege dargelegt. Die Erfahrung zeigt, dass die Weitergabe der Informationen innerhalb der Behörden immer vom Engagement einzelner Personen abhängt.

Das BBK fordert nach Aktivierungen des Copernicus EMS Feedback von den Nutzern an, erörtert Sachverhalte und führt Validierungen und Reanalysen durch. Die Ergebnisse werden auch an das JRC weitergeleitet. Die Rückmeldungen zum Copernicus EMS sind überwiegend positiv. Die Rückmeldungen erfolgen aber üblicherweise durch die übergeordnete Behörde. Direkte Nutzer des Copernicus EMS äußern durchaus Kritik. Diese resultiert oft aus Unwissenheit über die technischen Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung. Für die Lagebeurteilung ist eine schnelle Bereitstellung von Informationen unerlässlich. Trotz zahlreicher Satellitenmissionen ist die zeitnahe Bereitstellung von Satellitenaufnahmen jedoch immer noch herausfordernd, so dass die Kartenprodukte für die direkte Lagebewertung nicht zeitnah aufgenommen oder zu spät eintreffen können. Im Vergleich dazu sind Ereignisdokumentationen nach einem Hochwasser weniger zeitkritisch. Darüber hinaus gibt es von Nutzerseite Interesse an Aussagen zu den Genauigkeiten der Karten. Das BBK überlegt deshalb, wie die Genauigkeiten der Karteninhalte besser kommuniziert werden kann.

Neben technischen Verbesserungen sieht das BBK die Notwendigkeit von weiteren Workshops und Beratungen, um über Copernicus und die Fernerkundung allgemein zu informieren und um über Möglichkeiten und Grenzen aufzuklären. Fallstudien werden in diesem Zusammenhang als wichtiges Hilfsmittel betrachtet, da anhand konkreter Beispiele die Dienste und Produkte erläutert werden.

Das BBK hat keine Informationen, wie und ob der BEAM Datensatz (siehe Kap. 5) in den Bundesländern eingesetzt wird. Es besteht bei Nutzern eine Unsicherheit über die verwendeten Eingangsdaten und die monetäre Bewertung der Klassen.

3.4.1.2 Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ist als Bundesbehörde des BMVI für Forschung, Begutachtung und Beratung auf den Gebieten Hydrologie, Gewässernutzung, Gewässerbeschaffenheit sowie Ökologie und Gewässerschutz zuständig. Mit WasserBLICK²⁸ betreibt die BfG eine nationale Kommunikations- und Berichtsplattform, über welche die elektronische Berichterstattung Deutschlands an die EU für mehrere wasserbezogene Richtlinien²⁹ abgewickelt wird. Darüber hinaus stellt die BfG den nationalen Copernicus Fachexperten für den Bereich Binnengewässer.

Der Einsatz von Copernicus spielt im Zusammenhang mit der HWRM-RL (noch) eine untergeordnete Rolle. Der Nutzen der Fernerkundung wird aber vor allem für Schadensdokumentationen und Schadenspotentialabschätzungen gesehen. Die Dokumentation von Hochwasserereignissen mittels Fernerkundung kann auch zur Plausibilisierung von

²⁸ <https://www.wasserblick.net>

²⁹ Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, Badegewässerrichtlinie, Trinkwasserrichtlinie

Hochwassergefahrenkarten herangezogen werden. Grenzen der Technologie werden vor allem bei der räumlichen Auflösung und der Datenaktualität gesehen.

In einem Workshop über „Großräumiges Hochwassermonitoring - Möglichkeiten, Grenzen, Chancen der Fernerkundung“ an der BfG im Dezember 2018 wurden das Copernicus-Programm und damit einhergehende Erfahrungen verschiedener Akteure präsentiert. Weitere Möglichkeiten der großräumigen Fernerkundung mit den bereits jetzt und in naher Zukunft nutzbaren Daten und Diensten wurden vorgestellt und den Nutzerbedarfen gegenübergestellt und diskutiert. Der zugehörige Ergebnisbericht³⁰ stellt fest, dass das Wissen und Informationen über die verfügbaren Fernerkundungsprodukte und Aktivierungsmöglichkeiten des Copernicus EMS noch fehlen. Standardisierte Workflows und Produkte vergleichbarer Qualität, welche auch Metainformationen beinhalten, wurden von den Teilnehmern gefordert. Als Handlungsempfehlungen wurde eine verbesserte, behördenübergreifende Kommunikation, regelmäßige Schulungen sowie eine Standardisierung von Qualitätsangaben der Copernicus Datenprodukte ermittelt. Weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte werden begrüßt, um praxistaugliche Lösungen zu entwickeln und in die operationelle Anwendung zu überführen.

3.4.1.3 Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Der Ausschuss Hochwasserschutz und Hydrologie (AH) der Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA-AH) erarbeitet derzeit Grundlagen für eine bundeseinheitliche Methodik für die Abschätzung von Schadenspotentialen für den ersten Schritt der HWRM-RL im dritten Umsetzungszyklus. Es wird davon ausgegangen, dass neben den amtlichen Daten aus dem ATKIS / ALKIS-Kontext auch Datenprodukte von Copernicus für eine Abschätzung des Schadenspotentials hilfreich sein können. Eine Evaluierung des in Kapitel 5 vorgestellten BEAM Datensatzes zu den bundesweiten Vermögenswerten für die Bewertung von Schadenspotentialen bei Hochwasser ist hierbei von besonderem Interesse. Im Rahmen eines Workshops „Schadenspotentiale“ im März 2018 wurde empfohlen, an einzelnen Gewässern Pilotprojekte durchzuführen und einen Abgleich zwischen Copernicus- und ATKIS-Daten vorzunehmen und zu überprüfen, ob die berechneten Schadenspotentiale übereinstimmen. Das vorliegende Sachverständigengutachten untersucht das Copernicus-Potential zur Schadenspotentialermittlung in Kapitel 5.

Ein vom LAWA organisierter Workshop zu „Copernicus in der Wasserwirtschaft“ an der BfG im März 2019 diente dem fachlichen Austausch über potentielle Einsatzmöglichkeiten von Copernicus in der Wasserwirtschaftsverwaltung. Neben allgemeinen Informationen über Copernicus wurden best-practice Beispiele präsentiert und länderübergreifende Produkt- und Projektideen diskutiert³¹.

Ein Ergebnis der Diskussion war, dass zur Steigerung der Akzeptanz die bestehenden Kommunikationslücken zwischen den unterschiedlichen Expertengruppen (Fernerkundung und Wasserwirtschaft) geschlossen werden müssen. Ein weiterer Informationsaustausch über Möglichkeiten und Grenzen der satellitengestützten Erfassung von Hochwassern ist erforderlich. Als Produktwünsche wurden genannt: aktuelle Informationen zur Landnutzung und zu Rauigkeiten der Landoberfläche für die hydraulische Modellierung. Im Hochwasserfall besteht Bedarf an großflächigen Wasserstandsanalysen, Wassertiefen, der Detektion möglicher Pegel-Umläufigkeiten und den Dokumentationen der Ereignisse. Darüber hinaus werden Informationen für die Evaluierung von durchgeführten Maßnahmen, z. B. im Naturschutz

³⁰

https://www.bafg.de/DE/05_Wissen/02_Veranst/2018/2018_12_05_ergebnisse.pdf?blob=publicationFile

³¹ <https://www.wasserblick.net/servlet/is/183042/>

(Überflutungsflächen, Vegetationsentwicklung) benötigt. Daten zur Bodenfeuchte, Schneebedeckung und Eisgang auf Seen und Flüssen wurden ebenfalls aufgeführt. Für eine optimierte Ermittlung von Schadenspotentialen wird ein harmonisiertes Vorgehen auch für kleine Gewässer gewünscht.

Im Nachgang an den Workshop hat die LAWA Vollversammlung im April 2019 in Gotha in Bezug auf Copernicus folgenden Beschluss gefasst: „Die LAWA-Vollversammlung sieht Potentiale zur Nutzung der Copernicus-Daten und Dienste insbesondere bei der Bewertung der Gewässerstruktur, dem Monitoring der Stand- und Fließgewässer, bei der hydrologischen Modellierung sowie bei der Bewertung des Hochwasserrisikos. Darüber hinaus können Daten zur Landnutzung und Vegetation wertvolle Hinweise für die Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Aufgaben liefern.“

Die LAWA-Vollversammlung bittet den LAWA-AO, LAWA-AG, LAWA-AK und LAWA-AH die im Workshop erarbeiteten „Tischthemen“ basierend auf dem Projektpapier der Geschäftsstelle des LAWA-AH über den Workshop weiter zu bearbeiten und unter Federführung des LAWA-AH das fortgeschriebene Projektpapier zur weiteren Beschlussfassung der 158. Vollversammlung vorzulegen.“

3.4.2 Europäische Behörden

3.4.2.1 Europäische Kommission

Ein vergleichbarer Workshop (Copernicus for Water Management) fand auf europäischer Ebene im Mai 2018 statt³² und hatte zum Ziel, die Relevanz von Copernicus für Fragen des Wassermanagements im Hinblick auf die verschiedenen wasserbezogenen Richtlinien zu diskutieren. Auf EU-Ebene sollen Copernicus-Daten und Dienste zukünftig im Bereich der Umweltfachrichtlinien stärker genutzt werden. Dies betrifft insbesondere die bessere Überwachung der Umsetzung der Richtlinien und der damit verbundenen Berichterstattung bzw. deren Nachsteuerung. Der Copernicus Dienst zur Überwachung der Atmosphäre stellt beispielsweise bereits heute Datenprodukte mit Politikbezug bereit (Policy Products). Die Produkte sollen die Entscheidungsfindung und die Politikgestaltung beim Management der Luftverschmutzung unterstützen. Sie dienen auch als nützliche Instrumente zur Unterstützung von Kommunikationsmaßnahmen gegenüber der Öffentlichkeit und zur Berichterstattung gemäß den europäischen Luftqualitätsrichtlinien (2008/50/EG) und ihren Durchführungsentscheidungen (2011/850/EU)³³.

Im Workshop konnte gezeigt werden, dass Copernicus den Wassersektor bereits mit verschiedenen Daten unterstützen kann. Als technische Herausforderungen wurden die Verarbeitung von Zeitserien und die Integration von Daten verschiedener Sensoren betont. Darüber hinaus wurden Anforderungen in Bezug auf eine verbesserte zeitliche und räumliche Auflösung der Sentinel-Daten gestellt und eine neue, hochauflösende Mission zur Messung von Temperaturen der Landoberfläche vorgeschlagen.

Die Gemeinsame Forschungsstelle (Joint Research Center) der Europäischen Kommission koordiniert den Copernicus EMS sowie den globalen Landbeobachtungsdienst. Nach Ansicht der Kollegen bietet Copernicus viele wirksame Werkzeuge zur Unterstützung des Hochwasserrisikomanagements. Neben den Kartenprodukten des Copernicus EMS im Katastrophenfall unterstützt die Risk & Recovery Komponente die Post-Event-Analyse und dadurch die Vorsorgemaßnahmen. Das European Flood Awareness System (EFAS) unterstützt

³² <https://www.copernicus.eu/en/events/events/copernicus-water-management-workshop>

³³ <https://policy.atmosphere.copernicus.eu/>

die Frühwarnung in den Mitgliedsstaaten. Verbesserungspotential wird bei der rechtzeitigen Aktivierung des Rapid Mapping gesehen. Durch das auf EFAS-Vorhersagen basierende Satellitentasking konnten diesbezüglich bereits Verbesserungen erzielt werden.

3.4.2.2 Europäische Umweltagentur

Die Europäische Umweltagentur (EUA) in Kopenhagen koordiniert den Copernicus Land Monitoring Dienst und die Copernicus In-Situ Komponente. Darüber hinaus erfolgt das Reporting der Mitgliedsstaaten in Bezug auf die HWRM-RL über die EUA. Die Datenprodukte des Landdienstes entsprechen in erster Linie Landbedeckungskarten bzw. einzelner Informationsebenen daraus. Daten zur Bodenversiegelung (Imperviousness) und deren Veränderungen, aber auch der Riparian Zone Layer zur Ableitung von Flussauen und deren Landbedeckung könnten im Hochwasserrisikomanagement Verwendung finden. Die Kollegen der EUA haben jedoch keine Informationen über diesbezügliche Anwendungen. Dennoch geht die EUA von einem großen Nutzen von Copernicus für die Berichterstattung aus, da die Daten nach einer standardisierten Methodik erhoben werden. Es besteht jedoch die Herausforderung, eine bessere Verbindung zwischen Copernicus und Vertretern der Wasserwirtschaft herzustellen und reale Nutzerbedarfe bei der Erstellung der Copernicus Produkte noch stärker zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem für den Bereich der Binnengewässer. Um eine stärkere Nutzung von Copernicus in der Wasserwirtschaft voranzutreiben, sind aus Sicht der EUA weitere Projekte erforderlich.

Die Copernicus-Dienste stützen sich auf zahlreiche Umweltmessungen, die durch Boden-, See- oder Luftüberwachungssysteme erhoben werden. Darüber hinaus werden Geodaten als Referenzdaten, z. B. zum Trainieren und Validieren von Klassifikationsalgorithmen oder einfach als Zusatzinformation in Karten eingesetzt. Die Koordination über den Zugang zu den verschiedenen Daten erfolgt im Rahmen der Copernicus In-Situ Komponente. Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Wasserabfluss und Bodenfeuchte sind nur einige Beispiele, die über Copernicus In-Situ den Diensten bereitgestellt werden. Sofern es die Lizenzbedingungen zulassen, werden sie auch durch den Copernicus Klimawandel Dienst und Copernicus Dienst zur Überwachung der Atmosphäre den Nutzern zur Verfügung gestellt. Die Verwendung von Umweltbeobachtungsdaten für Arbeiten mit Hochwasserbezug in den Mitgliedsstaaten sind dem zuständigen EUA Kollegen nicht bekannt. Jedoch besteht von Seiten des EFAS Bedarf an hydrologischen Daten, deren Verfügbarkeit und Zugang derzeit noch vom JRC untersucht werden. Die Sammlung der Daten erfolgt im sogenannten EFAS Hydrological Data Collection Center und dem EFAS Meteorological Data Collection Center.

3.4.3 Bundesländer

Die Workshops der BfG im Dezember 2018 und März 2019 haben gezeigt, dass der Wissensstand hinsichtlich der Satellitenfernerkundung im Allgemeinen und in Bezug auf Copernicus Daten und Diensten bei den Teilnehmenden aus den Bundesländern stark variiert. Im Rahmen dieser Studie wurden Interviews mit Vertretern aus den Bundesländern Bayern, Brandenburg, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein geführt. Diese Länder haben den Copernicus EMS bereits genutzt bzw. untersuchen den Einsatz von Copernicus Daten und Diensten für Fragestellungen der Wasserwirtschaft. Anhand dieser Interviews sollte eine Einschätzung zum Wissens- und Kenntnisstand in den Ländern zu Copernicus erlangt werden.

Außer Schleswig-Holstein wurde / wird der Copernicus EMS bereits in allen oben genannten Ländern eingesetzt, zum einen als Nutzer des EFAS, zum anderen als Nutzer der Kartierungskomponente. Die Aktivierung des Kartierdienstes erfolgte in vielen Fällen zu

Testzwecken. Sachsen-Anhalt verfügt hingegen bereits über eine langjährige Erfahrung in der Nutzung fernerkundungsbasierter Daten im Hochwasserrisikomanagement. Die Dienstleistungen von Copernicus Vorgängerprojekten wurden bereits seit Anfang 2000 genutzt. Der Copernicus EMS ist dort fester Bestandteil des Hochwasserstabes. Die Serviceaktivierung und zugehörige Arbeitsabläufe wurden auch bei einer Stabsübung trainiert, so dass eine Aktivierung personenunabhängig erfolgen kann. Auch in Bayern soll die bereits bestehende Arbeitshilfe zur Dokumentation von Hochwasserereignissen um ein Kapitel zum Einsatz von Flugzeug- / Drohnen- / Satellitendaten erweitert werden.

In mehreren Ländern wurden erste Strukturen geschaffen, um die Verwendung von Copernicus Daten und Diensten zu fördern. Im Bayerischen Landesamt für Umwelt wurde zu Beginn des Jahres 2019 eine Personalstelle geschaffen, die den Einsatz von Copernicus nicht nur im Hochwasserrisikomanagement, sondern in der gesamten Wasserwirtschaft unterstützen und entsprechende Projekte koordinieren soll. Auch in Schleswig-Holstein und Sachsen wurden auf Projektbasis Stellen geschaffen, um Copernicus u. a. für die Wasserwirtschaft weiter zu erschließen. Die Schaffung solcher Stellen in den Bundesländern unterstützt und entlastet die nationalen Fachexperten und -koordinatoren.

Es ist für die Nutzer eine große Herausforderung einen Überblick über existierende bzw. abgeschlossene Pilotprojekte und Forschungsvorhaben zu behalten, und eine entsprechende Informationsplattform wird als hilfreich angesehen. Die Copernicus Workshops bei der BfG wurden in diesem Zusammenhang sehr positiv bewertet und selbst Kollegen mit fortgeschrittenen Fernerkundungskennnissen konnten Neuigkeiten erfahren. Weitere Veranstaltungen werden befürwortet. Es wurde vorgeschlagen, die Workshops näher beim Nutzer, d. h. direkt in den Landesämtern durchzuführen, um einen besseren Multiplikatoreffekt zu erzielen. Brandenburg plant beispielsweise im Oktober 2019 eine Informationsveranstaltung innerhalb des Landesamtes für Umwelt, um mögliche Copernicus Anwendungen im Politikfeld Wasser / Hochwasser darzustellen.

Es wurde auch vorgeschlagen, ein länderübergreifendes Netzwerk von Copernicus-Nutzern aus der Wasserwirtschaft zu schaffen, die sich im Rahmen von regelmäßigen Workshops austauschen und gemeinsame Strategien erarbeiten können. Neben den auf Bundesebene verankerten Fachkoordinatoren und Fachexperten sollten Ansprechpartner aus der Wasserwirtschaft die Koordination für die operationelle Ebene übernehmen, so dass die nationalen Koordinatoren entlastet würden.

Da Wissen schnell veraltet, wurde der Bedarf einer kontinuierlichen Kommunikation und Wissensweitergabe unterstrichen. Nach Aussage der Gesprächspartner erfolgt die Wissensweitergabe innerhalb der Behörden. Es herrscht unterschiedliche Meinung darüber, ob auch nachgeordnete Behörden der Länder zu Copernicus geschult werden sollten. Für eine nachhaltige Wirkung müssten konkrete Anwendungen, z. B. aus dem Vollzug oder der Berichterstattung dargestellt werden, welche dann im eigenen Verwaltungshandeln angewendet werden können. Dennoch ist fraglich, welche Copernicus Dienste oder Daten auf lokaler Ebene nutzbar wären, denn für kleine Gewässer, deren Management in Städten und Gemeinden erfolgt, wird die räumliche Auflösung bzw. der Maßstab der vorhandenen Produkte unter Umständen zu gering sein. Herausfordernd könnten hierbei auch die bestehenden personellen und technischen Kapazitäten sein. In Bayern wurden die untergeordneten Wasserwirtschaftsämter nach den Copernicus Aktivierungen informiert und über ein zentrales GIS wurden die zugehörigen Copernicus Ergebnisse bereitgestellt. Auch Sachsen-Anhalt informiert die Orte, für welche Copernicus Ergebnisse zur Verfügung stehen.

3.4.3.1 Copernicus Einsatz im Zuge der Hochwasserrisikomanagements

Auch wenn die Meinungen variieren, werden vielfältige Einsatzmöglichkeiten von Copernicus Produkten für die Umsetzungsschritte der HWRM-RL gesehen.

Zunächst wird die Lagebewertung im Hochwasserfall betont. Copernicus ermöglicht eine schnelle Lagebewertung der Überschwemmungsflächen. In Sachsen-Anhalt werden sowohl die erzeugten Karten (pdf) für die Verteilung innerhalb des Geschäftsbereichs genutzt. Die digitalen Daten (shp, kml) gehen in eigene Kartenwerke zur Lagebeurteilung ein, die um zusätzliche Informationen z. B. zu Einsatzkräften und lokalen Situationen erweitert werden. Die räumliche Auflösung wird als limitierender Faktor gesehen. Das Wissen über die technischen Grenzen der Fernerkundung ermöglicht es aber, die Interpretationsergebnisse richtig einzuschätzen. Darüber hinaus wurde betont, dass die Bewertung der räumlichen Auflösung von der jeweiligen Fragestellung abhängt.

Im Nachgang an ein Hochwasser dienen die Daten zur Dokumentation, Reanalyse und Bewertung des Ereignisses. Die Copernicus Produkte werden in Sachsen-Anhalt beispielsweise auch dafür eingesetzt, von Hochwasser betroffene Landwirte für etwaige Fördermittelbestätigungen mit einem zweifelsfreien Beleg über die betroffenen Flächen auszustatten.

Die Hochwassergefahrenkarten sind das Ergebnis hydraulischer Modelle. Dennoch werden zwei Einsatzmöglichkeiten für Copernicus gesehen. Zunächst ist die Ableitung von Rauigkeitsparametern zu nennen, die bisher in erster Linie auf Basis des Amtlichen Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) ermittelt wurden. Der durch Copernicus bereitgestellte Datensatz CLC kommt in diesem Zusammenhang bereits auch zum Einsatz. Darüber hinaus wurden Luftbilder und Ergebnisse von Begehungen zur Ableitung von Rauigkeitswerten verwendet. Daneben werden Anwendungsmöglichkeiten für die Plausibilisierung der Modellergebnisse durch Überschwemmungskarten gesehen. Daten zu historischen Überschwemmungen helfen bei der Identifizierung von Risikogebieten.

Im Zusammenhang mit Hochwasserrisikokarten werden Copernicus Anwendungsmöglichkeiten vor allem bei der Schadenspotentialanalyse gesehen. Da die Länder jeweils eigene Verfahren entwickelt haben, wird eine harmonisierte Herangehensweise begrüßt. Bessere und vergleichbare Schadenswerte werden befürwortet. Zur Ermittlung von Schutzgütern werden bisher vor allem ATKIS und Biotopkartierungen verwendet. Auch hier wird Copernicus bereits in Form von CLC eingesetzt. Eine Bereitstellung noch höher aufgelöster Landbedeckungsdaten durch Copernicus wäre wünschenswert. Dies ist im Hinblick einer Harmonisierung der Verfahren und der Vergleichbarkeit der Werte von großem Interesse. Vor allem für grenzüberschreitende Darstellungen wäre ein einheitlicher Datensatz sehr hilfreich. Der BEAM Datensatz ist zwar allen Gesprächspartnern bekannt, eingesetzt bzw. näher untersucht wurde er bislang jedoch noch nicht.

Einige Bundesländer sind EFAS Partner. Das System wird jedoch nur komplementär zu eigenen und seit vielen Jahren etablierten Vorhersagesystemen eingesetzt. EFAS Daten dienen zum Vergleich und unter Umständen als Hintergrundinformation.

3.4.3.2 Chancen und Hindernisse

Alle Gesprächspartner sehen Chancen für den Einsatz fernerkundungsbasierter Daten und abgeleiteter Informationen im Hochwassermanagement. Als wichtigste Eigenschaft wird die Möglichkeit gesehen, sowohl im Ereignisfall als auch im Nachgang eines Hochwassers einen schnellen Überblick über größere Interessensgebiete erhalten zu können. In diesem

Zusammenhang wurde auch erwähnt, dass einheitliche Standards und Daten den Arbeitsaufwand innerhalb der Behörden verringern könnten.

Bei der Einführung neuer Technologien entstehen beim Anwender oftmals Berührungsängste und Hemmnisse. Um diese zu mindern muss deren Nutzen betont werden. Dies kann durch weitere Schulungen und die Förderung von Pilotprojekten erreicht werden. Es wurde erwähnt, dass für Entscheidungen über den Einsatz neuer Verfahren wichtig sei, ob das Verfahren bereits angewandt wird, ob die Ergebnisse nachvollziehbar und bei bestimmten Fragestellungen (z. B. Entschädigungszahlungen) gerichtsfest seien.

Aus technischer Sicht wird die zeitliche Auflösung der Copernicus Produkte als großes Hindernis eingeschätzt. Aufgrund der Systemeigenschaften ist die Erfassung eines Hochwassers zum Scheitelpunkt in der Mehrheit der Fälle nicht gewährleistet. Die räumliche Auflösung wird ebenfalls kritisch gesehen. Es wurde jedoch unterstrichen, dass eine Überschwemmungskarte mit geringerer räumlicher Auflösung immer noch besser sei als keine Karte. Als minimale räumliche Auflösung wurden 5 m x 5 m als sinnvoll erachtet. Wie oben bereits erwähnt, hängt die Beurteilung der räumlichen Auflösung jedoch von der jeweiligen Fragestellung sowie von der Größe der betroffenen Fläche ab. Für detaillierte lokale Fragestellungen müssen weitere in-situ Daten oder Luftbilder einbezogen werden.

Es wurde festgestellt, dass die Produkte des Rapid Mapping fehlerbehaftet sein können. So treten z. B. bei flachen Wasserständen Unschärfen und Fehlzusammenhänge auf, da beispielsweise überschwemmte Gebiete und nasse Oberflächen ähnliche Charakteristika im Radarsignal haben. Eine direkte Kommunikationsmöglichkeit zwischen Nutzer und Kartenproduzent wurde als sinnvoll angesehen, um auf entsprechende Sachverhalte hinweisen zu können. Dadurch würde auch eine Bereitstellung lokaler Daten und die Einbeziehung von Ortskenntnis zur Interpretation ermöglicht und das Endprodukt somit verbessert. Als besonders unbefriedigend wird erachtet, wenn sich entsprechende Fehler bei Folgelieferungen fortsetzen. Durch eine direkte Kommunikation könnte dies leicht behoben werden. In diesem Zusammenhang wird von unerfahrenen Nutzern auch die englische Fachterminologie als Hindernis angesehen. Die sehr gute Unterstützung durch das BBK wurde in diesem Zusammenhang jedoch hervorgehoben.

Als weitere Schwäche des Copernicus EMS Dienstes wurde der zeitliche Ablauf erwähnt. Das heißt die Zeitspanne zwischen Aktivierung und der Lieferung der ersten Ergebnisse kann, je nach Datenverfügbarkeit im Notfall zu lange dauern. Gleichzeitig wurde jedoch betont, dass die Genauigkeit der Kartenprodukte einen höheren Stellenwert habe als die Geschwindigkeit.

In diesem Zusammenhang wurde auch erwähnt, dass Bayern zukünftig die eigene Hochwasservorhersage nutzen möchte, um Copernicus rechtzeitig auslösen zu können, um so die Akquisition von sehr hoch auflösenden Bilddaten zu ermöglichen.

3.4.3.3 Wünsche

Neben den bereits standardmäßig bereitgestellten Produkten wurden mehrere Wunschprodukte erwähnt. Aufgrund des Aufwandes Rohdaten selbst zu verarbeiten, besteht vor allem Interesse an fertigen Informationsprodukten.

Mehrere Gesprächspartner haben den Bedarf an Informationen zu Wassertiefen genannt. Dies würde den Aufwand reduzieren, die Überschwemmungskarten nicht selbst mit digitalen Höhendaten verschneiden zu müssen. Darüber hinaus wäre es auch von Interesse, z. B. nach technischen Unfällen, weiterführende Informationen zu Auswirkungen auf die Gewässergüte zu erhalten bzw. Informationen für die Analyse der Ausbreitung von Schadstoffen. Informationen über eine mögliche Ausbreitung und Massenvermehrung von Algen, z. B. bei Niedrigwasser und langanhaltenden Wärmeperioden wären ebenfalls hilfreich. Dies würde eine Verbindung zu

Anforderungen der WRR herstellen. Für detaillierte Erosionsmodellierungen werden hochauflösende Landbedeckungsinformationen benötigt, welche sich auch für Wasserhaushalts- und Verdunstungsberechnungen verwenden lassen.

Hochaufgelöste Landbedeckungsdaten werden auch für die Ermittlung jahreszeitlich unterschiedlicher Oberflächenrauigkeiten benötigt, da sie entscheidenden Einfluss auf die Modellierung von Sommer- und Winterhochwassern haben können. Für den operationellen Hochwasserschutz besteht Interesse an Informationen zum Vegetationsbewuchs entlang von Gewässern oder Informationen zur Stabilität von Deichen.

Neben CORINE Land Cover werden bei den Gesprächspartnern bisher noch keine weiteren Daten und Produkte anderer Copernicus Dienste (z. B. Landüberwachung, Klimawandel) eingesetzt.

3.5 Zusammenfassung des Wissens- und Kenntnisstandes und Schlussfolgerungen

Die Experteninterviews mit verschiedenen Vertretern aus europäischen Institutionen, Bundesbehörden und Behördenvertretern der Bundesländer ergaben folgendes:

- ▶ Von Seiten des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) wird viel unternommen, um die Abläufe und Produkte des Copernicus Dienstes für Katastrophen- und Krisenmanagement (Copernicus Emergency Management Service – CEMS) bei potentiellen Nutzern v. a. aus dem Katastrophenschutz zu vermitteln. Nutzer aus der Wasserwirtschaft werden bisher noch nicht ausreichend berücksichtigt. In den Schulungen werden neben Copernicus EMS auch der Nutzen anderer Copernicus Dienste und Datenprodukte, wie z. B. des Land Monitoring Dienstes, erläutert und empfohlen.
- ▶ Vom BBK wurden Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit getroffen (Newsletter, Schulungen), um die potenziellen Nutzer regelmäßig zu informieren und zu schulen.
- ▶ Der Einsatz und die Aktivierung des Copernicus EMS ist oftmals von engagierten Einzelpersonen abhängig. Darüber hinaus sind die Zuständigkeiten für eine Aktivierung zwischen den Behörden innerhalb der Bundesländer nicht immer geklärt.
- ▶ In mehreren Bundesländern wurden erste Strukturen geschaffen, um die Verwendung von Copernicus Daten und Diensten im Hochwasserrisikomanagement zu fördern. In Sachsen-Anhalt wurde beispielsweise die Aktivierung des Copernicus EMS bereits in Stabsabläufe integriert. Auch Bayern nimmt eine Anleitung zur Nutzung von Copernicus in eine Arbeitshilfe zur Dokumentation von Hochwasserereignissen auf.
- ▶ Auf übergeordneter Verwaltungsebene wird der Copernicus EMS positiv eingeschätzt. Auf unteren, ausführenden Ebenen wird jedoch auch Kritik geäußert (die Kritik bezieht sich in erster Linie auf räumliche und zeitliche Auflösung und Angaben zu Produktgenauigkeiten).
- ▶ Die für Deutschland vorhandene „Basic European Asset Map“ (BEAM), die zur Ermittlung von Schadenspotentialen eingesetzt werden könnte, ist den Nutzern bekannt. Der Datensatz wird bisher jedoch nur ansatzweise für Schadenspotentialanalysen eingesetzt.

- ▶ Das European Flood Awareness System (EFAS) ist ein europäisches Hochwasservorhersagesystem, das vom Joint Research Center der Europäischen Kommission betrieben und den Mitgliedsstaaten zur Verfügung gestellt wird. EFAS wird in fünf Bundesländern (Bayern, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen) komplementär zu eigenen Vorhersagesystemen eingesetzt.
- ▶ In verschiedenen europäischen Regionen wird das Hochwasserrisikomanagement bereits mit Hilfe von Copernicus Daten und Produkten unterstützt.
- ▶ Die Europäische Kommission arbeitet daran „COPERNICUS für die Politik“ voranzutreiben. Das bedeutet, dass Copernicus-Daten und Dienste zukünftig für die bessere Überwachung der Umsetzung von Fachrichtlinien und der damit verbundenen Berichterstattung bzw. deren Nachsteuerung eingesetzt werden sollen.

Aus dieser Zusammenfassung ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Aus Sicht der Endnutzer sind weitere Schulungen und Workshops zum Einsatz von Copernicus Daten und Diensten für das HWRM erforderlich. Die Schulungen sollen am besten direkt vor Ort in den Behörden erfolgen.
- ▶ Die Schulungen des BBK adressieren bisher in erster Linie Vertreter des Katastrophenschutzes und der Feuerwehren. Die Vertreter der Wasserwirtschaft sollten zukünftig ebenfalls bei Schulungen berücksichtigt werden. Ob diese Schulungen durch das BBK erfolgen können oder Fachexperten anderer Einrichtungen damit beauftragt werden, muss geklärt werden.
- ▶ Es ist für die Anwender herausfordernd, einen Überblick über existierende bzw. abgeschlossene Projekte und Forschungsvorhaben zu behalten. Aus diesem Grund sollte eine Plattform entwickelt werden, die den Wissensaustausch ermöglicht.
- ▶ Um bei den Anwendern eine erhöhte Akzeptanz zu erreichen, muss der direkte Nutzen von Copernicus besser dargestellt werden. Dies kann durch Schulungen und Workshops, den Wissensaustausch mit Kollegen und vor allem Pilotprojekte erreicht werden.
- ▶ Zum länderübergreifenden Austausch sollen die Vertreter der Bundesländer (z. B. initiiert durch die LAWA) eine eigene Arbeitsgruppe „Copernicus in der Wasserwirtschaft“ ins Leben rufen.
- ▶ Die Kommunikationswege sind nicht immer transparent. Es muss organisatorisch gewährleistet sein, dass Nutzerempfehlungen und Wünsche an die richtigen Stellen beim Bund (BMVI, DLR, BfG, BBK, UBA) kommuniziert werden können. Die Ansprechpartner und Zuständigkeiten sind zu klären und zu kommunizieren. Die Kommunikationskanäle sollen wiederum bei Schulungen mitgeteilt werden. Bundeslandinterne Pfade bis zur Aktivierung des CEMS durch das BBK sind innerhalb der Bundesländer zu klären.

- ▶ Von Seiten der Bundesländer wurden verschiedene Datenproduktwünsche kommuniziert. Diese umfassen u. a. Informationen zu Wassertiefen, hochauflösende Landbedeckungsinformationen zur Ermittlung von Oberflächenrauigkeiten, Informationen zum Vegetationsbewuchs entlang von Gewässern oder Informationen zur Stabilität von Deichen. Es wird empfohlen, Demonstrationsprojekte zur pilothaften Umsetzung dieser Produkte zu initiieren. Dies wäre eine einfache Möglichkeit, die Produkte zu testen.
- ▶ Copernicus Produkte werden auf Basis einheitlicher Daten und nach standardisierten Verfahren erzeugt. Diese standardisierten Produkte könnten den Daten- und Informationsaustausch zwischen den Behörden, den Bundesländern, aber auch die Berichterstattung erleichtern. Aus diesem Grund sollten weitere Standardprodukte entwickelt werden (z. B. zu Wassertiefen). Entsprechende Aktivitäten der LAWA zur Ermittlung von Schadenspotentialen sind ein entsprechendes positives Beispiel.

4 Zuordnung von Copernicus-Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

4.1 Vorläufige Risikobewertung

Die vorläufige Risikobewertung dient der Ermittlung von Gewässern mit einem besonderen Hochwasserrisiko. Betrachtet werden Gewässer, deren Einzugsgebiet eine bestimmte Mindestgröße aufweist. Darüber hinaus sind Informationen zu früheren Hochwasserereignissen, welche beträchtliche Schäden verursacht haben, für die Auswahl relevant. Das vom JRC geplante Standardprodukt zu Wassertiefen in Überschwemmungsgebieten könnte die Anforderungen der HWRM-RL diesbezüglich sehr gut unterstützen (siehe Kap. 2.2.1.1). Auswirkungen des Klimawandels und erheblichen Veränderungen am Gewässernetz sind ebenfalls zu berücksichtigen sowie Informationen zu Schadenspotentialen. Die Risikokulisse stellt das Ergebnis der vorläufigen Risikobewertung dar. Copernicus Daten können sowohl für die rückwirkende Analyse früherer Hochwasserereignisse (siehe z. B. Risk & Recovery Aktivierung zum Elbehochwasser 2013), als auch zur Ermittlung von Schadenspotentialen herangezogen werden. Auch Veränderungen am Gewässernetz lassen sich über Untersuchungen von Zeitreihen darstellen.

Die Ausweisung des vorläufigen Risikos wird alle sechs Jahre überprüft und ggf. aktualisiert. Nach Artikel 4, Absatz 2 der HWRM-RL erfolgt die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos auf der Grundlage verfügbarer oder leicht abzuleitender Informationen. Die LAWA empfiehlt eine weitere Harmonisierung der Datengrundlagen mit dem Ziel einheitliche nationale Datensätze zu generieren. Der Einsatz von Copernicus Datenprodukten, welche anhand standardisierter Verarbeitungsmethoden und basierend auf der gleichen Datengrundlage für ganz Europa erstellt werden, könnte hierfür ein geeignetes Werkzeug sein.

Die in den folgenden Abschnitten erläuterten Datenprodukte, vor allem im Zusammenhang mit der Erstellung der Hochwasserrisikokarten, lassen sich auch für die vorläufige Risikobewertung einsetzen. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle keine weitere Beschreibung relevanter Datensätze.

4.2 Hochwassergefahrenkarten

Entsprechend §74, Absatz 2 und 3 WHG erfassen die Gefahrenkarten die Gebiete, die bei Hochwassern mit verschiedenen voraussichtlichen Wiederkehrintervallen überflutet werden. Gefahrenkarten müssen jeweils Angaben zum Ausmaß der Überflutung, zur Wassertiefe oder, soweit erforderlich, zur Fließgeschwindigkeit enthalten. Falls notwendig, sind darüber hinaus auch Informationen zum Wasserabfluss anzugeben. Für ausreichend geschützte Küstengebiete kann die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten auf ein Ereignis mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder das Extremereignis beschränkt werden.

Die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten erfordert den Einsatz hydraulischer Modelle, die als Eingangsdaten Informationen zu Hydrologie des Gewässers, Topographie der Umgebung, Bodenbedeckung und Rauheit sowie zur Fließgewässerhydraulik benötigen. Tabelle 10 fasst die Datenanforderungen zusammen.

Tabelle 10: Erforderliche Daten zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten und dafür möglicherweise geeignete Copernicus Daten

| Thema | Beschreibung | Herkunft | Copernicus Daten |
|----------------------------|--|---|--|
| Hydrologie | Extremwertstatistik, Abflusspende, Ergebnisse aus Niederschlag-Abfluss-Modellen | Durchflussmessstationen (Pegel), Niederschlag | -- |
| Topographie | Fließgewässerquerschnitte, Topographie von Gerinne und Gewässervorland, einschließlich hydraulisch relevanter Bauwerke | Tachymeter, Echolot, Laserscanning | EU DEM, EU HYDRO |
| Bodenbedeckung und Rauheit | Reibungswiderstand der Bodenbedeckung | ATKIS / ALKIS, CORINE, Orthophotos | CLC, Urban Atlas, Riparian Zones, Sentinel-2 / 1 |
| Fließgewässerhydraulik | Berechnung der Überschwemmungsflächen, Strömungsgeschwindigkeiten, Wasserstände und -tiefen (flächendifferenziert) | Hydraulische Modelle (1D / 2D), GIS | Sentinel-2 / 1 |

4.2.1 Hydrologie

Die Durchflüsse entsprechend der ausgewiesenen Überschreitungswahrscheinlichkeiten werden durch Verfahren der Extremwertstatistik und durch Abflusspenden- oder Regionalisierungsansätze bzw. unter Verwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen ermittelt. Für Küstengebiete sind Sturmflutwasserstände durch Auswertung von Pegelzeitreihen und soweit erforderlich mittels hydrodynamischer Modelle zu ermitteln.

Copernicus bietet dafür keine geeigneten Daten an. Die in EFAS eingesetzten hydrologischen Kennzahlen werden durch die teilnehmenden Mitglieder bereitgestellt, liegen also sowieso bereits vor Ort vor. Die im Rahmen des Copernicus Dienstes zur Landüberwachung geplanten hochauflösenden Schnee- und Eis Monitoring Produkte sollen unter anderem ein Nahe-Echtzeit Produkt zum Ausmaß von Schneedecken beinhalten. Dieses könnte wertvolle Informationen zum Schneewasseräquivalent als Eingangsgröße für Niederschlag-Abfluss-Modelle liefern. Ein Nahe-Echtzeit Produkt zu Fluss- und Seeis kann wertvolle Informationen über die Gefahr von Eisstau und damit einhergehenden Überschwemmungen liefern.

4.2.2 Topographie

Die hydraulische Modellierung erfordert exakte Angaben zur Topographie der Gewässer und der Umgebung. Die Gewässertopographie wird gewöhnlich anhand von Querprofilen mittels Tachymeter oder Echolot erhoben. Die Geländetopographie wird meist mittels flugzeuggestütztem Laserscanning ermittelt.

Relevante Bauwerke im und am Gewässer, wie Wehre, Brücken oder Deiche sind ebenfalls terrestrisch zu vermessen. Darüber hinaus sind mobile Hochwasserschutzsysteme sowie Gebäudeumrisse zu berücksichtigen, die nicht immer einzeln berücksichtigt werden.

Die Qualität der hydraulischen Modellierung ist stark von den eingesetzten Daten abhängig. Die durch die Satellitenfernerkundung bereitgestellten Datensätze erreichen die erforderlichen Genauigkeiten nicht. Zwar werden topographische Informationen vom Copernicus Land Monitoring Dienst in Form des EU-DEM Produktes bereitgestellt, der Datensatz, der für ganz Europa verfügbar ist, bietet jedoch lediglich eine geringe räumliche Auflösung (25 m) und vertikale Genauigkeit (2,9 m RMSE). Daher eignet sich der Einsatz des EU-DEM für die hydraulische Modellierung nicht.

Die SAR-Interferometrie³⁴ ermöglicht es, digitale Oberflächenmodelle aus SAR Daten zu erstellen. Durch den Vergleich der Phaseninformation von Bildpunkten zu unterschiedlichen Zeitpunkten lassen sich Entfernungsunterschiede im Zentimeterbereich (abhängig von der Wellenlänge der Strahlung) messen. Sentinel-1 verfügt über einen sogenannten Interferometric Wide Swath Modus, der interferometrische Aufnahmen ermöglicht. Die Daten eignen sich jedoch nur bedingt für die Erstellung von Oberflächenmodellen, denn durch den Aufnahmeabstand von mehreren Tagen (repeat-pass Interferometrie) beeinflussen Veränderungen der Oberflächeneigenschaften (Feuchtigkeit, Wind usw.) das zurückgestreute Radarsignal, was zu verfälschten Messwerten führt (Rauschen). Durch eine längere Zeitreihenanalyse könnten die Werte gemittelt werden. Vor allem über bewachsenen Flächen (Landwirtschaft und Wald) werden die Höhendaten jedoch nach wie vor zu ungenau sein, denn das beim Sentinel-1 eingesetzte C-Band dringt nicht bis zum Boden vor, sondern wird von Vegetation und in Baumkronen bereits reflektiert. Darüber hinaus liegt die geometrische Auflösung im Bereich des ein- bis zweifachen des Auflösungsbereiches von Sentinel-1, also bei 20 m bis 40 m. Die Genauigkeiten der generierten Produkte liegen somit weit unter den bereits eingesetzten Höhenmodellen, welche z. B. durch Laserscanning generiert werden.

4.2.3 Bodenbedeckung und Rauheit

Die Rauheit der Bodenbedeckung hat Einfluss auf die Hydraulik. Rauheitsklassen können aus Landbedeckungsdaten abgeleitet werden und mit entsprechenden Werten aus der Fachliteratur versehen werden. Für die Erstellung der Gefahrenkarten empfiehlt der LAWA-AH z. B. ATKIS, ALKIS oder auch Biotopkartierungen und CORINE Land Cover heranzuziehen.

CORINE Land Cover wird für Deutschland mit einer Kartiereinheit von 10 ha kostenfrei durch das BKG angeboten. Der Datensatz 2018 soll im Sommer 2019 in 5 ha bereitgestellt werden. Für Bundesbehörden steht der Datensatz auch in 1 ha Kartiereinheit zur Verfügung.

Eine zweite CLC Generation³⁵ soll erstmalig im Jahr 2019 erstellt werden. Sie besteht aus vier Einzelprodukten, welche sich miteinander kombinieren lassen.

1. Die CLC-Backbone besteht aus einem großmaßstäbigen Vektordatensatz, der prägende Landschaftselemente beinhaltet und eine limitierte Anzahl von etwa 10 Kernklassen beinhaltet, auf deren Basis weitere Produkte aufbauen. Die CLC-Backbone soll in einem Rhythmus von 3-6 Jahren aktualisiert werden.
2. CLC-Core besteht aus einer konsistenten Geodatenbank mit Informationen zur Landbedeckung, Landnutzung und weiterer Informationen. CLC-Core wird in verschiedenen räumlichen Auflösungen ab 10 m x 10 m erhältlich sein. Die Aktualisierung soll flexibel erfolgen.
3. CLC+ stellt das kombinierte Endprodukt dar bestehend aus CLC-Core und CLC-Backbone. CLC+ beinhaltet im Vergleich zum bestehenden CLC, Landbedeckungs- und

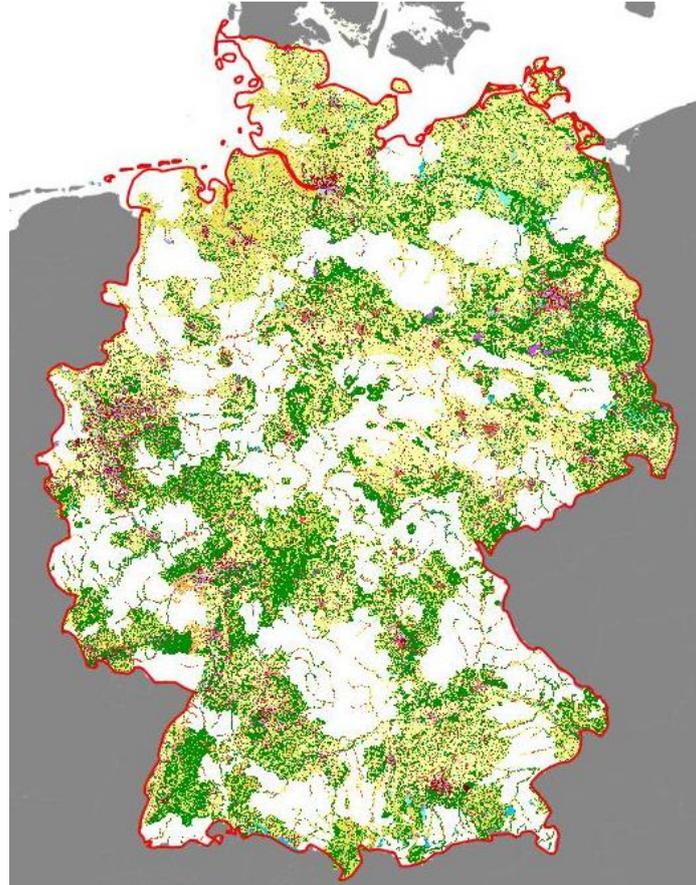
³⁴ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/interferometry>

³⁵ <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/technical-specifications-for-clc-v3/view>

Landnutzungsinformationen mit höherer räumlicher und thematischer Auflösung. Angelehnt an die derzeitigen Aktualisierungszyklen wird CLC+ alle 3-6 Jahre erneuert werden.

Darüber hinaus wird es möglich sein, CLC nach den bisherigen Spezifikationen weiter abzuleiten (CLC-Legacy). Eine Ausschreibung zur erstmaligen Erstellung von CLC-Backbone und CLC-Core befindet sich in Vorbereitung und wird für 2019 erwartet.

Abbildung 8: Flächenhafte Abdeckung von Natura 2000, Riparian Zones und Urban Atlas in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Zudem stellt der Copernicus Dienst zur Landbeobachtung weitere Landbedeckungsdaten in größeren Maßstab zur Verfügung. Als Urban Atlas werden europaweit auf Basis von höher aufgelösten Erdbeobachtungsdaten Landbedeckungsdaten für funktionale Stadtgebiete erfasst. Für das Referenzjahr 2006 umfasste dies 305 Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern. Für 2012 wurden 785 urbane Regionen mit mehr als 50.000 Einwohnern kartiert. Der Datensatz Riparian Zones stellt neben der flächigen Abgrenzung der Auenflächen und der Kartierung von linearen Landschaftsstrukturen (z. B. Hecken) eine Landbedeckungskarte zu allen Auengebieten (bis Flussordnungszahl 3 nach Strahler) innerhalb der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union bereit. Die Nomenklatur der kartierten Landbedeckung folgt der MAES Typologie für Ökosysteme³⁶ und CORINE Land Cover und verfügt über 80 Klassen³⁷. Darüber hinaus wird ein weiterer Landbedeckungsdatensatz für alle Natura 2000 Gebiete bereitgestellt. Er verfügt über 55 Klassen bei einer minimalen Kartiereinheit von 0,5 ha. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt des Natura 2000 Datensatzes im Bereich der Elbe bei Lenzen. Tabelle 11 fasst die Spezifikationen

³⁶ <https://biodiversity.europa.eu/maes/typology-of-ecosystems>

³⁷ https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/RZ_CS3_17_Nomenclature_Guideline_I30.pdf

| | CORINE | Natura 2000 | Riparian Zones | Urban Atlas |
|----------------------------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------|
| Nomenklatur/ thematische Klassen | 44 | 55 | MAES / 80 | 27 |
| Referenzjahre | 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 | 2006, 2012 | 2012 | 2006, 2012 |

Der Copernicus Landbeobachtungsdienstes bietet mehrere gute Datengrundlagen mit Informationen zur Bodenbedeckung. Der Einsatz von CLC erfolgt bereits und wird vom LAWA auch empfohlen. Die Daten sind kostenfrei verfügbar und stehen für ganz Europa zur Verfügung, so dass auch grenzüberschreitende Analysen auf der gleichen Datenbasis erfolgen kann. Mit dem geplanten CLC+ Datensatz werden zukünftig auch recht kurzfristige Datenaktualisierungen verfügbar sein. Copernicus stellt kein Datenprodukt zur Rauigkeit bereit. Ein solcher Datensatz kann jedoch auf Basis von Landbedeckungsdaten durch Integration von Rauigkeitswerten innerhalb eines geographischen Informationssystems erstellt werden.

4.2.4 Fließgewässerhydraulik

Die Fließgewässerhydraulik dient der eigentlichen Berechnung der Überschwemmungsflächen und der Wassertiefen für die definierten Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Die Berechnungen erfolgen mit Modellen. Für die Kalibrierung der hydraulischen Modelle werden gewöhnlich Pegelaufzeichnungen oder Kartierungen früherer Ereignisse verwendet. Historische Überschwemmungsflächen können aus Satellitendaten, soweit zum Zeitpunkt verfügbar, abgeleitet werden. Allerdings ist die räumliche Auflösung der Bilddaten zu berücksichtigen. Klassifikationsfehler können außerdem zur fehlerhaften Darstellung von Überschwemmungsflächen führen. Durch eine terrestrische Vermessung oder Ableitung aus Luftbildaufnahmen können höhere Genauigkeiten erreicht werden. Dennoch ist hervorzuheben, dass durch langjährige Verfügbarkeit von Satellitenaufnahmen unterschiedlicher Systeme umfangreiche Archive vorhanden sind, so dass auch weiter zurückliegende Ereignisse ggf. rückwirkend kartiert werden könnten. Frei verfügbare Daten der amerikanischen Landsat Satelliten reichen (wenn auch mit räumlichen Auflösungen von 30 m bis 70 m) bis in die 1970er Jahre zurück. Da es bislang kein Archiv zu historischen Überschwemmungskarten gibt, müssten die Satellitenbilddaten selbst ausgewertet werden.

4.3 Hochwasserrisikokarten

Hochwasserrisikokarten erfassen mögliche nachteilige Folgen der Hochwasserereignisse auf die Schutzgüter.

In den Karten sind folgende Inhalte zu berücksichtigen:

1. Angaben zur Anzahl der potentiell betroffenen Einwohner;
2. Die Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten in den potentiell betroffenen Gebieten;
3. Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die im Falle der Überflutung unbeabsichtigte Umweltverschmutzungen verursachen könnten;
4. Potentiell betroffene Schutzgebiete gemäß Anhang IV, Nummer 1, Ziffern i, iii und v der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG);
5. Weitere Informationen, die der Mitgliedstaat als nützlich betrachtet, z. B. die Angabe von Gebieten, in denen Hochwasser mit einem hohen Gehalt an mitgeführten Sedimenten sowie

Schutt mitführende Hochwasser auftreten können, und Informationen über andere bedeutende Verschmutzungsquellen.

Die HWRM-RL hat auch den Schutz des Kulturerbes zum Ziel. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, diese in die Risikokarten aufzunehmen. Tabelle 12 stellt möglicherweise geeignete Copernicus-Daten zusammen.

Tabelle 12: Thematische Inhalte der Hochwasserrisikokarten und dafür möglicherweise geeignete Copernicus Daten

| Thema | Beschreibung | Herkunft | Copernicus |
|--|--|--|--|
| Einwohner | Anzahl der potentiell betroffenen Einwohner | Amtliche Zensusdaten des Statistischen Bundesamtes | Urban Atlas, BEAM |
| Wirtschaftliche Tätigkeiten | Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten in den potentiell betroffenen Gebieten | Basis-DLM, ATKIS | Urban Atlas, CORINE, Riparian Zones, Natura 2000, BEAM |
| Anlagen, die im Falle der Überflutung unbeabsichtigte Umweltverschmutzungen verursachen könnten | Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 | IED Anlagenverzeichnis | u.U. abgeleitet aus Copernicus Contributing Missions (VHR), u.U. Sentinel-2 Bilddaten |
| Schutzgebiete | Potentiell betroffene Schutzgebiete gemäß Anhang IV, Nummer 1, Ziffern i, iii und v der Richtlinie 2000/60/EG | Natura 2000, WRRL | Natura 2000 |
| Weitere Informationen, z. B. zu Gebieten mit hohem Sedimentgehalt, Schutt oder andere bedeutende Verschmutzungsquellen | Weitere nützliche Informationen, z. B. zu Gebieten, in denen Hochwasser mit einem hohen Gehalt an mitgeführten Sedimenten sowie Schutt mitführende Hochwasser auftreten können und Informationen über andere bedeutende Verschmutzungsquellen. | | u.U. durch Ableitung aus Sentinel-2 Bilddaten |
| Informationen zum Kulturerbe | Informationen zum Kulturerbe | UNESCO Liste Weltkulturerbe | u.U. abgeleitet aus Copernicus Contributing Missions (VHR), u.U. abgeleitet aus Sentinel-2 Bilddaten |

4.3.1 Anzahl der potentiell betroffenen Einwohner

Die LAWA empfiehlt, die Einwohnerzahlen der Gemeinden auf die aus ATKIS-Basis-DLM (oder ALK / ALKIS) abgeleiteten Flächen für Wohnbau und Flächen gemischter Nutzung zu

übertragen. Der von Überschwemmungsflächen überdeckte Anteil entspricht dann dem betroffenen Anteil der Gesamteinwohnerzahl der Gemeinde. Darüber hinaus wird empfohlen zu prüfen, ob im Rahmen des 3. Berichtszyklus ein bundesweit einheitlicher Datensatz (z. B. amtliche Zensusdaten des Statistischen Bundesamtes) verwendet werden kann.

Copernicus stellt Zahlen zur Bevölkerungsverteilung in Städten als Attribut des Urban Atlas bereit. Die Modellierung der Bevölkerungszahlen, die aus der Bevölkerungsstatistik der jeweiligen Länder bezogen werden, erfolgt über ein sogenanntes *Areal Interpolation* Verfahren. Bei diesen Verfahren werden die Bevölkerungszahlen mittels verschiedener Interpolationsprozesse von ihrer ursprünglichen Erhebungseinheit (z. B. Verwaltungseinheit) auf eine andere geographische Einheit (in diesem Fall die Siedlungsfläche des Urban Atlas) übertragen. *Areal Interpolation* ist ein sogenanntes *Downscaling* Verfahren. Diese sind weit verbreitet, um statistische Daten räumlich zu disaggregieren. *Areal Interpolation* ist ein Modellansatz und die erzielten Genauigkeiten hängen sowohl von den eingesetzten Eingangsdaten als auch den statistischen Methoden ab. Der BEAM Datensatz stellt die Bevölkerungsdichte ebenfalls bereit.

Das Joint Research Center hat im Rahmen der Erstellung des Global Human Settlement Layers durch räumliche Disaggregation verschiedene globale Bevölkerungsraster in einer räumlichen Auflösung von 250 m erstellt (1975, 1990, 2000, 2015). Im Rahmen des ENACT-Projektes³⁸ wurde die Bevölkerungsdichte der Tages- und Nachtbevölkerung in einem 1 km² Raster für die EU-28 ermittelt. Die Bevölkerungsdaten entstammen den jeweiligen nationalen Bevölkerungsstatistiken. Eurostat fördert im Rahmen der GEOSTAT Initiative zahlreiche Projekte zur Erstellung von Bevölkerungsrastern³⁹ mit dem Ziel, eine einheitliche Herangehensweise innerhalb Europas zu entwickeln.

Das Statistische Bundesamt stellt den Zensus 2011 bundesweit ebenfalls als geographische Daten bereit. Der Zensusatlas beinhaltet die amtliche Statistik zu Bevölkerung, Gebäuden und Wohnungen. Diese werden in einem Raster von 1 km² dargestellt. Die erhobenen Daten des Zensus 2011 sind Anschriften zugeordnet, welche sich wiederum über ihre Geokoordinate einer Gitterzelle zuordnen lassen. Die Berücksichtigung zusätzlicher Parameter, wie zum Beispiel der Landbedeckung, findet nicht statt.

4.3.2 Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten

Informationen zur wirtschaftlichen Tätigkeit können aus Landbedeckungsdaten abgeleitet werden. Die LAWA empfiehlt mindestens folgende sechs Klassen darzustellen:

- ▶ Wohnbauflächen; Flächen gemischter Nutzung
- ▶ Industrie- und Gewerbeflächen; Flächen mit funktionaler Prägung
- ▶ Verkehrsflächen
- ▶ Landwirtschaftlich genutzte Flächen; Wald
- ▶ Sonstige Vegetations- und Freiflächen
- ▶ Gewässer

³⁸ <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/enact.php>

³⁹ <https://www.efgs.info/>

Bisher werden vor allem ATKIS, Biotopkartierungen und CORINE als Grundlage herangezogen. Der LAWA-AH empfiehlt den Einsatz eines bundesweit einheitlichen Datensatzes (z. B. Digitales Basis-Landschaftsmodell – Basis-DLM) zu prüfen. Das Basis-DLM orientiert sich inhaltlich an den topographischen Karten 1:25.000 und den ATKIS-Objektarten. Die Aktualisierung erfolgt vierteljährlich.

Wie im Abschnitt zur Bodenbedeckung und Rauheit erläutert, können entsprechende hochauflösende Landbedeckungsdaten auch aus Copernicus bezogen werden. CORINE Land Cover, Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000 und der zukünftige Küstenzonendatensatz enthalten die sechs genannten Landbedeckungsklassen. Auch der BEAM Datensatz, welcher CLC und Urban Atlas Daten kombiniert, enthält Informationen zu den wirtschaftlichen Tätigkeiten.

Aufgrund des zeit-, kosten und personalintensiven Aufwandes für die Führung und Aktualisierung von ALKIS und ATKIS realisiert das Land Nordrhein-Westfalen ein entsprechendes Fernerkundungsverfahren. Neben der Erstableitung der Landbedeckung sollen Veränderungshinweise der tatsächlichen Nutzung in ATKIS und ALKIS sowie Veränderungsinformationen zur Landbedeckung ermittelt werden⁴⁰.

Eine nähere Untersuchung zur Ermittlung von Vermögenswerten und Schadenspotentialanalyse erfolgt in Kapitel 5.

4.3.3 Industrieanlagen

Die Risikokarten enthalten Punktdaten besonders umweltrelevanter Industrieanlagen innerhalb der potentiellen Überschwemmungsflächen (IED-Anlagen, Richtlinie 2010/75/EU). Die LAWA empfiehlt, zur Harmonisierung den Einsatz eines nationalen IED-Katasters zu prüfen. Ein ähnliches Kataster existiert bereits auf Grundlage der E-PRTR Verordnung⁴¹.

Abbildung 10: Gunvor Raffinerie in Ingolstadt dargestellt im Copernicus VHR-2 Mosaik 2012 (2,5 m, links) und in Sentinel-2 (10 m, rechts)



Quelle: Copernicus Sentinel Daten (2019)

⁴⁰ Sandmann, S. (2018): Copernicus für Landbedeckung, ALKIS und ATKIS in NRW. Das Zentrale Fernerkundungsverfahren. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2018.

⁴¹ <https://www.thru.de/karte/>

Die IED-Anlagen werden bislang nur als Punktinformationen in die Karten aufgenommen. Für großmaßstäbige Darstellungen könnten detaillierte Standortkarten auf Basis sehr hoch aufgelöster Satellitenbilddaten der Copernicus Contributing Missions erstellt werden. Abbildung 10 zeigt einen Bildausschnitt der Gunvor Raffinerie Ingolstadt im optischen VHR-2 Bildmosaiks 2012, mit 2,5 m Auflösung (links) und im Vergleich die Darstellung in Sentinel-2 vom 23.03.2019 (rechts). Beide Darstellungen im Maßstab 1:15.000 machen deutlich, dass eine Kartierung mit einer minimalen Kartiereinheit von ca. 20 m selbst mit Sentinel-2 Daten möglich ist (Hengl 2006). Dies erfordert aber die Verarbeitung der Satellitenrohdaten. Eine Erstellung durch den Copernicus EMS ist ebenfalls denkbar. Eine Copernicus EMS RRM Aktivierung (EMSN019⁴²) erfolgte 2016 durch das BBK mit dem Ziel, detaillierte Karten ausgewählter Standorte der Chemieindustrie zu erstellen. Aufgrund der Sensitivität sind die Ergebnisse nicht öffentlich zugänglich.

4.3.4 Schutzgebiete

Die in der Wasserrahmenrichtlinie aufgeführten Schutzgebiete (2000/60/EG, Anhang IV, Nummer 1, Ziffern i, iii und v) enthalten Gebiete zur Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Erholungs- und Badegewässer sowie Vogelschutz- und FFH-Gebiete (Natura 2000). Wie im Abschnitt zur Bodenbedeckung und Rauheit dargestellt, bietet Copernicus bereits Landbedeckungsdaten zu ausgewählten Natura 2000 Gebieten. Die Datenerhebung erfolgt auf Basis sehr hochauflösender Bilddaten. Eine Erweiterung der Gebietsauswahl und Kartierung der oben erwähnten Schutzgebiete wäre technisch möglich.

4.3.5 Weitere Informationen

Gemäß Artikel 6, Absatz 5d HWRM-RL können die Hochwasserrisikokarten, falls erforderlich und sinnvoll, auch Gebiete, die potentiell von Feststofftransport und -ablagerung betroffen sind, und Informationen über andere bedeutende Verschmutzungsquellen enthalten. Im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie erfolgt die Überwachung der Gewässer, bei der u.a. großräumige Trends in der Gewässerqualität ermittelt werden sollen. Die Gewässerfernerkundung erlaubt bereits heute, Trübung und Schwebstoffe zu quantifizieren. Starke Trübung erhöht beispielsweise die Reflektion der Strahlung. Durch eine Zeitreihenanalyse lassen sich langfristige Trends und Jahr-zu-Jahr Variationen ermitteln. Zu berücksichtigen sind jedoch Einflüsse von Sedimenttyp, deren Textur und Farbe, aber auch Wassertiefe und Sonnenstand. Die Sentinel-3 Satelliten verfügen über das Ocean and Land Colour Instrument (OLCI), welche die Erfassung von Sedimenten und Trübung erlauben. Aufgrund der geringen räumlichen Auflösung von 300 m ist ein Einsatz von Sentinel-3 Daten im Binnenbereich jedoch nur für große Gewässer und vor allem Seen sinnvoll.

4.3.6 Kulturgüter mit besonderer Bedeutung

Die Erfassung von Kulturgütern mit besonderer Bedeutung innerhalb der Risikokarten wird von der HWRM-RL nicht gefordert. In den Hochwasserrisikomanagementplänen sind jedoch Ziele und Maßnahmen zur Verringerung der nachteiligen Hochwasserfolgen für das Kulturerbe festzulegen. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, die Standorte der Kulturgüter in die Risikokarten aufzunehmen. Wie im Abschnitt zu IED-Anlagen erläutert, können je nach Kartenmaßstab die relevanten Kulturgüter detailliert dargestellt werden. Dies erfordert jedoch eine aufwändige Bearbeitung und Auswertung der Satellitenbilddaten. Die Luftbildarchäologie ist eine etablierte Methode zur Erfassung archäologischer Überreste. Das Deutsche Archäologische Institut nutzt bereits heute die Satellitenfernerkundung zum Beispiel zur

⁴² <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN019>

Dokumentation von Zerstörungen an Kulturdenkmälern (Ess, van., 2015). Darüber hinaus wurde im Rahmen des Copernicus User Forums bereits 2017 der Nutzen von Copernicus für das Management und die Erhaltung von Kulturgütern dargestellt⁴³. Die Europäische Kommission hat einen Dialog zwischen den verschiedenen Akteuren vorgeschlagen, um die speziellen Anforderungen an ein mögliches neues Datenprodukt zu erarbeiten. Hierzu wurde eine sogenannte „Task Force“ unter Federführung von Italien eingerichtet. Bis Juni 2019 soll hierzu ein Anforderungsdokument erarbeitet werden.

4.3.7 Gefährdete Einzelobjekte

Je nach örtlicher Gegebenheit können Hochwasserrisikokarten auch gefährdete Einzelobjekte beinhalten, wie zum Beispiel Krankenhäuser, Schulen und andere kritische Infrastruktur. Wie bereits erwähnt, lassen sich auf Basis von Sentinel-2 Daten und noch höher aufgelösten Bilddaten der Contributing Missions großmaßstäbige Kartendarstellungen solcher Objekte herstellen.

Weitere ergänzende Inhalte umfassen die Hochwasserabwehrinfrastruktur, wie zum Beispiel Deiche und Hochwasserschutzwände. Polder, Rückhaltebecken sowie Notfallsysteme z. B. Sandsackersatzsysteme sind jedoch nicht beinhaltet. Wie die Fallstudie Lenzen zeigt, lassen sich großräumige Maßnahmen wie Deiche im Satellitenbild lokalisieren. Darüber hinaus existieren Ansätze, die Stabilität von Deichen mit Hilfe der SAR-Interferometrie zu überwachen (siehe Kap. 3.1).

4.4 Hochwasserrisikomanagementpläne

Die Hochwasserrisikomanagementpläne werden auf der Grundlage der vorläufigen Risikobewertung, der Gefahren- und Risikokarten erarbeitet. Die Pläne definieren Ziele und Maßnahmen, mit denen die Hochwasserrisiken, d. h. die hochwasserbedingten nachteiligen Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten und erhebliche Sachwerte verringert werden sollen.

Zum Zwecke der Berichterstattung hat die EU Standardlisten mit verschiedenen Maßnahmenarten bereitgestellt, die in fünf Gruppen unterteilt sind.

- ▶ Vermeidung hochwasserbedingter nachteiliger Folgen, z. B. aufgrund von Baumaßnahmen in gefährdeten Gebieten;
- ▶ Schutz durch Umsetzung baulicher und nicht-baulicher Maßnahmen, um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Hochwasser an einem bestimmten Ort zu reduzieren;
- ▶ Vorsorge durch Aufklärung der Bevölkerung über Hochwasserrisiken und über das richtige Verhalten bei Hochwasser; Maßnahmen zur Einrichtung bzw. Verbesserung von Hochwasservorhersage- oder -warndiensten, Entwicklung von Notfallschutzplänen;
- ▶ Regeneration und Überprüfung nach einem Hochwasser;
- ▶ Sonstige Maßnahmen;

Die Empfehlungen der LAWA zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen enthalten einen Katalog mit EU-Maßnahmenarten und deren Zuordnung zu den bisherigen LAWA-Handlungsbereichen und den LAWA-Handlungsfeldern. Angelehnt an die dortigen

⁴³ <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-cultural-heritage-satellites-preserve-legacy-our-past>

Ausführungen fassen die folgenden Tabellen die Handlungsfelder und Maßnahmen zusammen. Darüber hinaus stellen sie einen Bezug zu geeigneten Copernicus Daten und Datenprodukten her, die vor allem für die Bestandserhebung herangezogen werden könnten. Die in Kap. 6 dargestellten Fallstudien sind ebenfalls Beispiele für Maßnahmenkontrollen, die im Rahmen von Hochwasserrisikomanagementplänen durchgeführt werden könnten. Ein Bezug zu den Fallstudien erfolgt an entsprechender Stelle in den folgenden Tabellen.

Tabelle 13: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements - Angepasste Flächennutzungen

| Maßnahmenart | Vermeidung |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Flächenvorsorge |
| LAWA Handlungsfeld | Angepasste Flächennutzungen |
| Bezeichnung | Maßnahmen zur angepassten Flächennutzung |
| Bestandserhebung | Überprüfung, ob die vorhandenen Nutzungen an den Gewässerabschnitten mit signifikantem Hochwasserrisiko hochwasserangepasst sind |
| Copernicus | Kontrolle durch Verwendung von aktuellen Landbedeckungskarten, Vergleich von Landbedeckungskarten verschiedener Zeitpunkte (Copernicus Dienst zur Landbeobachtung) |

Tabelle 14: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Natürlicher Wasserrückhalt im Einzugsgebiet

| Maßnahmenart | Schutz |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Natürlicher Wasserrückhalt |
| LAWA Handlungsfeld | Natürlicher Wasserrückhalt im Einzugsgebiet |
| Bezeichnung | Hochwassermindernde Flächenbewirtschaftung |
| Bestandserhebung | Bestandserhebung der landwirtschaftlichen Flächen mit hohem Gefälle (Erosion) oder Flächen mit forstwirtschaftlichen Monokulturen, Auenstruktur |
| Copernicus | Bestandserhebung der Landbedeckung z. B. unter Zuhilfenahme des Riparian Zones Produktes, Erfassung der land- und forstwirtschaftlichen Flächen durch Sentinel-Bilddaten |

Tabelle 15: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Natürlicher Wasserrückhalt in der Gewässeraue

| Maßnahmenart | Schutz |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Natürlicher Wasserrückhalt |
| LAWA Handlungsfeld | Natürlicher Wasserrückhalt in der Gewässeraue |
| Bezeichnung | Gewässerentwicklung und Auenrenaturierung, Aktivierung ehemaliger Feuchtgebiete |
| Bestandserhebung | Überprüfung, in wie weit Gewässer renaturiert werden können Überprüfung, in wie weit Altarme oder Seitengewässer wieder angeschlossen werden können |

| Maßnahmenart | Schutz |
|--------------|--|
| Copernicus | Bestandserhebung der Landbedeckung und Landbedeckungsveränderung z. B. unter Zuhilfenahme des Riparian Zones Produktes |

Tabelle 16: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Minderung der Flächenversiegelung

| Maßnahmenart | Schutz |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Natürlicher Wasserrückhalt |
| LAWA Handlungsfeld | Minderung der Flächenversiegelung |
| Bezeichnung | -- |
| Bestandserhebung | Bestandserhebung der Flächenversiegelung |
| Copernicus | Analyse der Flächenversiegelung und der Veränderung über die Zeit anhand des HRL Imperviousness, Urban Atlas oder Global Human Settlement Layers. Siehe dazu die entsprechende Fallstudie in Kap. 6. |

Tabelle 17: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten

| Maßnahmenart | Schutz |
|-----------------------|---|
| LAWA Handlungsbereich | Natürlicher Wasserrückhalt |
| LAWA Handlungsfeld | Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten |
| Bezeichnung | Wiedergewinnung von natürlichen Rückhalteflächen |
| Bestandserhebung | Überprüfung, in wie weit ehemalige Überschwemmungsgebiete wieder gewonnen werden können |
| Copernicus | Beobachtung und Kontrolle von Baumaßnahmen anhand von Sentinel Bilddaten, Untersuchungen von Landbedeckung und Veränderungen durch Datenprodukte des Copernicus Dienstes zur Landbedeckung, Siehe dazu auch die entsprechende Fallstudie zur Deichrückverlegung Lenzen in Kap. 6. |

Tabelle 18: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Hochwasserinformation und Vorhersage

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Informationsvorsorge |
| LAWA Handlungsfeld | Hochwasserinformation und Vorhersage |
| Bezeichnung | Einrichtung bzw. Verbesserung des Hochwassermeldedienstes und der Sturmflutvorhersage |
| Bestandserhebung | Überprüfung in wie weit für alle Risikobereiche Hochwasservorhersagen bzw. Hochwasserfrühwarnungen erstellt werden Überprüfung, in wie weit für alle Risikobereiche Hochwassermeldeordnungen vorliegen bzw. sinnvoll sind |
| Copernicus | Überprüfung ob EFAS die vorhandenen Vorhersagesysteme ergänzen kann |

Tabelle 19: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Alarm- und Einsatzplanung

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|-----------------------|---|
| LAWA Handlungsbereich | Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz |
| LAWA Handlungsfeld | Alarm- und Einsatzplanung |
| Bezeichnung | Planung und Optimierung des Krisen- und Ressourcenmanagements |
| Bestandserhebung | Überprüfung - in wieweit die vorhandenen Alarm- und Einsatzpläne auf der Grundlage der Gefahren- und Risikokarten aktualisiert werden müssen, - in wieweit schon Hochwasserübungen durchgeführt werden und geplant sind, - in wieweit die Rettungskräfte der kommunalen Gebietskörperschaften, des Katastrophenschutzes und der Hilfsdienste für den speziellen Einsatz im Hochwasserfall ausgebildet sind, - der bestehenden zivil-militärische Zusammenarbeit |
| Copernicus | Copernicus EMS Karten können die Analyse früherer Ereignisse und daraus evtl. erforderliche Anpassungen der Einsatzpläne unterstützen. Siehe dazu auch das Fallbeispiel Elbehochwasser 2013 in Kap. 6. |

Tabelle 20: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Aufklärung, Vorbereitung auf den Hochwasserfall

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|-----------------------|--|
| LAWA Handlungsbereich | Verhaltensvorsorge |
| LAWA Handlungsfeld | Aufklärung, Vorbereitung auf den Hochwasserfall |
| Bezeichnung | Planung und Optimierung des Krisen- und Ressourcenmanagements |
| Bestandserhebung | Überprüfung, in wieweit die Betroffenen in den Risikogebieten aktiv über die Hochwasserrisiken und über richtiges Verhalten bei Hochwasser informiert sind. |
| Copernicus | Copernicus EMS Karten früherer Ereignisse können helfen, die Bevölkerung über Risiken aufzuklären und mögliche Schäden darzustellen. Siehe dazu auch das Fallbeispiel Elbehochwasser 2013 in Kap. 6. |

Tabelle 21: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements – Aufbauhilfe und Wiederaufbau

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|-----------------------|---|
| LAWA Handlungsbereich | Regeneration |
| LAWA Handlungsfeld | Aufbauhilfe und Wiederaufbau, Nachsorgeplanung und Beseitigung von Umweltschäden |
| Bezeichnung | Schadensnachsorge |
| Bestandserhebung | Auswertung der Erfahrungen bei vergangenen Hochwasserereignissen, Erfassung von Umweltschäden |

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|--------------|--|
| Copernicus | Copernicus EMS Karten früherer Ereignisse können die Analyse vorheriger Ereignisse unterstützen. Anhand von Satellitenbilddaten lassen sich Umweltschäden dokumentieren. Siehe dazu auch das Fallbeispiel Elbehochwasser 2013 in Kap. 6. |

Tabelle 22: Mögliche Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements - Sonstiges

| Maßnahmenart | Vorsorge |
|-----------------------|---|
| LAWA Handlungsbereich | Hochwasserbewältigung / Regeneration |
| LAWA Handlungsfeld | Sonstige Maßnahmen aus dem Bereich Wiederherstellung, Regeneration und Überprüfung |
| Bezeichnung | Sonstige Maßnahmen aus dem Bereich Wiederherstellung, Regeneration und Überprüfung |
| Bestandserhebung | Hochwassereinsatz und Regeneration dokumentieren und auswerten |
| Copernicus | Copernicus EMS Karten früherer Ereignisse können für die Dokumentation herangezogen werden. Siehe dazu auch das Fallbeispiel Elbehochwasser 2013 in Kap. 6. |

4.5 Datenlücken

Im Rahmen der Untersuchungen wurden mehrere Datenbedarfe identifiziert. Tabelle 23 fasst diese zusammen. Von der Bodenfeuchte abgesehen, die sich aufgrund der Radar-Eigenschaften nur oberflächennah ermitteln lässt, können die übrigen Bedarfe mit Hilfe von Fernerkundungsverfahren ermittelt werden. Zur Ermittlung der Wassertiefen sind zusätzlich hochaufgelöste Geländemodelle erforderlich.

Welche der aufgeführten Produkte zukünftig im Rahmen eines Copernicus Dienstes erstellt werden könnten, ist zu prüfen. Als nutzergetriebenes System ist es möglich, entsprechende Wünsche an die Dienste an die Europäische Kommission zu stellen. Die Entscheidungsfindung über die Erweiterung des Dienste-Portfolios ist jedoch zeitintensiv. Aus diesem Grund ist die Umsetzung im Rahmen von Pilotprojekten, z. B. in Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern, sicher der schnellere, aber kostenpflichtige Weg.

Tabelle 23: Identifizierte Datenlücken

| Thema | Beschreibung |
|--|---|
| Wassertiefen | Nach Aussage des JRC soll ein entsprechendes Produkt zukünftig standardmäßig für Hochwasserereignisse durch den CEMS angeboten werden. |
| Gewässergüte nach Überschwemmungen von Industrieanlagen und technischen Unfällen | Wird von keinem der Copernicus Dienste angeboten. Jedoch existieren zahlreiche Beispielprojekte auch in Deutschland. Kann als Service von Dienstleistern bereits erworben werden. |

| Thema | Beschreibung |
|--|--|
| Vegetation entlang von Gewässern | Der CLMS Layer Riparian Zones stellt die Landbedeckung innerhalb der Flussaue dar. Aufgrund der minimalen Kartiereinheit von 0,5 ha werden aber nur große Strukturen erfasst. Großmaßstäbige Informationen zur Vegetationsbedeckung existieren nicht. Im mDRONES4river Projekt untersucht die BfG das Potential von Drohnen zur Unterstützung vegetationskundlicher und hydromorphologischer Aufgaben an Bundeswasserstraßen. Durch Klassifikationsverfahren lassen sich entsprechende Informationen aus Satellitenbilddaten ableiten. Je nach Maßstab kommen dafür sehr hoch auflösende Satelliten eher in Betracht als Sentinel. |
| Stabilität von Deichen | Der Nutzen der Fernerkundung wurde in verschiedenen Projekten untersucht, z. B. im Hinblick auf die Durchfeuchtung oder Hebung und Senkung. Erfordert Umsetzung innerhalb eines Projektes bzw. mittels Downstream-Dienst. |
| Kontrolle von Maßnahmen z. B. im Naturschutz | Es ist zu prüfen, ob diese Information im Rahmen einer Aktivierung des Copernicus EMS RRM erstellt werden kann. Ansonsten nur durch Auswertung von Satellitenbildern. |
| Bodenfeuchte | Wird bereits vom CLMS auf globaler Ebene erfasst. Bisher allerdings in geringer räumlicher Auflösung (1 km ²). Außerdem können nur Bodenfeuchtwerte im oberen cm-Bereich ermittelt werden. Systembedingt können Radarstrahlen nicht tiefer in den Boden eindringen. |
| Schneebedeckung | Soll zukünftig als Nahe-Echtzeit-Produkt im Rahmen des CLMS als hochaufgelöstes Produkt erstellt werden. Wird bereits heute täglich vom globalen CLMS in einer Auflösung von 500 m bereitgestellt. |
| Eisbedeckung auf Seen | Soll zukünftig als Nahe-Echtzeit-Produkt im Rahmen des CLMS als hochaufgelöstes Produkt erstellt werden. Ein Seeeis-Produkt wird bereits heute täglich vom globalen CLMS in einer Auflösung von 250 m bereitgestellt. |
| Sturmfluten / tidebeeinflusster Bereich | Kartenerstellung nach einer Sturmflut kann im Rahmen des Copernicus EMS angefordert werden. Landbedeckungsinformationen zum tidebeeinflussten Bereich werden zukünftig voraussichtlich vom pan-Europäischen CLMS als Coastal Zones Dienst erstellt. |

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Zuordnung von Copernicus-Daten und Diensten zu den einzelnen Umsetzungsschritten der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und Schlussfolgerungen

Copernicus stellt heute bereits für viele Teilaspekte der HWRM-RL geeignete Datenprodukte bereit. Teilweise sind jedoch weitere Verarbeitungs- bzw. Veredelungsschritte notwendig, um die erforderliche Information zu generieren (z. B. Schadenspotentiale). Neben den Datenprodukten bieten die Sentinel-Satellitendaten eine hervorragende Grundlage, um verschiedene Parameter daraus abzuleiten. Dies erfordert jedoch Kenntnisse zur Verarbeitung dieser Daten. Falls diese nicht innerhalb der Behörden vorhanden sind, bieten zahlreiche spezialisierte Unternehmen entsprechende Dienste in Deutschland an.

Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Kartenprodukte des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes über frühere Hochwasserereignisse können die vorläufige Risikobewertung sowie die

Maßnahmenplanung in den Hochwasserrisikomanagementplänen unterstützen (z. B. Einsatzplanung, Aufklärung, Nachsorge und Regeneration).

- ▶ Landbedeckungskarten des Copernicus Dienstes zur Landüberwachung, wie CORINE Land Cover (CLC) aber auch der thematischen Kartierungen (Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000) lassen sich für die vorläufige Risikobewertung (Veränderung des Gewässernetzes und Schadenspotentiale) verwenden. Im Zuge der Erstellung der Gefahrenkarten können sie als Grundlage für die Erstellung von Rauigkeitskarten dienen. Für Risikokarten lassen sich die Karteninhalte zu potentiell betroffenen Einwohnerzahlen, zu wirtschaftlichen Sachwerten und zu Schutzgebieten ableiten.
- ▶ Der vorhandene BEAM Datensatz, der im Rahmen einer Copernicus Risk & Recovery Aktivierung für Deutschland erstellt wurde, bietet wertvolle Informationen zu Vermögenswerten in Privathaushalten, Wirtschaft, Landwirtschaft und Infrastruktur sowie Einwohnerzahlen. Er ist grundsätzlich für Schadenspotentialanalysen im Rahmen der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und für Risikokarten geeignet. Anforderungen an die räumliche Auflösung für die Maßnahmenbewertung im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen sind genauer zu prüfen.
- ▶ Nahe-Echtzeitprodukte des zukünftigen Schnee- und Eisdienstes können Eingangsparameter für Niederschlags-Abflussmodelle bereitstellen, die im Vorfeld der Gefahrenkartenerstellung angewandt werden.
- ▶ Die Sentinel-1 und Sentinel-2 Satelliten-Bilder bilden aufgrund ihrer räumlichen, zeitlichen und spektralen Auflösungen eine sehr gute Datengrundlage u. a. zur Erstellung einer aktuellen Gewässerkulisse, zur Dokumentation früherer Ereignisse und großmaßstäbiger Karten (z. B. von Industrieanlagen gemäß EU-Richtlinie 2010/75/EU und Kulturgütern) für die vorläufige Hochwasserrisikobewertung.
- ▶ Die Bilddaten sind auch anwendbar für Maßnahmen, die der Vermeidung, dem Schutz und der Vorsorge von Hochwasserereignissen dienen. Darüber hinaus sind Datenprodukte zur Landbedeckung und Bodenversiegelung aber auch Karten des Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes für die Bestandsaufnahme, Dokumentation und Kontrolle von Maßnahmen aus Hochwasserrisikomanagementplänen geeignet.
- ▶ Aufgrund von gleichen Datengrundlagen und standardisierten Verarbeitungsmethoden sind Copernicus Daten und Produkte für das nationale und internationale Flussgebietsmanagement bei grenzüberschreitenden Untersuchungen besonders gut geeignet.

Es wurden Datenwünsche identifiziert und von Nutzern kommuniziert.

- ▶ Datenwünsche umfassen z. B. Wassertiefen bei der Kartierung abgelaufener Hochwasser, Vegetation entlang von Gewässern, Gewässergüte nach Überschwemmungen von Industrieanlagen, Stabilität von Deichen, Eisgang auf Binnengewässern und andere mehr.

- ▶ Ein Teil der kommunizierten Datenlücken wird zukünftig in Form von neuen Copernicus Datenprodukten erhältlich sein (z. B. Eisgang, Wassertiefen). Auflösung und Genauigkeiten sind dann zu untersuchen.
- ▶ Für die Erstellung der Hochwasserrisikokarten werden Informationen zu Schutzgebieten benötigt. Der vorhandene Natura 2000 Datensatz enthält keine Informationen zu den in der Wasserrahmenrichtlinie aufgeführten Gebiete zur Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch oder Erholungs- und Badegewässer.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Weiterer Entwicklungsbedarf in Bezug auf Daten ist von den Fachexperten der Bundesländer und Bundesbehörden zu identifizieren und zu kommunizieren. Die neu einzurichtende Arbeitsgruppe „Copernicus in der Wasserwirtschaft“ könnte hierfür eine geeignete Plattform sein.
- ▶ Da das Verfahren zur Aufnahme und Umsetzung neuer Datenprodukte im Rahmen der Copernicus Dienste zeitlich langwierig ist, empfiehlt sich, die gewünschten Daten im Rahmen von Pilotprojekten entweder selbst zu erzeugen oder deren Umsetzung durch kostenpflichtige Downstream-Dienste zu evaluieren.
- ▶ In jedem Fall wäre auch zu prüfen, ob sich ein gewünschtes Datenprodukt im Rahmen einer Copernicus EMS Risk & Recovery Aktivierung erstellen ließe. Diese Prüfung muss in Zusammenarbeit mit dem BBK erfolgen, da dies den EMS aktivieren muss.
- ▶ Zuvor sollte jedoch geprüft werden, ob ähnliche Fragestellungen bereits von Kollegen in Deutschland oder auch in anderen EU-Staaten bearbeitet wurden. Die oben vorgeschlagene Plattform zum Wissensmanagement kann hierfür ein geeignetes Werkzeug sein.

Tabelle 24: Copernicus Portfolio für die vorläufige Risikobewertung

| Bedarfe | Copernicus | Beschreibung | Bewertung |
|---|---|--|--|
| Veränderungen des Gewässernetzes / Gewässerkulisse | EU HYDRO | Darstellung des Flussnetzes (Wasserkörper) und modelliertes Abflussnetz (aus EU-DEM abgeleitet). | Bisher nur als nicht-validierte Beta-Version verfügbar; Datensatz basiert auf EU-DEM (=> Auflösung); keine Information über Update-Zyklen; bisher keine Zeitreihen erhältlich; |
| | Riparian Zones | Landbedeckung innerhalb der Flussaue bis Flussordnungszahl 3 (nach Strahler) | Beinhaltet auch den flächenhaften Wasserkörper; minimale Kartiereinheit für Flächen liegt bei 0,5 ha, deshalb werden kleine Gewässer nicht erfasst; bisher nur für Referenzjahr 2015 erhältlich; Updates voraussichtlich alle 3 Jahre; |
| | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-1 und Sentinel-2 | Auf Basis von Sentinel-1 und Sentinel-2 lassen sich die Gewässernetze gut ableiten. Aufgrund der räumlichen Auflösung können sehr kleine Gewässer jedoch nur unzureichend abgebildet werden. Durch hohe zeitliche Auflösung können Veränderungen des Gewässernetzes beobachtet werden; bisher nur kurzes Archiv für langfristige Untersuchungen; |
| Flächenbezogene Vermögenswerte | CLC, Riparian Zones, Natura 2000, Urban Atlas | Alle Landbedeckungsdaten des Copernicus LMS können als Ausgangspunkt für die Ermittlung von Schadenspotentialen herangezogen werden; der BEAM Datensatz stellt neben der Bevölkerungsdichte auch Vermögenswerte als Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen in EUR / m ² für verschiedene Sektoren zur Verfügung | Bilden eine gute Datengrundlage, da regelmäßige Updates geplant sind; Produktwahl abhängig von Maßstab und Interessensgebiet; erfordern weitere Verarbeitungsschritte, z. B. im Rahmen einer Schadensmodellierung; |
| Frühere Hochwasserereignisse | Copernicus EMS RRM | Kann über Aktivierung des CEMS Risk & Recovery angefordert werden; | Standardprodukt des CEMS; wird bereits zur Analyse von früheren Ereignissen eingesetzt (siehe IKSE - Elbehochwasser 2013); |
| | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-1 und Sentinel-2 | Auf Basis von Sentinel-1 und Sentinel-2 lassen sich Hochwasser gut abbilden; durch hohe zeitliche Auflösung kann der zeitliche Verlauf von Hochwassern gut beobachtet werden; für länger |

| Bedarfe | Copernicus | Beschreibung | Bewertung |
|---------|------------|--------------|---|
| | | | zurückliegende Ereignisse muss auf Daten anderer Satelliten zurückgegriffen werden. |

Tabelle 25: Copernicus Portfolio für die Erstellung von Gefahrenkarten

| Bedarfe | Copernicus | Beschreibung | Bewertung |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Hydrologie | Zukünftiger CLMS Snow and Ice Monitoring Dienst | Schneedecke, Schneewasseräquivalent, See- und Flusseis | Bisher nur sehr grob räumlich aufgelöst erhältlich; dafür sehr hohe zeitliche Auflösung (globaler CLMS); Zukünftig auch höher räumlich aufgelöst (CLMS); Veröffentlichungstermin noch unklar. Nicht vor 2020 / 2021; |
| Topographie | EU-DEM | Digitales Oberflächenmodell | Ungeeignet, da zu geringe räumliche Auflösung und vertikale Genauigkeit; EU-DEM entspricht einem digitalen Oberflächenmodell und keinem Geländemodell; |
| Bodenbedeckung und Rauigkeit | CLC, Riparian Zones, Natura 2000, Urban Atlas | Alle Landbedeckungsdaten des Copernicus LMS | Bilden eine gute Informationsgrundlage, da regelmäßige Updates geplant sind; Produktwahl abhängig von Maßstab und Interessensgebiet; Erstellung eines Rauigkeitsdatensatzes erfordert weitere Verarbeitungsschritte und weitere Daten; |
| Fließgewässerhydraulik | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-1 und Sentinel-2 | Auf Basis von Sentinel-1 und Sentinel-2 abgeleitete Hochwassermasken können zur Kalibrierung von hydraulischen Modellen herangezogen werden; für länger zurückliegende Ereignisse muss auf Daten anderer Satelliten zurückgegriffen werden; |

Tabelle 26: Copernicus Portfolio für die Erstellung von Risikokarten

| Bedarfe | Copernicus | Beschreibung | Bewertung |
|--|---|---|---|
| Einwohner | CLC, Urban Atlas, BEAM | Landbedeckungsdaten des Copernicus LMS | BEAM und Urban Atlas enthalten Zahlen zur Bevölkerungsverteilung in Städten als Attribut; Urban Atlas ist nur für größere Städte erhältlich; Erstellung eines Bevölkerungsrasters kann auch durch räumliche Interpolation der Bevölkerungsstatistik und Landbedeckungsdaten (z.B. CLC) erfolgen; erfordert weitere Verarbeitungsschritte und Daten; |
| Wirtschaftliche Tätigkeiten | CLC, Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000, BEAM | Alle Landbedeckungsdaten des Copernicus LMS und abgeleitete Produkte wie BEAM | CLC wird teilweise bereits dafür herangezogen. Größere Maßstäbe durch Datenprodukte des CLMS – Lokale Komponente möglich; u. U. schnellere Aktualisierung der Copernicus Produkte als ATKIS / ALKIS; im Vergleich zu ATKIS / ALKIS einheitlicher Datumsstempel; |
| IED Anlagen | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-2, Contributing Missions | Nur bei Bedarf an großmaßstäbigen Karten der Anlagen; je nach Maßstab sind sehr hoch aufgelöste Bilddaten der Contributing Missions besser geeignet als Sentinel-2; bei Bedarf u. U. Umsetzung durch Copernicus EMS; |
| Weitere Informationen (Art. 6, Abs. 5d HWRM-RL) | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-1 und Sentinel-2 | U. U. Ableitung von Informationen zu Trübung und Schwebstoffen; wird von Dienstleistern angeboten; steht nicht als Copernicus Dienst zur Verfügung; |
| Schutzgebiete | Natura 2000 | Landbedeckungsdaten des Copernicus LMS | Der Natura 2000 Datensatz enthält bisher nur Landbedeckungsinformationen zu FFH- und Vogelschutzgebieten; keine Daten zu Wasserschutzgebieten o. ä. |
| Einzelobjekte von Interesse, z. B. auch Kulturgüter | Sentinel-Bilddaten | Sentinel-2, Contributing Missions | Nur bei Bedarf an großmaßstäbigen Karten der Anlagen; je nach Maßstab sind sehr hoch aufgelöste Bilddaten der Contributing Missions besser geeignet als Sentinel-2; bei Bedarf u. U. Umsetzung durch Copernicus EMS; |
| Kontrolle von Maßnahmen | CLC, Urban Atlas, Riparian Zones, Natura 2000, Sentinel-Bilddaten | Sentinel-2, Contributing Missions | Je nach Fragstellung können Landbedeckungs- und Veränderungsdaten des CLMS relevante Informationen liefern; das Monitoring von Baufortschritten oder Umsetzung und |

| Bedarfe | Copernicus | Beschreibung | Bewertung |
|---------|------------|--------------|---|
| | | | Erfolgskontrolle von Maßnahmen kann durch Auswertung von Sentinel-2 oder Satellitendaten der Contributing Missions erfolgen; erfordert Auswertung der Daten; bei Bedarf u. U. Umsetzung durch Copernicus EMS; |

5 Nutzung von Copernicus-Daten und Diensten bei der Schadenspotentialermittlung in Deutschland

Im Rahmen eines integrierten Hochwasserrisikomanagements, wie es durch die HWRM-RL angestrebt wird, hat die Schadensabschätzung an Bedeutung gewonnen: Maßnahmen werden nicht mehr nur auf Basis der Gefährdung geplant, sondern Aspekte des Risikos – und damit potentielle Auswirkungen von Hochwasser oder die durch Maßnahmen vermiedenen Schäden – geraten zunehmend in den Blick. Nach WHG (§73) ist "Hochwasserrisiko [...] die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses mit den möglichen nachteiligen Hochwasserfolgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten und erhebliche Sachwerte." In der HWRM-RL ist Risiko generell genauso definiert, allerdings werden die erheblichen Sachwerte in der Liste der Schutzgüter, die durch die HWRM-RL geschützt werden sollen, nicht explizit aufgeführt, sondern sind als Teil der wirtschaftlichen Aktivitäten zu verstehen. Die potentielle oder tatsächliche Schädigung von Sach- oder Vermögenswerten zu quantifizieren, ist jedoch genau das Ziel einer Schadenspotentialanalyse oder Schadensabschätzung.

Die Analyse potentieller Hochwasserschäden kann bei allen drei Schritten der HWRM-RL von Bedeutung sein:

1. Für die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos soll ab dem 3. Zyklus eine deutschlandweit einheitliche Schadenspotentialanalyse für extreme Hochwasserszenarien durchgeführt werden (Beschluss der LAWA-Sondersitzung „Harmonisierung“ 29.-30.11.2016 laut LAWA 2018). Dafür sind ein einheitliches Vorgehen sowie eine konsistente Datengrundlage abzustimmen. Inwiefern Copernicusprodukte, insbesondere der deutschlandweite Datensatz mit Vermögenswerten (Basic European Asset Map – BEAM), hierbei eine Rolle spielen können, wird in diesem Kapitel diskutiert.
2. Sollen in Hochwasserrisikokarten auch potentiell geschädigte Sachwerte dargestellt werden, können hierbei dieselben Daten und Methoden wie unter 1) zum Einsatz kommen.
3. Bei der Planung und Umsetzung von HWRM-Plänen erhält die Kosten-Nutzen-Betrachtung eine zunehmende Bedeutung, wobei sich der Nutzen einer Hochwasservorsorgemaßnahme aus den durch diese Maßnahme vermiedenen Schäden ergibt. Für deren Abschätzung kommen wiederum Schadensmodelle zum Einsatz. Im Gegensatz zu den ersten beiden Anwendungen werden hier in der Regel höhere Anforderungen an die räumliche Auflösung der Daten und die Genauigkeit der Ergebnisse gestellt.

Als vierte Anwendung kann im Ereignisfall eine schnelle Abschätzung von Schäden relevant werden, um z. B. die Wiederaufbauhilfen zu dimensionieren. Auch für das Monitoring bzw. die Berichterstattung im Rahmen des Sendai-Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge der Vereinten Nationen (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030; UN-ISDR 2015) können einfache, aber konsistente Schadensmodelle hilfreich sein (Natho & Thielen 2018). Mit dem Sendai-Rahmenwerk wird angestrebt, Katastrophenrisiken und Verluste durch Katastrophen zu verringern, indem neue Risiken vermieden und bestehende reduziert werden (UN-ISDR 2015). Eins der sieben spezifischeren Ziele des Sendai-Rahmenwerks ist es, die ökonomischen Schäden durch extreme Ereignisse in der Dekade 2020-30 gegenüber der Dekade 2005-2015 deutlich zu senken. Beim Monitoring der Zielerreichung und der Berichterstattung könnten Copernicus-Produkte, insbesondere Masken der überfluteten Bereiche und betroffenen Objekte, einen wertvollen Beitrag liefern (vgl. ZKI 2018, Abschnitt 5.2).

Methodisch kommen in allen Anwendungsfällen Schadensmodelle zum Einsatz, die Informationen zur Hochwassergefährdung mit monetären Informationen zu den exponierten

Sach- bzw. Vermögenswerten verknüpfen und mit Hilfe von Schadensfunktionen einen potentiellen Schaden (auch: Schadenspotential) quantifizieren (vgl. Abschnitt 5.2). Die Mehrzahl der entwickelten Modelle dient dabei der Abschätzung direkter tangibler Hochwasserschäden (Bubeck & Kreibich 2011). Dabei handelt es sich um Schäden, die durch einen direkten Kontakt des Wassers mit Sach-/Vermögenswerten, wie z. B. Wohngebäuden, Industrieanlagen, Infrastrukturen oder landwirtschaftlichen Nutzflächen, entstehen und monetär gut bewertet werden können. Direkte Schäden quantifizieren die geschädigten Sachwerte und sind ein wichtiger Indikator für die Schwere eines Ereignisses. Sie stehen deshalb im Fokus von Schadenspotentialanalysen und der folgenden Ausführungen.

Auch wenn sich verschiedene Hochwassertypen (Starkregen, Flusshochwasser, Sturmfluten, Grundhochwasser) in ihren Schädigungsprozessen unterscheiden (Thieken et al. 2005; Kreibich & Thieken 2008; Nadal et al. 2010), werden für die Berechnung direkter Hochwasserschäden standardmäßig die folgenden drei Modellierungsschritte durchgeführt (Merz et al. 2010):

1. Die (potentiell) vom Hochwasser betroffenen Objekte werden in homogenere Klassen (Schadenssektoren) eingeteilt. Oft werden folgende Schadenssektoren unterschieden: private Haushalte (Wohngebäude, Hausrat, PKW), Wirtschaft (oft getrennt nach Industrie und Gewerbe oder ggf. weiteren Unterteilungen nach Branchen), Landwirtschaft (vor allem landwirtschaftliche Nutzflächen) und besondere Infrastrukturen (Verkehrswege, Hochwasserschutzinfrastrukturen, Versorgungsinfrastrukturen). Schadenssektoren richten sich demnach nicht nach Schutzgütern, sondern nach ihrer Funktionalität im Wirtschaftssystem und/oder ihren Objekteigenschaften (Flächen, Linien, Punkte). Die Schadenssektoren „Wirtschaft“ und „Landwirtschaft“ können dennoch dem Schutzgut „wirtschaftliche Aktivitäten“ zugeordnet werden, alle zusammen adressieren das Gut „erhebliche Sachwerte“. Umweltgüter oder Kulturerbe werden in Schadenspotentialanalysen oft vernachlässigt, ebenso die menschliche Gesundheit.
2. Im nächsten Schritt werden die Sach- und Vermögenswerte pro Schadenssektor monetär bewertet und räumlich verortet. Die monetäre Bewertung erfolgt für volkswirtschaftliche Betrachtungen auf Grundlage von Zeitwerten; in der Versicherungswirtschaft finden oft Neuwerte Anwendung, die die Wiederherstellungskosten quantifizieren (vgl. van der Veen & Loigtmeijer 2005; Thieken et al. 2009; Merz et al. 2010). Grundlage der monetären Bewertung ist die volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der statistischen Landesämter bzw. des statistischen Bundesamtes, die das Nettoanlagevermögen (zu Wiederbeschaffungspreisen) ausweist und z. B. in Seifert et al. (2010), Assmann & Müller (2012), TLUG (2018), Zeisler et al. (2018) und Zeisler & Pflügner (2019) verwendet wird (vgl. Abschnitt 5.1). Die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung beinhaltet jedoch keine räumliche Verortung. Daher werden die Vermögenswerte mit Landnutzungsdaten kombiniert; dieser Schritt wird Regionalisierung genannt. Jeder Landnutzungsklasse wird im Ergebnis ein flächenspezifischer Vermögenswert (in EUR/m²) zugewiesen, der potentiell geschädigt werden könnte. Dazu stehen in Copernicus verschiedene Landnutzungsdatensätze zur Verfügung, z. B. CLC oder Urban Atlas (vgl. Tabelle 11). Des Weiteren werden in den Bundesländern ATKIS oder ALKIS-Daten für Schadenspotentialanalysen verwendet (vgl. MURL 2000, IKS 2001, Mölkner 2018, TLUG 2018, Zeisler et al. 2018, Zeisler & Pflügner 2019). Je nach räumlicher Auflösung der Landnutzungsdaten werden die Vermögenswerte mehr oder weniger stark in der Fläche konzentriert (vgl. Abschnitt 5.1). In Copernicus stellt der BEAM-Datensatz hingegen direkt regionalisierte und standardisierte Vermögenswerte auf Grundlage des Nettoanlagevermögens und anderer Statistiken für verschiedene Schadenssektoren in EUR / m² bereit (vgl. Assmann & Müller 2012; vgl. Abschnitt 5.1).

Mit der räumlichen Verortung kann im Rahmen einer GIS-Analyse durch Verschneidung einer Gefahrenkarte (Hochwasserszenario) mit regionalisierten Vermögenswerten eine Expositionsanalyse durchgeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass bei der Schadensabschätzung meso- und mikroskalige Verfahren unterschieden werden. Während bei mesoskaligen Modellierungen Landnutzungseinheiten betrachtet werden, werden bei mikroskaligen Ansätzen einzelne (exponierte) Gebäude berücksichtigt. Während mesoskalige Verfahren für großräumige Abschätzungen verwendet werden, werden mikroskalige Ansätze bei kleinräumigen Untersuchungen, z. B. bei Projektbewertungen, die eine hohe Genauigkeit erfordern, bevorzugt.

3. Im letzten Schritt wird der potentielle Schaden geschätzt (vgl. Abbildung 11). Informationen über die räumliche Ausdehnung eines Hochwassers, mögliche räumlich differenzierte Überflutungstiefen (Überstauhöhen) sowie die dazugehörigen Eintritts- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten liefern Hochwassergefahrenkarten (= Gefährdung, vgl. Abschnitt 4.2). Die Ausdehnung von tatsächlich abgelaufenen Hochwasserereignissen, wie sie durch Copernicus EMS bereitgestellt werden, beinhalten derzeit keine Wassertiefen, wie sie typischerweise für die Schadensabschätzung benötigt werden. Hierzu ist eine Verschneidung der Hochwassermaske mit einem digitalen Höhenmodell erforderlich. Wie in Tabelle 13 erwähnt, soll dies in Zukunft in Copernicus standardmäßig erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die räumliche Auflösung des zugrundeliegenden digitalen Höhenmodells die Qualität des Ergebnisses steuert. Neben den Gefahrenkarten werden für eine Berechnung potentieller Hochwasserschäden Informationen über exponierte Werte in Risikogebieten benötigt (= Sensitivität). Wie in Schritt 2 skizziert, werden Vermögenswerte einzelner Schadenssektoren (z. B. Gebäude, Verkehrsinfrastruktur, Industrie und Gewerbe) mithilfe von Landnutzungsklassen regionalisiert. Informationen zu Wasserstand (= Gefährdung) und Landnutzung (= exponierte Vermögenswerte) werden dann mit Hilfe von Schadensfunktionen zu einem potentiellen Schaden verknüpft (= Schadenspotential). Diese Schadensfunktionen quantifizieren z. B. den Zusammenhang zwischen Überflutungstiefe und Schaden an einem Vermögensbestand. Da sich Schädigungsprozesse zwischen einzelnen Schadenssektoren unterscheiden (z. B. Landwirtschaft und Industrie), werden unterschiedliche Schadensfunktionen pro Sektor verwendet (vgl. Abschnitt 5.2).

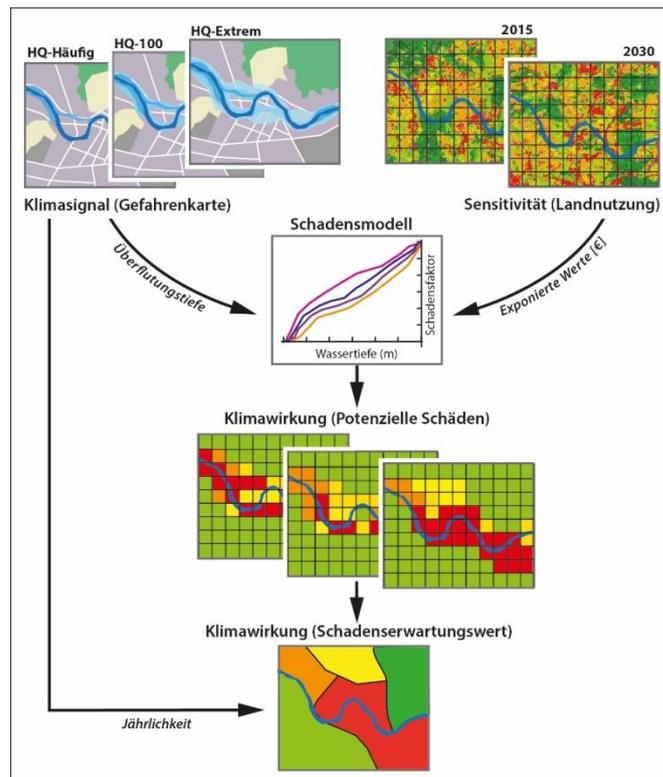
Schließlich können die errechneten potentiellen Schäden mit der Eintrittswahrscheinlichkeit des zugrunde liegenden Gefährdungsszenarios kombiniert werden. Dadurch erhält man z. B. den sogenannten Schadenserwartungswert. Dieses Risikomaß gibt den statistisch zu erwartenden jährlichen Schaden an und ist somit eine zentrale Größe für die ökonomische Bewertung von Maßnahmen im Rahmen von Kosten-Nutzen Analysen (KNA). Diese generische methodische Vorgehensweise bildet auch die Grundlage für die Berechnung von potentiellen Hochwasserschäden und Schadenserwartungswerten in der wasserwirtschaftlichen Praxis der Bundesländer (z. B. TLUG 2018, Zeisler & Pflügner 2019).

In den nachfolgenden Abschnitten werden die folgenden Aspekte vertieft:

- ▶ Abschätzung und Regionalisierung von Vermögenswerten,
- ▶ Art und Differenzierung des Schadensmodells sowie
- ▶ Fallstudie zur Schadenspotentialanalyse unter Verwendung des BEAM-Datensatzes.

Dabei wird der aktuelle Stand der Diskussion innerhalb der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) berücksichtigt.

Abbildung 11 Methodisches Vorgehen zur Abschätzung potentieller Schäden durch Hochwasser



Quelle: UP Transfer

5.1 Vermögenswerte

Ausgehend von der gewählten Skala der Schadensabschätzung (mikro- oder mesoskalig, s. o.) wird der Schadensabschätzung ein Landnutzungsdatensatz zugrunde gelegt, z. B. CLC, Urban Atlas, ATKIS oder ALKIS. Durch Verschneidung mit einem Hochwasserszenario können so zum einen exponierte Gebiete (Risikogebiete) und Nutzungen ermittelt werden. Zum anderen wird hier in der Regel die monetäre Bewertung der Schäden grundsätzlich festgelegt: Durch Verknüpfung der Landnutzung mit Daten aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der statistischen Landesämter oder des statistischen Bundesamts, z. B. Angaben zum Nettoanlagevermögen, werden verschiedenen Landnutzungen durchschnittliche, standardisierte Vermögenswerte (in EUR / m²) zugewiesen. Bei dieser Verknüpfung erfolgen grundlegende Weichenstellungen für die monetäre Bewertung der potentiellen Schäden.

Zunächst ist festzulegen, ob die monetäre Bewertung dem Brutto- oder dem Nettokzept folgen soll. Im Bruttokzept werden für Güter, Gebäude und Infrastrukturen Wiederherstellungswerte (Neuwerte) abgebildet. Somit ist dieses Konzept insbesondere für die Kompensation tatsächlicher Schäden durch eine Versicherung oder ein staatliches Wiederaufbauprogramm relevant. Im Nettokzept wird der Zeitwert von Gütern, Gebäuden und Infrastrukturen geschätzt, d. h. hier werden Wertverluste durch Abnutzung, aber auch Werterhaltung oder -steigerungen durch Instandhaltungsmaßnahmen etc. berücksichtigt (vgl. Merz et al. 2010). Das Nettokzept berücksichtigt keine Steuern oder Subventionen. Es soll nur die Wertminderung durch die Hochwassereinwirkung abbilden (vgl. Zeisler & Pflügner 2019). Dieses Konzept findet vor allem bei volkswirtschaftlichen Betrachtungen Anwendung, d. h. auch in Risikokarten für strategische Planungen oder der Kosten-Nutzen-Betrachtung von Schutzmaßnahmen / Projekten oder andere Anwendungen im Rahmen der HWRM-RL.

Statistische Ämter stellen in der Regel Daten zum Anlagevermögen für beide Konzepte bereit, allerdings nur auf nationaler Ebene bzw. in Deutschland auf Ebene der Bundesländer. Andernfalls kann eine grobe Umrechnung eines Neuwerts auf einen Zeitwert durch einen Faktor von 0,5 erfolgen; dies bildet einen linearen Wertverlust des Bestands ab (Meyer 2005).

Vor Monetarisierung der Vermögensbestände ist festzulegen, welche Güter bewertet werden sollen: Gebäude, festes Inventar (Ausrüstung) und / oder bewegliches Inventar. Hinzu kommen Vorräte, d. h. Waren, Produkte und Lagerbestände, deren Sachwert jedoch nicht mehr von den statistischen Ämtern ausgewiesen wird und daher als Anteil der Ausrüstung und/oder Gebäude abgeschätzt werden (z. B. Seifert et al. 2010). Im BEAM-Datensatz werden im Bereich Handel und Dienstleistungen 3 % bis 10 % der Werte von Gebäuden und Ausrüstung als Wert für Waren, Produkte und Lagerbestände angenommen (Assmann & Müller 2012). Auswertungen von Kreibich et al. (2010) zeigen, dass nur 66 % der Unternehmen überhaupt von Schäden an Waren, Produkten und Lagerbeständen betroffen sind, und das Verhältnis zwischen den Vermögenswerten der Ausrüstungen sowie Waren, Produkte und Lagerbeständen abhängig ist vom Wirtschaftssektor und der Betriebsgröße. Diese Differenzierungen bilden der BEAM-Datensatz sowie andere durchschnittliche Standardvermögenswerte (TLUG 2018, Zeisler et al. 2018, Zeisler & Pflügner 2019) nicht ab.

Außerdem ist festzulegen, ob bzw. welche Unternehmensbranchenzusammengefasst werden können bzw. unterschieden werden sollen. Hier ist auf eine Passfähigkeit mit den Schadensfunktionen zu achten. Zudem ist das Referenzjahr für das Preisniveau festzulegen. Unterschiedliche Werte sind ggf. durch Preisindizes, die regelmäßig vom Statistischen Bundesamt (DESTATIS) veröffentlicht werden, auf ein einheitliches Referenzjahr umzurechnen, das zusammen mit den Schadensabschätzungen angegeben werden sollte.

Für die Schadensabschätzung ist schließlich die Regionalisierung der Vermögenswerte ein entscheidender Schritt. Die Werte der statistischen Ämter liegen aggregiert für größere administrative Einheiten, z. B. das ganze Bundesland, vor. Zur Verteilung der Wertmasse auf verschiedene Gemeinden oder Regionen können Kaufkraftdaten, Wertschöpfung, Beschäftigte pro Sektor o. ä. verwendet werden. Für die Schadensabschätzung sind die Vermögenswerte zudem bestimmten Landnutzungen zuzuweisen, um eine räumlich differenzierte Schadensabschätzung zu ermöglichen. Dafür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung (vgl. Eicher & Brewer 2001, Thielen et al. 2006): binäre Verfahren, d. h. die Vermögenswerte eines Schadenssektors werden in einer Landnutzungs Klasse gleichmäßig verteilt, alle anderen Landnutzungen erhalten keine Werte; Regressionsverfahren, drei-Klassen-Verfahren sowie Derivate, bei denen die Vermögenswerte eines Schadenssektors mit unterschiedlichen Gewichten auf verschiedene Landnutzungs Klassen verteilen werden. Diese komplexeren Mappingverfahren weisen also mehreren Landnutzungen einen Teil der Vermögenswerte zu, z. B. kann es sinnvoll sein, in ländlichen Regionen einen Teil des Wohngebäudevermögens auch auf landwirtschaftlichen Flächen oder Waldflächen zu verorten, wenn der zugrundeliegende Landnutzungsdatensatz, z. B. CLC, Einzelgebäude oder kleinere Ortschaften nicht explizit kartiert (vgl. Thielen et al. 2006). In städtischen Gebieten ist es sinnvoll, einen Teil der Vermögenswerte für Gewerbe und Handel in den urbanen Siedlungsgebieten zu verorten, nicht nur in reinen Gewerbe- oder Industriegebieten (vgl. Seifert et al. 2010). Im Ergebnis werden die verorteten Vermögenswerte in der Regel als standardisierte bzw. flächenspezifische Werte in EUR / m² angegeben. Untersuchungen von Wunsch et al. (2009) haben ergeben, dass es sich eher lohnt, in detaillierte Landnutzungsdaten zu investieren als in aufwändige Regionalisierungs- / Mappingverfahren. Daher wenden die meisten Studien ein binäres Mapping an und greifen auf detaillierte Landnutzungsdaten wie ATKIS oder ALKIS zurück oder

verbessern grob aufgelöste Landnutzungsdaten durch eine Nachkartierung (z. B. Assmann & Müller 2012).

Beispielsweise wurden in einer Multirisikostudie für die Stadt Köln von Grünthal et al. (2006) Wiederherstellungswerte geschätzt. Für den privaten Bereich, der in den amtlichen Daten zum Anlagevermögen zum großen Teil fehlt, wurden die Anzahl von Wohngebäuden, Haushalten und PKW mit der jeweils durchschnittlichen Versicherungssumme multipliziert. Der standardisierte flächenspezifische Wert ergibt sich aus der Division des Gesamtvermögens für Köln von 80,25 Mrd. Euro (in Preisen von 2000) und der Siedlungsfläche nach ATKIS (vgl. Grünthal et al. 2006). Für die anderen Sektoren wurden die Daten zum Anlagevermögen für ganz NRW herangezogen und durch die Fläche der jeweiligen ATKIS-Landnutzungsklasse dividiert. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass in Köln eine höhere Wertschöpfung bzw. Produktivität erfolgt als im übrigen NRW, wurde der standardisierte Wert für NRW mit der relativen Wertschöpfung in Köln multipliziert (vgl. Grünthal et al. 2006). Dieses Vorgehen war weitgehend konsistent mit dem Ansatz aus MURL (2000), in der eine der ersten Schadenspotentialanalysen für Hochwasser in Deutschland präsentiert wurde. Auch im IKS-Rheinatlas (IKSR 2001) wurde ein ähnliches Vorgehen durchgeführt – allerdings für Zeitwerte, d.h. für Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen. Diese Vorgehensweise wurde auch von Mölkner (2018) für eine Fallstudie in Hamburg angewendet und liegt beispielsweise auch den Arbeitshilfen zur Schadenspotentialermittlung für Thüringen (TLUF 2018), Sachsen-Anhalt (Zeisler et al. 2018) oder Baden-Württemberg (Zeisler & Pflügner 2019) zugrunde.

Im Projekt „Risikokarte Deutschland“ des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technologies (CEDIM) wurden Vermögenswerte nach ähnlichen Grundsätzen, aber unter Hinzuziehung weiterer statistischer Daten, die z. T. nur kommerziell verfügbar waren, abgeleitet (vgl. Kleist et al. 2006; Seifert et al. 2010). Darüber hinaus wurden das Vermögen mit nicht-binären Mappingverfahren regionalisiert, d.h. einer Regression (vgl. Thieken et al. 2006 auf Basis von Gallego 2001) und einer weiterentwickelten Drei-Klassenmethode (vgl. Seifert et al. 2010 auf Basis von Mennis 2003). Insbesondere im Unternehmensbereich wurden eine stärkere Differenzierung vorgenommen als in den anderen Datensätzen: Vermögenswerte (nach dem Brutto- und Nettokonzept) wurden auf 60 Branchen mit jeweils drei Betriebsgrößen pro Gemeinde verteilt und mithilfe von CORINE-Landnutzungsdaten weiter regionalisiert (vgl. Seifert et al. 2010). Damit lagen deutschlandweite einheitliche Vermögensdatensätze vor, die jedoch nach Projektende nicht (regelmäßig) aktualisiert wurden und daher den Stand 2001 reflektieren. Der Wohngebäudedatensatz (mit Wiederherstellungspreisen) wurde im Zuge des UFOPLAN-Vorhabens „Behördenkooperation Klimawandel und Anpassung“ für das Jahr 2011 aktualisiert. Trotz dieser Schwächen wurden diese Datensätze in diesem Sachverständigen Gutachten verwendet, um die Vermögenswerte und resultierende Schadenspotentiale mit dem BEAM-Datensatz zu vergleichen.

BEAM steht für Basic European Asset Map und steht als deutschlandweit einheitlicher Vermögensdatensatz in Copernicus zur Verfügung. Eine erste Version wurde in europäischen Forschungsprojekten entwickelt und so konzipiert, dass Daten für ganz Europa erstellt werden können. Wesentliche Grundlagen sind Statistiken von EUROSTAT und CORINE-Landbedeckungsdaten (CLC). Letztere wurden insbesondere durch linienhafte Infrastrukturelemente ergänzt, um Infrastrukturen und das entsprechende Vermögen besser verorten zu können (Assmann & Müller 2012). Eine erste Version von BEAM basiert auf CLC-Daten von 2006 und steht für zwölf Länder in Europa zur Verfügung. Der Datensatz wurde bereits für länderübergreifende Schadenspotentialanalysen im Donaueinzugsgebiet genutzt (Müller et al. 2013). Für Deutschland steht ein aktualisierter und verfeinerter Datensatz zur Verfügung. Dieser beruht nicht nur auf CLC-Daten von 2012, die in Deutschland als höher

aufgelöste Daten als in anderen europäischen Ländern zur Verfügung stehen (vgl. Tabelle 6), sondern beinhaltet in städtisch geprägten Regionen die detaillierteren Landnutzungen aus dem Copernicus Urban Atlas (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 11). Weiterhin wurden Verkehrsinfrastrukturen wie Bahnlinien und städtische Infrastrukturen wie Wasser, Abwasser, Strom, Gas und Kommunikation mit Standardvermögenswerten in EUR / km ergänzt. Dafür wurde der Datensatz HERE genutzt (in der ersten Version von BEAM wurde der Datensatz NAVTEQ verwendet; vgl. www.here.com/navteq). Dieser enthält auch Straßen und kleinere Siedlungen, die im CORINE-Landbedeckungsdatensatz nicht kartiert sind. Damit wird die räumliche Auflösung von BEAM im Vergleich zum ursprünglichen CLC-Datensatz deutlich verbessert.

Eine Aktualisierung von BEAM soll analog zur Aktualisierung der CORINE-Daten erfolgen, so dass den Landbedeckungen ein klarer und einheitlicher Zeitstempel zugeordnet werden kann (pers. Mitteilung Geomer, 11.03.2019). Dies kann im Vergleich zu ATKIS und ALKIS als Vorteil bewertet werden. Allerdings konnten im Rahmen dieses Sachverständigengutachtens die Finanzierung und der Datenzugang nicht gänzlich geklärt werden. So stellt sich die Frage, ob die Aktualisierung als Teil des Copernicusprogramms oder außerhalb realisiert wird und welche Konsequenzen dies für die Zugänglichkeit der Daten hat. Derzeit sind Daten (Version 1, 2006) für Bulgarien, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Rumänien und Spanien zugänglich unter dem Hochwasserinformationssystem www.floodrisk.eu (Müller et al. 2013). BEAM-Deutschland ist in der verbesserten 2. Version (2012) über den Copernicus Dienst „Risk and Recovery“ nach Aktivierung durch das BBK verfügbar.

Inhaltlich ist der BEAM-Datensatz auf Hochwasserschadenspotentialanalysen zugeschnitten und beinhaltet folgende Vermögensdaten in einzelnen Datensätzen (Layern, vgl. Assmann & Müller 2012):

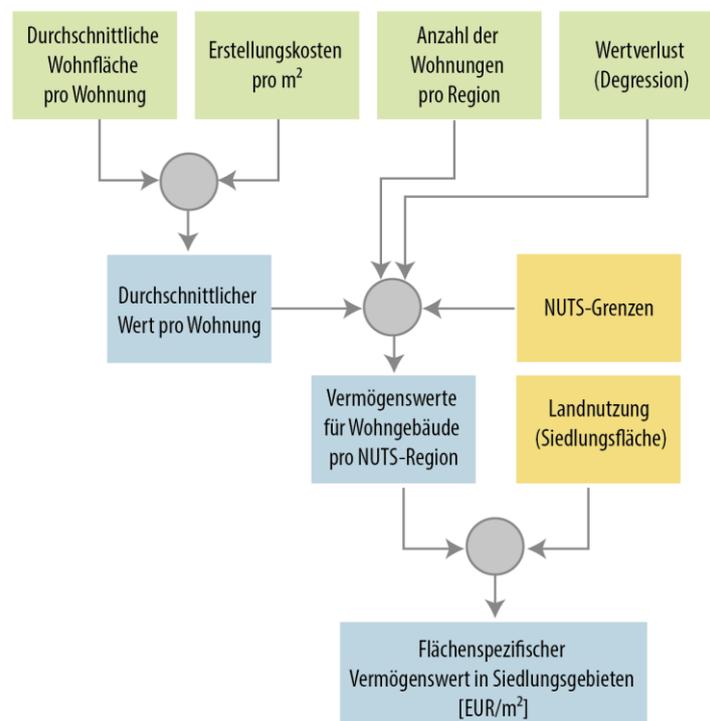
- ▶ Bevölkerungsdichte
- ▶ Private Wohngebäude: Gebäude und Ausstattung (immobil)
- ▶ Hausrat (mobil)
- ▶ Fahrzeuge
- ▶ Industrie: Gebäude und Ausstattung (Nettoanlagewert, immobil)
- ▶ Industrie: Vorräte (mobil)
- ▶ Dienstleistungen und Handel: Gebäude und Ausstattung (Nettoanlagewert, immobil)
- ▶ Dienstleistungen und Handel: Vorräte (mobil)
- ▶ Landwirtschaft: Gebäude und Ausstattung (Nettoanlagewert, immobil)
- ▶ Landwirtschaft: Vorräte (ohne Vieh, mobil)
- ▶ Landwirtschaft: Viehbestand
- ▶ Sonstiges (z. B. Infrastrukturen, Grün- und Sportanlagen)

Damit adressiert der Datensatz zwei der vier Schutzgüter der HWRM-RL: die menschliche Gesundheit (über die Bevölkerungsdichte) und die Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten. Auch die

LAWA-Empfehlungen zur Berücksichtigung verschiedener Landnutzungen (vgl. Abschnitt 4.3.2) können damit umgesetzt werden. In weiteren Datenprodukten (Asset Map Plus – AM+) sind Gebäude und kritische Infrastrukturen integriert (siehe Assmann & Müller 2012, Müller et al. 2013).

Die konkrete Berechnung der Vermögenswerte ist exemplarisch für das Wohngebäudevermögen in Abbildung 12 und für Industrievermögen in Abbildung 13 dargestellt. Für das Wohnvermögen ist das Verfahren an Kleist et al. (2006) angelehnt, d. h. die durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung [m^2] wird mit den Erstellungskosten pro Quadratmeter multipliziert. Dieser durchschnittliche Wert pro Wohnung wird weiterhin mit der Anzahl der Wohnungen pro Region, einem degressiven Faktor für den Wertverlust und den administrativen Grenzen der betrachteten Region (nach der europäischen Nomenklatur von territorialen Einheiten für statistische Zwecke – NUTS) kombiniert, sodass pro NUTS-Region der Gesamtvermögenswert für Wohngebäude (Netto) vorliegt. Dieser wird mithilfe von Landnutzungsdaten räumlich verteilt. Als Landnutzungsdaten werden zunächst CLC und Urban Atlas-Daten kombiniert, bevor weitere Datensätze mit kleineren Siedlungen und Infrastrukturen (HERE/NAVTEQ) integriert wurden (Müller et al. 2013). Nach welchem Algorithmus die Vermögenswerte auf die unterschiedlichen Landnutzungen konkret verteilt werden, ist in Assmann & Müller (2012) oder Müller et al. (2013) allerdings nicht dokumentiert. Aus den Daten geht hervor, dass es sich nicht um ein binäres Verfahren handelt.

Abbildung 12 Abschätzung von Wohngebäudevermögen für den BEAM-Datensatz



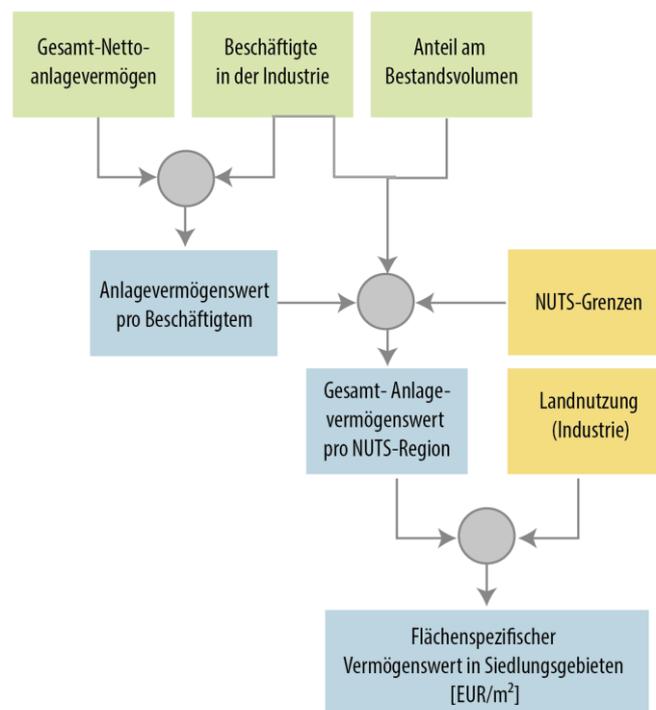
Quelle: verändert nach Assmann & Müller (2012)

Andere Vermögensbestände im BEAM-Datensatz basieren– wie bei anderen Studien auch (z. B. MURL 2000; Grünthal et al. 2006; Mölkner 2018; s. o.) – auf dem Anlagevermögen aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, wobei in Deutschland die Statistiken der Bundesländer verwendet wurden (pers. Mitteilung Geomer, 08.03.2019). Weiterhin wird die Anzahl der Beschäftigten verwendet, um regionalen Unterschieden auf NUTS3-Ebene Rechnung zu tragen.

Abbildung 13 zeigt den Ablauf zur Generierung des Datensatzes: Das gesamte Nettoanlagevermögen (pro Bundesland) wird durch die Anzahl der Beschäftigten dividiert, sodass ein Vermögenswert pro Beschäftigtem resultiert. Pro NUTS-Region wird die Anzahl der Beschäftigten mit dem Durchschnittswert multipliziert und mit dem Anteil am Gesamtbestand korrigiert. Das resultierende Anlagevermögen pro Region wird durch Kombination mit Landnutzungsdaten wiederum innerhalb der NUTS-Region verteilt. Dabei erhalten die Flächennutzungen andere Gewichte als beim Wohnvermögen. Details zu diesem Mappingverfahren sind jedoch wiederum nicht dokumentiert.

Nach Angaben von Geomer (pers. Mitteilung, 08.03.2019) haben das BBK und die BfG den Datensatz intern verwendet. Darüber hinaus werden die Vermögenswerte im LABEL-Atlas für das Elbeeinzugsgebiet dargestellt (vgl. LfULG 2012). Einzelne Vermögenswerte sind auch in andere Studien eingeflossen: So wurden Werte für Infrastrukturen im Land Sachsen-Anhalt verwendet (vgl. Zeisler et al. 2018).

Abbildung 13 Abschätzung von Industrievermögenswerten für den BEAM-Datensatz



Quelle: verändert nach Assmann & Müller (2012)

In Tabelle 27 und Tabelle 28 sind verschiedene Vermögenswerte als standardisierte Werte in EUR / m² für Wohngebäude bzw. wirtschaftliches Anlagevermögen gegenübergestellt. Da bei der Ermittlung der flächenspezifischen Werte unterschiedlich aufgelöste Landnutzungsdaten verwendet wurden, gelingt die Interpretation nur unter Einbeziehung der zugrunde liegenden Landnutzungsdaten. Man erkennt, dass sich die Werte je nach Ansatz (deutlich) unterscheiden. Die Werte aus den Arbeitshilfen für die Schadenspotentialermittlung verschiedener Bundesländer (TLUG 2018; Zeisler et al. 2018; Zeisler & Pflügner 2019) beziehen sich in der Regel auf ALKIS-Daten. Daher werden die Vermögenswerte auf kleinen Flächen, d.h. die Grundfläche der Gebäude, konzentriert. Daher sind diese Werte, die zwischen 575 EUR/m² in Sachsen und 1660 EUR / m² in Baden-Württemberg variieren (Preisstand 2018), deutlich höher als Werte auf Basis von ATKIS oder CLC-Daten mit 346 EUR / m² aus der Gefahrenhinweiskarte

Sachsen und 450 EUR / m² (BEAM-Datensatz für Hamburg; Preisstand: 2018), da hierbei auch den Flächen zwischen den Gebäuden Vermögenswerte zugewiesen werden, was insgesamt zu geringeren Quadratmeterwerten führt. Die Werte auf Basis von Kleist et al. (2006) sind höher, da sie nicht den reinen Zeitwert abbilden. Insgesamt zeigen sich bei Verwendung der ALKIS-Daten auch große Unterschiede zwischen den Bundesländern, die schwer zu interpretieren sind. Diese sind im Datensatz BEAM-Deutschland in dem Ausmaß nicht zu erkennen, wie Abbildung 14 zeigt. Der maximale flächenspezifische Wohngebäudewert beträgt 658 EUR / m² (in Preisen von 2012; ca. 730 EUR / m² in Preisen von 2018).

Bei den Werten für Vermögen in der Wirtschaft sind die Unterschiede nochmals größer (vgl. Tabelle 28). Hier variieren nicht nur die spezifischen Vermögenswerte bei unterschiedlichen Landnutzungsdaten und in verschiedenen Bundesländern, es wird auch keine einheitliche Klassifizierung der Wirtschaftszweige vorgenommen. Teilweise wird zwischen Industrie (vermutlich größtenteils produzierendes und verarbeitendes Gewerbe) und Gewerbe (vermutlich größtenteils Handel, Gastgewerbe und alle Dienstleistungen) unterschieden, teilweise nicht, obwohl die verschiedenen Wirtschaftszweige unterschiedliche Vulnerabilitäten aufzeigen (vgl. Kreibich et al. 2007; Sieg et al. 2017). Auch die Behandlung der Vermögensgüter, d.h. Gebäude, Ausrüstung und Vorräte ist nicht einheitlich. Daher ist ein Vergleich der spezifischen Vermögenswerte und eine Abwägung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Vorgehensweisen schwierig. Die erheblichen Unterschiede in den flächenspezifischen Vermögenswerten auf Basis von ALKIS-Daten deuten aber darauf hin, dass ALKIS-Daten über Bundesländergrenzen hinweg keine konsistente Datengrundlage für eine deutschlandweite Schadenspotentialanalyse bilden. Hier sind jedoch weitere Untersuchungen nötig. Daher wurden für einen ersten Vergleich des BEAM-Datensatzes mit anderen Vermögenswerten in einer Fallstudie die exponierten Werte für ausgewählte Hochwasserszenarien aufsummiert. Dies ermöglicht einen objektiveren Vergleich als die standardisierten Quadratmeterwerte. In Abschnitt 5.3 wird eine Abschätzung potentieller Schäden für dieselben Szenarien vorgestellt. Die Analysen konzentrieren sich auf Wohngebäude sowie Gebäude und Ausrüstung in der Wirtschaft.

Tabelle 27 Gegenüberstellung unterschiedlicher standardisierter Vermögenswerte für Wohngebäude.

| Güter | Region | Standardisierter Wert [EUR/m ²] mit Referenzjahr | Quelle | Werte | LN |
|---------|---------|--|---|--------------|--------|
| Gebäude | Köln | 602 EUR/m ² (Jahr: 2000) 849 EUR/m ² (Jahr: 2018) | abgeleitet aus Kleist et al. (2006) | Brutto (NHK) | CLC |
| Gebäude | Köln | 614 EUR/m ² (Jahr: 2011) 695 EUR/m ² (Jahr: 2018) | Kleist et al. (2006), Gebäude aktualisiert 2011 | Brutto (NHK) | ATKIS |
| Gebäude | Köln | <366 EUR/m ² (Jahr: 2012) <406 EUR/m ² (Jahr: 2018) | BEAM Deutschland | Netto | CLC+UA |
| Gebäude | Hamburg | 536 EUR/m ² (Jahr: 2011) 606 EUR/m ² (Jahr: 2018) | Kleist et al. (2006), Gebäude aktualisiert 2011 | Brutto (NHK) | ATKIS |
| Gebäude | Hamburg | <406 EUR/m ² (Jahr: 2012) <450 EUR/m ² (Jahr: 2018) | BEAM Deutschland | Netto | CLC+UA |
| Gebäude | Hamburg | 832 EUR/m ² (Jahr: 2014) 908 EUR/m ² (Jahr: 2018) | Mölkner (2018) | Netto | ALKIS |

| Güter | Region | Standardisierter Wert [EUR/m ²] mit Referenzjahr | Quelle | Werte | LN |
|---------|----------------|--|--|-------|-------|
| Gebäude | Sachsen | 259 EUR/m ² (Jahr 2004) 346 EUR/m ² (Jahr 2018) | Gefahrenhinweiskarten, aus Zeisler et al. (2018) | Netto | ATKIS |
| Gebäude | Sachsen | 518 EUR/m ² (Jahr 2012) 575 EUR/m ² (Jahr 2018) | zitiert in Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |
| Gebäude | Thüringen | <1379 EUR/m ² (Jahr 2014) <1505 EUR/m ² (Jahr 2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Gebäude | Sachsen-Anhalt | 692 EUR/m ² (Jahr 2017) 713 EUR/m ² (Jahr 2018) | Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |
| Gebäude | BW | 1660 EUR/m ² (Jahr: 2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |

Anmerkung: Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Werte mit dem Baupreisindex (lange Reihe für den Neubau von Wohngebäuden ohne Umsatzsteuer) auf 2018 umgerechnet. Die angegebenen Werte für den BEAM-Datensatz sind die maximalen Werte, in der Regel für die Landnutzungsclassse „Continuous urban fabric“; für andere Landnutzungen werden niedrigere Werte angegeben. Abkürzungen: LN: Landnutzungsdaten, die der Regionalisierung zugrunde liegen; BW: Baden-Württemberg; NHK: Normalherstellungskosten; CLC: Corine Landbedeckungsdaten; UA: Urban Atlas; ATKIS: amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem; ALKIS: amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem, BEAM: Basic European Asset Map.

Abbildung 14 Darstellung der flächenspezifischen Vermögenswerte für Wohngebäude für ganz Deutschland auf Basis des Datensatzes BEAM-Deutschland (Stand: 2012)

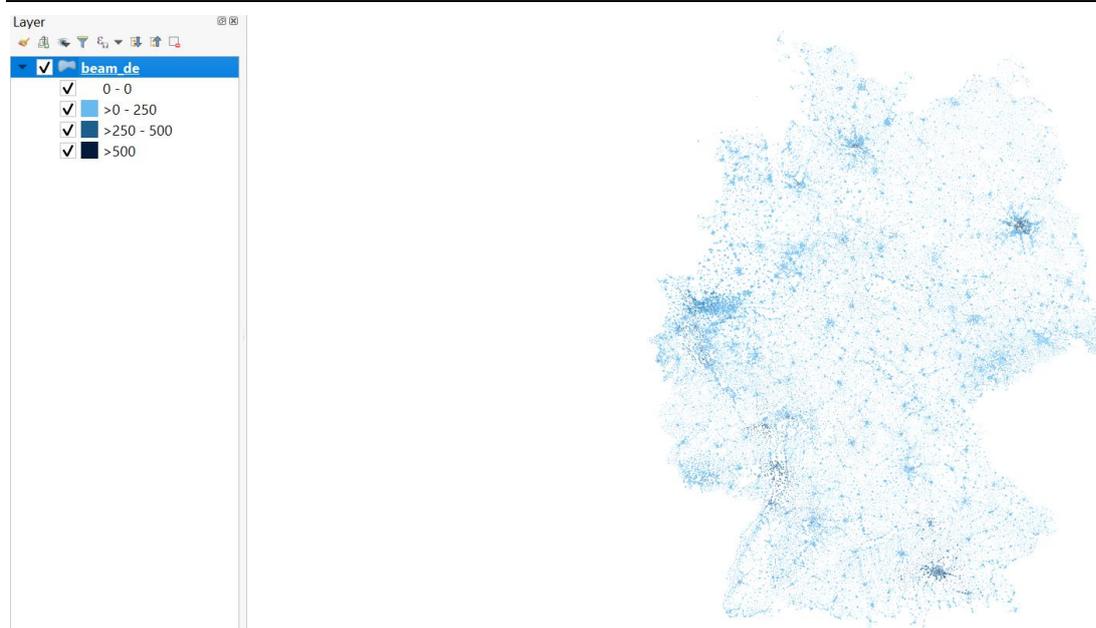


Tabelle 28 Gegenüberstellung unterschiedlicher standardisierter Vermögenswerte für Gewerbe / Industrie.

| Sektor | Güter | Reg. | Standardisierter Wert [EUR/m ²] mit Referenzjahr | Quelle | Werte | LN-Daten |
|-------------------------------|----------------------|------|--|-------------------------|--------|----------|
| Industrie | Gebäude + Inhalt | Köln | 362 EUR/m ² (2000) 510 EUR/m ² (2018) | Grünthal et al. (2006); | Brutto | ATKIS |
| Industrie | Gebäude + Ausrüstung | Köln | <86 EUR/m ² (2012) <95 EUR/m ² (2018) | BEAM-Deutschland | Netto | CLC + UA |
| Gewerbe | Gebäude + Inhalt | Köln | 1179 EUR/m ² (2000) 1662 EUR/m ² (2018) | Grünthal et al. (2006) | Brutto | ATKIS |
| Gewerbe | Gebäude + Ausrüstung | Köln | <313 EUR/m ² (2012) <347 EUR/m ² (2018) | BEAM-Deutschland | Netto | CLC + UA |
| Industrie | immobil | SN | 207 EUR/m ² (2004) 277 EUR/m ² (2018) | Gefahrenhinweiskarten | Netto | ATKIS |
| Industrie | mobil | SN | 72 EUR/m ² (2004) 96 EUR/m ² (2018) | Gefahrenhinweiskarten | Netto | ATKIS |
| Industrie | Gebäude + Ausrüstung | HH | <278 EUR/m ² (2003) <382 EUR/m ² (2018) | Seifert et al. (2010) | Netto | CLC |
| Gewerbe | Gebäude + Ausrüstung | HH | <443 EUR/m ² (2003) <609 EUR/m ² (2018) | Seifert et al. (2010) | Netto | CLC |
| Industrie | Gebäude + Ausrüstung | HH | <123 EUR/m ² (2012) <136 EUR/m ² (2018) | BEAM-Deutschland | Netto | CLC + UA |
| Gewerbe | Gebäude + Ausrüstung | HH | <746 EUR/m ² (2012) <827 EUR/m ² (2018) | BEAM-Deutschland | Netto | CLC + UA |
| Wirtschaft (Industrie) | immobil | HH | 541 EUR/m ² (2014) 590 EUR/m ² (2018) | Mölkner (2018) | Netto | ALKIS |
| Wirtschaft | mobil | HH | 458 EUR/m ² (2014) 500 EUR/m ² (2018) | Mölkner (2018) | Netto | ALKIS |
| Gewerbe | immobil | SN | 1242 EUR/m ² (2012) 1378 EUR/m ² (2018) | Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |
| Gewerbe | mobil | SN | 124 EUR/m ² (2012) 138 EUR/m ² (2018) | Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |
| Produktion | Gebäude | TH | 262 EUR/m ² (2014) 286 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Produktion | Ausrüstung | TH | 524 EUR/m ² (2014) 572 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Produktion | Vorräte | TH | <300 EUR/m ² (2014) <327 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |

| Sektor | Güter | Reg. | Standardisierter Wert [EUR/m ²] mit Referenzjahr | Quelle | Werte | LN-Daten |
|---------------------|------------------------|------|--|---------------------------|-------|----------|
| Dienstleist. | Gebäude | TH | <827 EUR/m ² (2014) <902 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Wirtschaft | Gebäude | LSA | 358 EUR/m ² (2017) 369 EUR/m ² (2018) | Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |
| Industrie | Gebäude | BW | 639 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Gewerbe | Gebäude | BW | 2862 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Dienstleist. | Ausrüstung | TH | <100 EUR/m ² (2014) <109 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Industrie | Ausrüstung | BW | 728 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Gewerbe | Ausrüstung | BW | 605 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Dienstleist. | Vorräte | TH | <800 EUR/m ² (2014) <873 EUR/m ² (2018) | TLUG (2018) | Netto | ALKIS |
| Industrie | Vorräte | BW | 218 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Gewerbe | Vorräte | BW | 254 EUR/m ² (2018) | Zeisler & Pflügner (2019) | Netto | ALKIS |
| Wirtschaft | Ausrüstung (+ Vorräte) | LSA | 136 EUR/m ² (2017) 140 EUR/m ² (2018) | Zeisler et al. (2018) | Netto | ALKIS |

Anmerkung: Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Werte ggf. mit einem Preisindex auf das Jahr 2018 umgerechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Güter, aber unklaren Zusammensetzung wurde auch hier die lange Reihe für den Neubau von Wohngebäuden ohne Umsatzsteuer verwendet. Abkürzungen (siehe auch Tabelle 27): BW: Baden-Württemberg, HH: Hamburg, LSA: Land Sachsen-Anhalt, SN: Sachsen, TH: Thüringen.

Das extreme Sturmflutszenario in Hamburg sowie das Extremszenario für Flusshochwasser in Köln wurden jeweils mit dem BEAM-Deutschland-Datensatz sowie anderen deutschlandweit vorhandenen Vermögensdatensätzen von CEDIM (Kleist et al. 2006 für Wohngebäude, aktualisiert für 2011 sowie Seifert et al. 2010 für Unternehmen / Wirtschaft) verschnitten. Die exponierten Vermögenswerte wurden jeweils aufsummiert; Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt der Datenverschneidung; Tabelle 29 fasst die aufsummierten Vermögenswerte in den Risikogebieten zusammen: Die Summe des exponierten Wohnvermögens beträgt im BEAM-Datensatz weniger als die Hälfte des Vermögensdatensatzes von Kleist et al. (2006), der mit Gebäudestatistiken von 2011 aktualisiert wurde. Ein Teil der Unterschiede könnte darauf zurückzuführen sein, dass im BEAM-Datensatz wie bei Kleist et al. (2006) Normalherstellungskosten verwendet wurden, aber der Wertverlust durch Abnutzung besser berücksichtigt ist als in Kleist et al. (2006). Die Abweichung zwischen Zeit- und Neuwert von mehr als einem Faktor 2 erscheint jedoch zu hoch.

Abbildung 15 Visualisierung der Verschneidung der Vermögenswerte für Industrie und Dienstleistungen (Service) aus dem BEAM-Datensatz mit extremen Hochwasserszenarien in Hamburg (Sturmflut) und Köln (Flusshochwasser)

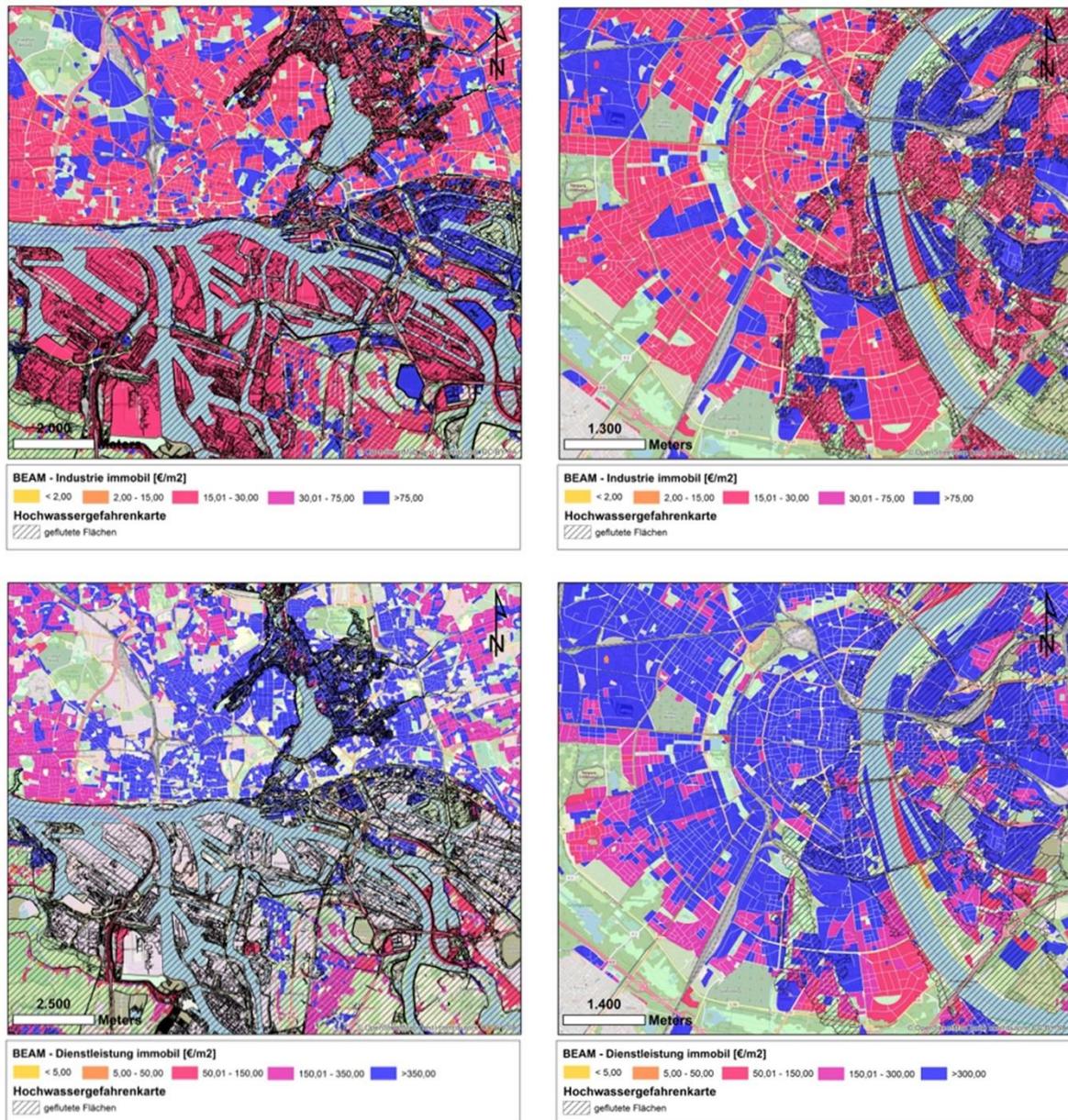


Tabelle 29 Gegenüberstellung der exponierten Vermögenswerte in Gebieten, die von extremem Hochwasser in Hamburg (Sturmflut) und Köln (Flusshochwasser) betroffen sein können

| Datensatz | Sektor | Güter | Region | exponierte Vermögenswerte* |
|-----------------|--------|-------------|--------|----------------------------|
| BEAM (V2, 2012) | Privat | Wohngebäude | Köln | 6.655 Mio. EUR |

| Datensatz | Sektor | Güter | Region | exponierte Vermögenswerte* |
|--|-------------------|--|---------|----------------------------|
| Kleist et al. (2006), aktualisiert 2011 | Privat | Wohngebäude | Köln | 17.870 Mio. EUR |
| BEAM (V2, 2012) | Privat | Wohngebäude | Hamburg | 12.915 Mio. EUR |
| Kleist et al. (2006), aktualisiert 2011 | Privat | Wohngebäude | Hamburg | 28.269 Mio. EUR |
| BEAM (V2, 2012) | Wirtschaft | Gebäude + Ausrüstung in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen | Köln | 11.758 Mio. EUR |
| BEAM (V2, 2012) | Wirtschaft | Gebäude + Ausrüstung in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen | Hamburg | 57.247 Mio. EUR |
| Seifert et al. (2010), Werte für 2003 | Wirtschaft | Gebäude + Ausrüstung in Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen und Verkehr | Hamburg | 80.017 Mio. EUR |

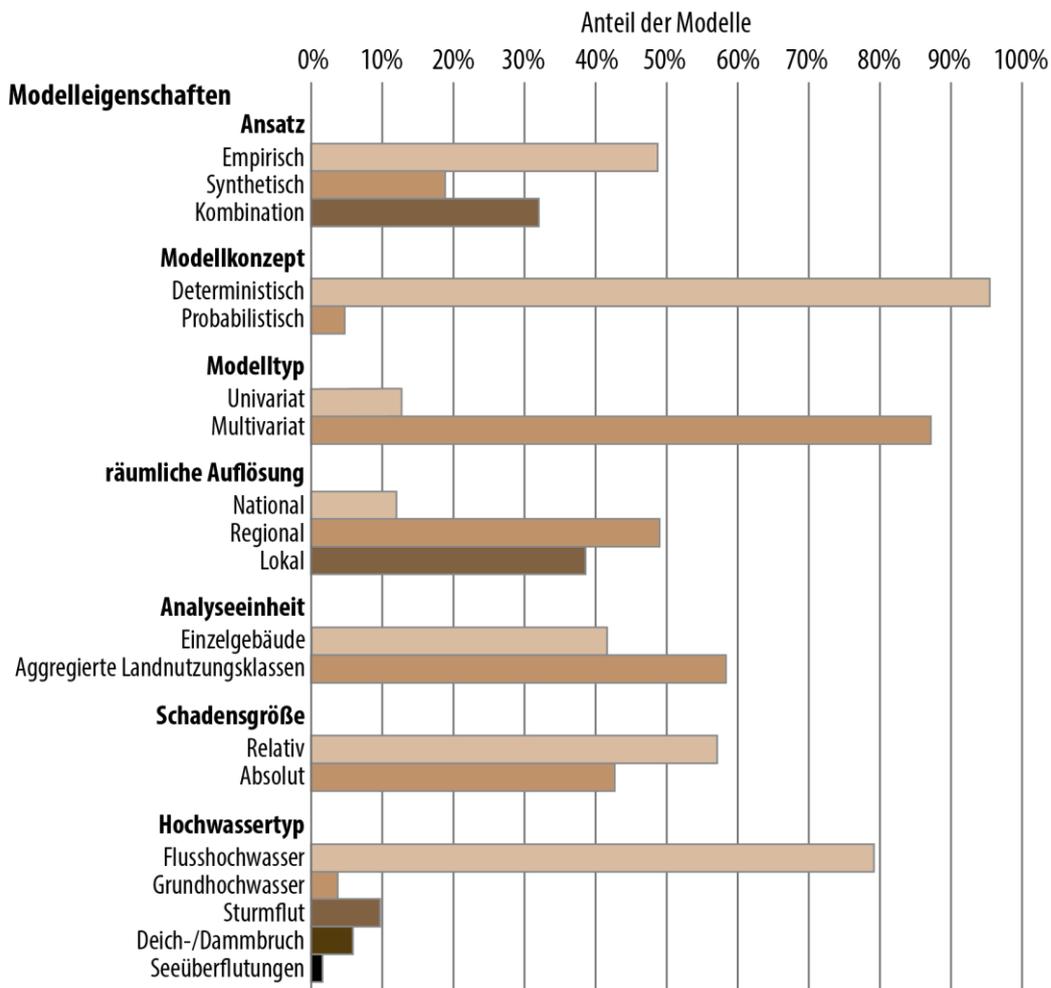
* Werte zum Preisniveau von 2018; die Umrechnung erfolgte mit der langen Reihe für den Neubau von Wohngebäuden ohne Umsatzsteuer.

Bei der Berechnung der exponierten Industrie- und Gewerbevermögen waren die Daten von Seifert et al. (2010) nur für Hamburg zugänglich. Beide Datensätze repräsentieren hier Zeitwerte (Nettoanlagevermögen) und sind daher gut vergleichbar. Während Seifert et al. (2010) sich an der europäischen Wirtschaftsklassifikation (WZ 2003) orientieren, um Unternehmungen einzelnen Branchen zuzuordnen, ist diese Zuordnung zu Industrie einerseits und Gewerbe / Dienstleistungen andererseits im BEAM-Datensatz unklar. Für die Fallstudie Hamburg ergeben sich daher große Unterschiede zwischen beiden Datensätzen, wenn die Werte für Industrie oder Werte für Gewerbe/Dienstleistungen direkt verglichen werden (Ergebnisse nicht dargestellt). Summiert man beide Bereiche auf, ergeben sich deutlich geringere Unterschiede, wobei die Vermögenswerte auf Basis von Seifert et al. (2010) für das Preisniveau 2018 140 % der Vermögenswerte aus dem BEAM-Datensatz repräsentieren (vgl. Tabelle 29). Es ist zu prüfen, ob einzelne Wirtschaftsbranchen hier noch abgezogen werden müssten. So ist zu beachten, dass die Vermögenswerte von Wohnungsbaugenossenschaften o. ä. bereits im Wert für Wohngebäude enthalten sind und daher nicht doppelt gezählt werden dürfen. Da aber nur ca. 18 % des Wohnvermögens in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung enthalten sind (Zeisler et al. 2018), werden Wohnvermögen immer separat berechnet. Ähnliches gilt für Vermögen im Verkehrsbereich: Diese werden im BEAM-Datensatz separat ausgewiesen und verortet, im Datensatz von Seifert et al. (2010) jedoch im Sektor Handel, Gastgewerbe und Verkehr zusammengefasst. Ebenso ist zu prüfen, wo die Verteilung des Nettoanlagevermögens mithilfe von Beschäftigten im BEAM-Datensatz (vgl. Abbildung 13) zu anderen Vermögensbeständen auf NUTS3-Ebene führt als die Gewichtung mit Betriebsstätten, die Seifert et al. (2010) angewendet haben. Um dies zu klären, sind weitere Untersuchungen nötig. Das Fallbeispiel illustriert jedoch, dass es für eine bundeseinheitliche Schadenspotentialermittlung wichtig ist, Grundsätze der Wertermittlung und die zugrundeliegenden Daten festzulegen.

5.2 Schadensmodelle und -funktionen

Schadensmodelle verknüpfen Informationen zur Gefährdung (z. B. Überflutungstiefe) und Sensitivität (Landnutzung und Vermögenswerte in exponierten Gebieten) mit Hilfe von Schadensfunktionen (vgl. Abbildung 11). Die Modelle können nicht aus Copernicusprodukten abgeleitet werden, sondern sind der Fachliteratur zu entnehmen. In einem internationalen Überblicksartikel haben Gerl et al. (2016) 47 Hochwasserschadensmodelle ausgewertet. Die wesentlichen Modelleigenschaften sind in Abbildung 16 zusammenfassend dargestellt. Schadensfunktionen können entweder empirisch aus Schadensdaten abgeleitet werden (ca. 50 % der Modelle wählen diesen Weg) oder auf „Was wäre, wenn?“ Analysen von Experten beruhen (synthetisch, ca. 20 %). Etwa 30 % der Modelle kombinieren beide Ansätze. Ca. 50 % der Modelle wurden für die regionale Skala entwickelt, nicht ganz 40 % für die lokale Skala und etwas mehr als 10 % für die globale Skala. Etwa 95 % der Modelle folgen einem deterministischen Modellkonzept, nur 5 % einem probabilistischen. Dabei werden in mehr als 85 % der Modelle mehrere Variablen für die Abschätzung genutzt, in den übrigen nur eine Variable, i. d. R. der Wasserstand. Bei 40 % der Modelle erfolgt die Verknüpfung von Gefährdung und Schadensanfälligkeit pro Element (z.B. pro Gebäude), bei ca. 60 % flächenhaft, d. h. pro Rasterzelle auf der Basis aggregierter Landnutzungsdaten. Dabei dominieren relative Schadensmodelle, die zusätzlich einen Vermögensdatensatz (wie BEAM) erfordern. Die weit überwiegende Anzahl der Modelle wurde für Flusshochwasser entwickelt. Weiterhin ist bemerkenswert, dass weniger als 50 % der Modelle validiert wurden, d. h., dass die Schadensabschätzungen oftmals nicht mit beobachteten Schäden verglichen wurden (Gerl et al. 2016). Dies ist auch in der Ingenieurspraxis und Projektbewertung in Deutschland zu beobachten und könnte auf die mangelnde und nicht systematisierte Dokumentation von Schadensereignissen zurückgeführt werden (vgl. Thieken et al. 2016; Natho & Thieken 2018).

Abbildung 16 Charakterisierung von Modellen zur Abschätzung potentieller Hochwasserschäden



Quelle: verändert nach Gerl et al. (2016)

Eine Auswahl von Modellen, die in Deutschland für die Abschätzung potentieller Hochwasserschäden für unterschiedliche ökonomische Sektoren angewendet wurden, findet sich in Tabelle 30. Eine ähnliche, z. T. umfassendere Zusammenstellung findet sich in Mölkner (2018), da diese weitere Sektoren sowie Küstenhochwasser einbezieht.

Tabelle 30 Ausgewählte Modelle zur Abschätzung direkter Hochwasserschäden in Deutschland

| Modell | Typ | Sektor | Faktoren | Eingangsdaten | Quelle |
|--------------------|-----------------------|---|--|---|-------------|
| IKSR Modell | empirisch/synthetisch | Privatsektor, Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Infrastruktur | Überflutungstiefe, ökonomischer Sektor | Landnutzung, Vermögenswerte, Überflutungskarten | IKSR (2001) |
| MURL Modell | empirisch | Privatsektor, Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Infrastruktur | Überflutungstiefe, ökonomischer Sektor | Landnutzung, Vermögenswerte, Überflutungskarten | MURL (2000) |

| Modell | Typ | Sektor | Faktoren | Eingangsdaten | Quelle |
|--------------------------------------|---------------------------|---|--|---|---|
| EDAC-Hochwasserschadensmodell | empirisch | Privatsektor | Überflutungstiefe, Fließgeschwindigkeit, Gebäudecharakteristika | Konstruktion der Gebäude, Landnutzung, Überstauhöhe und -dauer | Maiwald & Schwarz (2014) |
| FLEMO Modelle | empirisch | Privatsektor / Industrie und Gewerbe | Überflutungstiefe, Verschmutzung, Gebäudetyp und – Qualität, private Bauvorsorge, Industriezweig, Anzahl der Beschäftigten | Vermögenswerte, Charakteristika der Gebäude und Betriebe, Informationen über Bauvorsorge, Überflutungstiefe | Kreibich et al. (2010), Thieken et al. (2008) |
| Hydrotec Modell | empirisch | Privatsektor, Industrie und Gewerbe, Fahrzeuge, Landwirtschaft, Fortwirtschaft, Infrastruktur | Überflutungstiefe, ökonomischer Sektor | Landnutzung, Vermögenswerte, Überflutungstiefen. | Emschergenossenschaft und Hydrotec (2004) |
| HOWAD | synthetisch | Privatsektor, Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft | Überflutungstiefe, Gebäudetyp, ökonomischer Sektor | Gebäudedaten, Landnutzungsdaten, Überflutungstiefe, Vermögenswerte | Neubert et al. (2016) |
| FLEMO-BT | Empirisch (Bagging trees) | Privatsektor / Industrie und Gewerbe | Überflutungstiefe, Verschmutzung, Gebäudetyp und – Qualität, private Bauvorsorge, Industriezweig, Anzahl der Beschäftigten | Vermögenswerte, Charakteristika der Gebäude und Betriebe, Informationen über Bauvorsorge, Überflutungstiefe, Fließgeschwindigkeit | Merz et al. (2013), Kreibich et al. (2016) |
| Bayes Netze | empirisch | Privatsektor / Industrie und Gewerbe | Überflutungstiefe, Verschmutzung, Gebäudetyp und -qualität, private Bauvorsorge, Industriezweig, Anzahl der Beschäftigten | Vermögenswerte, Charakteristika der Gebäude und Betriebe, Informationen über Bauvorsorge, Überflutungstiefe, Fließgeschwindigkeit | Vogel et al. (2012); Schröter et al. (2014); Sieg et al. (2017) |
| DELENAH | synthetisch /empirisch | Alle Sektoren | Durchschnittlicher Schädigungsgrad | Anzahl der geschädigten/zerstörten Gebäude, durchschnittliche Größe, spezifischer Vermögenswert | Natho & Thieken (2018) |

Diese Auswahl zeigt, dass die Überflutungstiefe ein wichtiger Eingangsparameter vieler Modelle ist. Dies deckt sich mit Analysen empirischer Daten, die zeigen, dass – auch bei verschiedenen Hochwassertypen – der Wasserstand (die Überstauhöhe) einer der wichtigsten Schädigungsparameter ist (Thieken et al. 2005, Vogel et al. 2018). Allerdings können selbst einfache Wasserstand-Schadensfunktionen sehr unterschiedlich sein: Neben einer linearen, schwach ansteigenden Funktion (MURL 2000) sind auch Wurzelfunktionen (Emschergenossenschaft und Hydrotec 2004) oder Parabeln (IKSR 2001) in der Praxis zu finden.

Der Schaden wird allerdings nicht nur durch Einwirkungsparameter beeinflusst (z. B. Überstauhöhe und Fließgeschwindigkeit), sondern auch durch Widerstandparameter wie Gebäudetyp, Gebäudequalität oder private Vorsorge. Diese Parameter werden aber, wie Tabelle 20 verdeutlicht, von den wenigsten Modellen berücksichtigt oder nur in Form verschiedener Gebäude- oder Betriebstypen. Anpassungsmaßnahmen (z. B. Abdichten von Wänden und Türen, Einsatz mobiler Wassersperren) können durch ein Anpassen der Schadensfunktionen (Poussin et al. 2012; Thieken et al. 2016) oder mit empirisch abgeleiteten Minderungsfaktoren abgebildet werden (Bücheler et al. 2006). Mölkner (2018) hat aus verschiedenen Modellen Wasserstand-Schadensfunktionen für unterschiedliche Güter sowie für Flusshochwasser und Sturmflut entwickelt. Sie sind zudem auch an die Wasserstandsklassen der Gefahrenkarten der Länder angepasst (Abbildung 17). Um die Vergleichbarkeit der Schadensabschätzungen zu erhöhen; werden diese auch im Rahmen der Fallstudie (extreme Sturmflut in Hamburg sowie extremes Flusshochwasser in Köln) verwendet (vgl. Abschnitt 5.3).

Hervorzuheben ist, dass die meisten Modelle den Wasserstand direkt mit dem monetären Hochwasserschaden koppeln. Ausnahmen ist für den Wohngebäudebereich das Modell von Schwarz & Maiwald (2008) und für Eisenbahninfrastrukturen das Modell RAIL (Kellermann et al. 2015). In diesen Modellen wird zunächst ein struktureller Schaden – in Abhängigkeit von Einwirkungsparametern wie dem Wasserstand – ermittelt (vgl. Abbildung 18). Der strukturelle Schaden wird je nach Schadensklasse danach monetär bewertet.

Abbildung 17 Wasserstands-Schadensfunktionen für die Fallstudie

| Faktor | Schadigungsgrad je Wassertiefe (in %) (Flussüberschwemmung) | | | | | Schadigungsgrad je Wassertiefe (in %) (Sturmflut) | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------|-------------|-----------|--------|---|-------------|-----------|-----------|--------|
| | 0 - 0,2 m | > 0,2 - 0,5 m | > 0,5 - 1 m | > 1 - 2 m | > 2 m | 0 - 0,5 m | > 0,5 - 1 m | > 1 - 2 m | > 2 - 4 m | > 4 m |
| | 0,1 | 0,35 | 0,75 | 1,5 | 2 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 3 | 4 |
| Siedlung, immobil | 0,22 | 0,95 | 2,63 | 7,50 | 12,00 | 0,63 | 2,63 | 7,50 | 24,00 | 40,00 |
| Siedlung, mobil | 13,77 | 16,62 | 21,18 | 29,73 | 35,43 | 15,48 | 21,18 | 29,73 | 46,83 | 58,23 |
| Siedlung, PKW | 0,00 | 1,60 | 8,00 | 20,00 | 20,00 | 0,00 | 8,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Industrie, immobil | 0,22 | 0,95 | 2,63 | 7,50 | 12,00 | 0,63 | 2,63 | 7,50 | 24,00 | 40,00 |
| Industrie, mobil | 5,70 | 7,45 | 10,25 | 15,50 | 19,00 | 6,75 | 10,25 | 15,50 | 26,00 | 33,00 |
| Verkehr, immobil | 1,00 | 3,50 | 7,50 | 10,00 | 10,00 | 2,50 | 7,50 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Verkehr, mobil | 1,00 | 3,50 | 7,50 | 10,00 | 10,00 | 2,50 | 7,50 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Landwirtschaft | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Viehvermögen | 10,00 | 35,00 | 75,00 | 100,00 | 100,00 | 25,00 | 75,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Grün-, Sport- und Freizeitanlagen | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Wald, Forst | 0,50 | 1,75 | 3,75 | 5,00 | 5,00 | 1,25 | 3,75 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |

Quelle: Mölkner (2018), Anhang 7

Abbildung 18 Strukturelle Schadensklassen für Wohngebäude

| Schadensgrad | Schadensbild (Prinzipskizze) | Beispiel |
|--------------|--|---|
| D1 |  |  |
| D2 |  |  |
| D3 |  |  |
| D4 |  |  |
| D5 |  |  |

Quelle: Schwarz & Maiwald (2008)

Diese zweistufige Herangehensweise wird auch von der International Strategy for Disaster Reduction der Vereinten Nationen (UN-ISDR) für die Dokumentation von Schäden nach Ereignissen für das Monitoring des Sendai-Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge 2015-2030 (SFDRR; UN-ISDR 2015) vorgeschlagen, d. h. zunächst werden die geschädigten physischen Einheiten erhoben, z. B. die Anzahl der geschädigten oder zerstörten Wohnhäuser, Gewerbetriebe, Krankenhäuser und Schulen oder die überschwemmte landwirtschaftliche Fläche. Danach erfolgt eine einfache, aber konsistente Schätzung der finanziellen Schäden nach folgender Gleichung:

$$\text{Schaden} = \text{Anzahl der geschädigten Elemente} * \text{mittlere Größe der geschädigten Elemente [in m}^2\text{]} * \text{Erstellungskosten [in EUR / m}^2\text{]} * \text{Schadigungsgrad}$$

Natho & Thieken (2018) haben die Anwendbarkeit dieses Verfahren für Deutschland anhand von Hochwasser-, Hagel- und Sturmereignissen getestet und weiterentwickelt. Es eignet sich insbesondere für eine schnelle Schadensabschätzung im Ereignisfall. Beispielsweise stellt der Copernicus EMS Überflutungsmasken eines Hochwasserereignisses zur Verfügung (vgl. Abschnitt 2.2.1.1). Durch Verschneidung mit einem Landnutzungsdatensatz (CLC, Urban Atlas oder auch BEAM) ließen sich die betroffenen Landnutzungen und ggf. betroffene Objekte oder Vermögenswerte ermitteln. Spezifische Vermögenswerte aus Tabelle 27 und Tabelle 28 lassen sich für die Werteabschätzung nutzen, wobei zu beachten ist, dass für Wiederherstellungsmaßnahmen Bruttowerte benötigt werden. Weitere Modellparameter (z.B. mittlere Wohnungsgröße, verschiedene mittlere Schädigungsgrade pro Sektor) sind Statistiken oder der Fachliteratur (z.B. Natho & Thieken 2018) zu entnehmen.

Insgesamt kommen Natho & Thieken (2018) zu folgenden Schlüssen: Das Modell ist in Deutschland generell anwendbar, die Schadensschätzungen beinhalten aber große Fehler.

Insbesondere Schäden an Infrastrukturen werden unterschätzt. Hingegen erfolgt eine Überschätzung, wenn man insbesondere mit dem von UN-ISDR dem empfohlenen Schadensgrad von 25 % rechnet. Dieser ist i.d.R. für Schadensereignisse in Deutschland deutlich zu hoch. Natho & Thieken (2018) schlagen einen mittleren Schädigungsgrad von 6,8 % für gewöhnliche Hochwasser und 14,3 % für extreme Hochwasser vor. Die systematische Nutzung des Copernicus „Rapid Mapping Service“ könnte zusammen mit diesem einfachen Modell zu einem effektiven Werkzeug der Ereignis- und Schadensdokumentation werden.

5.3 Fallstudie Schadensabschätzung

Anhand der Gefahrenkarten, die im Zuge der Umsetzung der HWRM-RL erstellt wurden, wurde eine Schadenspotentialanalyse mit dem BEAM-Datensatz durchgeführt. Exemplarisch wurden die extremen Hochwasserszenarien für Sturmflut in Hamburg sowie für Flusshochwasser in Köln ausgewählt (vgl. Abbildung 15). Die Ergebnisse für Hamburg können mit den Berechnungen des UFOPLAN-Vorhabens „Behördenkooperation Klimawandel und Anpassung“ sowie Mölkner (2018) verglichen werden. Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wurden für die Schadensabschätzung die Schadensfunktionen aus Mölkner (2018; vgl. Abbildung 17) eingesetzt.

Tabelle 31 stellt die Ergebnisse für Hamburg gegenüber: Wie beim exponierten Vermögen (vgl. Tabelle 29) unterscheidet sich bei den Wohngebäuden auch der geschätzte Schaden deutlich: 3.630 Mio. EUR auf Grundlage des BEAM-Datensatzes stehen 8.360 Mio. EUR bei Verwendung des aktualisierten Datensatzes von Kleist et al. (2006) gegenüber, was zu einem Teil sicherlich auf die unterschiedlichen monetären Bewertungen zurückzuführen ist (Zeit- versus Neuwert). Dennoch scheint der BEAM-Datensatz bei den Wohngebäuden eher zur Unterschätzung zu tendieren. Aufgrund der unterschiedlichen monetären Bewertungen ist hier eine weitere Vergleichsstudie – idealerweise mit ATKIS oder ALKIS-Daten – zu empfehlen.

Bei den Unternehmensschäden fallen beide Werte mit ca. 16,5 und 20,2 Mrd. EUR ähnlicher aus. Letztere ordnen sich gut in die Vergleichsstudien ein (Tabelle 31). Tabelle 32 zeigt die Ergebnisse für Köln. Ohne vergleichbare Studien sind die Werte jedoch schwierig zu interpretieren.

Tabelle 31 Absolute Schäden durch Küstenhochwasser in Hamburg für verschiedene Sektoren und unterschiedliche Überflutungsszenarien in Mio. EUR (gerundet auf drei signifikante Stellen, Referenzjahr: 2018)

| Variante | HW häufig | HW mittel | HW extrem |
|--|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Schäden an Wohngebäuden (Quelle: Behördenkooperation Klimawandel); Datensatz von Kleist et al. (2006, aktualisiert für 2011), Schadensmodell FLEMO (Thieken et al. 2008) | 23,1 (29,5 / 32,2)* | 25,7 (33,0 / 35,9)* | 5.720 (7.670 / 8.000)* |
| Schäden an Wohngebäuden, Schadensmodell „Siedlung immobil“ aus Abbildung 17; BEAM-Datensatz | | | 3.630 |
| Schäden an Wohngebäuden, Schadensmodell „Siedlung immobil“ aus Abbildung 17; Datensatz von Kleist et al. (2006, aktualisiert für 2011) | | | 8.360 Zeitwert: ca. 4.180 |
| Schäden an Wirtschaftsgütern: Gebäude, Ausrüstung und Vorräte (Quelle: Behördenkooperation) | 220 (268)* | 280 (341)* | 12.900 (15.700)* |

| Variante | HW häufig | HW mittel | HW extrem |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Klimawandel) mit dem Schadensmodell FLEMO (Kreibich et al. 2010, Seifert et al. 2010b) | | | |
| Schäden an Wirtschaftsgütern (Gebäude und Ausrüstung), Schadensmodell „Industrie immobil“ aus Abbildung 17; BEAM-Datensatz | | | 16.500 |
| Schäden an Wirtschaftsgütern (Gebäude und Ausrüstung), Schadensmodell „Industrie immobil“ aus Abbildung 17; Datensatz von Seifert et al. (2010) | | | 20.200 |
| alle Schadenssektoren, d.h. Siedlung, Industrie, Verkehr, Land-/Forstwirtschaft und Freizeit (Quelle: Mölkner 2018, Preisniveau verändert), Schadensmodelle aus Abbildung 17 | 379 | 379 | 24.100 |

* Wohngebäudeschäden in Klammern nach Anwendung der Anpassungsfaktoren für Salzwasser bzw. Wellenaktivitäten gemäß Penning-Rowse (1992) / Nadal et al. (2010), für Unternehmensschäden gemäß Penning-Rowse et al. (2005).

Tabelle 32 Absolute Schäden durch ein extremes Flusshochwasser in Köln für verschiedene Sektoren in Mio. EUR (gerundet auf drei signifikante Stellen, Preisniveau 2018)

| Variante | HQ extrem |
|--|--------------------------|
| Schäden an Wohngebäuden, Schadensmodell „Siedlung immobil“ aus Abbildung 17; BEAM-Datensatz 2012 | 283 |
| Schäden an Wohngebäuden, Schadensmodell „Siedlung immobil“ aus Abbildung 17; Datensatz von Kleist et al. (2006, aktualisiert auf 2011) | 749 Zeitwert: ca. 375 |
| Schäden an Wirtschaftsgütern, Schadensmodell „Industrie immobil“ aus Abbildung 17; BEAM-Datensatz 2012 | 550 |

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Nutzung von Copernicus- Daten und Diensten bei der Schadenspotentialermittlung und Schlussfolgerungen

Die Ermittlung potentieller Hochwasserschäden kann bei der Umsetzung von allen drei Schritten der HWRM-RL sowie im Ereignisfall relevant sein: 1) zur deutschlandweit einheitlichen Bestimmung von Risikogebieten, 2) zur Quantifizierung direkter Hochwasserschäden an Sachwerten, 3) zur Projektbewertung durch die Betrachtung von vermiedenen Schäden im Vergleich zu den Projektkosten sowie 4) zur Abschätzung tatsächlicher Schäden im Ereignisfall. Bei allen Anwendungen werden für die Abschätzung potentieller Schäden Informationen 1) zur Hochwassergefährdung, 2) zum exponierten Vermögen sowie 3) zur Schadensanfälligkeit mit unterschiedlicher Genauigkeit benötigt. Im Sachverständigengutachten wurde geprüft, welche Eingangsdaten in Copernicus für die Schadenspotentialanalyse zur Verfügung stehen und wie diese hinsichtlich ihrer Eignung im HWRM bewertet werden können. Dabei wurden ansatzweise die Vermögenswerte aus dem BEAM-Datensatz auf Eignung für eine deutschlandweit konsistente Schadenspotentialanalyse für den 1.ersten Schritt der HWRM-RL geprüft. Diese Analyse fand auf drei Ebenen statt:

Zunächst wurden flächenspezifische Vermögenswerte für Wohngebäude und Wirtschaftsvermögen aus BEAM mit anderen Vermögenswerten, z. B. aus vergleichbaren Schadensabschätzungen sowie aus Arbeitshilfen für die Schadenspotentialermittlung von verschiedenen Bundesländern, verglichen. In einem weiteren Schritt wurde für zwei Szenarien, und zwar für ein extremes Sturmflutszenario in Hamburg und ein extremes Flusshochwasser in Köln, das in den überfluteten Gebieten exponierte Vermögen für Wohngebäude und Wirtschaftsgüter auf Basis von BEAM-Deutschland sowie einem Vergleichsdatensatz aus der Forschung ermittelt. Schließlich wurden für diese beiden Szenarien Schadenspotentiale berechnet und mit Ergebnissen aus vergleichbaren Studien verglichen.

Die Analysen führen zu folgenden Ergebnissen:

- ▶ Im Hinblick auf Gefährdungsinformationen können Copernicus-Daten und Dienste vor allem im Ereignisfall Daten zum Überflutungsausmaß (Rapid Mapping) liefern sowie die Erstellung von Gefahrenkarten unterstützen (vgl. Abschnitt 4.2). Zusammen mit einem einfachen Schadensmodell könnten diese Produkte zu einer schnellen Schadensabschätzung im Ereignisfall weiterentwickelt werden oder zur Berichterstattung zum internationalen Sendai-Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015-2030 beitragen.
- ▶ Größeres Nutzungspotential liegt jedoch vermutlich in der Bereitstellung von konsistenten und regelmäßig aktualisierten Landbedeckungsdaten wie CORINE-Land Cover oder Urban Atlas. Damit lassen sich – konsistent in Raum und Zeit – bei Hochwasser (potentiell) betroffene Landnutzungen und damit verbundene Sachwerte analysieren. Allerdings erlauben diese Produkte keine gebäudescharfen Schadensabschätzungen, wie sie bei Projektbewertungen nötig sind. Auch linien- oder punkthafte Infrastrukturobjekte sind in der Regel nicht in diesen Daten enthalten. Zudem müssen den Landnutzungsklassen Vermögenswerte, z. B. aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung als Nettoanlagevermögen, zugeordnet werden.
- ▶ Eine räumliche Verfeinerung der CORINE Land Cover-Daten, inkl. einer Integration von Infrastrukturen, sowie eine Zuordnung von Vermögenswerten wird in Copernicus mit dem Datensatz BEAM (Basic European Asset Map) bereitgestellt. Dieser Datensatz ist in Deutschland für den Stand 2012 verfügbar und stellt Vermögenswerte für private Haushalte (Wohngebäude, Hausrat, PKW), Wirtschaft (Industrie und Dienstleistungen), Landwirtschaft und verschiedene Infrastrukturen zur Verfügung. Der Datensatz basiert auf amtlichen Statistiken und CORINE-Landbedeckungsdaten, die mit Daten aus dem Urban Atlas sowie Daten zu Infrastrukturen in ihrer räumlichen Auflösung erheblich verbessert wurden.
- ▶ Der Vergleich von flächenspezifischen Vermögenswerten für Wohngebäude und Wirtschaftsvermögen aus BEAM-Deutschland mit anderen Werten bringt – trotz gleicher oder sehr ähnlicher Ableitung der Vermögenswerte - große Unterschiede zwischen den Werten hervor. Die Unterschiede können zum Teil durch die unterschiedliche räumliche Auflösung der zugrundeliegenden Landnutzungsdaten (CLC, ATKIS oder ALKIS) erklärt werden. Allerdings treten auch bei Verwendung von ALKIS-Daten große Unterschiede zwischen Bundesländern auf, die den Schluss nahelegen, dass ALKIS-Daten vermutlich zu inkonsistent für eine deutschlandweite Abschätzung sind.

- ▶ Grundsätzlich ist der BEAM-Datensatz für Hochwasserschadenspotentialanalysen geeignet. Durch die gute Integration von Infrastrukturen sowie die Anbindung an die Fortschreibung der CORINE-Daten bietet er Vorteile gegenüber ATKIS- oder ALKIS-Daten, z. B. einen klaren Zeitstempel sowie eine höhere Konsistenz bei der Ausweisung von Landbedeckungsklassen. Die Verteilung der Vermögenswerte auf einzelne Landbedeckungsklassen ist nicht vollständig dokumentiert. Die für eine Schadenspotentialanalyse notwendigen Schadensfunktionen oder Schadensmodelle müssen der Fachliteratur entnommen werden.
- ▶ In den Expositionsanalysen für Überflutungsszenarien in Hamburg und Köln zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen BEAM-Deutschland und den Forschungsdatensätzen, die sich (nur) zum Teil auf unterschiedliche Eingangsdaten und unterschiedliche monetäre Bewertungskonzepte zurückführen lassen. Diese Unterschiede zwischen BEAM und den Forschungsvermögensdatensätzen setzen sich auch in der Schadensabschätzung für die beiden Szenarien fort. Insgesamt zeichnet sich mit BEAM-Deutschland eine leichte Tendenz zur Unterschätzung von Vermögenswerten und der potentiellen Schäden ab.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

- ▶ Die Grundlagen zur Abschätzung von Vermögenswerten, d. h. die monetären Bewertungskonzepte, zu bewertende Güter, Eingangsdaten, Landnutzungsdaten und Methoden sind für eine bundeseinheitliche Schadenspotentialanalyse gut zwischen den Bundesländern abzustimmen und zu dokumentieren.
- ▶ Die Eignung des BEAM-Datensatzes sollte an vier bis fünf weiteren Fallstudien untersucht und mit Vermögensdatensätzen aus den Arbeitshilfen zur Schadenspotentialermittlung verschiedener Bundesländer verglichen werden. Dabei sollten verschiedene Bundesländer, topographische Lagen (z. B. Küste, Flachland, Mittelgebirge, Alpen) bzw. Hochwassertypen berücksichtigt werden.
- ▶ Für eine langfristige Nutzung ist zu klären, wie die Fortschreibung des BEAM-Datensatzes innerhalb des Copernicus-Programms geplant ist und was dies für Zugänglichkeit des Datensatzes bedeutet. Zudem ist für eine langfristige Verwendung des Datensatzes zu fordern, dass die Methodik (inklusive des Mappingverfahrens) vollständig dokumentiert werden sollte.
- ▶ Schließlich sollten alternative Lösungsansätze für die Schadenspotentialanalyse geprüft werden. Verschiedene Arbeitshilfen von Bundesländern zur Schadenspotentialermittlung zeigen, dass weitgehend Einvernehmen über die Wertermittlung besteht: So wird für Wirtschaftsgüter das Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen verwendet. Für die Vermögen der privaten Haushalte werden separate Ansätze, oft auf Basis von markt- oder Versicherungswerten, angewendet. Klärungs- und Vereinheitlichungsbedarf gibt es hingegen bei der räumlichen Verteilung der Vermögen auf Landdeckungsklassen sowie der Anwendung von Schadensfunktionen/-modellen. Da die Forschung mittlerweile diverse Schadensmodelle entwickelt hat, sollte hierzu eine Vergleichsstudie durchgeführt werden, die auch die nachhaltige Anwendung der Modelle für die HWRM-RL im Blick hat. Dabei ist

auf eine transparente Dokumentation aller Modellierungsschritte und Annahmen besonders Wert zu legen.

6 Fallstudien

Im vorliegenden Gutachten sollen anhand von Fallbeispielen die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings für Fragen des Hochwasserrisikomanagements untersucht und aufgezeigt werden.

Neben den Untersuchungen zur Eignung der Copernicus-Daten und Dienste für eine bundesweit einheitliche Schadenspotentialermittlung in Kapitel 5 wurden drei weitere Beispiele gewählt:

- ▶ Elbehochwasser 2013: Evaluierung der Ergebnisse der aktuellen CEMS Risk & Recovery Aktivierung und Vergleich mit CEMS Rapid Mapping Ergebnissen von 2013
- ▶ Elbdeichrückverlegung bei Lenzen: Lassen sich die Effekte mittels Fernerkundung beobachten?
- ▶ Versiegelungsanalyse einer Aue anhand dreier Copernicus-Datensätze

Die Beispiele werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

6.1 Elbehochwasser 2013: Evaluierung der Ergebnisse der aktuellen CEMS Risk & Recovery Aktivierung und Vergleich mit CEMS Rapid Mapping Ergebnissen von 2013

6.1.1 Die Hintergründe

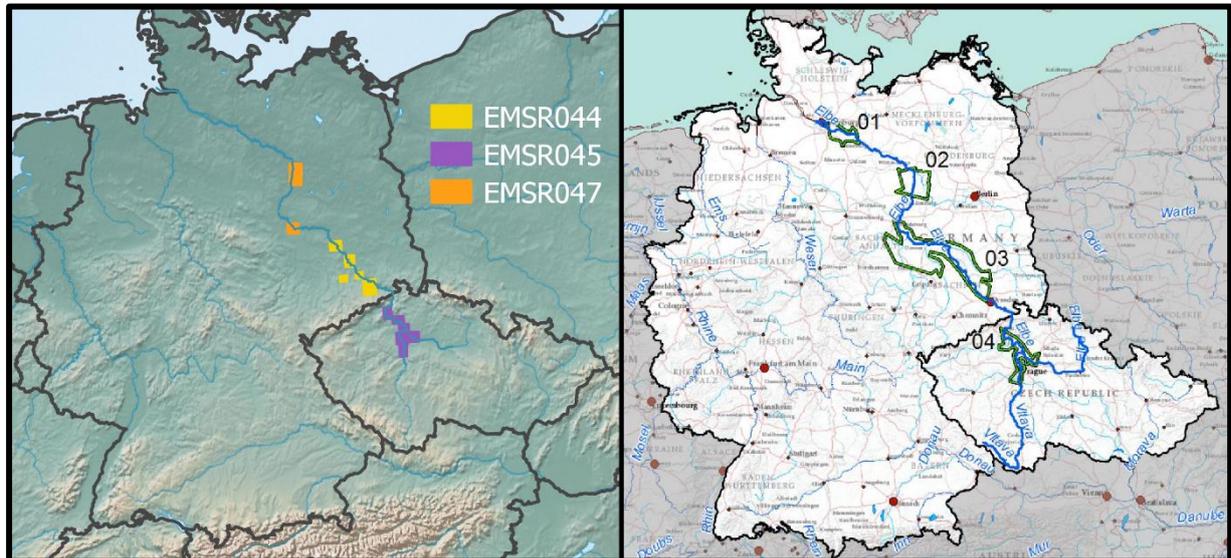
Den Starkniederschlägen vom 30. Mai bis 2. Juni und 24. Juni bis 26. Juni ging bereits ein überdurchschnittlich feuchter Mai voraus. Im tschechischen Einzugsgebiet der Elbe fiel 174 % des vieljährigen (1961-1990) Normalniederschlags, im deutschen Teil regnete es beispielsweise vom südlichen Schleswig-Holstein bis zum nördlichen Bayern 250 % des monatlichen Niederschlagssolls. Die hohen Niederschläge verursachten eine sehr hohe Sättigung der Bodenfeuchte, die im weiteren Verlauf zu einer Abnahme der Absorptionskapazität der Böden führte, so dass der Niederschlag verstärkt oberflächlich abfließen musste. Die Bodenfeuchte Ende Mai erreichte in den Einzugsgebieten der Saale und der Mulde Werte für die nutzbare Feldkapazität (nFK) zwischen 12 % und 45 % über dem langjährigen Tagesmittel (1981 - 2010). Durch diese Bedingungen ergaben sich hohe Abflussbeiwerte und sehr schnelle Abflussreaktionen auf die folgenden Starkniederschläge vom 30. Mai bis zum 2. Juni (IKSE 2014).

6.1.2 Ergebnisse Copernicus EMS Risk and Recovery (RRM)

Der Copernicus EMS Risk and Recovery Dienst (siehe Kapitel 2.2.1.1) wurde am 2. Oktober 2018 durch die BBK im Auftrag der Internationalen Kommission für den Schutz der Elbe (IKSE) aktiviert, um für ausgewählte Gebiete entlang des Elbe / Vltava Einzugsgebietes das Elbehochwasser 2013 zu rekonstruieren (siehe auch Annex B). Es sollte einerseits die Größe der überschwemmten Fläche für die ausgewählten Gebiete erfasst und andererseits eine umfangreiche Analyse der Entwicklung des Hochwassers zwischen 2. Juni 2013 und 5. Juli 2013 durchgeführt werden. Die Aktivierung mit der Nummer EMSN056 umfasst vier Untersuchungsgebiete (Areas of interests - AOIs) unterschiedlicher Größe und Form. Abbildung 19 - rechts zeigt die Lage der unterschiedlichen AOIs. Das Interessensgebiet an der unteren Elbe bei Boitzenburg / Elbe (AOI01) ist mit 920 km² das kleinste Gebiet, gefolgt von der Mittel-Elbe bei Havelberg (AOI02) mit 1688 km² und der tschechischen Oberelbe bei Litoměřice (AOI04) mit 1880 km². Das größte Gebiet in Deutschland bei Riesa (AOI03), deckt eine Fläche von 7062

km² ab. Die CEMS-Aktivierung sah die Erstellung von Übersichtskarten der Überschwemmungsflächen und der Analyse des zeitlichen Verlaufes vor.

Abbildung 19: Übersichtskarten der Untersuchungsgebiete; links die Rapid Mapping Aktivierung 2013 und rechts die Risk and Recovery Mapping Aktivierung

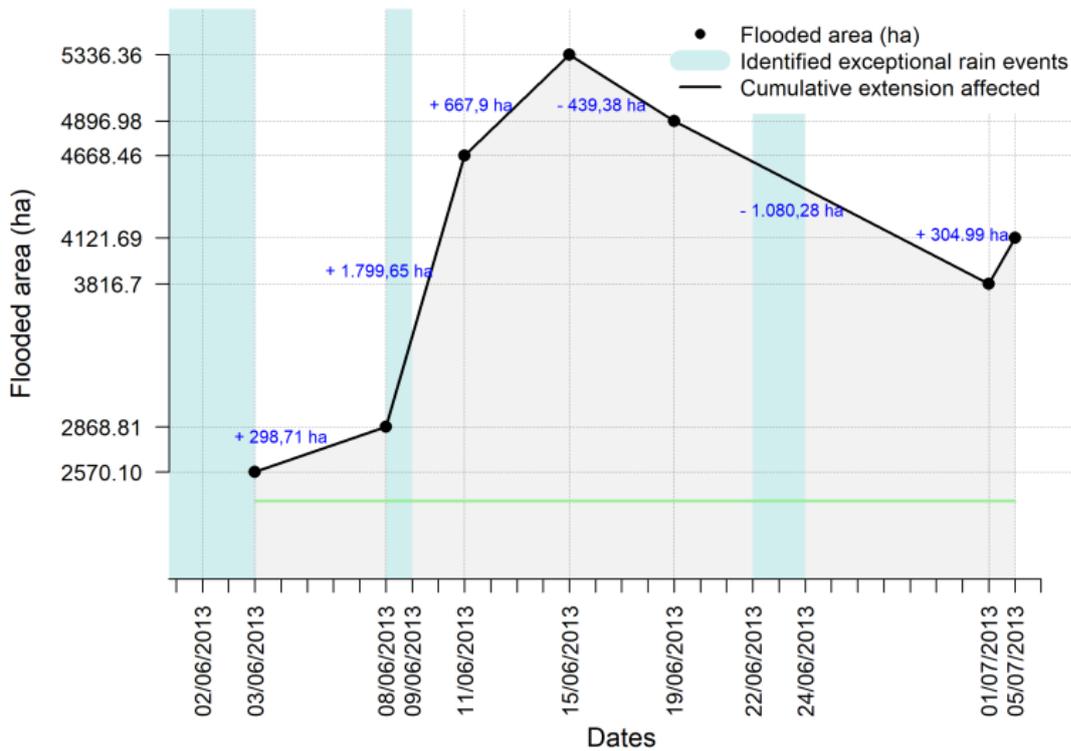


Quelle: Links: eigene Darstellung aus Informationen des Copernicus EMS, rechts: Final Report EMSN-056, INDRA (2018)

Für jedes AOI wurde die Hochwasserüberschwemmungsfläche in km² zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des gewählten Untersuchungszeitraums erfasst. Dafür wurden sowohl Radar- als auch optische Daten eingesetzt. Damit konnten für alle AOIs zusammengenommen Aufnahmen von 19 Tagen verwendet werden. Allerdings deckten die verfügbaren Bilddaten die AOIs nicht zu jedem Zeitpunkt vollständig ab. Für die Analyse der Hochwasserentwicklung über die Zeit wurden die Hochwassermasken verwendet, die für jeden Zeitpunkt denselben Teil der AOIs abdecken. Daraus ergaben sich für Boitzenburg (AOI01) 7 Zeitpunkte, die zu 100 % das AOI abdecken. Für den Bereich Havelberg (AOI02) ergaben sich 5, die zu 65 % das AOI abdecken. Der Bereich Riesa (AOI03) wird zu 4 Zeitpunkten von 40 % des AOIs abgedeckt. Für das AOI bei Litoměřice gibt es Hochwassermasken zu 8 Zeitpunkten, die 28 % der Fläche abdecken. Diese Hochwassermasken wurden verglichen und jeweils Graphen zur Hochwasserentwicklung erstellt. In einem Graphen werden die Dynamik des Hochwassers und kumulative Ausdehnungswerte dargestellt, im anderen die Veränderungsrate. Darüber hinaus werden ebenfalls registrierte Starkregenereignisse angezeigt. Die folgenden Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Graphen beispielhaft für das AOI01 bei Boitzenburg.⁴⁴

⁴⁴ Die Graphen zu den übrigen Untersuchungsgebieten finden sich im Endbericht der Copernicus Aktivierung EMSN054.

Abbildung 20: Hochwasserdynamik und kumulative Ausdehnung der Überschwemmungsfläche



Quelle: Final Report EMSN-056, INDRA (2018)

Abbildung 20 zeigt, dass die Hochwasserfläche bei Boitzenburg (AOI01) mit 53,4 km² ihren Höhepunkt am 15. Juni erreichte. Bei Havelberg (AOI02) wurde die mit 197,8 km² größte Fläche am 18. Juni gemessen. Bei Riesa (AOI03) und am Zusammenfluss von Elbe und Vltava bei Litoměřice (AOI04) wurden die größten Ausmaße des Hochwassers bereits 10 – 12 Tage früher erreicht. Bei Riesa (AOI03) erreichte die Überschwemmungsfläche am 6. Juni eine Fläche von 169,2 km². Bei Litoměřice (AOI04) war die Hochwasserfläche am 6. Juni mit 28,3 km² am größten.

Abbildung 21 zeigt die Veränderungsrate der Überschwemmungsflächen Bei Boitzenburg (AOI01) für den untersuchten Zeitraum. Die roten Balken beschreiben eine Zunahme der Überschwemmungsflächen, die grünen eine Abnahme. Nach den Starkregenereignissen am 09.06. nehmen die Flächen stark zu, bis das Hochwasser am 16.06. beginnt, sich zurückzuziehen, und sich damit die Überschwemmungsflächen verringern. Am 05.07. ist ein erneuter Anstieg zu verzeichnen.

6.1.4 Vergleich der Ergebnisse Copernicus EMS Risk and Recovery und Rapid Mapping

Die Lage der Kartiergebiete der RM Kampagne entsprechen ungefähr den RRM AOI2, AOI3 und AOI4. Die Untersuchungsgebiete des RRM beziehen jedoch auch weiter entfernt von der Elbe liegende Flächen mit ein (siehe Abbildung 10). Tabelle 33 stellt die Ergebnisse der unterschiedlichen AOIs gegenüber.

Tabelle 33: Flächenvergleich der AOIs des RRM und des RM

| | AOI | Datum | Überschwemmte Fläche ⁴⁵ | Bilddaten |
|--|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| RRM: Boitzenburg (AOI01) | 920 km ² | 15.06. | 53,4 km ² | COSMOSkyMed (Italien, SAR, Contributing Mission) |
| RM: - | - | - | - | - |
| RRM: Havelberg (AOI02) | 1688 km ² | 17.06. | 189,9 km ² | GeoEye-01 (USA, optisch, Contributing Mission) |
| RM: Fischbeck, Breitenhagen (EMSR047) | 1056,6 km ² | 17.06. | 130 km ² | WorldView-02 (USA, optisch, Contributing Mission) |
| RRM: Riesa (AOI03) | 7062 km ² | 05.06. (hier erste Aufnahme) | 158,5 km ² | COSMOSkyMed (Italien, SAR, Contributing Mission) |
| RM: Torgau, Riesa, Döbeln, Meißen und Dresden (EMSR044) | 1443,2 km ² | 03.06. | 24,7 km ² | COSMOSkyMed (Italien, SAR, Contributing Mission) |
| RRM: Litoměřice (AOI04) | 1880 m ² | 06.06. (hier erste Aufnahme) | 28,2 km ² | COSMOSkyMed (Italien, SAR, Contributing Mission) |
| RM: Litoměřice, Brandys, Kralupy, Melnik, Steti und Prag (EMSR045) | 1685,7 km ² | 03.06. | 32,6 km ² | COSMOSkyMed (Italien, SAR, Contributing Mission) |

⁴⁵ Die Flächengrößen des RRM wurden aus den Abbildungen des Endberichtes abgeleitet, da die Originaldaten zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht verfügbar waren.

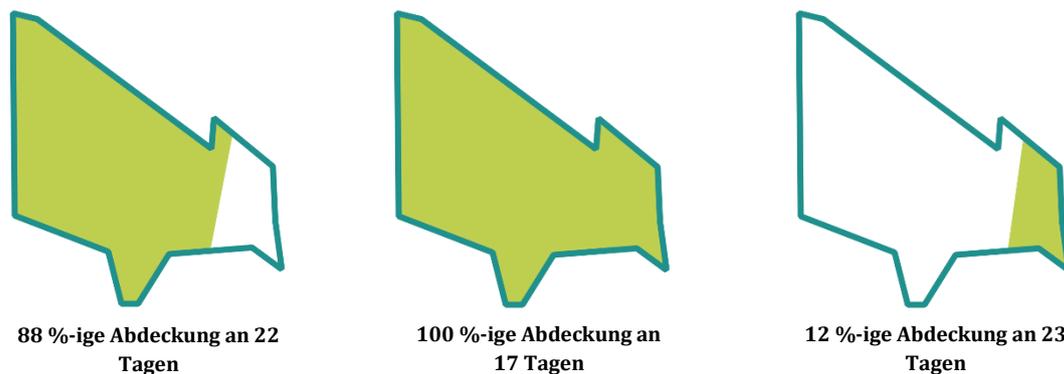
Während für die Mittelelbe (AOI02 / EMSR047) beim RRM GeoEye-01-Daten und beim RM WorldView-02-Daten verwendet wurden, sind alle anderen AOIs zu oben genannten Zeitpunkten mit COSMOSkyMed-Daten erfasst worden. Sowohl GeoEye-01 als auch WorldView-02 werden von DigitalGlobe betrieben. DigitalGlobe ist ein amerikanisches Unternehmen, das kommerziell Satellitendaten anbietet. Beide Satelliten nehmen im multispektralen Bereich auf, GeoEye-01 mit 4 Bändern mit einer Auflösung von 1,84 m (Satellite Imaging Corporation 2019a), WorldView-02 mit 8 Bändern und einer Auflösung von 0,45 m (Satellite Imaging Corporation 2019b). COSMOSkyMed ist ein Radarsatellit der Italienischen Weltraumagentur (ASI). Je nach Modus können Auflösungen zwischen 1 m und 100 m erzielt werden (COSMOSkyMed 2019).

Da dem RRM AOI bei Boitzenburg (AOI01) keine Aktivierung des RM entspricht, können keine vergleichenden Aussagen getroffen werden. Die abweichenden Überschwemmungsflächen in den anderen Untersuchungsgebieten können verschiedene Ursachen haben:

- ▶ Die Untersuchungsgebiete haben unterschiedliche Größen; während sich das RRM AOI an deutsche Oberelbe (AOI03) beispielsweise über eine Fläche von ca. 7000 km² erstreckt, beträgt die Größe des RM-Untersuchungsgebietes nur 1400 km².
- ▶ Es werden Daten unterschiedlicher Satelliten und Sensoren (optisch, SAR) eingesetzt. Dies erfordert unterschiedliche Bildverarbeitungsverfahren, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Die Bilddaten können unterschiedliche räumliche Auflösungen aufweisen, so dass sich die Detailschärfe der Ergebnisse ändert.
- ▶ Es werden Bilddaten unterschiedlicher Zeitpunkte verglichen.
- ▶ Die Untersuchungen (RM und RRM) wurden von unterschiedlichen Dienstleistern durchgeführt, die unterschiedliche Verfahren angewendet haben.
- ▶ Im Bereich der deutschen Oberelbe (AOI03) haben am 03.06. weitere Niederschläge stattgefunden, die in der Aufnahme vom 05.06 in Form einer größeren Überschwemmungsfläche sichtbar werden.

Das untersuchte Hochwasser von 2013 hat in der Zeit vor dem Start der Sentinel-Satelliten stattgefunden. Aufgrund der hohen Repetitionsrate (siehe Kapitel 2.1.1) sind Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf von Hochwassern mit Bilddaten der Sentinel-1 Satelliten heute leichter möglich. Für Mitteleuropa stehen fast täglich neue Bilddaten zur Verfügung. Eine Analyse zur Datenverfügbarkeit von Sentinel-1 für das Jahr 2018 zeigt beispielsweise, dass für die 34 Tage des Untersuchungszeitraums des RRM (2. Juni bis 5. Juli) an 17 Tagen eine 100%-ige Abdeckung für das Gebiet der Mittel- und Oberelbe bei Boitzenburg (AOI01) erzielt werden kann (siehe Abbildung 22). Um einen Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Anforderungen der Nutzer zu erreichen, wurde ein gut durchdachter Aufnahmeplan für Sentinel-1 entwickelt, weshalb nicht jede Aufnahme das Gebiet vollständig abdeckt, sondern an zusätzlichen Tagen auch Teilabdeckungen stattfinden. Dadurch können 88 % des Gebiets an 22 Aufnahmezeitpunkten abgedeckt werden und 12 % des Gebiets an 23 Aufnahmezeitpunkten. Insgesamt gibt es 28 Aufnahmezeitpunkte, an denen die Elbe bei Boitzenburg (AOI01) teilweise oder komplett abgedeckt wird. Damit wird bei der Gesamtdauer von 35 Tagen eine fast tägliche Datenverfügbarkeit erreicht. Im Vergleich dazu konnte für das Hochwasser 2013 nur an 7 Tagen eine vollständige Abdeckung des AOIs erreicht werden.

Abbildung 22: Sentinel 1 A / B Abdeckung der Elbe bei Boitzenburg (AOI01) über den RRM Untersuchungszeitraum



Quelle: Eigene Darstellung

Die Rapid Mapping Kartierungen erfolgen kurzfristig und unter hohem Zeitdruck. Als Datengrundlage liegt meist nur eine aktuelle Bildaufnahme vor. Die Risk and Recovery Aktivierung dagegen hat für die Reanalyse mehr Zeit zur Verfügung und kann auf umfangreichere Datenarchive zugreifen. Dies ermöglicht auch, wie im vorliegenden Beispiel geschehen, eine detaillierte Untersuchung der Hochwasserentwicklung über einen längeren Zeitraum. Die Ergänzung der RRM-Ergebnisse mit Graphen und Hintergrundinformationen zum meteorologischen Geschehen ermöglichen rückblickend eine umfassendere Untersuchung eines Hochwasserereignisses.

Beide Arten der Aktivierungen sind somit für das Hochwassermanagement sehr hilfreich. Das Rapid Mapping kann vor allem als schnelle Lagebewertung im Hochwasserfall sinnvoll eingesetzt werden. Aber auch im Nachgang an ein Hochwasser erfüllen die erstellten Karten und digitalen Daten als Dokumentation des Ereignisses ihren Zweck. Zusätzlich können sie für die Validierung hydraulischer Modellierungsergebnisse verwendet werden. Noch detailliertere Ergebnisse liefert das Risk and Recovery Mapping, bei dem nicht nur ein größeres Gebiet abgedeckt werden kann, sondern auch ein größerer zeitlicher Rahmen. Dadurch können die geographische Entwicklung eines Hochwassers besser verstanden werden.

6.1.5 Informationen zu Bodenfeuchte und Niederschlag aus Copernicus-Daten (C3S, SWI)

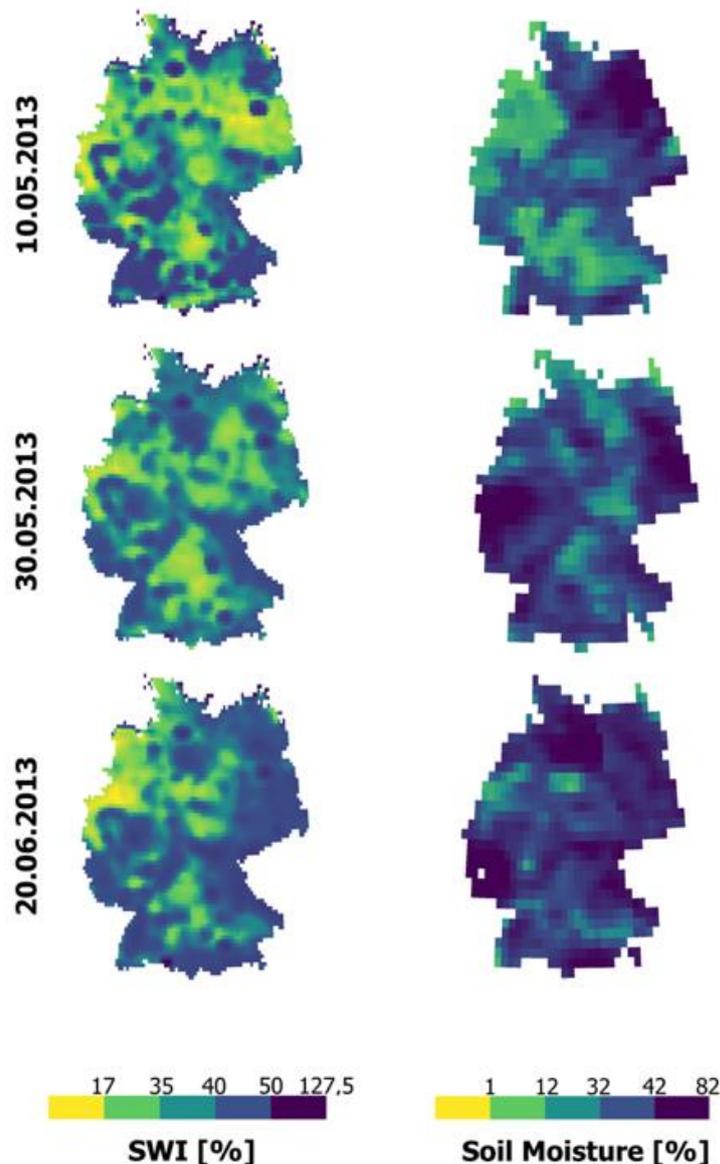
Wie einleitend erläutert, spielte besonders die Bodenfeuchte für das Hochwassers 2013 eine wichtige Rolle. Obwohl die Bodenfeuchte auch für viele andere Fragestellungen, z. B. in der Landwirtschaft, bedeutend ist, gibt es bis heute dafür kein engmaschiges, flächendeckendes Messnetz. Die Fernerkundung liefert Möglichkeiten, die oberflächennahe Bodenfeuchte zu ermitteln. Copernicus bietet dafür das Datenprodukt Soil Water Index (SWI) und Surface Soil Moisture (SSM) (beides sind Produkte des Copernicus Global Land Dienstes) sowie das Soil Moisture Produkt⁴⁶ (Produkt des Climate Change Service, C3S) (siehe dazu auch Kapitel 2.2.3 sowie Abbildung 23) an.

Abbildung 23 stellt die beiden Datensätze Soil Water Index und Soil Moisture zum Vergleich für die Hochwasserperiode 2013 nebeneinander dar. Der niederschlagsreiche Mai 2013 führte in großen Teilen Deutschlands zu einem starken Anstieg der Bodenfeuchte. Nach den Starkregenereignissen Anfang Juni 2013 stieg die Sättigung der Böden noch weiter an, so dass weitere Niederschläge oberflächlich abfließen mussten. Beide Datensätze erlauben die

⁴⁶ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-soil-moisture?tab=overview>

Beobachtung des entsprechenden Trends. Im Rahmen des SSM Datensatzes gibt es Zeitreihen seit 2015. Aus diesem Grund können diese hier nicht für einen Vergleich herangezogen werden.

Abbildung 23: Copernicus Soil Water Index (links) und Soil Moisture (rechts)



Quelle: Links: Copernicus Global Land Monitoring Service (2019), rechts: Copernicus Climate Change Service (2019)

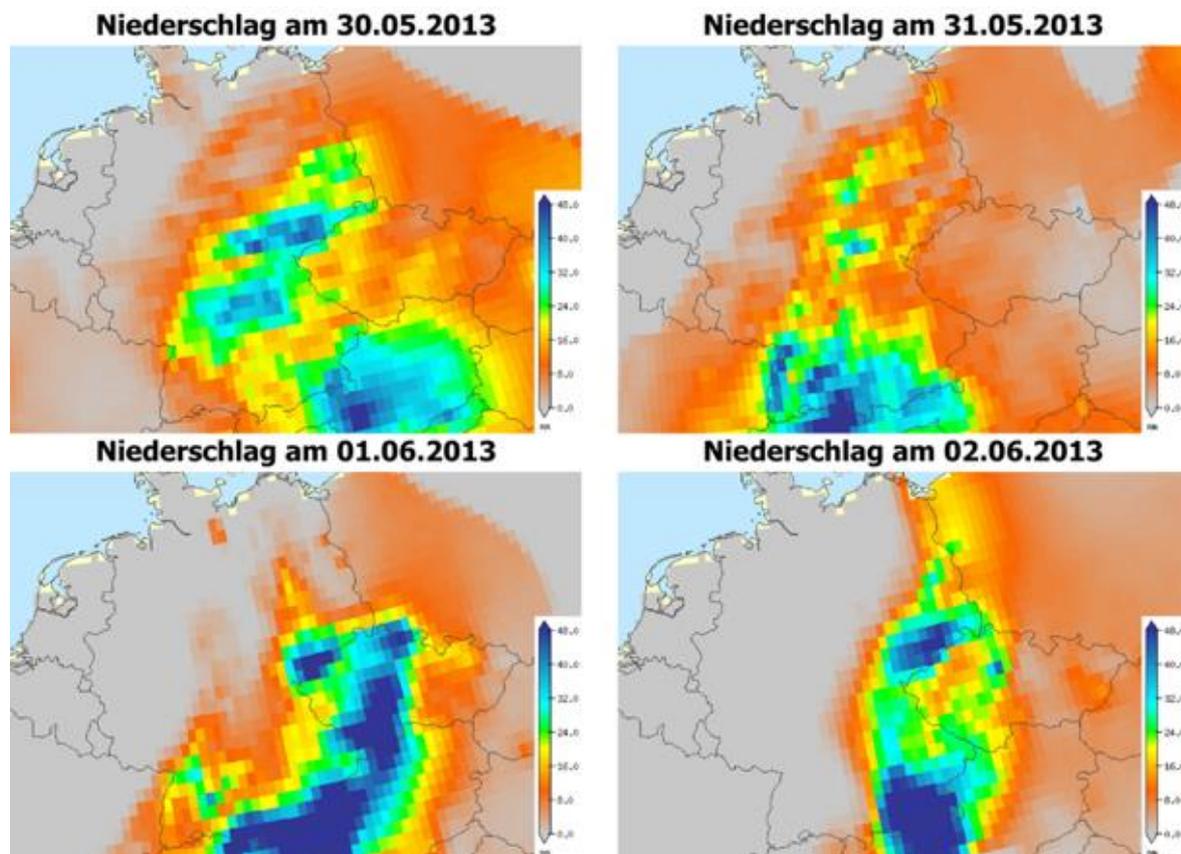
Der SWI spiegelt nur die oberflächennahe Feuchte bis ca. 5 cm wieder. Im zeitlichen Verlauf wird deutlich, wie die Bodenfeuchte mit fortschreitendem Datum auch entlang der Elbe ansteigt. Mitte Mai kann bereits ein sehr hoher SWI im Bereich zwischen Dresden und etwa Halle festgestellt werden. Im weiteren Verlauf des Mai nimmt der SWI weiter zu, vor allem auch weiter nördlich in Sachsen-Anhalt und Brandenburg. Ende Juni kann im gesamten Verlauf der Elbe eine sehr hoher Bodenfeuchteindex festgestellt werden.

Die Daten zur Bodenfeuchte (Soil Moisture) gelten für eine Tiefe von 2 - 5 cm und werden in Prozent der vollständigen Sättigung angegeben (Copernicus 2019e). Beim Vergleich der Abbildungen wird zunächst einmal die deutlich gröbere Auflösung der Bodenfeuchtedaten von ca. 30 km² (0,25 Grad x 0,25 Grad) deutlich. Sie zeigen ein ähnliches Bild wie der SWI. Besonders

ab Mitte Juni 2013 kann eine starke Sättigung des Bodens über ganz Deutschland festgestellt werden. Die Werte nehmen im Verlauf bis Ende Juni weiter zu.

Neben der Bodenfeuchte lassen sich auch die Niederschläge mit Daten des C3S beobachten. Der Service „E-OBS“ (Daily gridded observational dataset) stellt hierfür tägliche Monitoring-Produkte für ganz Europa bereit, die auf in-situ Beobachtungen basieren⁴⁷. Abbildung 24 und Abbildung 25 stellen jeweils die Karten für die zwei Starkregenereignisse im Mai und Juni 2013 dar.

Abbildung 24: C3S Niederschlagsdaten von Mai / Juni 2013



Quelle: Copernicus Climate Change Service (2019)

Im Frühsommer 2013 sorgte eine stationäre Vb Wetterlage über Mitteleuropa für Starkniederschläge und ausgeprägte Hochwasser entlang von Elbe und Donau in Deutschland, Tschechien und Österreich⁴⁸. Die starken Niederschläge sind in Abbildung 24 als türkis-blaue Flächen zu erkennen. Am 30. Mai liegt das Zentrum über Österreich. Ein weiteres Niederschlagsband reicht von Südwestdeutschland nach Nordosten bis Sachsen und ins südliche Brandenburg. Am 31. Mai treten über der Schweiz und Süddeutschland neue schwere Niederschläge auf, die sich am 01. Juni in einem Band von der Schweiz über Österreich, das westliche Tschechien bis ins südliche Sachsen erstreckt. Am 02. Juni finden sich noch Zellen mit Starkniederschlägen über Südbayern und Sachsen.

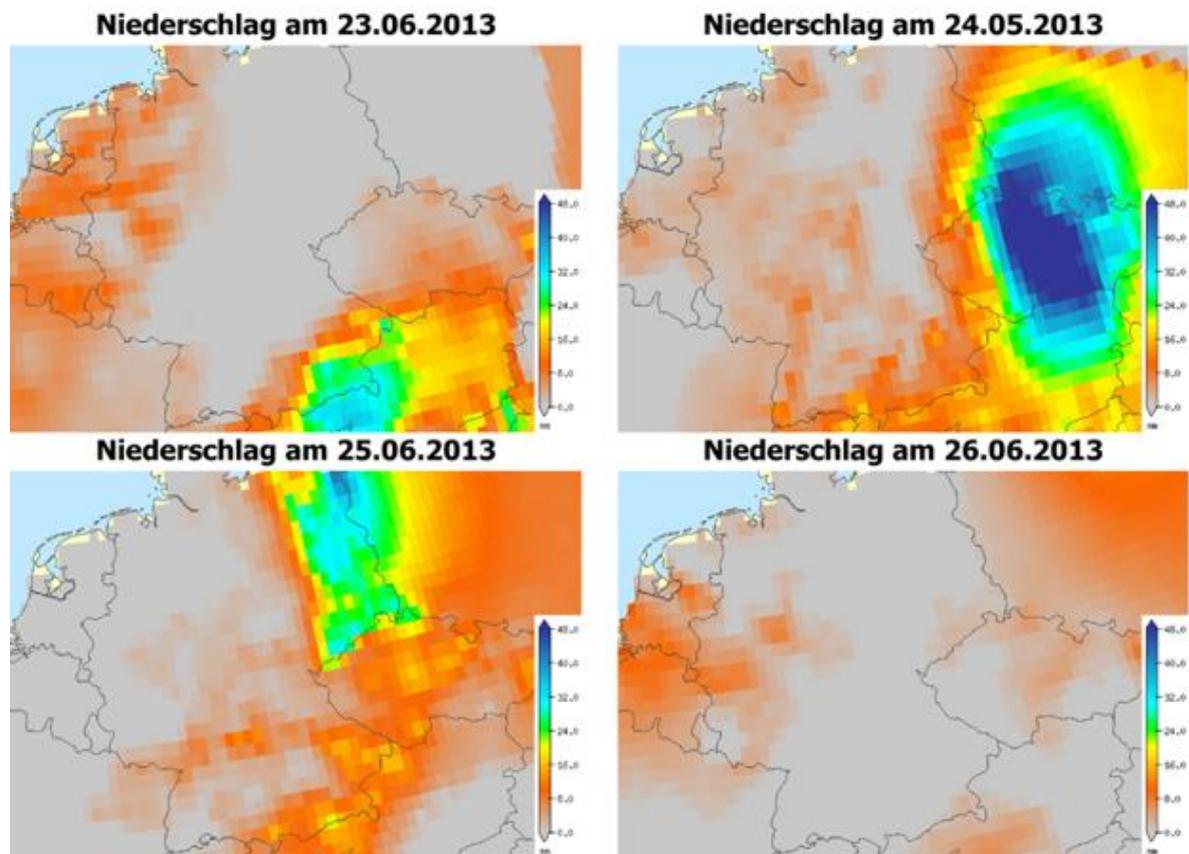
Das zweite Starkregenereignis begann am 24. Juni über Tschechien (Abbildung 25). Damit waren der Oberlauf der Elbe und deren Zuflüsse stark betroffen. Die Niederschläge zogen nach

⁴⁷ <http://surfobs.climate.copernicus.eu/maps/eobsdailymaps.php>

⁴⁸ https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_sse.html

Norden und hatten am 25. Juni ihren Schwerpunkt mit weniger Intensität vor allem über den östlichen Bundesländern. Am 26. Juni sind die Niederschläge vorüber.

Abbildung 25: C3S Niederschlagsdaten von Juni 2013



Quelle: Copernicus Climate Change Service (2019)

Die vorangehenden Abbildungen zeigen, dass Copernicus für eine Analyse historischer Hochwasserereignisse umfangreiche Datensätze zur Verfügung stellt. Während die Risk and Recovery Analyse nur durch Aktivierung des Copernicus EMS erfolgen kann, sind die Daten zur Bodenfeuchte und Niederschlägen kostenfrei für jedermann online verfügbar. Aufgrund der hohen Abbildungswiederholung durch die Sentinel-Satelliten wird es für jüngere und zukünftige Ereignisse möglich sein, zeitlich noch detailliertere Untersuchungen von Hochwasserverläufen durchzuführen. Vergleiche dieser Ergebnisse mit Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten ermöglichen deren Evaluierung. Darüber hinaus können sie als Werkzeug entsprechende Anpassungs- und Vorsorgemaßnahmen unterstützen.

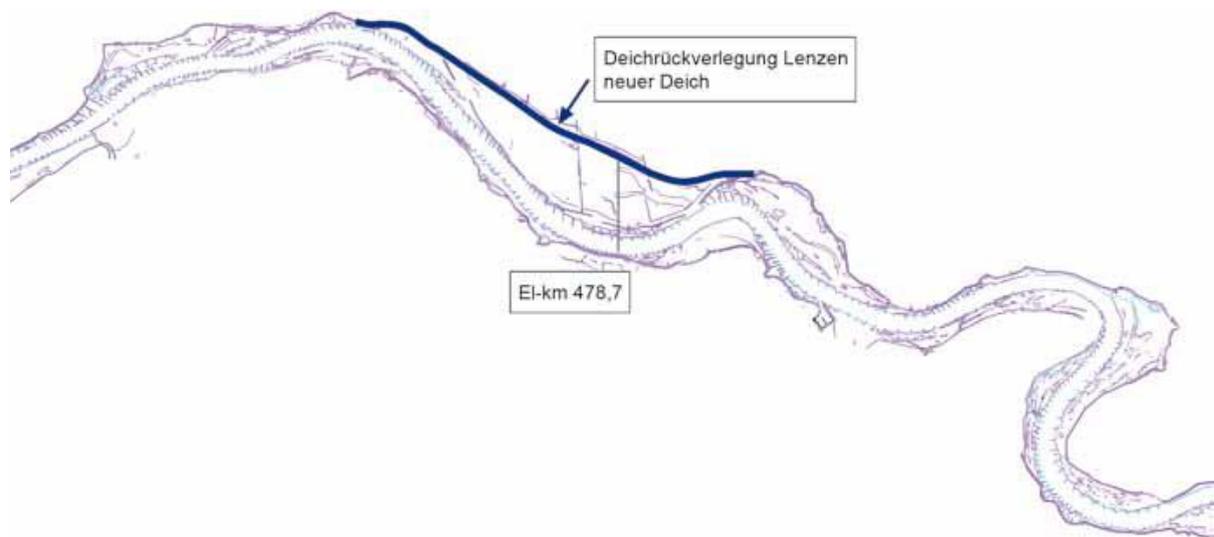
6.2 Elbdeichrückverlegung bei Lenzen: Wirkungsabschätzung mittels Fernerkundung

Die Elbdeichrückverlegung bei Lenzen (Brandenburg) konnte Ziele des Hochwasserschutzes mit Zielen des Naturschutzes vereinen. Wie an den meisten europäischen Flüssen wurde auch an der Elbe im Laufe der Zeit Überschwemmungs- und damit wichtige Retentionsflächen durch Kanalisierung des Flussbettes weitestgehend reduziert. Allein im etwa 250 km langen Elbabschnitt zwischen Schwarzer Elster und Aland gingen bis 1990 86,4 % der Retentionsflächen verloren (Simon, 1994). 2009 wurde bei Lenzen durch die Deichrückverlegung 420 ha neue Fläche geschaffen und das dort vorher vorherrschende ackerbauliche Grünland soll durch Initialpflanzungen in eine Auenlandschaft verwandelt

werden (Damm, 2013). Durch die Schaffung dieser Überschwemmungsflächen konnte neben der Entwicklung einer naturnahen Flusslandschaft und deren periodische Überflutbarkeit auch eine Wasserspiegelabsenkung bei Hochwasser erreicht werden (Schmidt, 2013). Hydronumerische Modellierungen ergaben, dass der Abfall der Hochwasserspiegellage für ein 100-jähriges Hochwasser (Abfluss von $4020 \text{ m}^3/\text{s}$) maximal $0,35 \text{ m}$ am ersten Schlitz des Altdeichs beträgt (Alexy, 2013). Diese Verbesserung des Hochwasserschutzes durch die Deichrückverlegung konnte durch eine Auswertung des Hochwassers von 2013 durch Promny, Hammer und Busch (BfG) bestätigt werden. Mithilfe eines zweidimensionalen hydrodynamischen Modells und anhand von Naturmessungen der Scheitelwasserstände und -abflüsse wurde für Juni 2013 eine wasserstandssenkende Wirkung der Deichrückverlegung von bis zu $0,49 \text{ m}$ ermittelt (Promny, Hammer, & Busch, 2014).

Die praktische Umsetzung des Projektes begann 2005 mit dem Baubeginn des Neudeichs und endete im August 2011 mit der Beendigung der Arbeiten an den Schlitzten am Altdeich (Schmidt, 2013). Abbildung 26 zeigt den Elbabschnitt bei Lenzen und den Verlauf des Neudeichs.

Abbildung 26 Verlauf des Neudeichs



Quelle: Faulhaber (2013a)

Um die Auswirkungen des Deichrückbaus im Falle eines Hochwassers zu bewerten, eignen sich besonders die Hochwasser vom April 2006 (vor der Deichrückverlegung) und vom Januar 2011 (nach der Deichrückverlegung). Beide Ereignisse hatten am Pegel Wittenberge einen ähnlichen Durchfluss: $3720 \text{ m}^3/\text{s}$ im Jahr 2006 und $3790 \text{ m}^3/\text{s}$ im Jahr 2011 (Faulhaber, 2013b). Mithilfe der Fernerkundung können besonders im Infrarot-Falschfarbenbild Überschwemmungsflächen gut ermittelt werden. Da die mit 10 m aufgelösten Satellitendaten der Sentinel-2 Missionen von Copernicus noch nicht zur Verfügung standen, wurden die Daten der Landsat-5 bzw. Landsat-8 Missionen mit einer Auflösung von 30 m verwendet. Für das Januarhochwasser 2011 konnten keine Fernerkundungsdaten ermittelt werden, weshalb das Junihochwasser 2013 als Hochwasser nach der Deichrückverlegung herangezogen wurde. Bei diesem Hochwasser war der Durchfluss am Pegel Wittenberge mit $4200 \text{ m}^3/\text{s}$ jedoch höher als bei den anderen beiden Ereignissen (Schwandt & Hübner, 2019).

Abbildung 27 zeigt das Untersuchungsgebiet bei normalem Wasserstand im September 2018. Der gelbe Pfeil markiert den südlichen Beginn des neuen Deichs. Abbildung 28 zeigt die Hochwassersituation im April 2006. Flussaufwärts sind deutlich überschwemmte Gebiete zu

erkennen, während der alte Deich bei Lenzen das Wasser zurückhält. Man erkennt bereits die Baustelle und den Verlauf des Neudeichs als graubraune Linie.

Abbildung 27 Elbverlauf bei Lenzen im Sentinel-2 Falschfarbenbild (Bänder 8, 4, 3), (19.09.2018)



Quelle: Copernicus Sentinel Daten (2018)

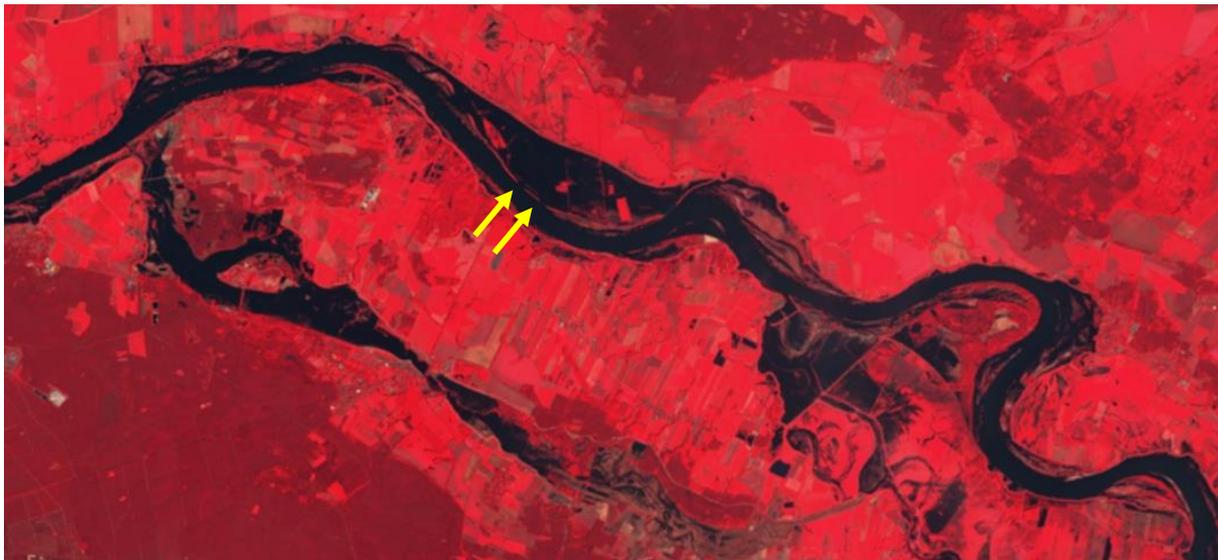
Abbildung 28: Landsat-5 Falschfarbenbild (Bänder 4, 3, 2) der Hochwassersituation bei Lenzen am 15. April 2006



Quelle: Landsat-7 Bild mit freundlicher Genehmigung von U.S. Geological Survey

In der Abbildung 29, die das Hochwasser im Juli 2013 zeigt, wird deutlich, dass das Überschwemmungsbiet nun bis zum Neudeich hin geflutet wird. Der Altdeich, der nicht vollständig beseitigt, sondern mit Schlitzten versehen wurde, ist noch als rote Linie sichtbar. Auch die eingearbeiteten Schlitzte sind erkennbar (gelbe Pfeile). Noch deutlicher sichtbar werden die Schlitzte in Abbildung 30, einer deutlich höher aufgelösten Sentinel-2 Szene, einer Hochwassersituation im Februar 2018. Sehr gut erkennt man auch den Verlauf des Neudeichs als hellrote Linie.

Abbildung 29: Landsat-8 Falschfarbenbild (Bänder 5 ,4, 3) der Hochwassersituation bei Lenzen am 7. Juli 2013



Quelle: Landsat-7 Bild mit freundlicher Genehmigung von U.S. Geological Survey

Abbildung 30: Sentinel-2 Falschfarbenbild (Bänder 8, 4, 3) der Hochwassersituation bei Lenzen am 6. Februar 2018



Quelle: Copernicus Sentinel Daten (2018)

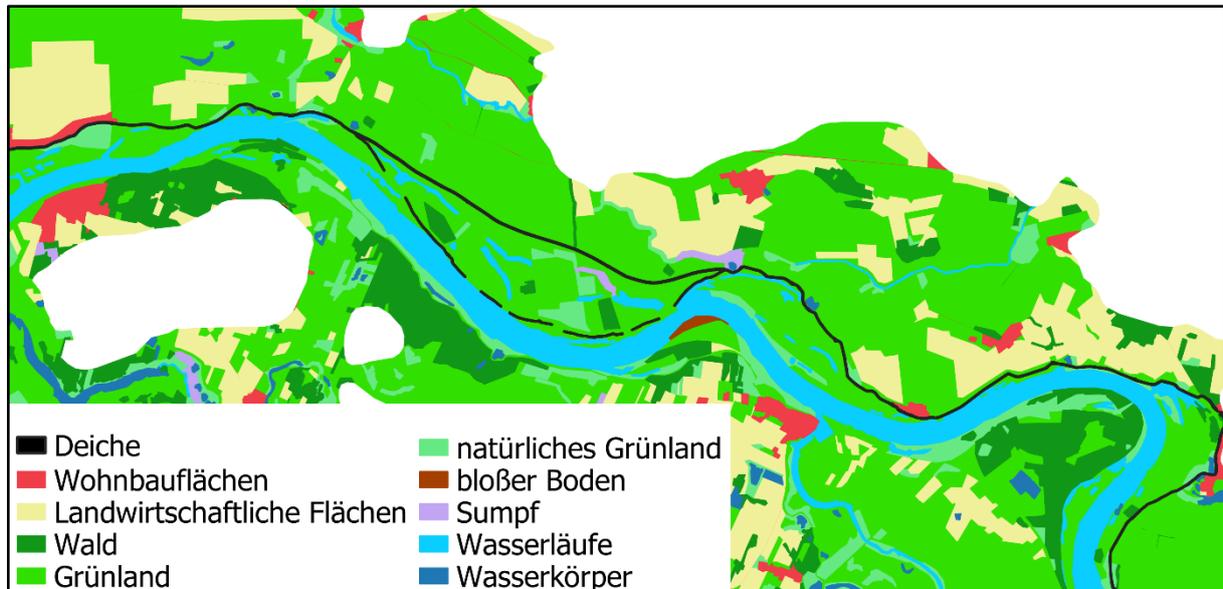
Neben der überschwemmten Fläche lässt sich mithilfe der Fernerkundung auch die durch die Deichrückverlegung veränderte Landbedeckung beobachten.

Der Copernicus Riparian Zones Layer beschreibt die Landbedeckung der Auenlandschaften entlang der Flusssysteme in Europa. Neben der Darstellung der tatsächlichen, also auch beobachtbaren Aue und der potentiellen, also maximalen Aue ohne anthropogenen Einfluss, wird die Landbedeckung / -nutzung für große und mittlere europäische Flüsse innerhalb einer Pufferzone mit einer minimalen Kartierfläche von 0,5 ha und 80 thematischen Klassen abgebildet (EC, 2017). Da viele flussnahe Bereiche inzwischen versiegelt sind oder als Ackerbauflächen und Grünland landwirtschaftlich genutzt werden, machen diese Landnutzungstypen oft einen großen Teil der kartierten Zonen aus.

Die Erstellung des Layers erfolgte im Zeitraum 2011 - 2013. Da das Bauprojekt der Deichrückverlegung bei Lenzen im August 2011 fertiggestellt wurde, kann angenommen

werden, dass bereits natürliche Landbedeckungstypen im Bereich der neu geschaffenen Überschwemmungsflächen erfasst wurden. Abbildung 31 zeigt die Landbedeckung entsprechend der Riparian Zones Daten. Während Grünland in der gesamten Karte vorherrschend ist, sind zwischen Alt- und Neudeich Flächen als natürliches Grünland und Wald gekennzeichnet. Darüber hinaus finden sich Wasserflächen und ein versumpftes Gebiet. Zum Vergleich sei auf Abbildung 2 verwiesen.

Abbildung 31: Landbedeckung/-nutzung des Riparian Zones Layers von Copernicus

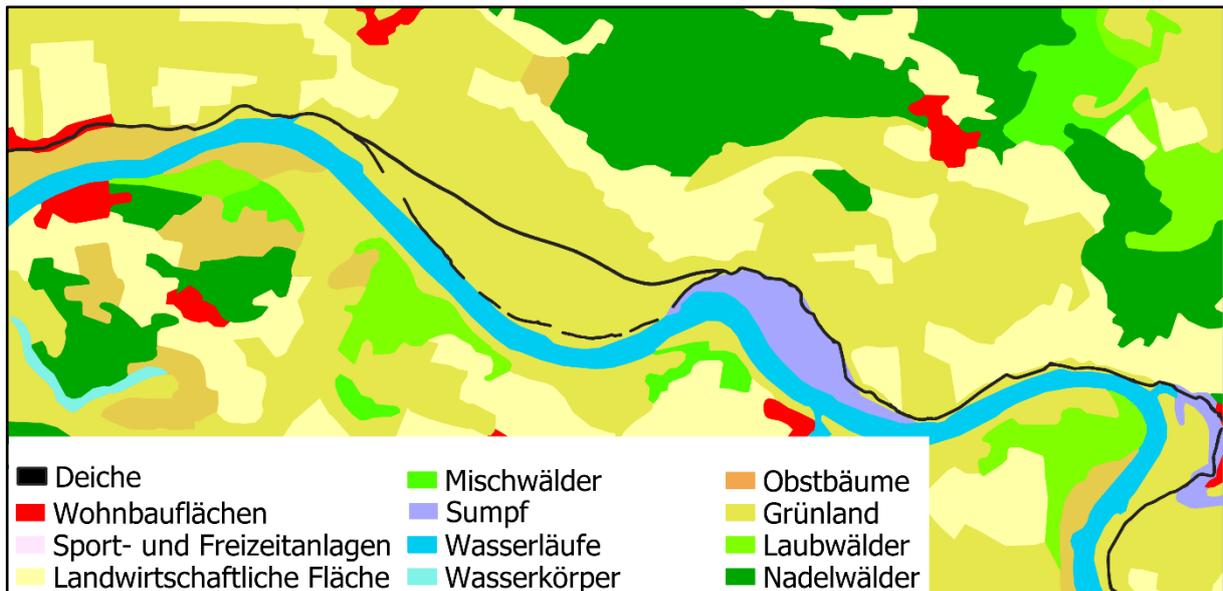


Quelle: Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Im Vergleich zu Riparian Zones zeigt der Corine Land Cover (CLC) Datensatz die flächenhafte Landbedeckung / -nutzung für Europa mit einer minimalen Kartierfläche von 5 ha und 44 Klassen. Der Datensatz wird seit 1990 erhoben und regelmäßig aktualisiert. Abbildung 32 zeigt den CLC-Datensatz für das Jahr 2006 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen. Die Landbedeckung wird ausschließlich mit Grünland angegeben. In Abbildung 33 hingegen, die den CLC-Datensatz für dasselbe Gebiet, für das Jahr 2012 zeigt, ist die Fläche zwischen den beiden Deichen als natürliches Grünland und Grünland klassifiziert. Die in Abbildung 27 ersichtlichen Gehölze werden in CLC 2012 nicht berücksichtigt.

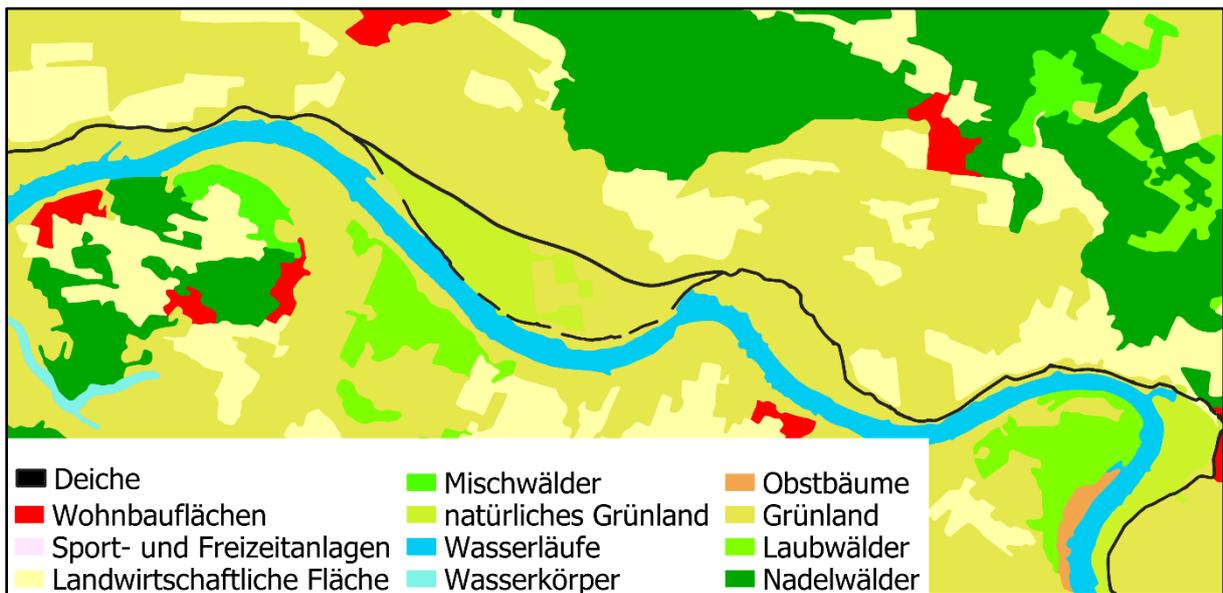
Abbildung 34 zeigt den CLC-Datensatz für 2018. Es werden dieselben Flächen als natürliches Grünland ausgewiesen wie im CLC2012, d.h. es sind auch keine weiteren dazugekommen.

Abbildung 32: CLC2006 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen



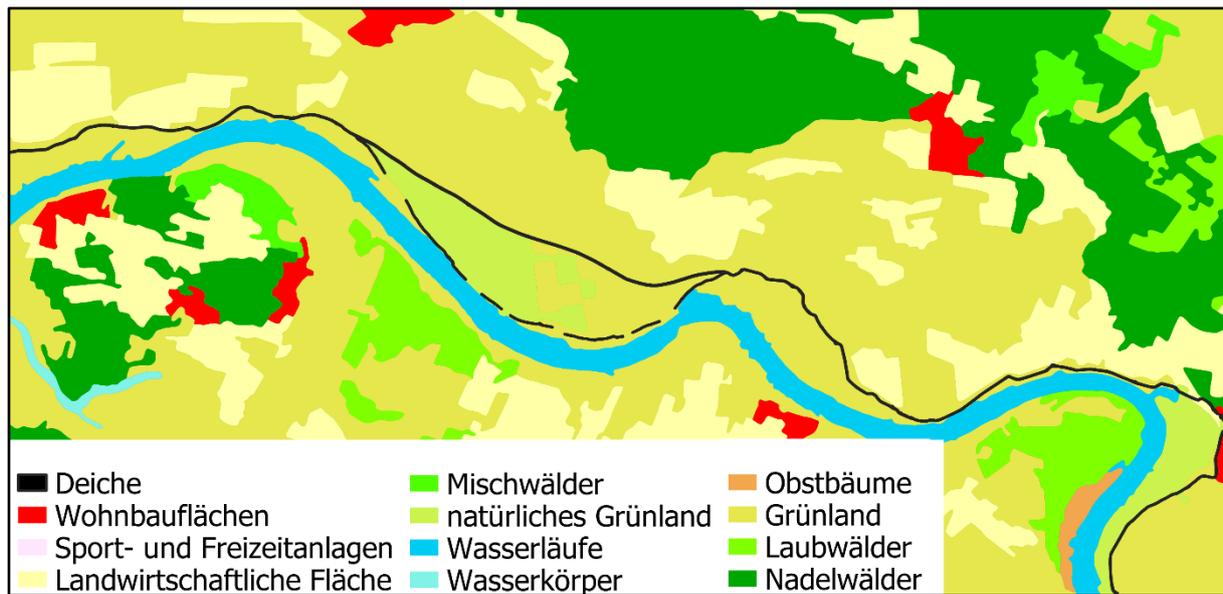
Quelle: Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Abbildung 33: CLC2012 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen



Quelle: Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Abbildung 34: CLC2018 für das Gebiet der Deichrückverlegung bei Lenzen



Quelle: Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Die Effekte der Deichrückverlegung bei Lenzen sind einerseits die Verringerung der Wassertiefe im Hochwasserfall und die Flutung der neu geschaffenen Überschwemmungsfächen, andererseits die dadurch und durch Initialpflanzungen hervorgerufene Veränderung der Landbedeckung. Die Verringerung der Wassertiefe im Hochwasserfall lässt sich alleine aus Fernerkundungsdaten nur schwer beobachten, vor allem bei den modellierten Verringerungen von ca. 30 cm. Grundsätzlich wäre dafür ein sehr hochaufgelöstes Digitales Geländemodell nötig. Die Überflutung der neu geschaffenen Retentionsflächen lässt sich jedoch bereits visuell deutlich erkennen. Für Untersuchungen der Landbedeckung / -nutzung und deren Veränderungen stellt Copernicus mit CLC und Riparian Zones verschiedene Produkte zur Verfügung. Bei kleinen Untersuchungsgebieten wie in Lenzen, stellt der Riparian Zones Layer mit seinem größeren Maßstab die geeignetere Datengrundlage zur Verfügung. Mit CLC+ wird zukünftig ein Landbedeckungsdatensatz zur Verfügung gestellt werden, der noch häufiger aktualisiert wird. Während für detaillierte Planungsarbeiten und Überwachung der Bauarbeiten sehr hochaufgelöste Orthophotos erforderlich sind, lässt sich selbst mit Sentinel-2 Daten, mit einer räumlichen Auflösung von 10 Metern, die erfolgreiche Umsetzung des Deichrückbaus erfassen. Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, reicht die Auflösung von Sentinel-2-Daten zur Erfassung solcher großen Eingriffe bzw. Anlagen aus. Somit können sie zur Erstellung der Hochwasserrisikokarten beitragen, indem große Anlagen mit diesen Daten erfasst werden und in die Karten integriert werden können.

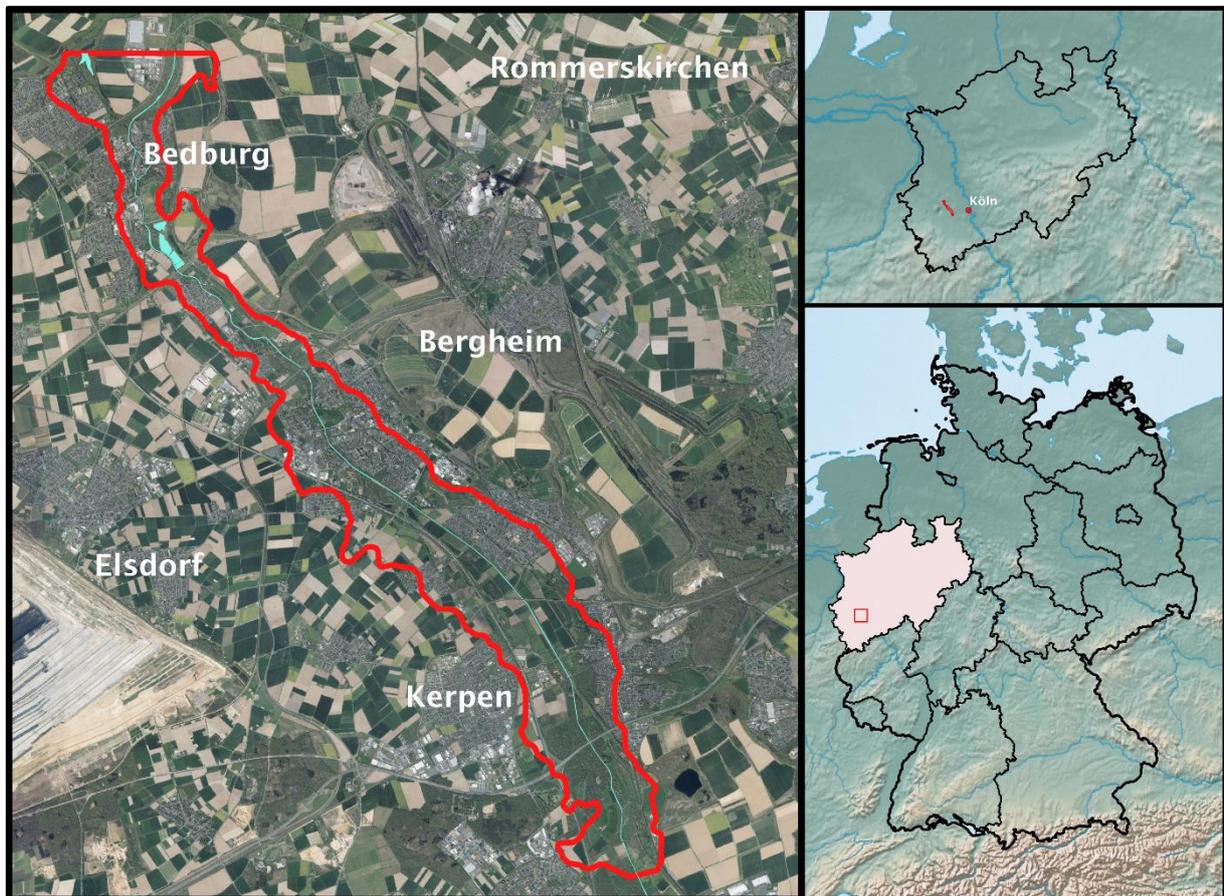
6.3 Versiegelungsanalyse einer Aue anhand dreier Copernicus-Datensätze

Der ausgewählte Flussabschnitt für die Versiegelungsanalyse der Aue liegt an der Erft (siehe Abbildung 35). Die Erft ist ein 104 km langer Nebenfluss des Rhein, in den sie bei Neuss mündet. Seit der Antike ist das Erftgebiet eine besiedelte Kulturlandschaft. Das Gefälle der Erft wurde durch Rodungen im Mittelalter stark verändert. Dadurch versumpfte das Gebiet, woraufhin es zur großen Erftmelioration im 19. Jahrhundert kam. Wegen der Braunkohlegewinnung wurde Mitte des 20. Jahrhunderts Grundwasser großräumig abgepumpt. Darüber hinaus musste der Erftverlauf mehrfach dem nahenden Tagebau weichen. In den kommenden Jahrzehnten soll das

Erftbett an einen künftig niedrigeren Abfluss angepasst werden und sich durch neuerliche Umgestaltung wieder mehr seinem ursprünglichen Zustand angleichen.⁴⁹

Der untersuchte Flussabschnitt wurde zufällig ausgewählt. Er liegt zwischen Bedburg und Kerpen und hat eine Länge von ca. 20 km. Als Untersuchungsfläche wurde die potentielle Aue des Datenproduktes Riparian Zones ausgewählt (siehe Kap. 2.2.2.2).

Abbildung 35: Überblick über das Untersuchungsgebiet

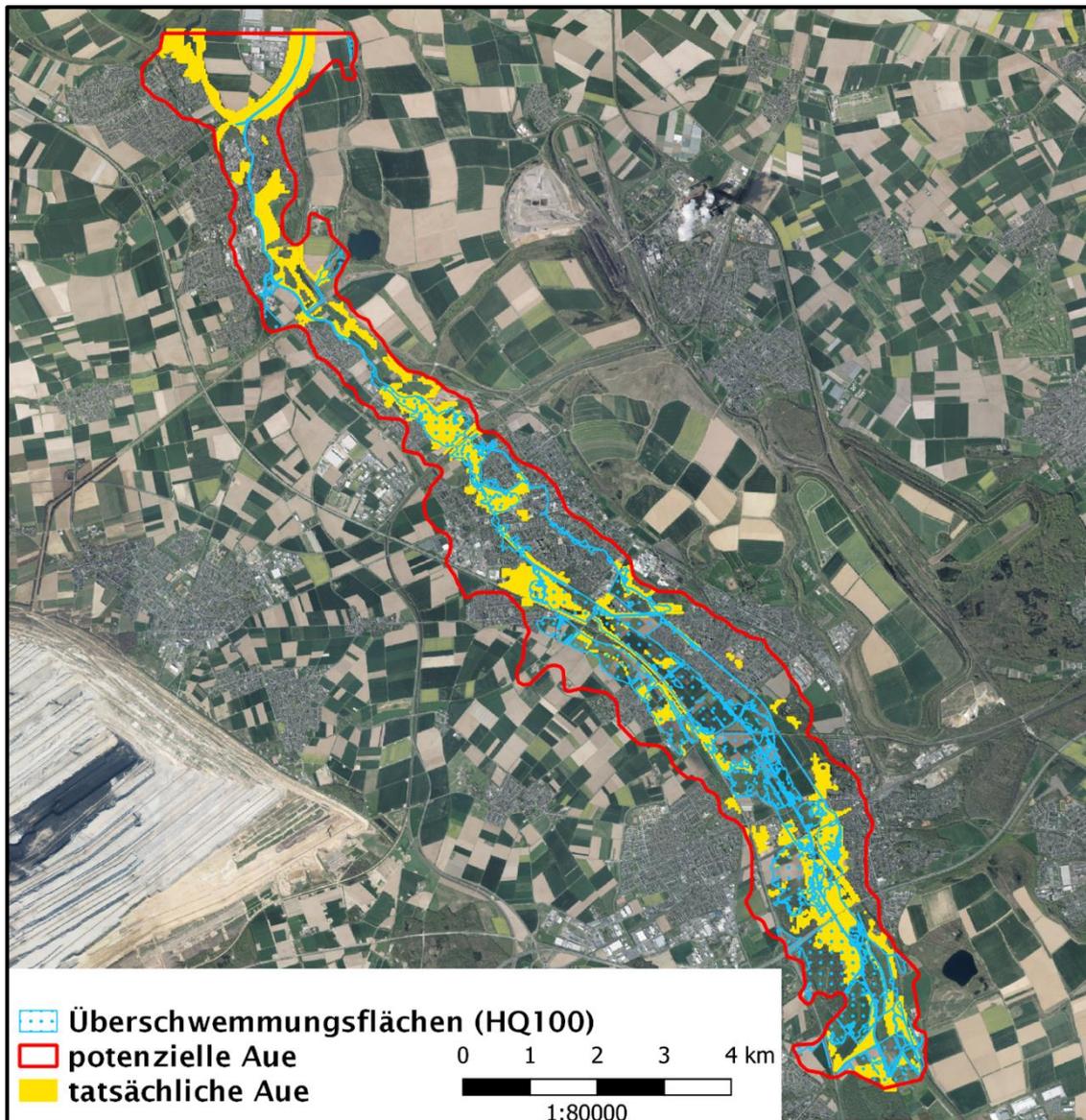


Quelle: Eigene Darstellung

In der Abbildung 36 ist die potentielle und tatsächliche Aue sowie die Überschwemmungsgebiete für ein HQ100, also einem mittleren Hochwasser, dargestellt. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die potentielle Aue die größte Ausdehnung hat. Teilweise überschneidet sich die tatsächliche Aue mit den Überschwemmungsflächen. Im Vergleich zur potentiellen Aue, die eine Fläche von 3034,6 ha aufweist, beträgt die tatsächliche Aue 613,7 ha. Die Überschwemmungsflächen haben eine Fläche von 815,9 ha. In dem Bericht „Welchen Beitrag können Satellitenfernerkundung und insbesondere Copernicus-Daten und -Dienste für die Ermittlung ausgewählter Indikatoren des Indikatoren-Sets der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) leisten“ kommen die Autoren zu demselben Ergebnis. Durch eine Auswertung von Überschwemmungsflächen nach HWRM-RL und der Ausdehnung der potentiellen Aue in vier Bundesländern (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz) wird deutlich, dass für ein HQ100 die Flächenausdehnung der potentiellen Aue in allen Bundesländern größer ist als die Überschwemmungsflächen nach HWRM-RL. (Schönthaler, et al. 2017).

⁴⁹ <https://www.erftverband.de/die-erft/>

Abbildung 36: Potentielle und tatsächliche Aue entsprechend des Riparian Zone Layers und Überschwemmungsgebiete für ein mittleres Hochwasser (HQ100).



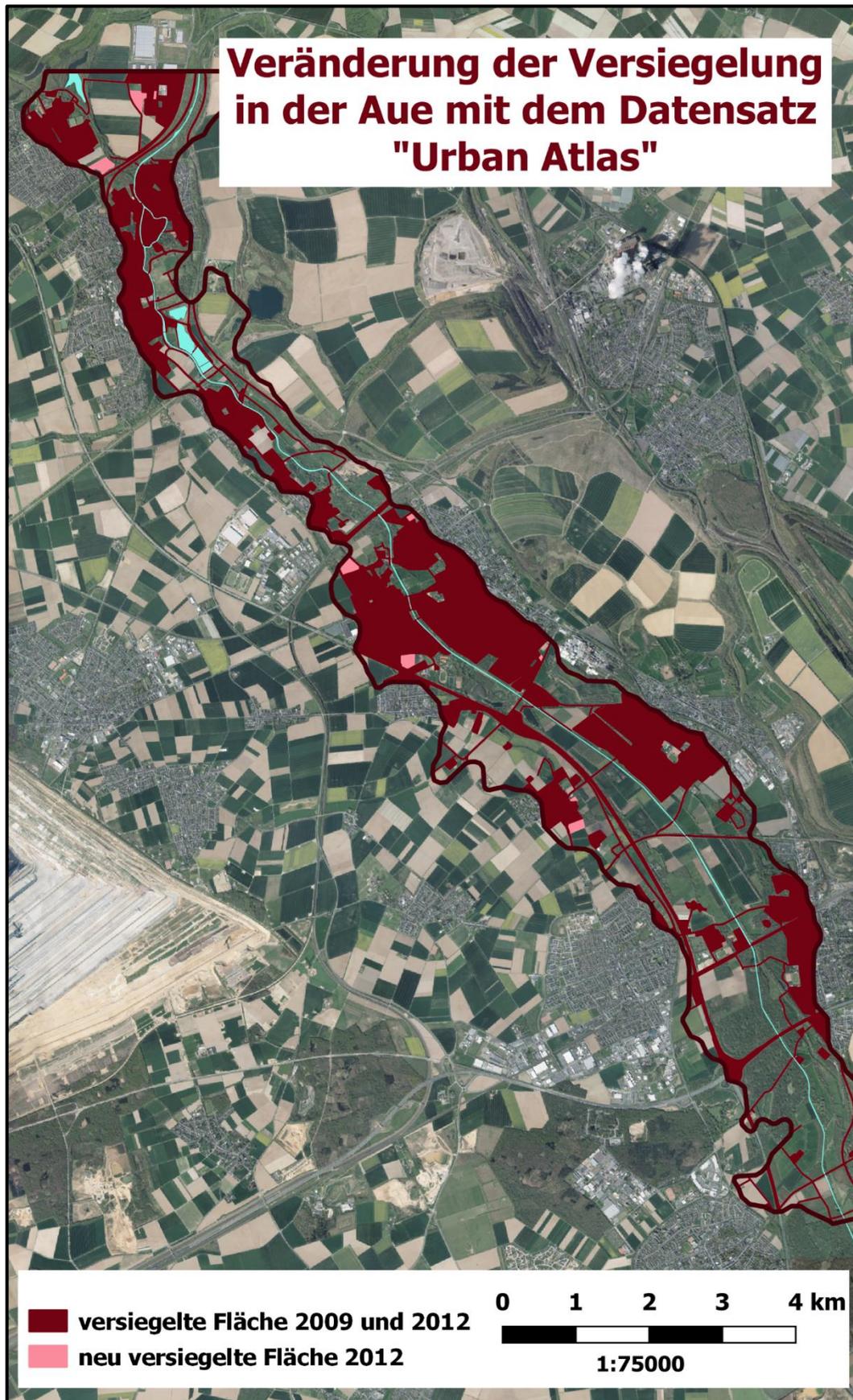
Quelle: Copernicus HRL Riparian Zones, Überschwemmungsgebiete NRW (dl-de/by-2-0, www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Veränderungsanalyse der drei Layer Urban Atlas, Global Human Settlement und Imperviousness⁵⁰.

Urban Atlas wurde für 2006 für funktionale Stadtgebiete ab 100.000 und für 2012 ab 50.000 Einwohnern erstellt. Für das Referenzjahr 2012 entsprach dies 785 Stadtgebieten in allen 39 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Der Global Human Settlement Layer wurde bisher im Rahmen von Forschungsarbeiten vom Joint Research Center der Europäischen Kommission erstellt. Ab 2020 soll der Datensatz als weiteres Produkt des globalen CLMS auf Basis von Sentinel-1/2 erstellt werden. Der Imperviousness Datensatz gehört zu den sogenannten High Resolution Layers des CLMS. Er wurde für das Referenzjahr 2006 zum ersten Mal erhoben. Seitdem wird er alle drei Jahre aktualisiert.

⁵⁰ Für eine detaillierte Beschreibung der Datensätze siehe Kap. 2.2.2

Abbildung 37 Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Urban Atlas



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

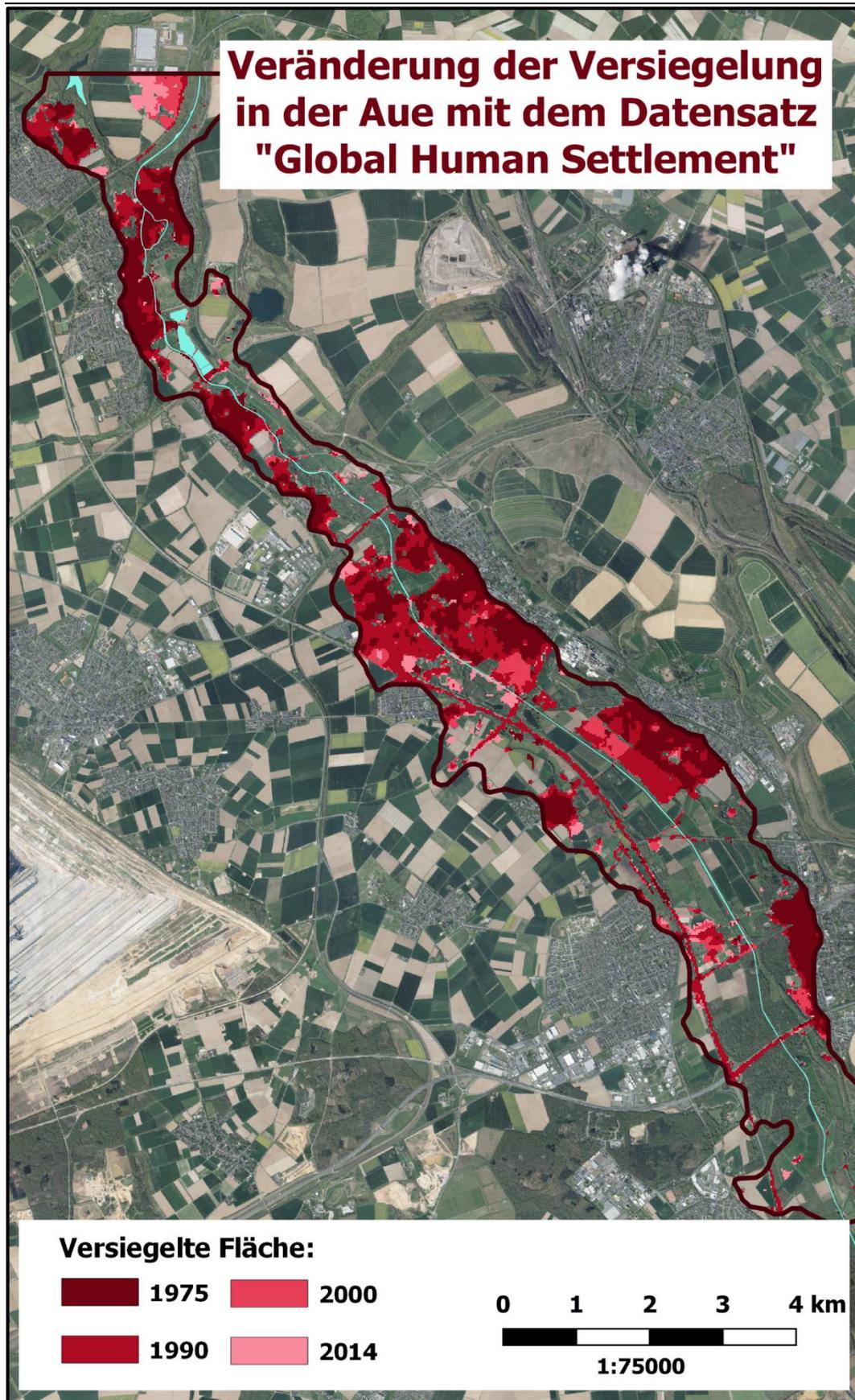
Die für die Analyse verwendeten Datensätze sind der Urban Atlas für die Jahre 2006 und 2012. In dunkelrot dargestellt sind in beiden Jahren versiegelte Flächen. Hellrot gekennzeichnet sind die Flächen, welche zwischen 2006 und 2012 neu versiegelt wurden.

Im Jahr 2006 beträgt die versiegelte Fläche 1016,6 ha. Das entspricht 33,5 % der gesamten Aue. In den 6 Jahren zwischen den beiden Untersuchungszeiträumen hat sich die Versiegelung nur geringfügig geändert. Die Zunahme umfasst 21,51 ha. Daraus ergibt sich eine versiegelte Gesamtfläche von 1037,8 ha (34,2 %) für das Jahr 2012.

Dabei setzt sich die versiegelte Fläche aus den Klassen „industrielle, kommerzielle, öffentliche, militärische und private Einheiten“ mit 13,48 ha, „diskontinuierliche dichte urbane Struktur“ (S.L.: 50-80%)“ mit 4,5 ha und „diskontinuierliche urbane Struktur mit sehr geringer Dichte“ (S.L.<10)“ mit 3,57 ha zusammen. Die Prozentangabe in Klammern beschreibt jeweils den Versiegelungsgrad entsprechend der Klassendefinition aus dem Urban Atlas. Das bedeutet, dass die neu versiegelten Flächen entweder Industrieflächen sind oder nicht besonders stark versiegelt sind. Es könnte sich dabei laut Klassendefinition auch um Parks handeln.

Die die Versiegelung betreffenden Klassen von 2006 und 2012 entsprechen sich und ermöglichen so einen guten Vergleich. Grundsätzlich eignet sich der Urban Atlas Datensatz sehr gut, um eine Veränderungsanalyse durchzuführen, vor allem da er vorrangig für städtisches Gebiet erstellt wird und deshalb detaillierte Informationen zur Versiegelung enthält. Allerdings gibt es einige außerstädtische Gebiete entlang der Aue, für die im Urban Atlas keine Daten vorliegen.

Abbildung 38 Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Global Human Settlement Layer

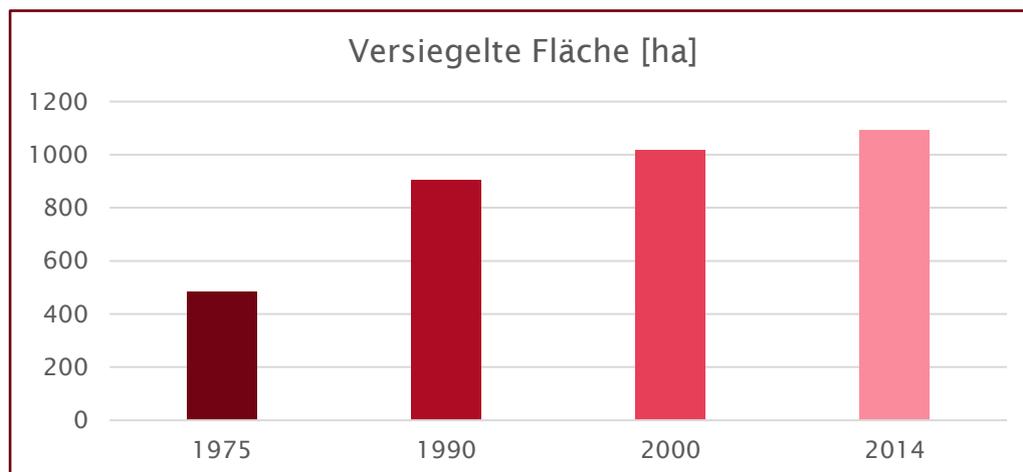


Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Die für die Analyse verwendeten Datensätze sind der Global Human Settlement Layer für die Jahre 1975, 1990, 2000 und 2014. Die in jedem Jahr hinzukommenden Flächen werden jeweils in einem helleren Rotton dargestellt.

Im Jahr 1975 beträgt die versiegelte Fläche 485,3 ha, das entspricht einem Anteil von 16 % der gesamten Aue. In den 15 Jahren danach kommen im Jahr 1990 418,6 ha dazu und die Fläche steigt auf 903,9 ha (Prozentanteil von versiegelter Fläche in der Aue steigt damit auf 29,8 %). Nach weiteren 10 Jahren macht der Anteil an versiegelter Fläche innerhalb der Aue im Jahr 2000 bereits 33,5 % und damit 1016,5 ha aus. Im aktuellsten Jahr 2014 beträgt die versiegelte Fläche 1092,9 ha (36 %). Damit hat sich die versiegelte Fläche zwischen 1975 und 2014 etwas mehr als verdoppelt.

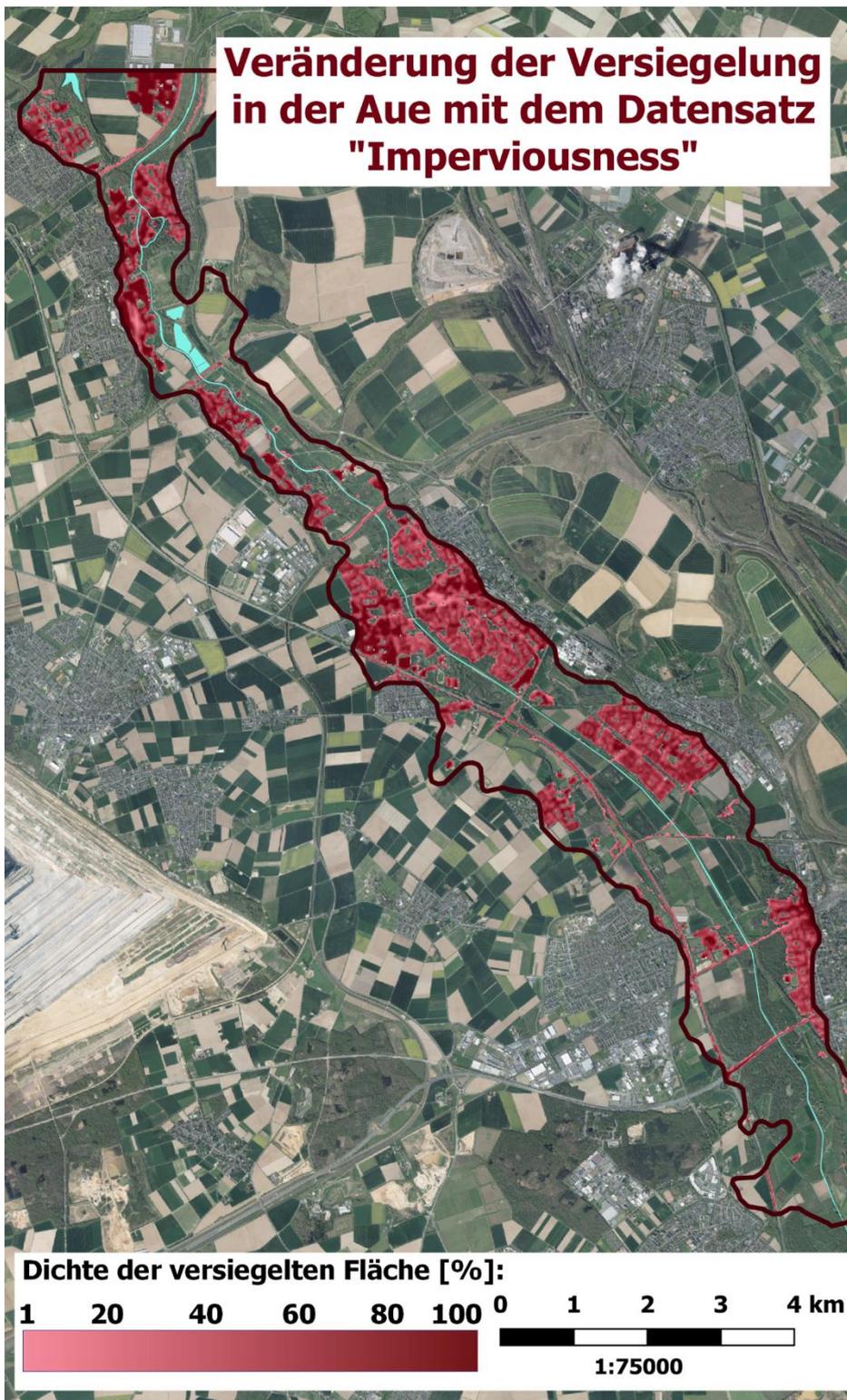
Abbildung 39 Änderung der Versiegelung zwischen 1975 und 2014



Quelle: Eigene Darstellung aus Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Grundlage des Global Human Settlement Layers ist die Erfassung von bebautem Gebiet, zu dem auch temporäre Siedlungen gehören. Mithilfe des Global Human Settlement Layers lässt sich sehr gut darstellen, dass es über die Jahre einen Anstieg der Versiegelung gibt, auch entlang von Flüssen und innerhalb der Aue. Durch die längere Zeitreihe seit 1975 ermöglicht der Global Human Settlement Layer längerfristige Untersuchungen der Versiegelung entlang von Flussabschnitten.

Abbildung 40 Veränderung der Versiegelung in der Aue mit dem Datensatz Imperviousness

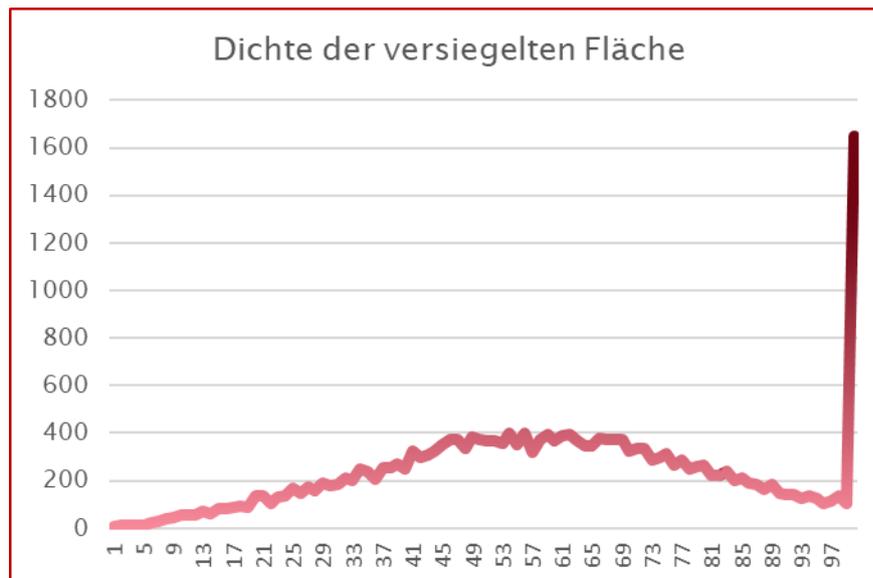


Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Die für die Analyse verwendeten Datensätze sind der Imperviousness HRL für die Jahre 2006, 2009, 2012 und 2015. Im gesamten Zeitraum lassen sich für den ausgewählten Flussabschnitt keine Veränderungen der Versiegelung ableiten. Deshalb wird hier nur der Datensatz für das Jahr 2015 dargestellt. Für den Imperviousness Layer ergibt sich eine versiegelte Fläche von 877 ha. Das entspricht einem Anteil von 28,9 % an der gesamten Auenfläche. Die Versiegelung wird

nach ihrer Dichte erfasst: Während der Wert 0 % Freiflächen darstellt, werden versiegelte Flächen je nach ihrer Dichte Werte zwischen 1 – 100 % zugewiesen. Je höher die Dichte der versiegelten Fläche, desto dunkler wird sie in der Karte dargestellt. Das Histogramm des Layers zeigt an, dass über das Untersuchungsgebiet verteilt, alle Versiegelungsgrade relativ gleichmäßig verteilt sind. Betrachtet man die Einzelklassen, so tritt die 100 %-ige Versiegelung mit 7 % Gesamtfläche am häufigsten auf. Die 100 %-ige Versiegelung entspricht dicht bebauten Stadtgebieten und Industrieanlagen mit geringem Grünflächenanteil.

Abbildung 41 Histogramm der Versiegelungsklassen

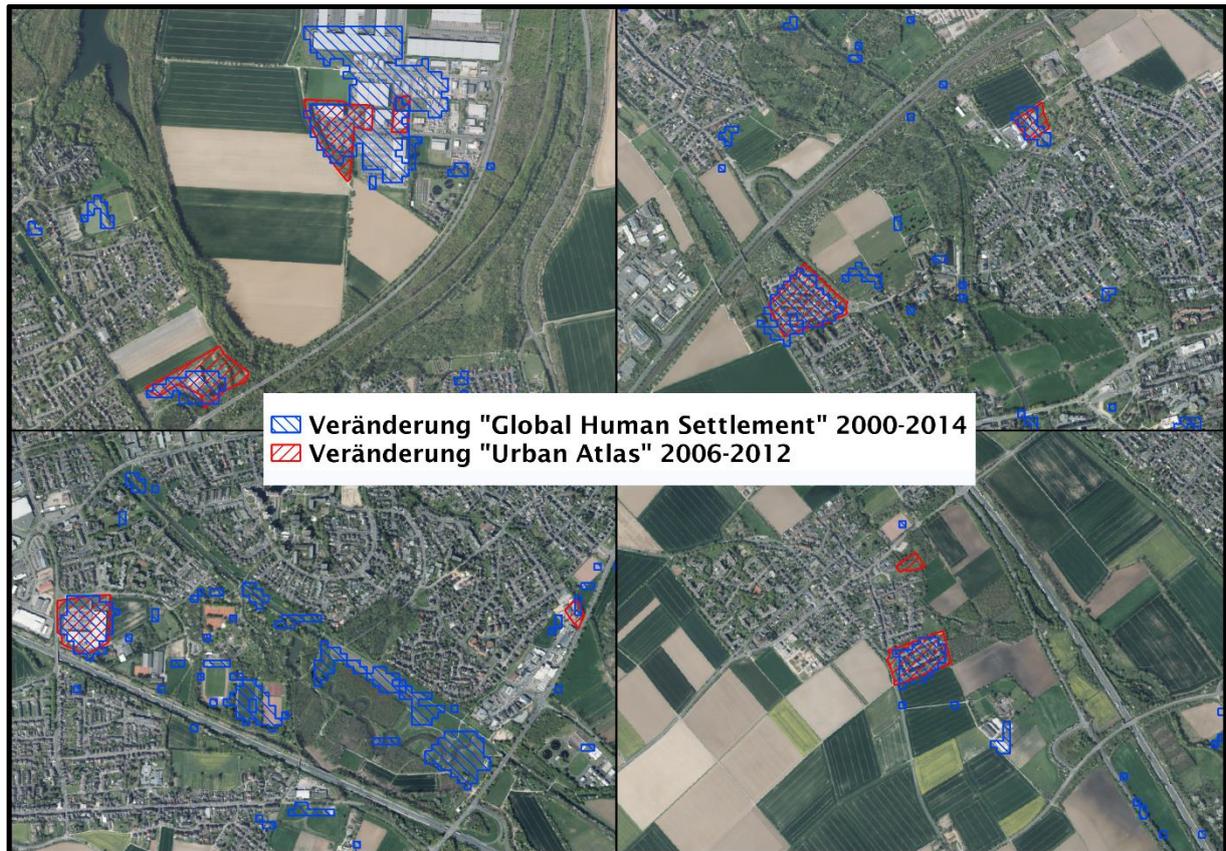


Quelle: Eigene Darstellung aus Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Ähnlich häufig tritt jedoch die Klasse geringer Verdichtung (< 25 %) auf. Sie entspricht 6,7 % der Gesamtfläche. Solch gering verdichtete Flächen repräsentieren beispielsweise Alleen und Parks, die neben einem hohen Grünflächenanteil auch versiegelte Freiflächen beinhalten. Der Imperviousness Layer eignet sich grundsätzlich gut für die Erfassung auch über längere Zeiträume hinweg. Im vorliegenden Beispiel fällt jedoch auf, dass für den beobachteten Zeitraum von 10 Jahren keine Veränderungen festgestellt werden können. Mögliche Ursachen hierfür sind unklar und erfordern eine weitere Untersuchung der eingesetzten Daten und Datenverarbeitungsmethoden.

In Bezug auf Flächenzunahmen ergeben der Urban Atlas als auch Global Human Settlement ähnliche Werte. Folgende Abbildung 42 zeigt anhand von vier Beispielen aus dem Untersuchungsgebiet die in beiden Datenprodukten unterschiedlich erfassten Flächenzunahmen. Für den Global Human Settlement Layer wird die Flächenzunahme zwischen 2000 und 2014, für den Urban Atlas die Flächenzunahme zwischen 2006 und 2012 dargestellt. Die unterschiedliche Flächenzunahme ergibt sich aus den unterschiedlichen Zeiträumen. Wenn auch örtlich ähnlich, so ist die Veränderung im Global Human Settlement Layer größer, da ein Zeitraum von 14 Jahren betrachtet wird, während beim Urban Atlas nur 6 Jahre betrachtet werden.

Abbildung 42: Veränderungen der Versiegelung im Global Human Settlement Layer 2000 – 2014 im Vergleich zur Veränderung im Urban Atlas 2006 – 2012

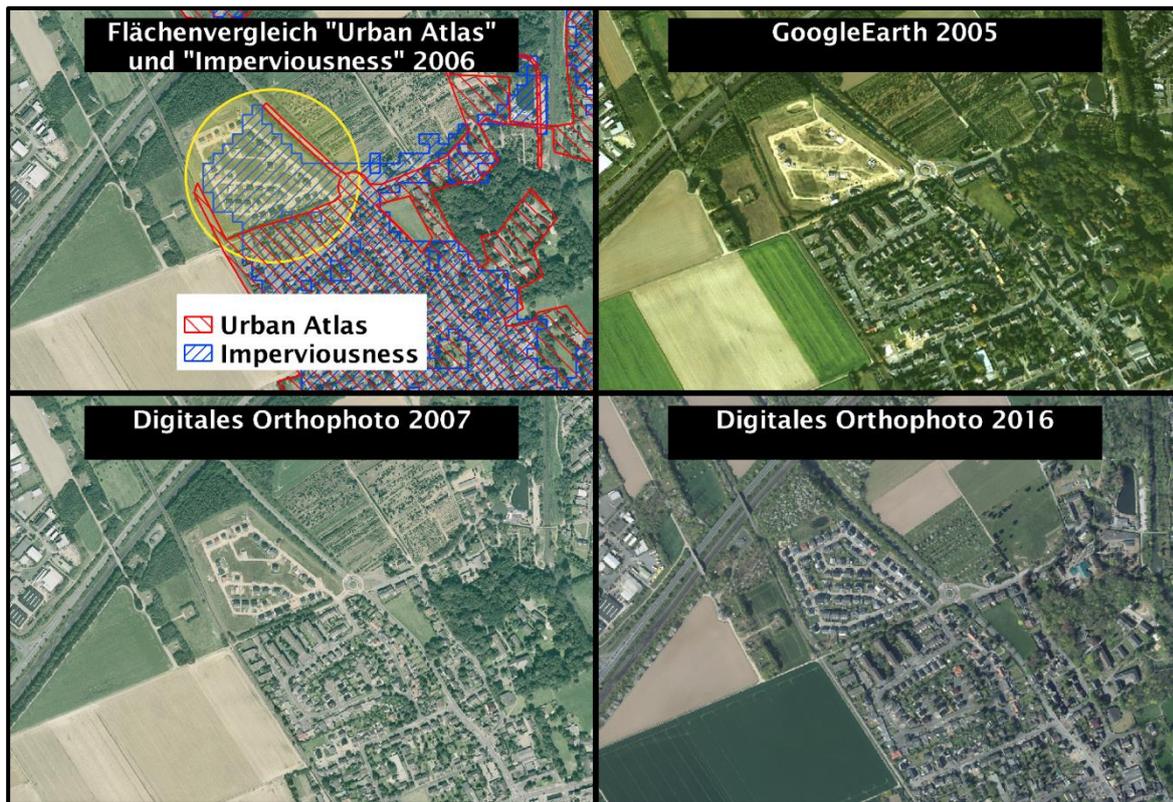


Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Copernicus Land Monitoring Service (2019)

Der Imperviousness Layer schließlich zeigt keine einzelnen Landbedeckungsklassen sondern unterschiedliche Dichtegrade der Versiegelung. Es überrascht allerdings, dass im Untersuchungsgebiet innerhalb von zehn Jahren keine Veränderung der Versiegelung festgestellt werden konnte. Grund dafür könnte die unterschiedliche Datengrundlage und angewandte Methodik bei der Datenauswertung für beide Layer sein. Der Imperviousness Layer wird über die Invertierung des Normalisierten Differenzierten Vegetationsindex (NDVI) abgeleitet. Das bedeutet, dass Flächen mit hohem Vegetationssignal im NDVI als gering versiegelt angenommen werden und umgekehrt. Da Freiflächen zum Teil ein ähnliches spektrales Signal wie versiegelte Flächen aufweisen, könnten diese falsch klassifiziert worden sein. Folgende Abbildung 43 zeigt ein solches Beispiel im ausgewählten Untersuchungsgebiet.

Im Flächenvergleich (Abbildung 43 oben links) sieht man, dass beide Layer den Zustand des Jahres 2006 abbilden sollen. Der Imperviousness Layer (blau) enthält aber eine Wohnbaufläche im Norden (gelber Kreis), die im Urban Atlas fehlt. Als Hintergrundkarte ist das digitale Orthophoto (DOP) 2016 dargestellt. Im Bild oben rechts sieht man einen Auszug aus GoogleEarth aus dem Jahr 2005. Man kann erkennen, dass an der Stelle bereits erste Baumaßnahmen stattfanden, die der Imperviousness Layer als versiegelte Fläche darstellt. Die beiden anderen Darstellungen zeigen die Entwicklung der Baufläche im DOP von 2007 und DOP von 2016.

Abbildung 43: Flächenvergleich Urban Atlas und Imperviousness Layer des Jahres 2006.



Quelle: Oben links: Land NRW (2019) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0) überlagert mit Copernicus Land Monitoring Service (2019), oben rechts: Google, GeoContent (2019), unten links und rechts: Land NRW (2019), Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

Tabelle 34 zeigt eine Übersicht der drei Layer bezüglich ihres Versiegelungsanteils in Prozent. Die Daten wurden durch Flächenberechnungen der einzelnen Datensätze in QGIS ermittelt. Während die Werte für den Urban Atlas und den Global Human Settlement Layer eng beieinander liegen, fällt der Wert des Imperviousness Layers niedriger aus.

Tabelle 34: Ermittelte Versiegelungsanteile im Untersuchungsgebiet je nach verwendetem Datensatz. Es wurde jeweils das aktuellste Jahr verwendet

| Datensatz | Urban Atlas | Global Human Settlement | Imperviousness |
|------------------------|-------------|-------------------------|----------------|
| Referenzjahr | 2012 | 2014 | 2015 |
| Versiegelte Fläche (%) | 34,2 % | 36 % | 28,9 % |

Der Urban Atlas Layer eignet sich sehr gut zur Veränderungsanalyse von versiegelten Flächen, da er auch eine Unterscheidung der Veränderung in Klassen zulässt (beispielsweise ob eher Industrieflächen oder Wohngebiete neu entstanden sind). Aufgrund der bisherigen Anforderungen und Spezifikationen des Urban Atlas, deckt der Layer nicht alle Flussabschnitte in Deutschland ab, da er sich auf urbane Gebiete und deren Umfeld bezieht. Von allen untersuchten Datensätzen lässt der Global Human Settlement die Untersuchung der längsten Zeitreihe zu, da er bereits für das Referenzjahr 1975 erstellt wurde. In Bezug auf die Erstellung

von Hochwasserrisikokarten für die HWRM-RL eignet sich der Urban Atlas (bei Datenverfügbarkeit) am besten.

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Fallstudien

Anhand von drei weiteren Fallstudien wurden die Potentiale eines satellitenbasierten Monitorings von Maßnahmen sowie die Ermittlung von Schadenspotentialen dargestellt. Sie umfassen die Aspekte Schutz und Vorsorge sowie Wiederherstellung / Regeneration.

- ▶ Am Beispiel der Deichrückverlegung Lenzen konnte gezeigt werden, dass sich Hochwasserschutzmaßnahmen anhand von Satellitenbilddaten beobachten und kontrollieren lassen. Die Bildaufnahmen unterstreichen, dass das Konzept der Deichrückverlegung zu den erhofften Ergebnissen geführt hat. Die bildliche Darstellung der Ergebnisse ist sehr aussagekräftig und kann auch für die Öffentlichkeitsarbeit herangezogen werden. Die Arbeiten in Lenzen waren bereits abgeschlossen, bevor die ersten Sentinel Satelliten gestartet waren. Es zeigt sich aber, dass selbst geringer aufgelöste Daten des US-amerikanischen Landsat Systems für eine Untersuchung ausreichen. Die heute verfügbaren Sentinel Bilddaten ermöglichen die Kontrolle der Maßnahmen in kurzen Zeitabständen und bei noch höherer räumlicher Auflösung. Die Copernicus Datenprodukte des Landbeobachtungsdienstes bilden die damit einhergehenden Änderungen der Landbedeckung ab.
- ▶ Für die vergleichende Untersuchung des Elbehochwassers 2013 stand nur der Endbericht (und keine Daten) der aktuellen Risk & Recovery Aktivierung, sowie Daten der 2013er Rapid Mapping Aktivierung zur Verfügung. Der vorliegende Endbericht unterstreicht jedoch, dass für eine eingehende Analyse eines Ereignisses im Jahr 2013 Bilddaten verschiedener Satellitensysteme verwendet werden müssen. Ein Vergleich mit der heutigen Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch Sentinel-1 Bilddaten hebt die verbesserte Ausgangslage für vergleichbare Analysen hervor. Das Beispiel stellt ebenfalls dar, dass Copernicus auch meteorologische Daten und Informationen z. B. zur Bodenfeuchte bereitstellt, die eine detaillierte Analyse und Dokumentation von Hochwasserereignissen ermöglicht, die über die reine Erfassung der Hochwasserfläche hinausgeht. Das vorliegende Beispiel einer Ereignisdokumentation eignet sich auch sehr gut, um sowohl die Bevölkerung über Risiken aufzuklären, als auch Einsatzpläne für Rettungskräfte anzupassen.
- ▶ Am Beispiel der Versiegelungsanalyse einer Flussaue und der Veränderungsanalyse über einen längeren Zeitraum wurde dargestellt, dass verschiedene Copernicus Datenprodukte erhältlich sind, die eine entsprechende Untersuchung ermöglichen. Jedes Datenprodukt zeigt unterschiedliche Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Methoden der Datenverarbeitung. Für eine langfristige Analyse empfiehlt sich die Verwendung des Global Human Settlement Layer. Für eine Analyse von urbanen Räumen eignet sich der Urban Atlas. Der Datensatz über den Grad der Bodenversiegelung in Europa (Imperviousness) ist laut Definition eigentlich ideal für entsprechende Untersuchungen geeignet. Im vorliegenden Fall konnten im Gegensatz zu den anderen beiden Datensätzen keine Veränderungen der Versiegelung für die Fallstudienregion festgestellt werden. Genaue Gründe dafür wären zu untersuchen. Die

Bestandserhebung der Flächenversiegelung ist eine mögliche Maßnahme im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements im LAWA-Handlungsbereich „Natürlicher Wasserrückhalt“.

- ▶ Anhand der Fallbeispiele wurde der Mehrwert einer Integration von Copernicus-Datenprodukten aufgezeigt. Es existieren viele weitere Anwendungsmöglichkeiten, die in Zusammenarbeit mit potentiellen Endnutzern identifiziert und evaluiert werden sollten. Sofern für deren Umsetzung keine Standardprodukte vorhanden sind, eignen sich Pilotprojekte für eine testweise Umsetzung.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1 Copernicus Daten und Dienste

Die Bilddaten der Sentinel Satelliten (in erster Linie Sentinel-1 und Sentinel-2) stellen eine hervorragende Datengrundlage für Fragestellungen im Rahmen des HWRM dar. Dies wird unterstützt durch die hohe Repetitionsrate der Zwillingssmissionen und eine breite spektrale Auflösung. Die Satellitenkonstellationen ermöglichen alle 2 – 3 Tage ein Satellitenbild über verschiedenen Regionen Deutschlands zu erhalten. Vor allem auch die Möglichkeit Radar- und optische Bilddaten aufzunehmen, bietet eine Besonderheit, die von keinem anderen Erdbeobachtungsprogramm weltweit ermöglicht wird. Die Auswertung der Satellitendaten erfordert jedoch Fachwissen. Sofern dieses nicht in den Behörden vorhanden ist, sollte der sogenannte Downstream-Sektor privater Dienstleister berücksichtigt werden.

Die Copernicus Satellitendaten sowie Daten anderer Anbieter sind auch Grundlage für zahlreiche Datenprodukte, welche von den sechs Copernicus-Kerndiensten angeboten werden. Auch für Anwendungen in der Wasserwirtschaft und im Hochwasserrisikomanagement sind verschiedene Daten vorhanden, deren Evaluierung, sofern noch nicht geschehen, lohnt.

Zunächst ist der Copernicus EMS mit seinen Kartierkomponenten Rapid Mapping und Risk and Recovery Mapping zu nennen. Sie werden genutzt, um aktuelle und zurückliegende Hochwasserereignisse zu dokumentieren. Dabei unterstützen sie im Ereignisfall die Krisenstäbe, sich ein Lagebild zu erstellen. Die rückwirkende Dokumentation von Ereignissen eignet sich sehr gut, um Gefahren- und Risikokarten zu plausibilisieren. Die bereitgestellten Informationen können bei der Identifizierung betroffener Gebiete helfen und somit auch für die vorläufige Risikoabschätzung verwendet werden. Darüber hinaus könnte ein Katalog früherer Hochwasserereignisse in die Berichtspflichten des Sendai Rahmenwerkes für Katastrophenvorsorge der Vereinten Nationen einfließen.

Der Copernicus EMS bietet neben den Kartenprodukten auch das European Flood Awareness System (EFAS) an. EFAS wird in Deutschland bisher von fünf Bundesländern komplementär zu eigenen Hochwasservorhersagesystemen genutzt. Neben der Hochwasservorhersage bietet EFAS jedoch auch Indikatoren zu Sturzfluten, saisonale hydrologische Vorhersagen sowie Prognosen zu sozioökonomischen Auswirkungen von Hochwasserereignissen an. Es wird daher empfohlen zu evaluieren, ob EFAS neben den Hochwasservorhersagen auch eine sinnvolle Erweiterung zu den landesweiten Informationsdiensten anbieten kann.

Neben Copernicus EMS werden von weiteren Kerndiensten zahlreiche Datenprodukte erzeugt. Im Rahmen des Copernicus Dienstes zur Landbeobachtung (CLMS) werden verschiedene Landbedeckungsdaten in unterschiedlichen Maßstäben und für unterschiedliche Interessensgebiete generiert. Diese können für die Erstellung der Hochwasserrisikokarten eingesetzt werden. Neben den Standardprodukten können die Landbedeckungskarten auch Grundlage für die Erstellung weiterer Produkte sein. Zu nennen sind hier beispielsweise Rauigkeitskarten, die für die hydraulische Modellierung erforderlich sind. Darüber hinaus sind sie die Grundlage für Schadenspotentialanalysen. Der bereits vorhandene BEAM Datensatz basiert beispielsweise auf CLC und Urban Atlas.

BEAM wurde im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelt und durch eine Aktivierung des Copernicus EMS für Deutschland einmalig erstellt. Heute wird BEAM als Produkt von der Geomer GmbH vertrieben. Die Fortschreibung des frei zugänglichen Copernicus BEAM-Datensatzes für Deutschland ist unklar. Es ist nicht gesichert, dass sich eine Aktualisierung im Rahmen einer erneuten Copernicus EMS Aktivierung umsetzen lässt. Die Ausführungen in Kap. 5

unterstreichen jedoch, dass sich ein BEAM-ähnlicher Datensatz durch Verschneidung von Landbedeckungsdaten wie CLC und monetären Werten des Statistischen Bundesamtes erzeugen lässt.

Copernicus ist als langfristiges Programm ausgelegt. Eine regelmäßige Aktualisierung der Datensätze und Produkte wird angestrebt. Daher stellen die Datenprodukte des Copernicus Dienstes zur Landbeobachtung eine gute Datengrundlage für harmonisierte, bundesweite Datensätze dar. Dies ist von besonders großem Nutzen bei der flussgebietsweisen Erstellung von Gefahren- und Risikokarten und Risikomanagementplänen.

Der Copernicus Climate Change Service (C3S) kann eine sinnvolle Erweiterung sein, um frühere Hochwasserereignisse zu dokumentieren. Langjährige Zeitreihen zu Niederschlägen und zur Bodenfeuchte bieten die Möglichkeit, die Entstehung von Hochwassern unter Berücksichtigung von Witterung und Boden zu untersuchen. Die übrigen Kerndienste zur Überwachung der Atmosphäre (CAMS), der Meeresumwelt (CMEMS) und der Sicherheitsdienst (CSS) eignen sich weniger für Fragestellungen des HWRM. Der Copernicus Dienst zur Überwachung der Atmosphäre stellt jedoch bereits sogenannte Politikprodukte bereit, die gezielt für die politische Entscheidungsunterstützung im Zusammenhang mit der Luftqualität generiert werden. Außerdem sollen die Produkte zur Unterstützung von Kommunikationsmaßnahmen politischer Entscheidungsträger gegenüber der Öffentlichkeit und zur Berichterstattung beitragen. Die Erweiterung des Angebotes der anderen Copernicus Dienste hinsichtlich spezifischer Produkte und Informationen zur Entscheidungsunterstützung sollte von den Nutzern gefordert werden.

Die Gespräche mit Vertretern der verschiedenen Behörden und die Auswertung verschiedener Unterlagen haben gezeigt, dass Bedarf an weiteren Produkten besteht, die durch Fernerkundungsdaten erzeugt werden könnten. Entscheidungen über die Erweiterung des Produktportfolios der Kerndienste sind zeitintensiv. Es wird empfohlen, unter Koordination von BMVI, DLR und der Fachkoordination, Produktwünsche in den entsprechenden europäischen Gremien zu kommunizieren. Darüber hinaus wird empfohlen, das Serviceangebot des privaten Dienstleistungssektors zu berücksichtigen. Hierfür sind bei Bedarf Budgets einzuplanen.

Copernicus bietet neben der Weltraum- und der Dienstkomponenten eine In-situ Komponente. In-situ Daten sind wichtige Voraussetzung für die Verarbeitung von Satellitendaten. Sie kommen bei der Kalibrierung von Satelliten zum Einsatz, dienen aber auch als Referenzdaten bei der Erstellung von Karten des Copernicus wie z. B. des Copernicus EMS. Es wird empfohlen, in enger Abstimmung mit den Landesvermessungsverwaltungen, den Diensten und Dienstleistern einen freien Zugang zu Referenzdaten zu ermöglichen. Die Implementierung von INSPIRE, aber auch die Umsetzung eigener landesweiter Open Data Politiken sind dafür bereits positive Beispiele.

Copernicus befindet sich fortschreitend in der Weiterentwicklung. Das heißt, dass die bestehenden Dienste um weitere Produktkategorien erweitert werden. Daten des zukünftigen Schnee- und Eisdienstes (Teil des CLMS) werden wichtige Nahe-Echtzeit Informationen zur Schnee- und Eisdecke liefern, die in die Hochwasservorhersage einfließen können. Der Küstenservice (CLMS und CMEMS) wird hochaufgelöste Landbedeckungsdaten für europäische Küstengebiete generieren. Sie können somit für das HWRM von Sturmfluten von Nutzen sein. Die genaue Definition des Dienstes soll in Zusammenarbeit mit den Mitgliedsstaaten erfolgen. Dies unterstreicht, dass Copernicus als nutzergetriebenes Programm ausgelegt ist. Es wird empfohlen, durch Absprache mit der nationalen Fachkoordination, die Möglichkeit zu nutzen, entsprechende eigene Impulse zu setzen und Anforderungen mitzuteilen.

7.2 Copernicus für die Ermittlung von Schadenspotentialen

Im Rahmen einer Aktivierung der Risk & Recovery Komponente des Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes wurde vom BBK bereits 2014 die Erstellung der Basic European Assets Map für Deutschland (BEAM) beauftragt. Die BEAM Methodik wurde im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes entwickelt.

Generell ist der BEAM-Datensatz für Schadenspotentialanalysen auf der Mesoskala geeignet. Ein Vergleich mit anderen Vermögensdatensätzen und Schadensmodellierungen zeigt aber, dass es vermutlich eine Tendenz zur Unterschätzung des exponierten Vermögens und damit auch der potentiellen Schäden gibt, obwohl ähnliche Monetarisierungsansätze wie in den Arbeitshilfen der Länder zur Schadenspotentialanalyse verwendet werden. Hier sind weitere Vergleichsrechnungen zu empfehlen.

Zudem ist darauf hinzuweisen, dass die Vermögenswerte für den Bereich der privaten Haushalte vergleichsweise detailliert dargestellt werden, im Bereich der Wirtschaft aber nur grob zwischen Industrie und Gewerbe (Service) unterschieden wird. Hier ergeben sich große Abweichungen zum Vergleichsdatensatz. Da sich auch die Schadensanfälligkeit unterschiedlicher Wirtschaftsbereiche deutlich unterscheidet, wäre hier mehr Detaillierung wünschenswert. Allerdings beinhalten auch die vorliegenden Arbeitshilfen aus den Ländern keinen größeren Detailgrad.

Ein großer Mehrwert des Beam-Datensatzes ist die Integration der (linienhaften) Infrastrukturen. Dies eröffnet neue Möglichkeiten in der mesoskaligen Schadensabschätzung. Weiterhin sind die konsistente Monetarisierung und Regionalisierung in ganz Deutschland ein Vorteil. Der aktuelle Datensatz nutzt Copernicus-Produkte mit hoher Auflösung (CLC für Deutschland mit 10 ha; Urban Atlas). Durch eine Verbesserung der Landnutzungsdaten könnte auch ein räumlich feiner aufgelöster Vermögensdatensatz entstehen. Daher ist generell die Aktualisierung des BEAM-Datensatz bei Aktualisierung der zugrundeliegenden Datensätze (CLC, Urban Atlas) zu empfehlen.

7.3 Copernicus Wissen

Die Untersuchungen haben ergeben, dass Copernicus Daten bereits in zahlreichen Pilotprojekten (auch mit Bezug zur Wasserwirtschaft) in Deutschland eingesetzt werden. Der Einsatz der Copernicus Dienste, allen voran der Copernicus Katastrophen- und Krisenmanagementdienst dagegen noch in geringem Ausmaß. Dies hat unterschiedliche Gründe. Es finden zwar Schulungen statt (z. B. durch das BBK). Diese adressieren aber derzeit in erster Linie Vertreter des Katastrophenschutzes. Es wird daher empfohlen, auch andere Akteure z. B. aus den Landesämtern für Umwelt einzubeziehen. Auch Veranstaltungen der BfG und des LAWA wurden sehr positiv bewertet und weitere Veranstaltungen werden befürwortet. Von Anwendern der Wasserwirtschaft wurde allerdings vorgeschlagen, die Workshops näher beim Nutzer durchzuführen. Das heißt direkt in den Landesämtern, um einen besseren Multiplikatoreffekt zu erzielen. Weiterhin sollte ein länderübergreifendes Netzwerk von Copernicus-Nutzern aus der Wasserwirtschaft eingerichtet werden, damit ein direkter behördenübergreifender Informationsaustausch stattfinden kann. Diese Forderung wird unterstützt.

In mehreren Bundesländern wurden bereits erste Strukturen geschaffen, um die Verwendung von Copernicus Daten und Diensten zu fördern. Dies unterstützt die Sensibilisierung für die Thematik und Informationsweitergabe innerhalb einer Behörde. Darüber hinaus können die nationalen Fachkoordinatoren und Fachexperten entlastet werden. Es ist auch davon auszugehen, dass ein Ansprechpartner innerhalb der eigenen Behörde schneller angesprochen wird. Die Hürde, den Kontakt zu einem nationalen Fachexperten oder

Fachkoordinator aufzunehmen, ist weit höher. Die Entwicklung von Pilotprojekten wird ebenfalls erleichtert, denn die Lösung von konkreten Aufgaben einer Behörde kann durch schnellen Informationsaustausch erreicht werden.

Es wird empfohlen eine Datenbank zu entwickeln, um Informationen über bereits durchgeführte Projekte zu teilen. Das Interesse an „Best-Practice“ Beispielen, aber auch Informationen über Grenzen und Misserfolge werden von den Anwendern gewünscht. Durchführende Organisationen und Projektmitarbeiter können gezielt kontaktiert werden. So kann effizient geprüft werden, ob eigene Projektideen bereits andernorts umgesetzt wurden. Die Recherchen haben auch ergeben, dass Copernicus im HWRM in den europäischen Nachbarstaaten bereits zum Einsatz kommt. Die meisten der Anwendungen könnten auch in Deutschland umgesetzt werden. Die Aufnahme dieser Projektinformationen in eine entsprechende Projektdatenbank fördert die Nachhaltigkeit der bisher erzielten Projektergebnisse.

Die vier vorgestellten Fallstudien zeigen, dass Copernicus Daten / Produkte auch für Fragestellungen, die über die Dokumentation von Ereignissen hinausgehen, nützlich sein können. Vielfältige Fragestellungen des HWRM können damit erörtert werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, weitere Pilotprojekte in den Bundesländern durchzuführen, um den vollen Nutzen von Copernicus Daten und Diensten bei Anwendern sichtbar zu machen. Dies wird auch von Seiten der Nutzer gewünscht. Von Seiten des Bundes existieren dafür bereits Fördermöglichkeiten. Die oben erwähnte Nutzergruppe Wasserwirtschaft, aber auch in Zusammenarbeit mit den LAWA Ausschüssen, können auch bundeslandübergreifende Projekte entwickelt werden. Sie ermöglichen die Entwicklung standardisierter Arbeitsabläufe und Produkte, welche für die nationale Berichterstattung eingesetzt werden können.

8 Literaturverzeichnis

- Alexy, M. (2013): Numerische Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen der Deichrückverlegung Lenzen und von geplanten Vorlandanpflanzungen. In: BAWMitteilungen, 2013, 97, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, S. 73-98
- Assmann, A. & M. Müller (2012): Where are Europe's Assets? An introduction to the Basic European Assets Map (BEAM) - Manual, S. 11
- Bernsdorf, B., A. Bicsan, und N. Wolf. (2018): SenSituMon - Copernicus in Analyse und Monitoring von Überflutungsereignissen. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2018, 28. November 2018, Berlin.
- BfG (2018): Satellitengestützte Persistent-Scatterer-Radarinterferometrie für das ingenieur-geodätische Bauwerksmonitoring. https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Beispiele-aus-Deutschland/verkehr/BfG-M5-Copernicus-Projekt_PSIBaumon.pdf (14.06.2019)
- Bodenbender, G., und P. Heiland. (2018): Nutzung des Copernicus EMS zur Erfassung von Hochwasserrisiken im Drin-Einzugsgebiet. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2018, 28. November 2018, Berlin.
- Boni, G., Ferraris, L., Pulvirenti, L. (2016): A prototype system for flood monitoring based on flood forecast combined with COSMO-SkyMed and Sentinel-1 data. In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2016, 9 (6), 2794-2805
- Bubeck, P., Kreibich, H. (2011): Natural Hazards: direct costs and losses due to the disruption of production processes - CONHAZ (FP7) Project Report.
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. & Nestmann, F. (2006): Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 485-503
- Clement, M.A., C.G. Kilsby, und P. Moore (2017): Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. In: Journal of Flood Risk Management, 2017, 11, 152-168
- Closson, D., Karaki, N.A. (2014): Dikes Stability Monitoring Versus Sinkholes and Subsidence, Dead Sea Region, Jordan, In: Holecz, F., Pasquali, P., Milisavljevic, N, Closson, D. [Hrsg.]: Land Applications of Radar Remote Sensing, IntechOpen, doi: 10.5772/57277.
- Copernicus (2019a): Flood prevention along the Estonian Baltic Coast. <https://www.copernicus.eu/en/use-cases/flood-prevention-along-estonian-baltic-coast> (03. April 2019)
- Copernicus (2019b): Flood prevention along the French Roussillon Mediterranean coast. <https://www.copernicus.eu/en/flood-prevention-along-french-roussillon-mediterranean-coast> (03. April 2019)
- Copernicus (2019c): Flood prevention along the Portuguese coast. <https://www.copernicus.eu/en/flood-prevention-along-portuguese-atlantic-coast> (03. April 2019)
- Copernicus (2019d): Global Land Service. Soil Water Index. <https://land.copernicus.eu/global/products/swi> (April 30, 2019)

- Copernicus (2019e): Soil moisture gridded data from 1978 to present.
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-soil-moisture?tab=overview> (April 30, 2019)
- COSMOSkyMed (2019): *About COSMOSkyMed*. <http://www.cosmo-skymed.it/en/index.htm> (Mai 21, 2019)
- Damm, C. (2013). Deichrückverlegung Lenzen-Wustrow - Geschichte und Umsetzung im Rahmen eines Naturschutzgroßprojektes. In: BAWMitteilungen, 2013, 97, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, S. 23-35
- Dasgupta, A., et al. (2018): Flood Mapping Using Synthetic Aperture Radar Sensors From Local to Global Scales. In: Schumann, G. J-P., Bates, P. D., Apel, H., Aronica, G. T. [Hrsg.]: Global Flood Hazard: Applications in Modeling, Mapping, and Forecasting, Geophysical Monograph, John Wiley & Sons, Inc., 233, 55-78
- EC (2018): Copernicus For Water Management Workshop. European Commission.
- EC (2017): Copernicus Land Monitoring Service - Local Component: Riparian Zones. Kopenhagen, Dänemark.
- Eicher, C.L. and Brewer C.A (2001): Dasymeric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. In: Cartography and Geographic Information Science, 28(2), 125–138
- Emschergenossenschaft & Hydrotec (2004): Hochwasser-Aktionsplan Emscher, Kapitel 1: Methodik der Schadensermittlung. Emschergenossenschaft, Bericht
- Ess van, M. (2015): Dokumentation von Zerstörungen an Kulturdenkmälern durch Fernerkundungstechniken. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015, 05. November 2015, Berlin.
- Faulhaber, P. (2013a): Charakteristik der Elbe zwischen Havelmündung und Dömitz. In: BAWMitteilungen, 97, 7-21
- Faulhaber, P. (2013b): Zusammenschau und Analyse von Naturmessdaten. In: BAWMitteilungen 97, 109-134
- Feyisa, G., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R. (2014): Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. In: Remote Sensing of Environment, 2014, 140, 23-35
- Gallego, J. (2001): Using land cover information to map population density. Statistical Commission and Economic Commission for Europe, Conference of European Statisticians, Tallinn, Estonia, Working Paper No. 21, 1–10.
- GDV (2018): München ist die am stärksten versiegelte Grostadt.
<https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/muenchen-ist-die-am-staerksten-versiegelte-grosstadt-36418> (03. April 2019)
- Gerl, T., Kreibich, H., Franco, G., Marechal, D., Schröter, K. (2016): A Review of Flood Loss Models as Basis for Harmonization and Benchmarking. In: PLoS ONE, 11(7), 1-22
- Grünthal, G., Thieken, A.H., Schwarz, J., Radtke, K.S., Smolka, A., Merz, B. (2006): Comparative risk assessments for the city of Cologne – storms, floods, earthquakes. In: Natural Hazards 38(1-2): 21-44, DOI: 10.1007/s11069-005-8598-0.

- IKSE (2014): Hydrologische Auswertung des Hochwassers vom Juni 2013 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg: IKSE, 2014.
- IKSR (2001): Rheinatlas - Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten der Internationalen Flussgebietseinheit Rhein. Koblenz.
- INDRA (2018): EMSN-056: Historic Flood Delineation and Analyses for Elbe/Vltava Catchment - Final Report. 2018.
- Isberg, K., B. Arheimer, und C. Donnelly (2014): Hydrological Model for Water Management and Implementation of European Directives. In: NEREUS [Hrsg.]: The Growing Use of GMES across Europe's Regions, 78-79
- Ivačić, M., und Ž. Kokajl. (2018): Water Bodies Detection on a Portal. In: NEREUS [Hrsg.]: The Ever Growing Use of Copernicus in Europe's Regions, 176-177
- Jain, S., Singh, R.D. , Jain, M. K., Lohani, A. K. (2015): Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques. In: Water Resour. Man., 2005, 19, 333-347
- Kellermann, P., Schöbel, A., Kundela, G., Thielen, A. H. (2015): Estimating flood damage to railway infrastructure – the case study of the March River flood in 2006 at the Austrian Northern Railway. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 3, 2629-2663
- Kleist, L., Thielen, A. H., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I., Borst, D., Werner, U. (2006): Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 541-552
- Kreibich, H., Müller, M., Thielen, A.H., Merz, B. (2007): Flood precaution of companies and their ability to cope with the flood in August 2002 in Saxony, Germany. In: Water Resources Research 43, W03408, doi: 10.1029/2005WR004691
- Kreibich, H. and Thielen, A.H. (2008): Assessment of damage caused by high groundwater inundation. In: Water Resources Research 44: W09409, DOI: 10.1029/2007WR006621
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., Thielen, A. H. (2010): Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. In: Hydrological Sciences Journal, 55, 1302-1314
- Kreibich, H., Botto A., Merz B., Schröter K. (2016): Probabilistic, Multivariable Flood Loss Modeling on the Mesoscale with BT-FLEMO. In: Risk Analysis, 37, 774 - 787. doi:10.1111/risa.12650
- LAWA (2018): Protokoll zum LAWA-AH Workshop Schadenspotenziale am 08./09. März 2018 in Mainz. 56 S.
- LfLUG (2012): Elbe - Atlas Atlas - Labe. LABEL - Labe-Elbe Anpassung an das Hochwasserrisiko im Elbeeinzugsgebiet. Sächsisches Staatsministerium des Innern. Dresden
- Li, L., Chen, Y., Yu, X., Liu, R., Huang, C. (2015): Subpixel flood inundation mapping from multispectral remotely sensed images based on discrete particle swarm optimization. In: ISPRS J. Photo. Rem. Sens., 2015, 101, 10-21
- LMU (2019): Department für Geographie: Forschungsprojekte. http://www.geographie.uni-muenchen.de/departament/fiona/forschung/projekte/index.php?projekt_id=189 (02. April 2019)
- Maiwald, H. und Schwarz, J. (2014): Schadensmodelle für extreme Hochwasser – Teil 1: Modellbildung und Validierung am Hochwasser 2002. In: Bautechnik 90, 3, 200–210

- Malinowski, R., Groom, G., Schwanghart, W., Heckrath, G. (2015): Detection and Delineation of Localized Flooding from WorldView-2 Multispectral Data. In: *Remote Sensing*, 2015, 7, 14853-14875
- Martinis, S., Kersten, J., Twele, A. (2015): A fully automated TerraSAR-X based flood service. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 203-212
- Mason, D.C., Cance, S.L., Vetra-Carvalho, S., Cloke, H.L. (2018): Robust algorithm for detecting floodwater in urban areas using synthetic aperture radar images. In: *Journal of Applied Remote Sensing*, 12, 4
- Mennis, J. (2003): Generating surface models of population using dasymetric mapping. In: *Prof Geographer*, 55, 1, 31-42
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A. (2010): Assessment of economic flood damage. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1697-1724
- Merz, B., Kreibich, H., Lall, U. (2013): Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data-mining approach. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1, 53-64, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-53-2013>
- Meyer V. (2005): Methoden der Sturmflut- und Schadenspotenzialanalyse an der deutschen Nordseeküste. Dissertationsschrift an der Universität Hannover. UFZ-Dissertation 03/2005, ISSN: 1860-0387
- Mölkner, N. (2018): Entwicklung eines Konzeptes zur Ermittlung von Schadenspotenzialen der Hochwasserszenarien gemäß EG-HWRM-RL für eine bundesweite Anwendung durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Masterarbeit, Universität Bonn
- Mura, J., Gama, F., Paradella, W., Negrão, P., Carneiro, S., de Oliveira, G., Brandão, W. (2018): Monitoring the Vulnerability of the Dam and Dikes in Germano Iron Mining Area after the Collapse of the Tailings Dam of Fundão (Mariana-MG, Brazil) Using DInSAR Techniques with TerraSAR-X Data. In: *Remote Sensing*, 10, 1507, 10.3390/rs10101507
- Müller, M., Fourty, T., Assmann, A. (2013): BEAM and AM+: Two assets mapping products suited for multi-risk applications. In: Klijn & Schreckendiek [eds.]: *Comprehensive Flood Risk Management*. Taylor & Francis Group, London, 1045-1050
- MURL (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen)(2000): Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW. Düsseldorf
- Nadal, N., Zapata, R., Pagán, I., López, R., Agudelo, J. (2010): Building Damage due to Riverine and Coastal Floods. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2010, 136, 327-336
- Nagler, T., und H. Rott (2014): CryoLand - GMES Downstream Service on Snow and Land Ice. In: NEREUS [Hrsg.]: *The Growing Use of GMES across Europe's Regions*, 28-29.
- Natho, S., Thielen, A.H. (2018): Implementation and adaptation of a macro-scale method to assess and monitor direct economic losses caused by natural hazards. In: *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, 28, 191-205, doi: 10.1016/j.ijdrr.2018.03.008
- Naughton, O., McCormack, T., Bradford, R., McAteer, J. (2018): Monitoring Groundwater Flooding in Ireland Using Sentinel-1 SAR. In: NEREUS [Hrsg.]: *The Ever Growing Use of Copernicus in Europe's Regions*, 174-175

- Neubert, M., Naumann, T., Hennesdorf, J., Nikolowski, J. (2016): The Geographic Information System-based flood damage simulation model HOWAD. In: Journal of Flood Risk Management, 2016, 9, 1, 39-49
- Notti, D., Giordan, D., Caló, F., Pepe, A., Zucca, F., Galve, J.P. (2018): Potential and Limitations of Open Satellite Data for Flood Mapping. In: Remote Sensing, 2018, 10, 11, 1673
- Ogilvie, A., et al. (2015): Decadal monitoring of the Niger inner delta flood dynamics using MODIS optical data. In: J. Hydrol., 2015, 523, 368-383
- Penning-Rowsell, E., Fordham, M., Green, C., Peerbolte, E.B., Veen, A., Wind, H.G. (1992): Flood vulnerability analysis and climatic change: towards a European methodology. In: Saul, A. J. [ed.]: Floods and flood management, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 343-363
- Penning-Rowsell, E., Floyd, P., Ramsbottom, D., Surendran, S. (2005): Estimating Injury and Loss of Life in Floods: A Deterministic Framework. In: Natural Hazards. 36. 43-64. 10.1007/s11069-004-4538-7
- Perrou, T., Garioud, A., Parcharidis, I. (2018): Use of Sentinel-1 imagery for flood management in a reservoir-regulated river basin. In: Frontiers of Earth Science, 2018, 12, 506
- Promny M., Hammer M., Busch N. (2014): Untersuchungen zur Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen auf das Hochwasser vom Juni 2013 an der unteren Mittel-Elbe. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2014, 6, 344 – 349
- Poussin, J. K., Bubeck, P., Aerts, J. C. J. H., Ward, P. J. (2012): Potential of semi-structural and non-structural adaptation strategies to reduce future flood risk: case study for the Meuse. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3455-3471
- Sala, J., Lopez, A., Romero, L., Koudogbo, F. (2016): A Sentinel-1 flood map generations QGIS plugin. In: EGU General Assembly Conference Abstracts, 2016, 18
- Sandmann, S. (2018): Copernicus für Landbedeckung, ALKIS und ATKIS in NRW. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2018, 28. November 2018, Berlin.
- Satellite Imaging Corporation (2019a): GeoEye-1 Satellite Sensor (0,46m). <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1/> (21. Mai 2019)
- Satellite Imaging Corporation (2019b): WorldView-2-Satellite (0,46m). <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/> (21. Mai 2019)
- Schmidt, R. (2013): Die Deichrückverlegung Wustrow-Lenzen - Planung und Umsetzung aus Sicht des Bauherrn. In: BAWMitteilungen, 2013, 97, 37-48
- Schröter, K., Kreibich, H., Vogel, K., Riggelsen, C., Scherbaum, F., Merz, B. (2014): How useful are complex flood damage models? In: Water Resources Research, 50, 4, 3378-3395, <https://doi.org/10.1002/2013WR014396>
- Schönthaler, K., von Andrian-Werburg, S., Zebisch, M., Becker, M. (2017): Welchen Beitrag können Satellitenfernerkundung und insbesondere Copernicus-Daten und -Dienste für die Ermittlung ausgewählter Indikatoren des Indikatoren-Sets der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) leisten. Climate Change, 07/2017, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 157 S
- Schwandt, D., Hübner, G. (2019): Pegel im Elbegebiet: Wittenberge, Elbe. http://undine.bafg.de/elbe/pegel/elbe_pegel_wittenberge.html(12. März 2019)

- Schwarz, J., Maiwald, H. (2008): Damage and loss prediction model based on the vulnerability of building types. 4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability, May 6-8, 2008, Toronto, Ontario, Canada
- Schumann, G., et al. (2016): Unlocking the full potential of earth observation during the 2015 Texas flood disaster. In: *Water Resour. Res.*, 2016, 52, 3288-3293
- Schumann, G.J.P., Domeneghetti, A. (2016): Exploiting the proliferation of current and future satellite observations of rivers. In: *Hydrol. Processes*, 2016, 2891-2896
- Seifert, I., Kreibich, H., Merz, B., Thielen, A. H. (2010): Application and validation of FLEMOcs – a flood-loss estimation model for the commercial sector. In: *Hydrological Sciences Journal*, 2010, 55, 1315-1324
- Sieg, T., Vogel, K., Merz, B., Kreibich, H. (2017): Tree-based flood damage modeling of companies: Damage processes and model performance. In: *Water Resources Research*, 2017, 53, 6050-6068, doi: 10.1002/2017WR020784
- Siemer, B. (2018): Bodenversiegelung, Hauptflächennutzung und Bodenfeuchte aus Satellitenbilddaten des Copernicus Programms. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2018, 28. November 2018, Berlin.
- Simon, M. (1994). Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik*, 1994, 7, 25-31
- Thielen, A., Cammerer, H., Dobler, C., Lammel, J., Schöberl, F. (2016): Estimating changes in flood risks and benefits of non-structural adaptation strategies - a case study from Tyrol, Austria. In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2016, 21, 3, 343-376
- Thielen, A., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., Merz, B. (2008): Development and evaluation of FLEMOps – a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector: *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2008, 118, 315 - 324
- Thielen, A. H., Müller, M., Kleist, L., Seifert, I., Borst, D., Werner, U. (2006): Regionalisation of asset values for risk analyses. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2006, 6, 167-178
- Thielen, A. H., Müller, M., Kreibich, H., Merz, B. (2005): Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. In: *Water Resources Research*, 2005, 41
- Thielen, A.H., Seifert, I., Elmer, F., Maiwald, H., Haubrock, S., Schwarz, J., Müller, M., Seifert, J. (2009): Standardisierte Erfassung und Bewertung von Hochwasserschäden. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 2009, 53, 3, 198-207
- Tholey, N., Maxant, J., Studer, M., de Fraipont, P. (2018): Regional Flood Monitoring with Sentinels Data. In: *NEREUS [Hrsg.]: The Ever Growing Use of Copernicus across Europe's Regions*, 136-137
- TLUG [Hrsg.] (2018): Leitfaden zur Erstellung von integralen Hochwasserschutzkonzepten in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 65 S.
- Tsyganskaya, V., Martinis, S., Marzahn, P., Ludwig, R. (2018): Detection of Temporary Flooded Vegetation Using Sentinel-1 Time Series Data. In: *Remote Sensing*, 2018, 10, 8, 1286
- Twele, A., Cao, W., Plank, S., Martinis, S. (2016): Sentinel-1 based flood mapping: a fully automated processing chain. In: *Int. J. Rem. Sens.*, 2016, 37, 13, 2990-3004

- UN-ISDR (2015): United Nations, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Report A/CONF.224/CRP.1, Geneva
- Van der Veen, A. and Logtmeijer, C. (2005): Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding. In: Nat. Hazards, 2005, 36, 65–80
- Vogel, K., Riggelsen, C., Merz, B., Kreibich, H., Scherbaum, F. (2012): Flood damage and influencing factors: a Bayesian network perspective. In: Proceedings of the 6th European workshop on probabilistic graphical models (PGM 2012), University of Granada, Granada, Spain, 625, 347-354
- Vogel, K., Weise, L., Schröter, K., Thielen, A.H. (2018): Identifying Driving Factors in Flood Damaging Processes Using Graphical Models. In: Water Resources Research 54, online first 1 Oct 2018; DOI: 10.1029/2018WR022858.
- Wünsch, A., Herrmann, U., Kreibich, H., Thielen, A.H. (2009): The Role of Disaggregation of Asset Values in Flood Loss Estimation: A Comparison of Different Modeling Approaches at the Mulde River, Germany. In: Environmental Management, 2009, 44, 3, 524-541, doi: 10.1007/s00267-009-9335-3
- Zeisler, P. und Pflügner, W. (2019): Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg. In: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg [Hrsg.]; Arbeitshilfe NKU-BW, 124 S
- Zeisler, P. et al. (2018): Bericht zur Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur Umsetzung der EG HWRM-RL in Sachsen-Anhalt: Ermittlung von Vermögenswerten für Schadenspotenzialuntersuchungen und entsprechender Allokationsverfahren für den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) in Magdeburg und Halle (Saale). 68 S
- ZKI (2018): Fernerkundungsprodukte für das Sendai-Monitoring in Deutschland Grundlagenstudie zur Eignung von bestehenden Auswertungsverfahren und Daten. Berichtsentwurf. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) Earth Observation Center (EOC), Oberpfaffenhofen

A Annex 1 – Copernicus EMS Rapid Mapping – Hochwasser

Tabelle 35: Copernicus EMS EMSR044

| Floods in Germany | |
|--|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 02.06.2013 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 03.06.2013 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | 16 Referenzkarten vor dem Ereignis und 14 Delineation Karten nach dem Hochwasser |
| Grund für die Aktivierung | Starkregen in Zentral- und Westeuropa haben Hochwasser der großen Flüsse (Elbe, Donau, Moldau) verursacht |
| Standorte | Chiemgau Nord, Chiemgau Süd, Döbeln, Dresden, Meissen, Riesa, Rosenheim, Torgau |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen |

Tabelle 36: Copernicus EMS EMSR047

| Flood in Sachsen-Anhalt, Germany | |
|--|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 07.06.2013 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 07.06.2013 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Referenzkarten (4) und Delineation Karten (4) |
| Grund für die Aktivierung | Starkregen in Sachsen-Anhalt, genauer in Fischbeck und Breitenhagen hat Hochwasser verursacht |
| Standorte | Fischbeck, Breitenhagen |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen |

Tabelle 37: Copernicus EMS EMSR166

| Floods in Bavaria, Germany | |
|--|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 01.06.2016 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 01.06.2016 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Referenzkarten (5), Delineation maps (5), Grading maps (4) |
| Grund für die Aktivierung | Nach Sturzflut und Überschwemmungen, verursacht durch Starkregen im Osten von Bayern, wurde der Ausnahmezustand ausgerufen. |

| Floods in Bavaria, Germany | |
|----------------------------|---|
| Standorte | Julach, Pfarrkirchen, Simbach am inn, Tann, Triftern |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen In den Grading Maps wurden auch Schlammlawinen und Erdbeben eingezeichnet, darüber hinaus Schadensgrad an der Infrastruktur (Brücken, Straßen). |

Tabelle 38: Copernicus EMS EMSR215

| Flood in Braunschweig | |
|--|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 27.07.2017 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 27.07.2017 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Delineation maps (2), Grading maps (1) |
| Grund für die Aktivierung | Starkregen im ganzen Land, Braunschweig ist besonders stark betroffen. Das südliche Niedersachsen und nördliche Thüringen wurden von Stürmen getroffen, mit 50-80 l Regen pro m ² innerhalb 24h (in manchen Gebieten auch 100 l) |
| Standorte | Braunschweig |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen In der Grading Map ist ein Gebiet als „kaum beschädigt“ gekennzeichnet. |

Tabelle 39: Copernicus EMS EMSR261

| Floods in Lower Saxony, Germany | |
|--|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 14.12.2017 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 14.12.2017 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Referenzkarten (3), Delineation maps (20) |
| Grund für die Aktivierung | Seit 25.11. Hochwasser in Niedersachsen. Um die Situation einzuschätzen und für die Verbesserung der Prognose des Weiteren Verlaufs wird ein Hochwassermonitoring gefordert. |
| Standorte | Einbeck, Hannover, Wolfsburg |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen |

Tabelle 40: Copernicus EMS EMSR287

| | Flood in Saxony |
|--|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 24.05.2018 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 24.05.2018 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Delineation maps (8) |
| Grund für die Aktivierung | Sturzfluten in Sachsen |
| Standorte | Bad Elster, Elsterberg, Magwitz, Muhlental, Neumark, Plauen, Zwickau |
| Karteninformation | Ausdehnung der Wasserfläche. Anzahl der betroffenen Einwohner, Strecke [km] der betroffenen Transportwege, Fläche [ha] der betroffenen Landbedeckungsklassen In einigen Gebieten wurden keine überschwemmten Gebiete festgestellt (bspw. Neumark, Plauen). |

Tabelle 41: Copernicus EMS EMSR308

| | Flood in Bavaria, Germany |
|--|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 02.09.2018 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 02.09.2018 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Referenzkarte (1), Grading map (1) |
| Grund für die Aktivierung | In Tegernbach sind nach extensiven Starkregen die meisten Häuser von Sturzfluten überschwemmt worden. |
| Standorte | Tegernbach |
| Karteninformation | In der Grading Map Schadensgrad an der Infrastruktur (Brücken, Straßen, Siedlung) |

B Annex 2 – Copernicus EMS Risk & Recovery – Hochwasser

Tabelle 42: Copernicus EMS EMSR056

| Historic flood delineation and analyses for Elbe / Vltava catchment | |
|---|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | Mai 2013 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 02.10.2018 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | N/A |
| Beschreibung | Bewertung des Hochwasserrisikos und die Wirksamkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen in ausgewählten Gebieten des Elbe / Vltava-Einzugsgebiets in Deutschland und der Tschechischen Republik, basierend auf den Hochwasserereignissen vom Juni 2013. Die Ergebnisse werden Maßnahmen unterstützen, um Anforderungen der europäischen Hochwasserrichtlinie zu erfüllen. |
| Aktivierung | BBK im Auftrag der Internationalen Kommission für den Schutz der Elbe (IKSE) |

Tabelle 43: Copernicus EMS EMSR054

| Assessment of flood risk and economic impact, Drin river basin, Balkans | |
|---|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | |
| Zeitpunkt Aktivierung | 01.08.2018 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Reference Map, Land use / land cover map, Flooding at peak conditions: Flooded area and water depth, Damage assessment Flood risk assessment: population at risk, assets (POIs) and transportation at risk, assets vulnerability, road network vulnerability to disruption |
| Beschreibung | Analyse hinsichtlich des Auftretens von Überschwemmungen innerhalb des grenzüberschreitenden Drin-Einzugsgebiets, insbesondere im Teil, der sich auf vier Länder Albanien, Kosovo, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien und Montenegro erstreckt. Die Dienstleistung und die Produkte sollen dem Geltungsbereich des Kooperationsabkommens von Drin River über die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Einzugsgebiet von Drin dienen, indem sie relevante Informationen für die Risikovorbereitung (Gefahren, historische Überschwemmungen und Bewertung des wirtschaftlichen Risikos) und die nachhaltige Entwicklung (wirtschaftliche Vermögenswerte) bereitstellen (Kartierung, Bewertung des wirtschaftlichen Risikos). |
| Aktivierung | BBK im Auftrag GIZ |

Tabelle 44: Copernicus EMS EMSR048

| Flood assessment risk in Sardinia, Italy | |
|--|---|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 29.12.2017 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 06.02.2018 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Reference Map, Land use / land cover map, Flooding at peak conditions: Flooded area and water depth, Damage assessment Flood risk assessment: population at risk, assets (POIs) and transportation at risk, assets vulnerability, road network vulnerability to disruption |
| Beschreibung | Analyse der Situation nach dem Hochwasser der zwei großen sardischen Flüsse Tirso und Cedrino. Es wird zusätzlich die Hochwassergefahr (vor einem Hochwasser) und damit verbundene Konsequenzen auf den Boden und die Infrastruktur untersucht. |
| Aktivierung | Katastrophenschutz, Presidenza del Consiglio dei Ministri |

Tabelle 45: Copernicus EMS EMSR046

| Detailed flood delineation in Hildesheim, Germany | |
|---|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 24.07.2017 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 08.11.2017 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Flood Delineation at peak conditions, Reference Map, Land use/ land cover map |
| Beschreibung | Es wurde eine Hochwasserkartierung für das Hochwasser in Hildesheim (Flüsse Nette, Lamme und Innerste) durchgeführt. Die Ursache für das Hochwasser war Starkregen |
| Aktivierung | BBK im Auftrag Landkreis Hildesheim |

Tabelle 46: Copernicus EMS EMSR035

| Economic impacts of floods on the agricultural sector in Centre-Val de Loire region, France | |
|---|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 30.05.2016 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 08.05.2017 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Maximum flood extent and water depths, Impact assessment on land cover (map and statistics), Impact assessment on population (statistics), Sector-wise impact assessment (statistics), Damage assessment of agricultural sector (map and statistics) |

| Economic impacts of floods on the agricultural sector in Centre-Val de Loire region, France | |
|---|--|
| Beschreibung | Einschätzung der Konsequenzen des Hochwassers vom Mai 2016 auf den landwirtschaftlichen Sektor in der Region Centre-Val de Loire (betroffene Flüsse: Cher, Indre). Ursache für das Hochwasser war Starkregen |
| Aktivierung | Innenministerium, Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises COGIC, France |

Tabelle 47: Copernicus EMS EMSR034

| Coastal flood risk analysis for population and assets, Portugal | |
|---|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | |
| Zeitpunkt Aktivierung | 21.04.2017 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Reference Map, Land Use/ land cover map, Coastal flood hazard, Coastal erosion hazard, Coastal flood risk (frequent/.../improbable), Socio-economic vulnerability, Physical vulnerability, Socio economic risk, Physical risk, Mitigation measures, Evacuation routes and potential suitable locations |
| Beschreibung | Analyse für eine mögliche Einsatzplanung im Falle eines Hochwassers (Tsunami, Sturmflut) entlang der Küste |
| Aktivierung | Katastrophenschutz (ANPC) |

Tabelle 48: Copernicus EMS EMSR028

| Flood delineation and damage assessment, France | |
|---|--|
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 31.05.2016 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 03.06.2016 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Observed flood extent, maximum flood extent and water depth mapping, Damage assessment mapping, Impact on land cover, Impact on population, Global statistics |
| Beschreibung | Es geht um die Einschätzung der Konsequenzen des Hochwassers vom Mai 2016 der Flüsse Seine und Loing. Ursache für das Hochwasser war Starkregen. Ziel der Aktivierung war, die Hochwasserausdehnung zu kartieren, die maximale Überschwemmung und Wassertiefen abzuleiten und den verursachten Schaden abzuschätzen. Wurde jeweils für 16 Gebiete gemacht. |
| Aktivierung | Innenministerium, Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises COGIC, France |

Tabelle 49: Copernicus EMS EMSR022

| | |
|--|--|
| | Bulgaria: Post-disaster analysis, damage assessment, recovery and rehabilitation planning and monitoring, flood risk assessment, disaster preparedness and response mechanisms |
| Zeitpunkt Hochwasserereignis | 31.07.2014 |
| Zeitpunkt Aktivierung | 04.05.2016 |
| Anforderung und Anzahl erstellte Karten | Soil Loss Map – Erosion Risk Assessment, Risk Map – Landslide Risk Assessment, Assets at Risk Map – Flood Risk Assessment, Population at Risk Map – Flood Risk Assessment, Land Use and Land Cover Map – Multiple Natural Hazard Risk Assessment, Key Dynamics: Water Persistence post, Key Dynamics: Water Persistence pre-Evaluation of Recovery Reconstruction & Rehabilitation Measures |
| Beschreibung | <ul style="list-style-type: none"> (1) Post-Disaster Einschätzung des Hochwassers in der Vratsa Region (2) Pläne zur Wiederherstellung, Wiederaufbau und Rehabilitation (3) Hochwasserrisikoanalyse, Einschätzung der Vulnerabilität von Bevölkerung und Bestand (4) Vorbeugungsmaßnahmen für Katastrophenvorbereitung und Reaktionsmechanismen (5) Monitoring von Wiederherstellung, Wiederaufbau und Rehabilitation |
| Aktivierung | Earth Observation Center (SMC), Ministry of Interior, Bulgaria |

C Annex 3 – Formular zur Anforderung von fernerkundungsbasierten Informationen

Abbildung 44: Formular des BBK zur Anforderung von fernerkundungsbasierten Informationen des Copernicus EMS



Formular zur Anforderung von fernerkundungsbasierten Informationen

Das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ist die nationale autorisierte Stelle, um fernerkundungsbasierte Informationen internationaler Verfahren anzufordern. Aus Fernerkundungsdaten erzeugte Karten und Analysen können sowohl bei der **Vorbereitung** auf oder der **Bewältigung** von Krisenlagen verwendet werden. Mit diesem Formular können Sie über das GMLZ in drei Schritten fernerkundungsbasierte Karten und Analysen anfordern.



Basisdaten Antragsteller

| | |
|---|--|
| Behörde/Organisation: (Name, Adresse) | |
| Ansprechpartner: (Name, Telefon, Email) | |

Informationen zur Anforderung

| | |
|--|--|
| Dringlichkeit: Welche Dringlichkeit liegt vor? Bitte ankreuzen. | <input type="checkbox"/> <i>Zeitkritische Anfrage (akute Krisensituation), die Produkte müssen so schnell wie möglich angefordert werden.</i> <input type="checkbox"/> <i>Die Anfrage ist planbar (z.B. 2-3 Monate Bearbeitungszeit).</i> |
| Anlass: Welches Ereignis liegt vor? Wann ist das Ereignis eingetreten oder seit wann besteht die Lage? | <i>z.B. Hochwasser an der Elbe nach Starkregen, Niederschlagsmaximum am 12./13. August 2002, Deichbruch bei Fischbeck, Lage wird voraus. länger anhalten</i> |
| Region: Für welche Region werden Informationen benötigt? | <i>z.B. „Gemeinde Fischbeck in Sachsen-Anhalt“ oder Angabe von Koordinaten, z.B. WGS84 Geographische Koordinaten - Längengrad, Breitengrad - welche die betroffene(n) Region(en) eingrenzen. Angabe von mehreren Regionen ist möglich.</i> <i>Screenshots aus GoogleEarth / KML / ESRI Shapefiles</i> |
| Informationsbedarf: Welche Informationen werden benötigt? Welche Maßstäbe sind gewünscht? | <i>z.B. Kartierung der räumlichen Ausdehnung des Hochwassers in der Gemeinde Fischbeck, optional: regelmäßige Aktualisierung der Lageinformation (z.B. alle 2 Tage neue Aufnahmen und Auswertung, je nach Verfügbarkeit von Satellitenaufnahmen</i> |

Quelle: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe