



Entwicklung des Hochwasserrisikos im Zeitraum 2015-2030 unter Berücksichtigung nationaler Managementmaßnahmen

Synthesebericht



Hochwasser mit Schutzmaßnahmen (Januar 2018, Koblenz) (Quelle: IKSR)

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 283



IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisiken“ (EG HIRI) im Rahmen der Arbeitsgruppe Hoch- und Niedrigwasser (AG H)

Markus Hostmann (CH) (Vorsitzender)
Thomas Mann (DE), Nina Mölkner (DE-BW), Felix Rau (DE-FGG Rhein)
Torsten Fay (BfG)
Holger Kugel (IKSMS)
Anne Landrière (FR)
Max Schropp (NL)
Sabine Siegmund (HWNG Rhein)

IKSR-Sekretariat:

Adrian Schmid-Breton, Nikola Schulte-Kellinghaus, Marc Daniel Heintz
Dominique Falloux, Isabelle Traue, Gwénaëlle Janiaud, Fabienne van Harten, Marianne Jacobs, Dieuwke Beljon

Weitere Beitragende:

Ton Botterhuis (Consultant, HKV Lijn in water)
Gerard Huber (AT-V)
Emanuel Banzer (LI), Stephan Wohlwend (LI), Catarina Proidl (LI)

Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz Postfach
20 02 53, D 56002 Koblenz
Telefon +49-(0)261-94252-0, Fax +49-(0)261-94252-52

E-mail:

sekretariat@iksr.de

www.iksr.org

<https://twitter.com/ICPRhine/>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	3
1. Einleitung	5
2. Methode zum Nachweis der Wirkung von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko	6
2.1 Berechnungsmethode	6
2.2 Menschliche Gesundheit	12
2.3 Umwelt	14
2.4 Kulturerbe	15
2.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten	16
2.6 Berücksichtigung von Maßnahmen in den Berechnungen	17
2.6.1. Generelles	17
2.6.2. Berücksichtigung technischer Hochwasserschutzmaßnahmen	18
3. Ergebnisse	20
3.1 Menschliche Gesundheit	20
3.2 Umwelt	24
3.3 Kulturerbe	26
3.4 Wirtschaftliche Tätigkeiten	28
3.5 Evaluierung im Hinblick auf die IHWRM-Pläne	30
4. Sensitivitätsanalyse	32
4.1 Einfluss der Landnutzung	32
4.2 Einflüsse weiterer Datensätzen auf die Ergebnisse	34
4.3 Vergleich mit den Berechnungen aus dem Jahr 2016 (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 236)	38
5. Fazit	40
Anlagen	42
Anlage 1: Literaturverzeichnis	43
Anlage 2a: Liste der für die Methode verwendeten Maßnahmen und Indikatoren und deren Wirkung auf die Schutzgütertypen sowie auf Schaden oder Risiko	45
Anlage 2b: Überblick über die gelieferten Daten zu den nationalen Maßnahmen/Indikatoren (inkl. Sicherungsrate)	46
Anlage 3: Zusammenfassung der verwendeten Eingangsdaten	48
Anlage 4: Überflutungsflächenanteil pro Staat und pro Hochwasserszenario	49

Status des Dokuments

Die **Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)** hat zum Nachweis der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko eine **Methode** entwickelt, die in dem **Geoinformationssystem-Instrument namens „ICPR FloRiAn (Flood Risk Analysis)¹“** umgesetzt worden ist.

Dieser **Synthesebericht** (IKSR-Fachbericht Nr. 283, 2021) enthält eine Zusammenfassung der Methode und der Ergebnisse der mit dem Instrument durchgeführten Berechnungen zum Nachweis der Änderung bzw. Reduzierung des Hochwasserrisikos am Rheinhauptstrom infolge von Maßnahmen seit 2015.

Der **technische Bericht** (IKSR-Fachbericht Nr. 237, 2016) enthält eine detaillierte Vorstellung der Methode, des Berechnungsverfahrens, des Instruments und der zugehörigen Daten, Indikatoren und Annahmen für die Dokumentation des Vorgehens. Zudem ist dieser Bericht eine Handlungsanleitung für dritte Nutzer des Instrumentes.

Anlage 1 verweist auf wichtige Literaturquellen, inkl. IKSR-Fachberichten und externe Publikationen.

Die IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisiken“ (EG HIRI) der Arbeitsgruppe „Hoch- und Niedrigwasser“ (AG H) hat die Arbeiten durchgeführt und begleitet. Dabei wurde sie technisch von dem Consultant HKV Lijn in water unterstützt.

Hinweis/Disclaimer:

Die hier vorgestellte Methode ist auf die Durchführung einer großskaligen Analyse der Hochwasserrisikoänderung infolge von Maßnahmen auf Ebene des Rheins ausgerichtet. Die mit Hilfe von FloRiAn durchgeführten Berechnungen führten zu Ergebnissen pro Staat, die im Rahmen der IKSR besprochen und auf der Ebene des Rheins zusammengeführt wurden.

Die spezifische Methodik und die für den Rhein verwendeten großskaligen gemeinsam verfügbaren Datengrundlagen können von den - auf einer genaueren Datenbasis beruhenden - nationalen Berechnungsverfahren und -ergebnissen (z. B. im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementplanung) (teilweise erheblich) abweichen. Die Methode berechnet zwar absolute Werte für die Risiken, relative Änderungen sind aber aussagekräftiger, weil sie belastbarer sind.

Die vorliegende Methode und FloRiAn können auch kleinskalig oder regional/lokal angewandt werden (vgl. Anlage 1). Dafür sind jedoch gleichfalls die erforderlichen Datengrundlagen an die gewünschte kleinräumige Ebene anzupassen.

Hinweis zur Weitergabe des Instruments „FloRiAn“ an Drittanwender:

Die Weitergabe des Instruments „FloRiAn“, dessen englischsprachige Nutzeranleitung (Users Guide) und dessen technisches Referenzdokument (Technical Reference) sowie beispielhafte Testinputdaten ist möglich. Die Weitergabe erfolgt im Grundsatz kostenlos, ggf. gegen Aufwandsentschädigung (Unterzeichnung einer einfachen Nutzungsvereinbarung). Die Nutzung von externen Anwendern (vgl. Anlage 1) ist willkommen und hat in der Vergangenheit zur Verbesserung des Tools oder der Methode geführt.

Externe Anwender arbeiten mit dem Instrument eigenverantwortlich. Im Gegenzug werden die Anwender gebeten, der IKSR über die Anwendung (und ggf. die Ergebnisse) sowie eventuelle Weiterentwicklungen des Instruments zu berichten.

Sofern das Instrument weiterentwickelt wird, erhält die IKSR eine kostenlose Kopie.

Die Weitergabe der für die Berechnungen verwendeten Daten sowie der Ausgangsdaten (Berechnungsergebnisse) erfolgt, wenn der jeweilige Eigentümer der Daten zugestimmt hat.

¹ Weitere detaillierte Informationen zum FloRiAn-Tool:

<https://www.iksr.org/de/themen/hochwasser/hochwasserrisiko-instrument-florian>

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die IKSR hat 2015 eine innovative quantitative Methode und ein dazugehöriges GIS-Instrument zur Bestimmung von Hochwasserrisiken und der Wirkung von Maßnahmen zur Risikominderung entwickelt. Das einzigartige Tool „[ICPR FloRiAn \(Flood Risk Analysis\)](#)“ wird für die Bewertung der Entwicklung der Hochwasserrisiken am Rhein und für die regelmäßige Überprüfung der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko im Rahmen des [internationalen Hochwasserrisikomanagementplans für die internationale Flussgebietsgemeinschaft Rhein](#)² verwendet und basiert auf den Maßnahmen der [nationalen/regionalen HWRM-Plänen](#). Ausschlaggebend für die Maßnahmen und Schutzgüter ist die [EU Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie \(HWRM-RL\)](#). Als Eingangsdaten werden beim Instrument FloRiAn Hochwassergefahrenkarten mit niedrigen, mittleren und hohen Wahrscheinlichkeiten (nachfolgend bezeichnet als HQ_{extrem}, HQ_{mittel}, HQ_{häufig}), die vier Schutzgüter der HWRM-RL (menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten) aus den Hochwasserrisikokarten sowie verschiedene Maßnahmentypen verwendet.

Mit dem Instrument wurden Ende 2015 Berechnungen zur Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf die Reduzierung des Risikos seit 1995 durchgeführt (siehe [IKSR-Fachberichte Nr. 236 und Nr. 237](#)). Bei den Empfehlungen für die künftige Nutzung des Tools wurden auch Erfahrungen von externen Anwendungen berücksichtigt.

Die IKSR-Arbeitsgruppe „Hoch- und Niedrigwasser“ (AG H) hat ihre IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisiken“ (EG HIRI) im Jahr 2016 mit folgenden Aufgaben beauftragt:

- Überwachung und Bewertung des 1. IHWRM-Plans 2015-2021: Zeigen die Maßnahmen, welche bis 2020 (bzw. 2021) national umgesetzt worden sind, eine Verminderung des Schadenspotenzials und des Risikos³?
- Vorläufige Analyse des 2. IHWRM-Plans 2022-2027: Wie wird sich das Schadenspotenzial und das Risiko mit den geplanten, zukünftigen Maßnahmen bis 2030 (bzw. 2027) entwickeln?
- Untersuchungen zur Wirksamkeit der verschiedenen Hochwasserrisikomanagement-Maßnahmen.

Die Berechnungsergebnisse zur Risikoentwicklung bis 2030 wurden zudem mit dem neuen Ziel des Programms „[Rhein 2040](#)“ verglichen (d. h. Risikoreduktion um mindestens 15 % bis 2040 gegenüber 2020).

Die Berechnungen der EG HIRI haben folgendes ergeben:

- Überwachung und Bewertung des 1. IHWRM-Plans 2015-2021:
 - Zwischen 2015 und 2020 blieb das Schadenspotenzial für Mensch (Anzahl betroffener Einwohner), Umwelt und Kulturerbe konstant und nahm für das Schutzgut Wirtschaft zu. Grund für die generelle nicht vorhandene Schadensreduzierung: Die wasserstandsennkenden Maßnahmen haben keinen Einfluss auf das Schadenspotenzial, da sie sich ausschließlich auf die Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen auswirken.
 - Starke Abnahme des Risikos zwischen 2015 und 2020 für alle Schutzgüter. Grund: Im Berechnungszeitraum 2015 bis 2020 wurden zahlreiche wasserstandsennkende Maßnahmen umgesetzt, was zu einer Reduktion des Hochwasserrisikos führt.
- Vorläufige Analyse des 2. IHWRM-Plans 2022-2027 basierend auf aktuellen Prognosen über die Entwicklung der Schäden, Risiken und Maßnahmenrealisierung:
 - Für HQ_{häufig} und HQ_{extrem} wird keine signifikante Verminderung des Schadenspotenzials zwischen 2020 und 2030 für alle Schutzgüter erwartet. Für HQ_{mittel} dagegen wird eine starke Abnahme des Schadenspotenzials für alle Schutzgüter prognostiziert. Der Grund sind die geplanten Deichsanierungsmaßnahmen in den Niederlanden.
 - Im Zeitraum 2020–2030 ist die berechnete Risikoreduktion weniger groß. Grund dafür: entlang des gesamten Rheins sind im Zeitraum 2020 – 2030 insgesamt weniger wasserstandsennkende Maßnahmen als im Zeitraum 2015 – 2020 vorgesehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in Deutschland die geplanten wasserstandsennkenden Maßnahmen gerade in diesem Zeitraum fertiggestellt werden sollen, während die Maßnahmen in den Niederlanden bereits bis 2020 realisiert wurden.

² Im Text wird der internationale Plan inklusive nationaler Pläne als „IHWRM-Plan“ bezeichnet.

³ Das Hochwasserrisiko ist das Produkt aus Schadenspotenzial und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses. Das Schadenspotenzial beschreibt in diesem Fall die Werte, Anzahl oder Menge von vier sogenannten „Schutzgütern“ (= die „nachteiligen Folgen“ nach der Terminologie der HWRM-RL), die durch ein Hochwasser geschädigt oder betroffen werden können: wirtschaftliche Tätigkeiten, menschliche Gesundheit, Umwelt und Kulturerbe.).

- Durch das NL-Deichsanierungsprogramm erfolgt eine starke Risikoreduktion für HQ_{mittel} zwischen 2020 und 2030 (= Best case-Szenario bei vollständiger Umsetzung der Vorhaben an den Flusssdeichen bis 2030). In NL könnten somit die Hochwasserflächen für HQ_{mittel} stark reduziert werden. Werden diese Maßnahmen bis 2030 nicht umgesetzt, verläuft die Risikoentwicklung ähnlich wie bei $HQ_{\text{häufig}}$ und HQ_{extrem} . Zu beachten ist dabei, dass durch die Realisierung vieler Maßnahmen am Ober- und Niederrhein bereits ein Schutz gegen ein HQ_{mittel} besteht und daher durch die Fertigstellung weiterer Maßnahmen nur geringe Änderungen hinsichtlich der gewählten Bezugsgröße zu beobachten sind.
- Untersuchungen zur Wirksamkeit der verschiedenen Hochwasserrisikomanagement-Maßnahmen, die in die Berechnungen einbezogen und von den Staaten geliefert wurden:
 - Mittlere bis starke Reduktion des Risikos aufgrund der national gelieferten Maßnahmen (Indikatoren). Das Ausmaß der Auswirkung der nationalen Maßnahmen auf die Risikoreduktion ist unterschiedlich in Bezug auf die einzelnen Schutzgüter: Beim Schutzgut Mensch haben die nationalen Maßnahmen eine große Wirkung auf die Risikoreduktion durch die Maßnahmen im Bereich Sicherung / Evakuierung. Bei den Schutzgütern Wirtschaft, Umwelt und Kultur haben die nationalen Maßnahmen (Indikatoren) immer noch eine signifikante Wirkung, diese ist jedoch geringer als beim Schutzgut Mensch.
 - ⇒ Starke Wirkung von wasserstands senkenden Maßnahmen sowie von Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsfläche unter Berücksichtigung der NL-Deichsanierung.
 - Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse lässt sich zudem die Schlussfolgerung ableiten, dass alle Maßnahmentypen (wasserstands senkende Maßnahmen, Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsfläche, nationale Maßnahmen/Indikatoren wie Sicherung / Evakuierung) einen signifikanten Effekt auf die Risikoentwicklung haben. Ohne diese Maßnahmen würden die Schäden und Risiken ein deutlich höheres Niveau erreichen.

Es ist wichtig zu betonen, dass der Einfluss einer veränderten Landnutzung bzw. Flächenentwicklung in diesen Ergebnissen nicht explizit enthalten ist, weil für alle drei Untersuchungsjahre lediglich ein einziger Landnutzungsdatensatz (nämlich Corine Land Cover 2018 - CLC 2018) verwendet wurde. Der Grund für diese Entscheidung ist, dass die CLC-Datensätze aus den verschiedenen Jahren (CLC 2006, CLC 2012, CLC 2018) auf unterschiedliche Weise erfasst und verarbeitet wurden, was das berechnete Hochwasserrisiko stark beeinflusst. Sensitivitätsberechnungen haben dennoch gezeigt, dass eine Intensivierung der Landnutzung (z. B. Zunahme der Siedlungs- und Industriegebiete) zu einer Risikozunahme von bis zu ca. 15 % führen kann (z. B. Schutzgut Wirtschaft in einem Zeitraum von 12 Jahren).

Zudem ist zu beachten, dass die Grundlagendaten der wasserstands senkenden Maßnahmen aus dem Jahr 2010 stammen. Änderungen, die sich seitdem ergeben haben, z. B. aus zusätzlich realisierten/geplanten Maßnahmen oder Zunahme an Retentionsvolumen mit Wirkung auf die Wasserstands senkung und die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit, sind in den Berechnungen daher nicht berücksichtigt. Daher besteht die Möglichkeit, dass die Risikoreduktion im Zeitraum 2020 – 2030 höher sein wird, als es aufgrund der vorliegenden Prognose den Anschein macht. Um ein möglichst aktuelles Bild zu erhalten, empfiehlt die EG HIRI, dass im Hinblick auf künftige HIRI-Berechnungen die Aktualisierung von Berechnungen der Expertengruppe HVAL (EG HVAL) zur Wirksamkeit der wasserstands senkenden Maßnahmen geprüft wird.

Anmerkung: Wir weisen darauf hin, dass nach Ansicht der Staaten im Rheineinzugsgebiet, in Übereinstimmung mit dem IHWRM-Plan der IFGE Rhein, die optimale Verringerung von Schäden und Risiken aus der Umsetzung des gesamten Spektrums von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements resultiert, von nichttechnischen Vorsorge- und Vermeidungsmaßnahmen bis zu technischen Schutzmaßnahmen und Krisenmanagement. Es sei in diesem Zusammenhang auch daran erinnert, dass ein Restrisiko immer besteht, auch hinter Schutzmaßnahmen.

Die Staaten des Rheineinzugsgebiets haben in den letzten Jahren bereits große Erfolge bei ihren Anstrengungen zur Verringerung des Hochwasserrisikos erreicht (vgl. [Bilanz der Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser im Rahmen vom Programms Rhein 2020](#)). Die Ergebnisse aus den vorliegenden Berechnungen zeigen jedoch auch, dass die Anstrengungen der Staaten in den kommenden Jahren fortgesetzt werden müssen, wenn künftig eine weitere Risikominderung erreicht werden soll. Sie zeigen zudem die Solidarität zwischen den Staaten im Rheineinzugsgebiet und die gemeinsamen Anstrengungen für die Verminderung des Hochwasserrisikos auf Rhein-Ebene. Letztlich geht klar hervor, dass regelmäßige Bewertungen der Fortschritte in diesem Bereich notwendig sind.

1. Einleitung

Die IKSR hat 2015 eine innovative quantitative Methode und ein dazugehöriges GIS-Instrument zur Bestimmung von Hochwasserrisiken und der Wirkung von Maßnahmen zur Risikominderung entwickelt. Das Tool „ICPR FloRiAn“ (Flood Risk Analysis) wird für die Bewertung der Entwicklung der Hochwasserrisiken am Rhein und für die regelmäßige Überprüfung der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko im Rahmen des [internationalen HWRM-Plans für die internationale Flussgebietsgemeinschaft Rhein](#) und der zugehörigen [nationalen/regionalen HWRM-Plänen](#) verwendet⁴.

Das Hochwasserrisiko ist das Produkt aus Schadenspotenzial und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses. Laut HWRM-RL wird bei den Schutzgütern zwischen der menschlichen Gesundheit, der Umwelt, dem Kulturerbe und den wirtschaftlichen Tätigkeiten unterschieden. Bei allen vier Schutzgütern stehen die von Hochwasserereignissen verursachten direkten Folgen/Schäden⁵ im Fokus.

Ausschlaggebend für die Maßnahmen und Schutzgüter ist die [EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie \(HWRM-RL\)](#). Als Eingangsdaten werden beim Instrument FloRiAn Hochwassergefahrenkarten nach HWRM-RL mit niedrigen, mittleren und hohen Wahrscheinlichkeiten (nachfolgend bezeichnet als HQ_{extrem} , HQ_{mittel} , $HQ_{\text{häufig}}$) (vgl. Karten 1 bis 4 und aktualisierter [Rheinatlas 2020](#)), die vier Schutzgüter der HWRM-RL (menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten) aus den Hochwasserrisikokarten sowie verschiedene Maßnahmentypen⁶ verwendet. Letztere werden aus geplanten oder realisierten Maßnahmen, die die Staaten erhoben und geliefert haben, gebildet. Im Tool werden deren Effekt auf die Entwicklung der Schäden und Risiken abgeschätzt.

Mit dem Instrument wurden Ende 2015 Berechnungen zur Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf die Reduzierung des Risikos seit 1995 durchgeführt ([siehe IKSR-Fachberichte Nr. 236 und Nr. 237](#)). Bei den Empfehlungen für die künftige Nutzung des Tools sowie die Optimierungen des Tools wurden auch Erfahrungen von externen Anwendungen berücksichtigt.

Die neu vorliegenden Ergebnisse basieren auf Arbeiten der IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisiken“ (EG HIRI) ab 2017, die die folgenden im [Mandat der EG HIRI 2018-2021](#) genannten Aufgaben als Ziel haben:

- Überwachung und Bewertung des 1. IHWRM-Plans 2015-2021
- Vorläufige Analyse des 2. IHWRM-Plans 2022-2027 basierend auf aktuellen Prognosen über die Entwicklung der Schäden, Risiken und Maßnahmenrealisierung
- Untersuchungen zur Wirksamkeit der verschiedenen Hochwasserrisikomanagement-Maßnahmen

Die Berechnungsergebnisse bis 2030 wurden zudem mit dem neuen Ziel des Anfang 2020 verabschiedeten Programms [„Rhein 2040“](#) verglichen (d. h. Risikoreduktion um mindestens 15 % bis 2040 gegenüber 2020).

⁴ Im Text ist der internationale Plan inklusiv nationalen Plänen als „IHWRM-Plan“ bezeichnet.

⁵ Abschätzungen von Folgeschäden z. B. durch Produktionsunterbrechungen erfolgen somit nicht.

⁶ Basiert auf der Kategorieneinteilung der HWRM-RL (siehe [„Guidance for Reporting under the Floods Directive \(2007/60/EC\)“](#))

2. Methode zum Nachweis der Wirkung von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko

In Kapitel 2 wird die Berechnungsmethode – die im GIS-Tool FloRiAn umgesetzt worden ist – für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten vorgestellt. Mehr Details zu der Methode sind den [IKSR-Fachberichten Nr. 236](#) sowie [Nr. 237](#) zu entnehmen. Für die genaue Implementierung der Methode im Rechenverfahren des Tools FloRiAn wird auf den „User Guide“ und die „Technical Reference“⁷ verwiesen.

2.1 Berechnungsmethode

Die IKSR hat eine quantitative **Methode zur Bestimmung von Hochwasserrisiken und der Wirkung von Maßnahmen zur Risikominderung** entwickelt. Diese wird für die regelmäßige Überprüfung der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko im Rahmen des IHWRM-Plans der IFGE Rhein verwendet. Diese Methode ist als GIS-Anwendung im Tool FloRiAn implementiert worden. Bei entsprechender Datengrundlage kann die Methode auch in anderen (Teil-)Einzugsgebieten mittels der GIS-Anwendung FloRiAn eingesetzt werden. Die in diesem Kapitel beschriebene Berechnungsmethode gilt grundsätzlich **für alle vier Schutzgüter**.

Die Basis der Methode bildet die HWRM-RL mit den nationalen Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten (HWGK und HWRK), die im Rahmen der IKSR auf Ebene des Rheins im sogenannten „[Rheinatlas](#)“ zusammengeführt worden sind. Einerseits zeigen die Hochwassergefahrenkarten die jeweiligen Überschwemmungstiefen und -flächen bei niedrigen, mittleren und hohen Wahrscheinlichkeiten. Andererseits gehen die Informationen der Hochwasserrisikokarten für die vier Schutzgüter in die Berechnungen ein. Das grundsätzliche Vorgehen ist Abbildung 1 zu entnehmen. Dabei ist das Hochwasserrisiko das Produkt des potenziellen Schadens und der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Für die Niederlande wurden die Berechnungen nur für den vom Abfluss beeinflussten Teil des Einzugsgebiets durchgeführt. Überflutungen durch das Meer wurden nicht berücksichtigt.

Für die Quantifizierung der Wirkung von Maßnahmen auf die Entwicklung des Hochwasserrisikos für die unterschiedlichen Schutzgüter wurden Indikatoren definiert. Diese Indikatoren sollen für eine Gruppe von Maßnahmen repräsentativ und quantifizierbar sein. Auf der Basis von Literatur und teilweise auf Expertenkenntnissen wurde die maximal mögliche Schadensminderung pro Indikator definiert (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 237). Die Staaten haben Daten zur Realisierung oder zur geplanten Umsetzung dieser Maßnahmen und die dazugehörigen Indikatoren für die drei definierten Zeithorizonte (2015, 2020 und 2030) geliefert. Diese Daten wurden auf Ebene des Rheins zusammengeführt.

Bei der Betrachtung der Wirkung von Maßnahmen auf die Reduzierung des allgemeinen Hochwasserrisikos ist es wichtig, zwischen dem Schadenspotenzial und der Hochwasserwahrscheinlichkeit zu unterscheiden. Die Liste der eingesetzten Maßnahmen und deren allgemeine angenommene Wirkung auf die Entwicklung von Schaden, Hochwasserwahrscheinlichkeit und Hochwasserrisiko ist Abbildung 2, Kapitel 2.6 und Anlage 2a/2b zu entnehmen.

Die IKSR hat Berechnungen des Schadens und des Risikos für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kulturerbe und Wirtschaft für die Zeithorizonte 2015, 2020 und 2030 durchgeführt (vgl. Abbildung 1 und 2). Dazu wurde die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen berechnet. Zentraler Punkt des Mandats der EG HIRI ist die Frage nach der zeitlichen Änderung bzw. Reduzierung des Schadens und des Risikos. Diese werden nach der Anwendung von FloRiAn aus dessen Outputs/Rechenergebnissen bestimmt.

⁷ Auf Anfrage bei der IKSR erhältlich.

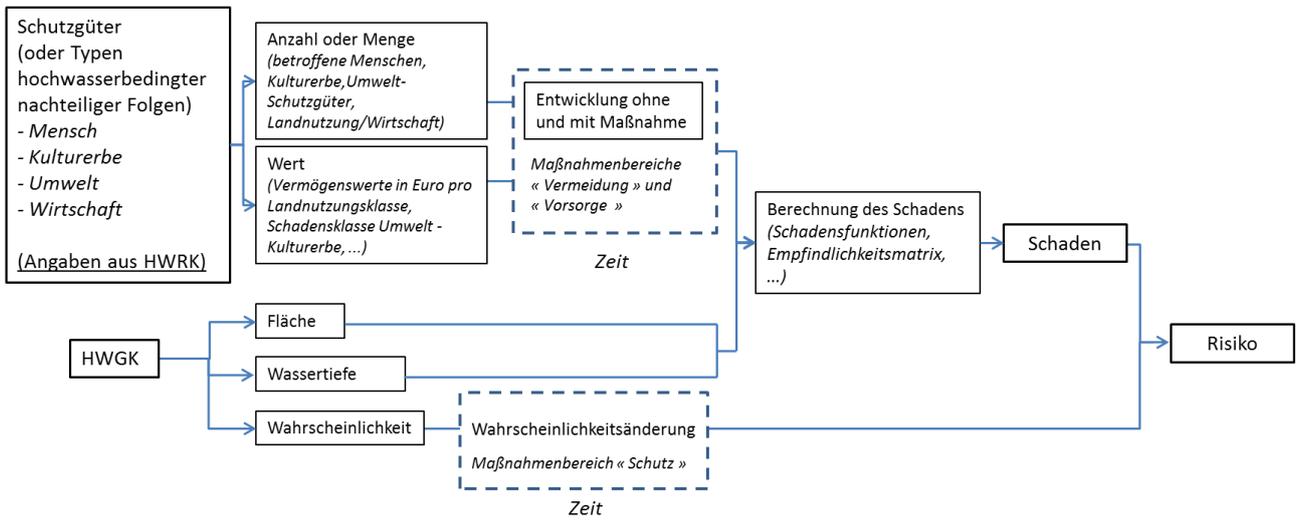


Abbildung 1: Vorgehen bei der Risikoanalyse inkl. Darstellung der Haupteingangsdaten

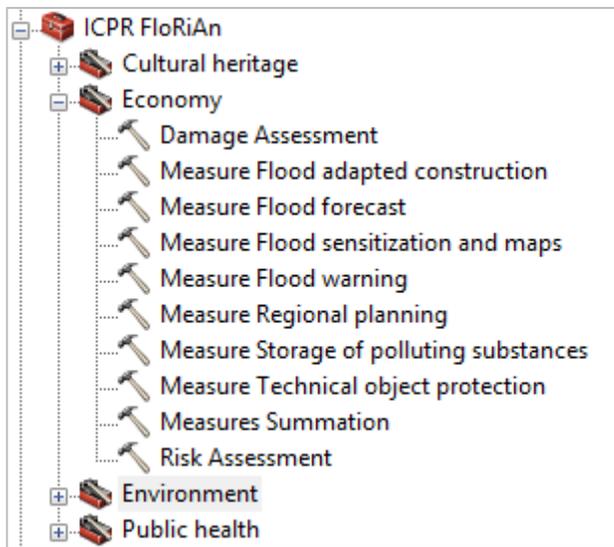
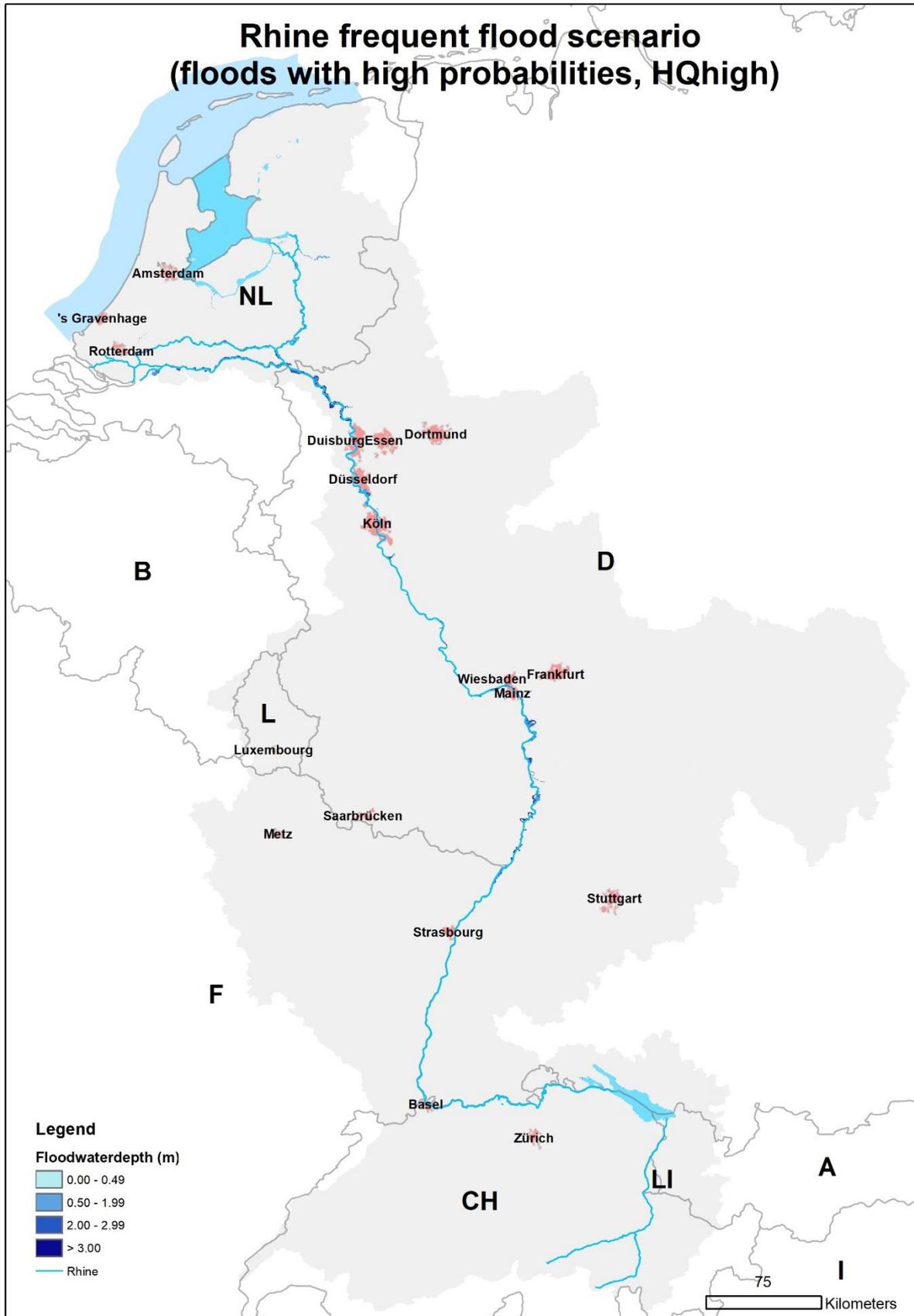
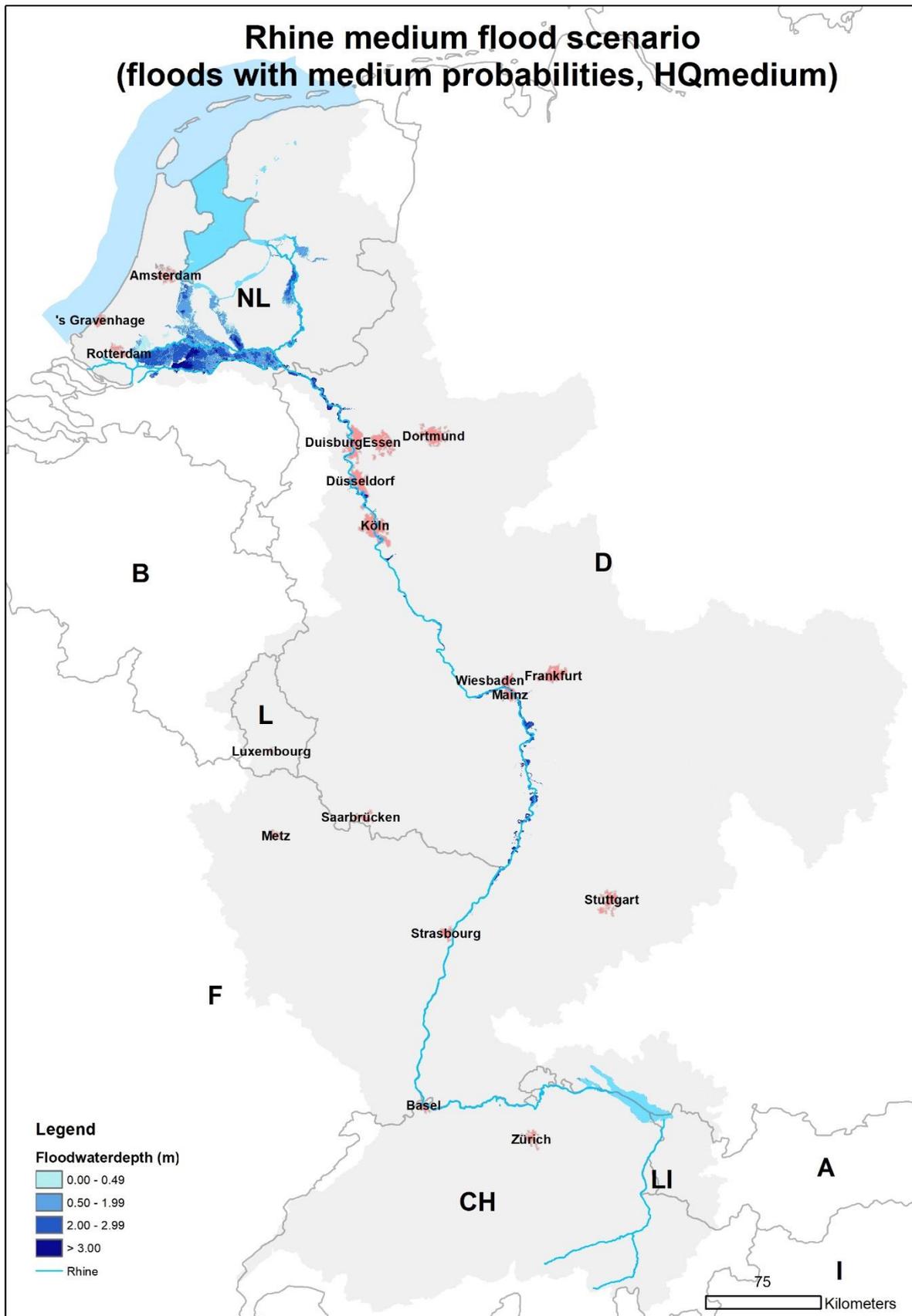


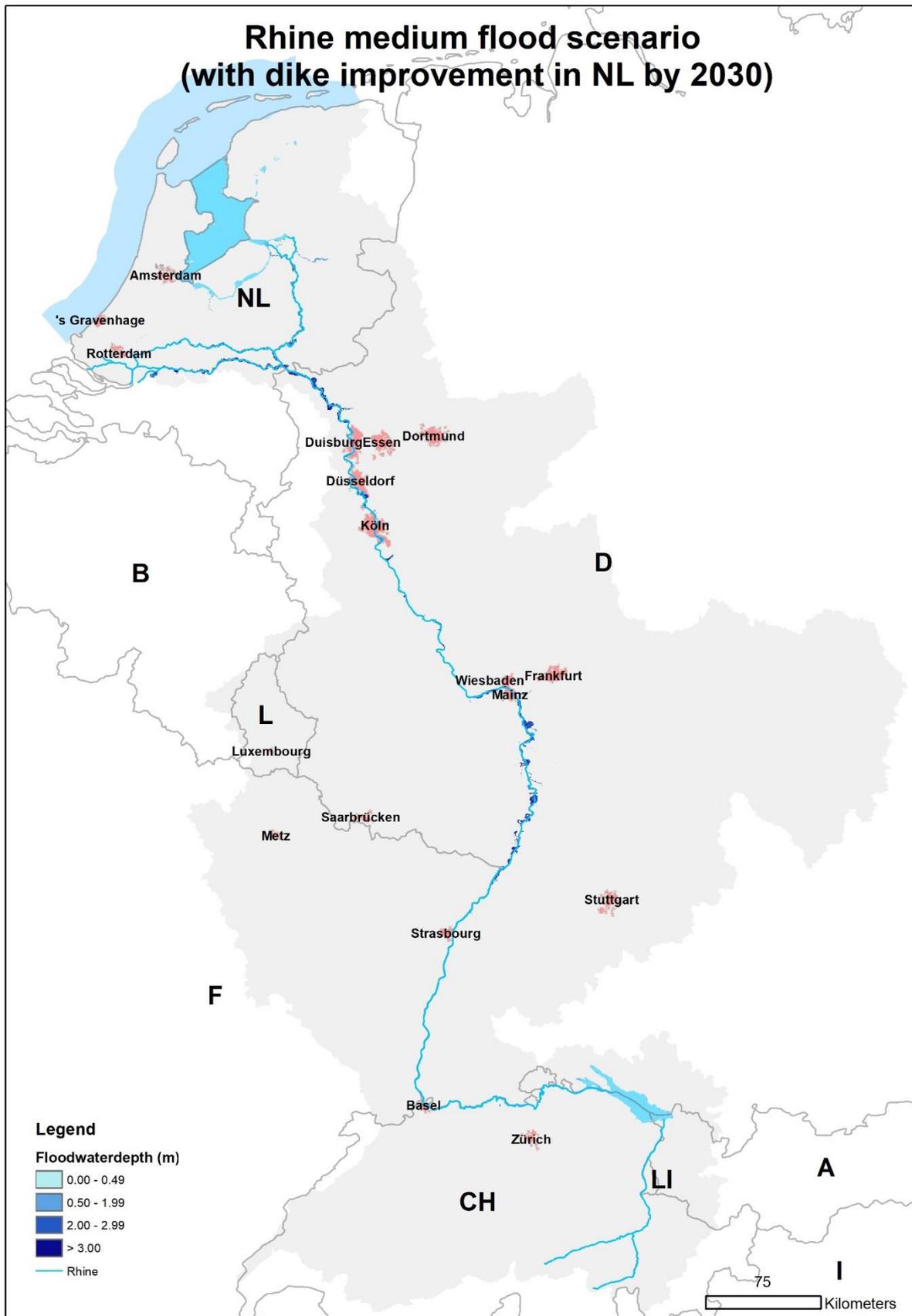
Abbildung 2: Berechnungsmodul/-schritte von FloRiAn (ArcGIS-Toolbox)



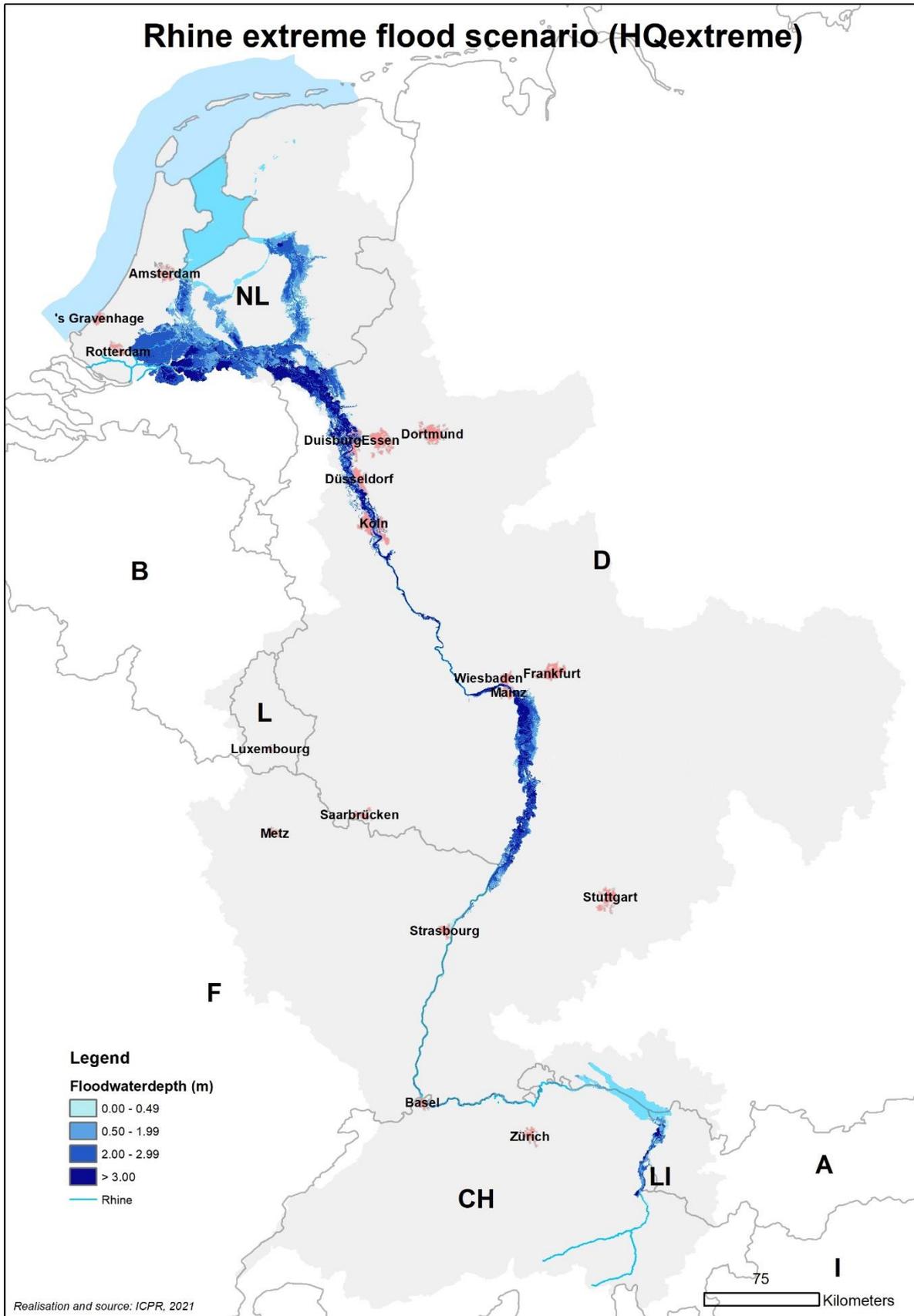
Karte 1 – Hochwassergefahr entlang des Rheins (Überschwemmungsflächen und -tiefen) für das häufige Hochwasserszenario (Quelle: IKSR-Rheinatlas 2020, angepasst für die HIRI)



Karte 2 – Hochwassergefahr entlang des Rheins (Überschwemmungsflächen und -tiefen) für das mittlere Hochwasserszenario (*Quelle: IKSR-Rheinatlas 2020, angepasst für die HIRI*)



Karte 3 – Hochwassergefahr entlang des Rheins (Überschwemmungsflächen und -tiefen) für das mittlere Hochwasserszenario mit Berücksichtigung des NL-Deichsanierungsprogramms (Quelle: IKSR-Rheinatlas 2020, angepasst für die HIRI)



Karte 4 – Hochwassergefahr entlang des Rheins (Überschwemmungsflächen und -tiefen) für das Extremhochwasserszenario (*Quelle: IKSR-Rheinatlas 2020, angepasst für die HIRI*)

Hinweis auf die Optimierung des Tools und der Berechnungsinputdaten:

Das FloRiAn-Tool wurde in der Zeit seit 2016 ständig weiterentwickelt und optimiert⁸. Das FloRiAn-Tool bzw. die für die Methode und Berechnung benötigten Inputdaten (vgl. Abbildung 1 und Anlage 3) unterscheiden sich daher in folgenden Punkten vom Tool/von den Inputdaten, welche im Jahr 2016 für die letzten Berechnungen verwendet worden sind:

- Nutzung unterschiedlicher ArcGIS Versionen (GIS-Software)
- Optimierungen des Tools (Verbesserungen des Rechenverfahrens)⁸
- Änderungen der Eingangsdaten:
 - Landnutzungsdaten (von CLC 2006 zu CLC 2018) (Einfluss auf Wirtschaft und Mensch)
 - Änderungen der Daten zu den nationalen Maßnahmen/Indikatoren
 - Änderungen der Daten aus den Hochwassergefahren und -risikokarten (= Inputdaten aus dem neuen IKSR-Rheinatlas 2020):
 - Überschwemmungsgebiete und -tiefen (inkl. Änderung NL-Wassertiefen HQ_{mittel} 2030 sowie vier Klassentiefen⁹ statt kontinuierliche Tiefendaten) (vgl. Karten 1 bis 4)
 - Daten zu den Schutzgütern und zum Risiko: Wirtschaft, Mensch (neue Festlegungsmethode für 2015/2030, vgl. Kap. 2.2.a), Kulturerbe⁸, Umwelt
 - Änderungen der Vermögenswerte (Liechtenstein - LI) (Übertragung der Werte der Schweiz auf LI in Abstimmung mit LI) (Verringerung des Schadens/Risikos)
 - Änderungen der Sicherungs-/Evakuierungsraten
 - Diverse Datenkorrekturen

2.2 Menschliche Gesundheit

Die Methodik für die Einbeziehung des Schutzgutes „menschliche Gesundheit“ und seine Berechnungsschritte sind in Abbildung 3 dargestellt. Der „Schaden“ entspricht hier der „Anzahl betroffener Einwohner“. Das Risiko wird als „Anzahl betroffener Einwohner/Jahr“ bezeichnet.

Das Risiko wird folgendermaßen berechnet:

Risiko für den Menschen = Anzahl nicht evakuierter betroffener Einwohner x Wahrscheinlichkeit [Anzahl/Jahr]

⁸ Ausnahme: Bei den neuen Berechnungen wurde festgestellt, dass das neue Tool nach der Optimierung zwar für die anderen Themen plausible Ergebnisse liefert, für das Kulturerbe jedoch nicht plausible Resultate aufweist. Das neue Tool ergab für die drei Hochwasserszenarien (sowie für das zusätzliche HQ_{mittel}-Szenario mit Deichverstärkungen in den Niederlanden bis 2030, siehe 2.6.2 - B) sehr ähnliche Schadens-/Risikowerte, obwohl die Anzahl der betroffenen Kulturgüter für die unterschiedlichen Szenarien stark voneinander abweicht. Die Gründe hierfür werden noch untersucht und könnten auf einen Programmierungsfehler zurückzuführen sein. Für die Berechnung des kulturellen Erbes wurde daher hilfsweise die bisherige Version des Tools verwendet. Es wurden vier verschiedene Eingabedatensätze erstellt, die die Kulturgüter für die drei Hochwasserszenarien (sowie für das zusätzliche HQ_{mittel}-Szenario mit Deichverstärkungen in den Niederlanden bis 2030, siehe 2.6.2 - B) enthalten. Dieser Ansatz hat zu plausiblen Ergebnissen geführt, die im Kapitel 3 vorgestellt werden.

⁹ Hinweis: Anders als im alten Rheinatlas 2015, bei welchem kontinuierliche Wassertiefenwerte verfügbar waren, sind in dem Rheinatlas 2020 die Tiefendaten bereits in vier Klassen mit einem einzigen Tiefenwert pro Klasse (49 cm, 1,99 m, 2,99 m, 9,99 m) eingeteilt. Dies kann einen wichtigen Einfluss auf die Ergebnisse haben, denn um bestmögliche Berechnungen mit FloRiAn zu erzeugen, sollen kontinuierliche Wassertiefenwerten (in cm) verwendet werden.

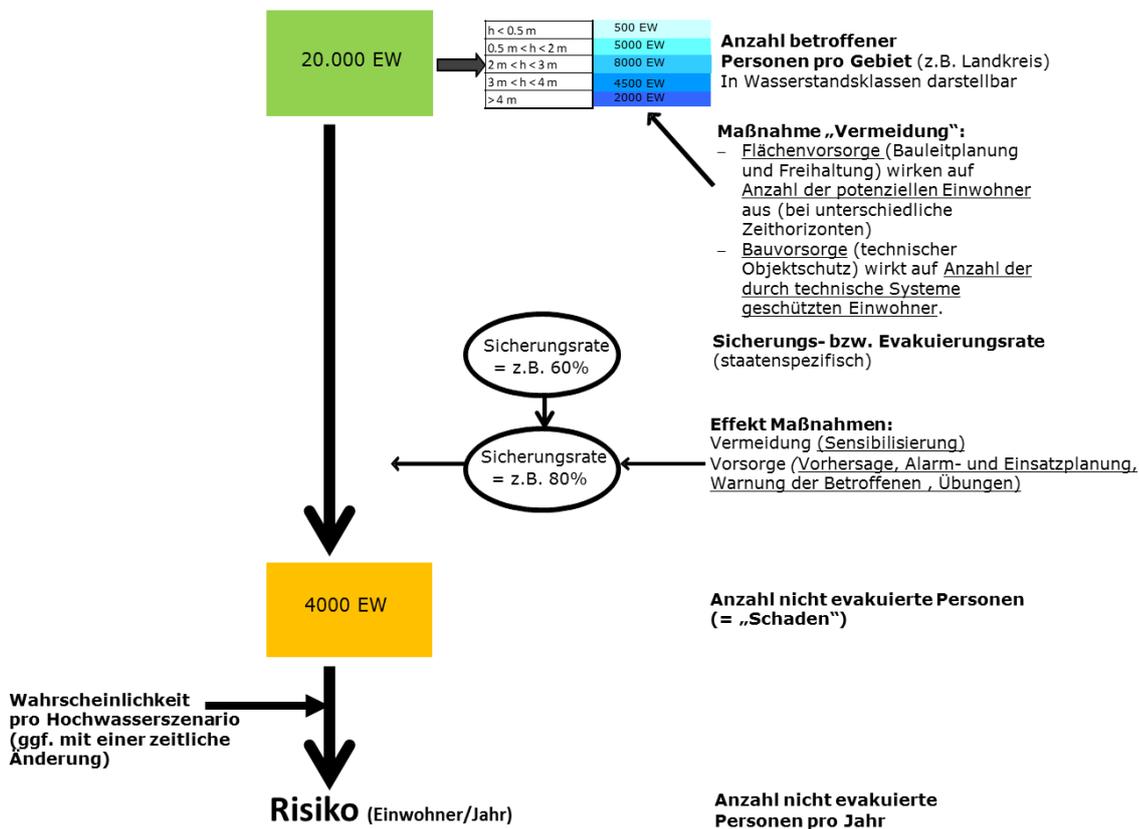


Abbildung 3: Hochwasserrisikoanalyse und Wirkung von Maßnahmen für die „menschliche Gesundheit“

Methodologische Hinweise:

a. Anderweitige Festlegung der Anzahl betroffenen Einwohner

Wie in Anlage 3 dargestellt, stammen die Inputdaten zur Berechnung der Anzahl an potenziell betroffenen Einwohnern aus den Hochwasserrisikokarten der Staaten und damit aus dem Rheinatlas 2020. Im Gegensatz zu den früheren HIRI-Berechnungen von 2016 wurde hier darauf verzichtet, einen Faktor für das demographische Wachstum/Entwicklung für den Zustand 2030 oder für den Ausgangszustand 2015 zu verwenden¹⁰. Stattdessen wurde beschlossen, die betroffenen Einwohner folgendermaßen zu ermitteln:

- **Zustand 2015:** Daten aus dem Rheinatlas 2015 oder, falls die Informationen nicht validiert werden konnten oder nicht nachvollziehbar waren, Verwendung der Daten aus dem Atlas 2020 für den Zustand 2015.
- **Zustand 2020:** Daten aus dem Atlas 2020
- **Zustand 2030:** Wenn Daten für 2015 aus dem Rheinatlas 2015 verfügbar waren, wurden die Einwohner für 2030 gemäß folgender Formel ermittelt: $Wert\ 2030 = Wert\ 2020\ (aus\ dem\ Rheinatlas\ 2020) + [(Absolute\ Differenz\ 2020\ gegenüber\ 2015) \times 2]$ Wenn im Jahr 2015 keine Daten verfügbar waren, wurden Daten aus dem Atlas 2020 für den Zustand 2030 verwendet.

Dies erklärt, warum es zwischen dem Zustand 2015 und 2030 einen Anstieg oder – bereits ohne Wirkung der Maßnahmen - eine Stagnation der betroffenen Einwohner gibt.

Anmerkung: In den Niederlanden wurden für den Zustand 2030 einschließlich der Wirkung von Deichverstärkungsmaßnahmen und damit der Verringerung der Überschwemmungsgebiete des mittleren Hochwassers bis 2030 (vgl. Karte 2 und 3) die betroffenen Einwohner von HQ_{häufig} auf HQ_{mittel} übertragen (Grund: ähnliche Überschwemmungsflächen der beiden Szenarien nach den Deichsanierungsmaßnahmen).

¹⁰ Hauptgrund dafür ist, dass jetzt Echt Daten zu den betroffenen Einwohnern aus dem Rheinatlas 2015 und Rheinatlas 2020 verfügbar sind, die präziser als die theoretischen Entwicklungsfaktoren sind.

b. Neue Angaben zu den Sicherungs-/Evakuierungsraten

Ähnlich wie bei den restlichen Maßnahmen/Indikatoren haben die Staaten aktualisierte Sicherungs-/Evakuierungsraten (= Anteil der Einwohner, die bei einem Hochwasser in Sicherheit gebracht oder evakuiert werden können) angegeben, die voneinander abweichen (vgl. Anlage 2b).

2.3 Umwelt

Die Methodik für die Einbeziehung des Schutzgutes „Umwelt“ und die Berechnungsschritte sind in Abbildung 4 dargestellt. *Hinweis:* Anders als bei den Schutzgütern Wirtschaft und Mensch variieren die Eingangsdaten, d. h. die Anzahl/die Werte der Schutzgebiete und Industrieanlagen, die in die Berechnungen eingegeben werden, zeitlich nicht (gleiche Anzahl für 2015, 2020, 2030).

Diese IKSR-eigene Methode zur Bewertung hochwasserbedingter Risiken für die Umwelt geht davon aus, dass nicht das Hochwasserereignis selbst, sondern die durch das Ereignis ausgelösten Überflutungen von potenziell verschmutzenden Anlagen (IE-Anlagen¹¹, SEVESO-Betriebsbereiche¹² und Kläranlagen) Schäden in Trinkwasser-/ Naturschutz-/ Vogelschutzgebieten gemäß WRRL¹³ verursachen¹⁴. Je besser eine Anlage durch Maßnahmen¹⁵ vor Hochwasser geschützt ist, desto geringer ist die Gefahr, dass eine Trinkwasserentnahmestelle und/oder ein Schutzgebiet flussabwärts betroffen ist.

Die Berechnungsmethode (abgebildet in Abbildung 4) führt zu einer Bewertung in drei Schadensklassen: „niedrig“, „mittel“ und „hoch“, d. h. Schadensindizes/-punkte (je höher der Index, desto größer ist der Schaden). Für die vorliegende Studie sind die Schadensindizes pro Hochwasserszenario und Zeithorizont summiert worden (= aufsummierter Schadensindex).

Die Multiplikation des aufsummierten Schadensindex mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit ergibt das Risiko (= aufsummierter Schadensindex pro Jahr).

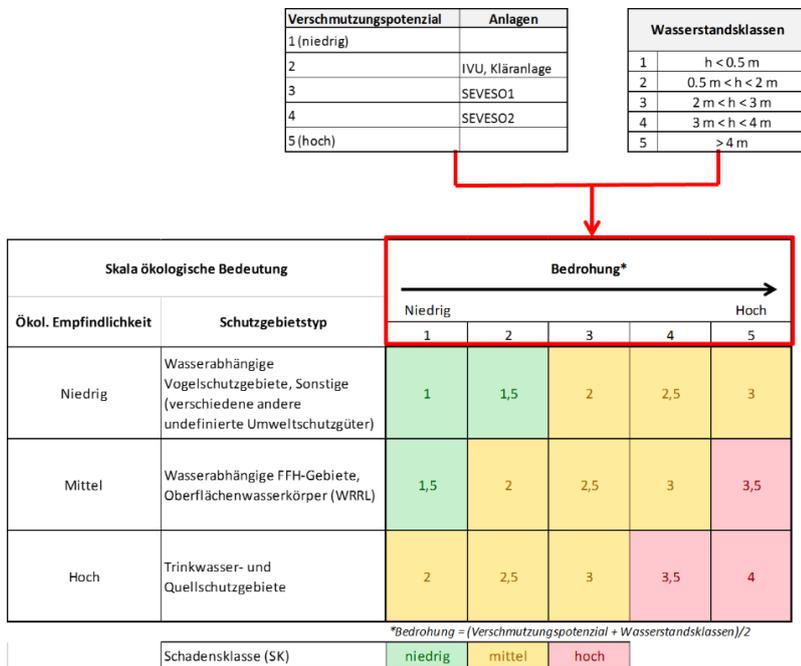


Abbildung 4: Methode zur Beurteilung des Schadens für die Umwelt

¹¹ Anlagen nach [Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen \(IE\)](#)

¹² Betriebsbereiche nach [Richtlinie 2012/18/EU](#) (Seveso-III-Richtlinie oder Störfall-Richtlinie)

¹³ Anhang IV Nummer 1 der [EU WRRL \(Richtlinie 2000/60/EG\)](#): Trinkwasser- und Quellschutzgebiete, wasserabhängige Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Gebiete, wasserabhängige Vogelschutzgebiete

¹⁴ Mögliche Schäden durch eine direkte Auswirkung eines Hochwassers auf die Umwelt werden in der Studie nicht berücksichtigt.

¹⁵ Für das Schutzgut „Umwelt“ werden lediglich die Maßnahmen „technischer Objektschutz“ und „hochwasserangepasste Lagerung wassergefährdender Stoffe“ berücksichtigt (vgl. Anlage 2a/2b).

2.4 Kulturerbe

Die Methodik für die Einbeziehung des Schutzgutes „Kulturerbe“ und die Berechnungsschritte sind in Abbildung 5 dargestellt. *Hinweis:* Anders als bei den Schutzgütern Wirtschaft und Mensch variieren die Eingangsdaten, d. h. die Anzahl und der Wert, der in die Berechnungen eingegebenen Kulturgüter, zeitlich nicht (gleiche Anzahl für 2015, 2020, 2030). Wie auf Seite 14 (Fußnote 8) bereits beschrieben und aus technischen Gründen im Zusammenhang mit dem aktualisierten FloRiAn-Tool, wurde für die aktuellen Berechnungen ein spezifischer Kulturgüter-Eingabedatensatz pro Hochwasserszenario verwendet. Hierbei wurde auf die erste Version von FloRiAn zurückgegriffen.

Schäden an Kulturgütern werden quantitativ – aber nicht monetär - mittels einer Kombination der Bedeutung des jeweiligen Kulturerbes (UNESCO-Weltkulturerbe, Standorte von historischer Bedeutung, Denkmäler) und der Wassertiefe geschätzt. Maßnahmen (identisch wie beim Schutzgut „wirtschaftliche Tätigkeiten“, vgl. Anlage 2a/2b) helfen das Kulturerbe zu schützen und Schäden zu vermeiden.

Die Matrix-Bewertung folgt denselben Prinzipien wie beim Schutzgut Umwelt. Die Multiplikation des über alle Schadensklassen aufsummierten durchschnittlichen Schadensindex mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit ergibt das Risiko (= aufsummierter durchschnittlicher Schadensindex pro Jahr).

Skala kulturelle Bedeutung	Skala physische Einwirkung (Wasserstand)				
	1 h < 0.5 m	2 0.5 m < h < 2 m	3 2 m < h < 3 m	4 3 m < h < 4 m	5 > 4 m
1 lokale Bedeutung (Baudenkmäler, Sonstige)	1	1,5	2	2,5	3
2 nationale Bedeutung (Geschützte Stadtgebiete/Bereiche)	1,5	2	2,5	3	3,5
3 internationale Bedeutung (UNESCO-Weltkulturerbe)	2	2,5	3	3,5	4

Schadensklasse (SK)	niedrig	mittel	hoch
---------------------	---------	--------	------

Abbildung 5: Matrix zur Beurteilung des Schadens an Kulturgütern

2.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten

Die Methodik für die Einbeziehung des Schutzgutes „Wirtschaft“ und seine Berechnungsschritte sind in Abbildung 6 dargestellt.

Der wirtschaftliche potenzielle (direkte) Schaden wird anhand den Landnutzungsdaten (CLC 2018) und den Wassertiefendaten der drei Hochwasserszenarien ([IKSR-Rheinatlas 2020](#)) mittels Schadensfunktionen und Vermögenswerten (aus dem IKSR-Rheinatlas 2001) für die Kategorien „Siedlung“, „Industrie“, „Verkehr“, „Landwirtschaft“ und „Forst“ berechnet. Vermögenswerte (= Euro/m² pro Landnutzungskategorie) wurden bei den letzten/alten Berechnungen (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 237) anhand der Wirtschaftswachstumsrate bzw. des Verbraucherpreisindex an die tatsächliche Lage (zeitlich) angepasst¹⁶, d. h. für die drei Zeithorizonte (2015, 2020, 2030) bestehen unterschiedliche Eingangswerte. Verschiedene Maßnahmen (vgl. Anlage 2a/2b) tragen dazu bei, die Schäden oder die Wahrscheinlichkeit zu ändern.

Die Multiplikation des Schadens mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit ergibt das Risiko (vgl. Kap. 2.1 und Abbildung 6).

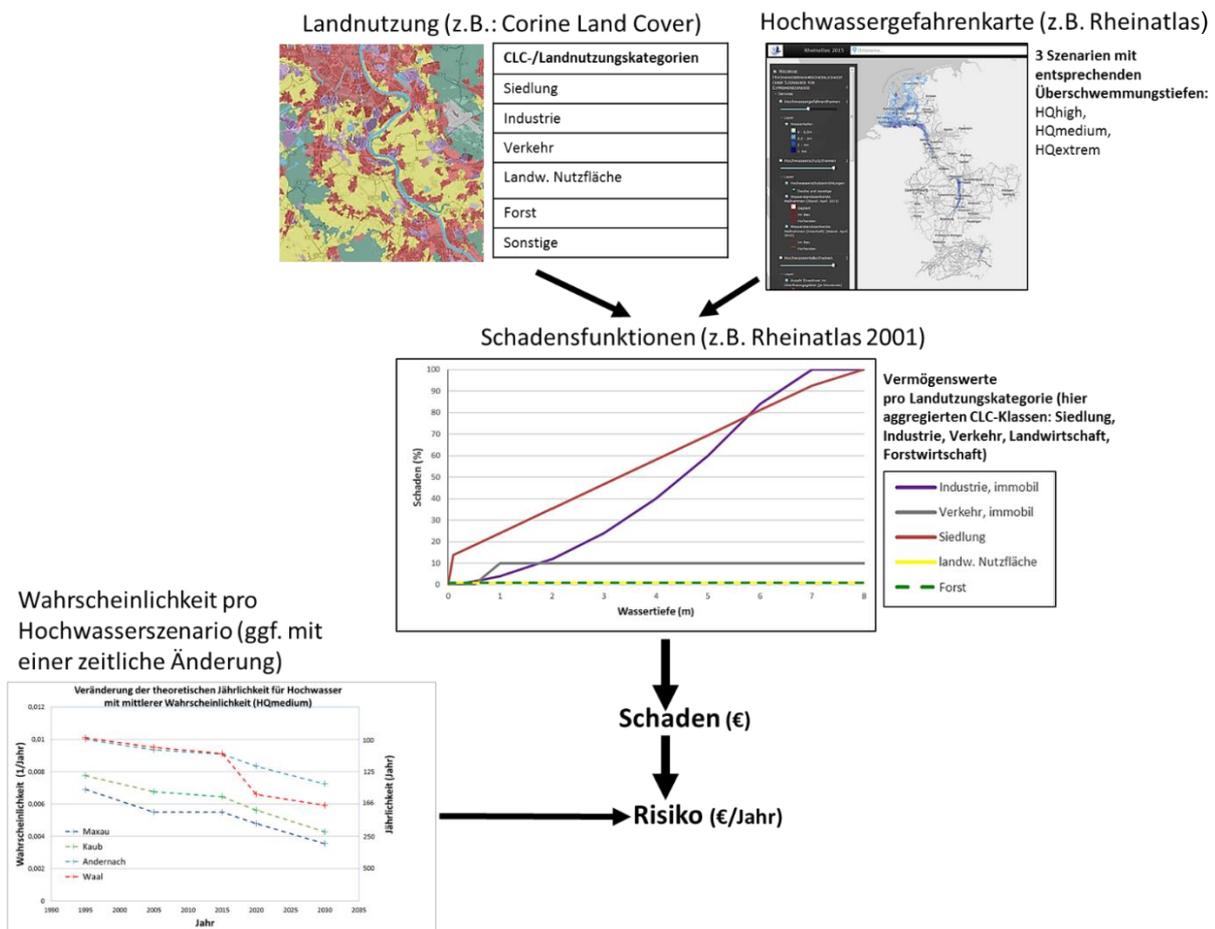


Abbildung 6: Vorgehen bei der Analyse des Hochwasserrisikos für wirtschaftliche Tätigkeiten

¹⁶ Bei den vorliegenden Berechnungsergebnissen wurden die Vermögenswerte nicht weiter aktualisiert.

2.6 Berücksichtigung von Maßnahmen in den Berechnungen

2.6.1. Generelles

Abhängig vom Maßnahmen- oder Indikatortyp (Einfluss auf das Schadenspotenzial oder auf die Wahrscheinlichkeit) und des betrachtenden Schutzgutes (menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten) wird die Wirkung von Maßnahmen im Tool unterschiedlich errechnet:

- Änderungen der Anzahl betroffener Einwohner durch Evakuierung in Kombination mit weiteren Maßnahmen (Schutzgut Mensch) (vgl. Abbildung 3)
- Änderungen der Wirkungsentfernung von potenziell gefährdenden Anlagen (Schutzgut Umwelt)
- Modifizierung der Schadensfunktionen infolge von Maßnahmen (Schutzgüter Wirtschaft und Kulturerbe), beispielhaft in nachfolgender Abbildung 7 dargestellt. Pro Wassertiefe werden somit die Werte verringert.
- Neben dem Effekt einzeln wirkender Maßnahmen gibt es Wechselbeziehungen zwischen Maßnahmen, die in einer Abhängigkeitsmatrix sowohl für eingedeichte als auch nicht eingedeichte Gebiete beschrieben werden. Es wird davon ausgegangen, dass einzelne Maßnahmen die größte Wirkung zeigen, wenn sie in Kombination mit anderen Maßnahmen eingesetzt und verrechnet werden (z. B.: Eine Person kann sich und sein Hab und Gut besser schützen, wenn sie auf die Gefahr sensibilisiert wurde und wenn die Hochwasservorhersage und -warnung gut funktionieren).

Der Effekt der technischen Hochwasserschutzmaßnahmen wird im nachfolgenden Kapitel 2.6.2 vorgestellt.

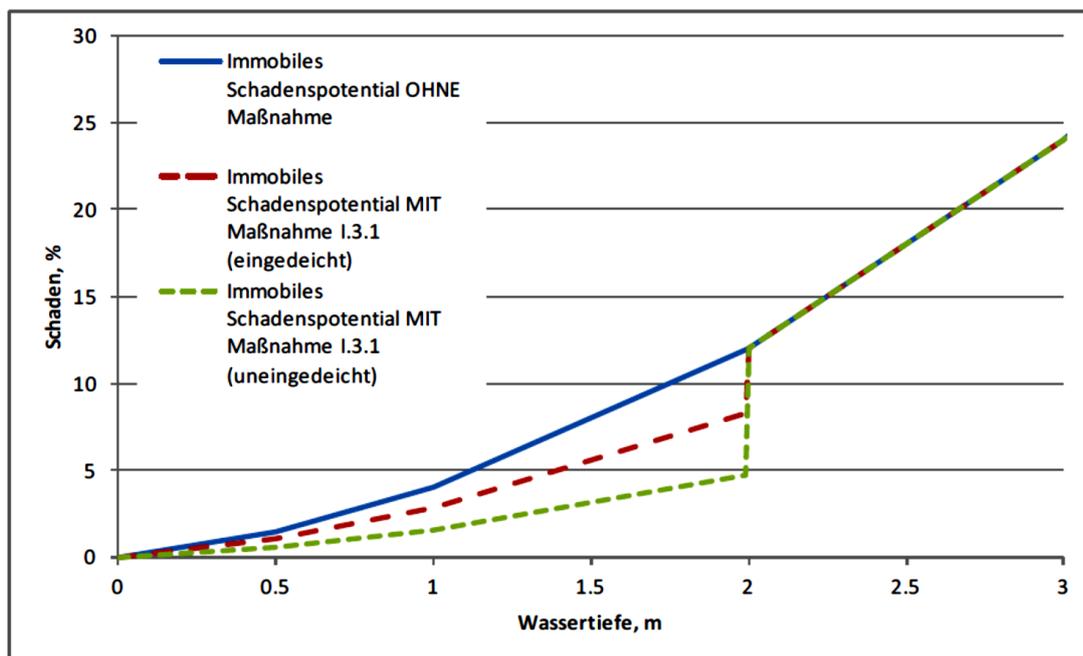


Abbildung 7: Modifikation der Schadensfunktion immobilier Schaden (Gebäudeschaden) durch die Maßnahme „Bauvorsorge“ für eingedeichte und nicht eingedeichte Gebiete (vgl. IKSR-Bericht Nr. 237)

2.6.2. Berücksichtigung technischer Hochwasserschutzmaßnahmen

A. Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch wasserstandsenkende Maßnahmen

Detaillierte und graphische Angaben zu den Untersuchungen und Methoden zur Erfassung der Änderung der Wahrscheinlichkeit und ihrer Integration ins Tool/Methode finden Sie in den IKSR-Fachberichten Nr. 236 und Nr. 237.

Wasserstandsenkende Maßnahmen haben einen Effekt auf die Entwicklung des Risikos durch die theoretisch berechnete Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit.

Nachdem die IKSR die Wirksamkeit auf die Wasserstandsenkung von realisierten und geplanten hochwasserreduzierenden Maßnahmen¹⁷ am Rhein evaluiert hat (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 199, 2012), hat sie eine Methode zur Abschätzung der Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit entwickelt (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 229, 2015). Die in der HIRI-Methode und im Tool verwendeten Ergebnisse der Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit sind geänderte Jährlichkeiten¹⁸ für Hochwasser mit hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{häufig}, HQ_{mittel}, HQ_{extrem}) für die drei Zeithorizonte/Ausbauzustände.

Die IKSR-Expertengruppe „Hochwasservalidierung“ (EG HVAL) hat keine Ergebnisse zum Zeithorizont 2015 berechnet (lediglich 2010, 2020, 2030). Deswegen wurde in den vorliegenden Risikoberechnungen für den Zeithorizont 2015 der Maßnahmen-Realisierungszustand 2010 verwendet. Zudem ist zu erwähnen, dass die Staaten zum Zeitpunkt 2010 erst eine grobe Abschätzung machen konnten, welche wasserstandsenkenden Maßnahmen sie im Zeitraum 2020 – 2030 umzusetzen gedenken. Änderungen, die sich seitdem ergeben haben, sind in den Berechnungen daher nicht berücksichtigt.

Eine aktuelle Liste der bereits realisierten und geplanten Maßnahmen befindet sich im [2. IHWRM-Plan](#) und im [IKSR-Rheinatlas 2020](#).

B. Wirkung technischer Hochwasserschutzmaßnahmen und Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsfläche

Bei verschiedenen Vorsorge-/Vermeidungsmaßnahmen (vgl. Indikatoren in Anlage 2a/2b) wird die Wirkung differenziert, wenn das Gebiet/der Flussabschnitt geschützt/eingedeicht¹⁹ oder nicht geschützt/uneingedeicht ist. Allgemein wird dabei angenommen, dass in uneingedeichten und häufiger von Hochwasser betroffenen Gebieten die Hochwassererfahrung und die Eigenvorsorge potenziell Betroffener höher sind und somit der Reduzierungseffekt potenzieller Schäden durch Vorsorge-/Vermeidungsmaßnahmen größer ist.

Andererseits entsprechen die Angaben (Eingangsdaten) zu Überschwemmungsflächen und -tiefen aus dem Rheinatlas 2020 an verschiedenen Orten am Rhein und je nach Szenario bereits einer geschützten Situation (z. B. werden für AT/LI/CH am Alpenrhein Hochwassergebiete nur für HQ_{extrem} erfasst). Ohne technische Schutzmaßnahmen würden die Schäden/Risiken noch sehr viel höher ausfallen. Allgemein haben die Staaten am Rhein unterschiedliche Überflutungsflächenanteile, die sich auf das Endergebnis des Schadens und des Risikos auswirken. Basierend auf einer Analyse der Rheinatlas-Daten haben folgende Staaten die größten Flächenanteile pro Hochwasserszenario:

- HQ_{extrem}: größte Fläche NL, zweitgrößte Fläche DE (ähnliche Größenordnung wie NL)
- HQ_{mittel}: größte Fläche NL, zweitgrößte - aber mit großem Abstand - DE
- HQ_{mittel} (mit Deichsanierung NL): größte Fläche DE, zweitgrößte NL
- HQ_{häufig}: größte DE, zweitgrößte und ähnliche Fläche NL

Eine detaillierte Angabe der nationalen Überflutungsflächenanteile ist Anlage 4 zu entnehmen.

¹⁷ z. B. Retentionsmaßnahmen, Maßnahmen aus „Raum für den Fluss“ in den Niederlanden

¹⁸ Hierbei ist hervorzuheben, dass die berücksichtigten wasserstandsenkenden Maßnahmen sich auf die Rheinstrecke stromabwärts von Basel beziehen, d. h., dass die Änderung der Wahrscheinlichkeit ab dem Pegel Maxau bis in die niederländischen Rheinarme berechnet worden ist.

¹⁹ Die in Frage kommenden Hochwasserschutzeinrichtungen sind im [Rheinatlas 2020](#) dargestellt.

Ein Novum der vorliegenden Berechnungen ist die Integration der bis 2030 vorgesehenen Deichsanierungsmaßnahmen in den Niederlanden. Am 1. Januar 2017 haben die Niederlande die Normen für die primäre Hochwasserschutzanlagen geändert. Die neuen Normen berücksichtigen das Hochwasserrisiko (die Wahrscheinlichkeit und die Folgen einer Überschwemmung) stärker als bisher. Alle primären Hochwasserschutzanlagen müssen bis spätestens 2050 den neuen Normen entsprechen. Eine Bewertung hat ergeben, dass viele Hochwasserschutzanlagen, insbesondere im Flussbereich, momentan nicht den neuen Normen entsprechen und diese vorrangig verstärkt werden sollen. Das Hochwasserschutzprogramm ([Hoogwaterbeschermingsprogramma – HWBP](#); im restlichen Dokument „Deichsanierungsprogramm“ genannt) ist für die Priorisierung und Programmierung der Deichertüchtigungen verantwortlich und hat eine fortlaufende Planung für die nächsten sechs Jahre mit einem Vorausblick auf die darauffolgenden sechs Jahre. In der aktuellen Planung (2021-2026) steht eine große Anzahl von Hochwasserschutzanlagen entlang der drei Rheinarme in den Niederlanden auf dem Programm, so dass von einer deutlichen Reduzierung des Überschwemmungsgebietes bei HQ_{mittel} in 2030 ausgegangen werden darf. Da momentan nicht genau bekannt ist, wie die Situation im Jahr 2030 aussehen wird, wurden mit FloRiAn zwei Situationen berechnet: Ein Worst-Case, in dem der Zustand der Hochwasserschutzanlagen derselbe ist wie im Jahr 2020 und ein Best-Case, in dem alle Hochwasserschutzanlagen so verbessert wurden, dass bei HQ_{mittel} keine Überflutungen mehr außerhalb der Deiche stattfinden (siehe Karten 2 und 3 sowie Abbildung 8). Unter der Annahme des Best-Case Szenarios würde sich die Überschwemmungsfläche in den Niederlanden im Zeitraum 2020 bis 2030 für HQ_{mittel} um 85,6 % reduzieren. Es wurde beschlossen, die Berechnungen im günstigsten Fall, d.h. ohne Deichbruchmodellierung, durchzuführen.

Während bei den alten Berechnungen für alle Zeithorizonte und für die drei Szenarien als Eingangsdaten dieselben Überschwemmungsflächen und -tiefen verwendet wurden, wurden diesmal reduzierte Überschwemmungsflächen für das mittlere Hochwasserszenario für das Jahr 2030 als Ergebnis der oben erwähnten niederländischen Maßnahmen hinzugerechnet. Dies hat sehr großen Einfluss auf die Verringerung von Schäden und Risiken (siehe Kap. 3).

Deichmaßnahmen sind zwar bis zu einem bestimmten Hochwasserereignis wirksam, bei einem Deichbruch oder größeren Hochwasserereignis sind die dahinterliegenden Bereiche jedoch nicht mehr geschützt. Die nicht technischen Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements, wie die Informationsvorsorge oder das Krisenmanagement, sind daher besonders wichtig.

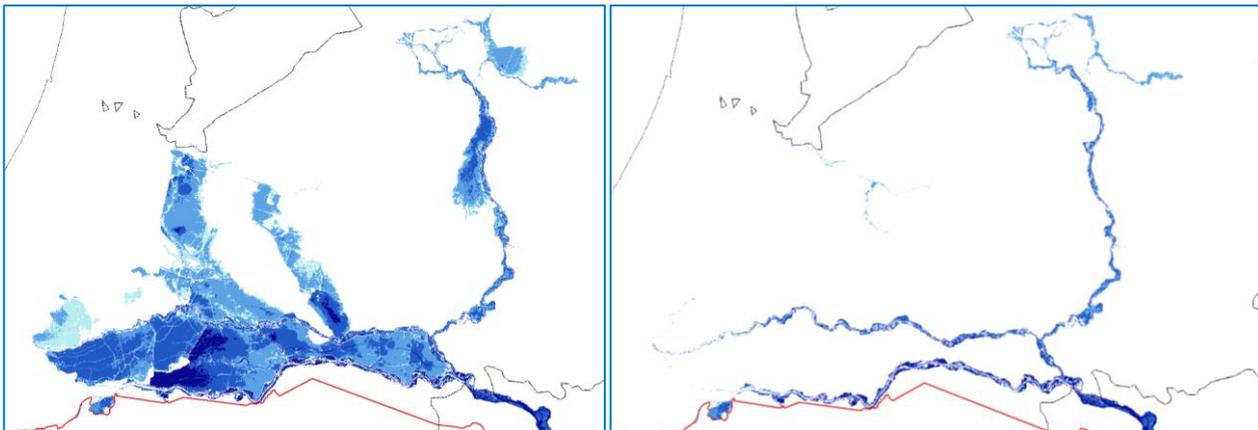


Abbildung 8: Links: HQ_{mittel} vor NL-Deichsanierungsprogramm (2015 und 2020); Rechts: HQ_{mittel} nach NL-Deichsanierungsprogramm (2030) (vgl. auch Karte 2 und 3)

3. Ergebnisse

In Kapitel 3 werden die Ergebnisse der Berechnungen für die Zeithorizonte 2015, 2020 und 2030 für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kultur und Wirtschaft aufgezeigt. Der Hauptfokus liegt dabei auf der Fragestellung, wie sich das Schadenspotenzial und das Risiko über die Zeit entwickeln. Es geht dabei um eine relative Entwicklung des Schadenspotenzials und des Risikos.

3.1. Menschliche Gesundheit

Die **betroffenen Einwohner** nehmen mit der Intensität/Ausdehnung des Hochwassers zu (von HQ_{häufig} bis HQ_{extrem}), da die Überschwemmungsgebiete und Überschwemmungstiefen bei extremen Hochwasserereignissen größer sind, als bei mittleren und häufigen Ereignissen (vgl. Karten 1 bis 4 und Anlage 4).

Eine Stagnation oder eine minimale Reduktion der Anzahl betroffener Einwohner sind im Zeitraum 2015 bis 2020 sowie 2020-2030 (vgl. Tabelle 1 und Abbildung 9) zu verzeichnen.

Beim Szenario HQ_{mittel} gibt es eine sehr starke Reduktion der betroffenen Einwohner für 2030 gegenüber 2015 oder 2020. Der Grund dafür sind die geplanten Maßnahmen in den Niederlanden zur Reduktion der Überschwemmungsgebiete und -tiefen.

Zu beachten ist dabei, dass durch die Realisierung vieler Maßnahmen am Ober- und Niederrhein bereits ein Schutz gegen ein HQ_{mittel} besteht und daher durch die Fertigstellung weiterer Maßnahmen nur geringe Änderungen hinsichtlich der gewählten Bezugsgröße zu beobachten sind. D. h. ohne die geplanten Deichsanierungsmaßnahmen in den Niederlanden stagniert bei HQ_{mittel} die Anzahl der betroffenen Einwohner oder wird im Zeitraum 2015 bis 2030 bzw. 2020 bis 2030 nur minimal reduziert.

Tabelle 1: Schadensentwicklung für menschliche Gesundheit

Entwicklung der betroffenen Personen nach Umsetzung aller Maßnahmen (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{häufig} mit Maßnahmen	-2	-2	-1
HQ _{mittel} mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-99	-2	-99
HQ _{mittel} mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-2	-2	0
HQ _{extrem} mit Maßnahmen	-4	-2	-1

Lesehilfe Abbildung 9: Diese Grafik zeigt für die drei Berechnungsjahre (2015, 2020, 2030) die berechneten Schadenswerte (hier die "Anzahl der betroffenen Einwohner") ohne die Wirkung der Maßnahmen (= gestrichelte Linie) bzw. mit Berücksichtigung der Maßnahmen (= durchgezogene Linie). Und dies jeweils für vier Hochwasserszenarien (HQ_{häufig}, HQ_{mittel} ohne Berücksichtigung der Verbesserung der niederländischen Deiche im Jahr 2030, HQ_{mittel} mit Berücksichtigung der Verbesserung der niederländischen Deiche im Jahr 2030, HQ_{extrem}). Dabei ist zu beachten, dass die Berechnung der Schäden ohne Einbeziehung der Hochwasserwahrscheinlichkeit und damit ohne den Einfluss der wasserstandsenkenden Maßnahmen erfolgt (im Gegensatz zu der Berechnung der Risiken, siehe Abbildung 10).

Die Grafik kann aus zwei Blickwinkeln betrachtet werden:

- Vertikale Betrachtung pro Jahr: Diese zeigt einen Vergleich zwischen der Situation mit und ohne Maßnahmen (d.h. Reduktion des Schadens durch die Umsetzung der Maßnahmen). So wären ohne eine Umsetzung von Maßnahmen im Jahr 2020 bei einem HQ_{extrem} mehr als 4,5 Millionen Einwohner betroffen. Bei Umsetzung der Maßnahmen wären im Jahr 2020 bei der gleichen Eintrittswahrscheinlichkeit nur noch circa 750.000 Einwohner betroffen.
- Horizontale Betrachtung im Zeitverlauf: Diese zeigt die Entwicklung der Schäden von 2015 bis 2030. So reduziert sich die Anzahl der betroffenen Einwohner bei einem HQ_{extrem} von 2015 mit circa 750.000 auf circa 730.000 im Jahr 2020.

Hinweis: Die Graphiken sind für alle vier Schutzgüter sowie für die Bereiche „Schäden“ und „Risiko“ gleich aufgebaut. Daher kann diese Lesehilfe für alle Schutzgüter eine Hilfestellung sein.

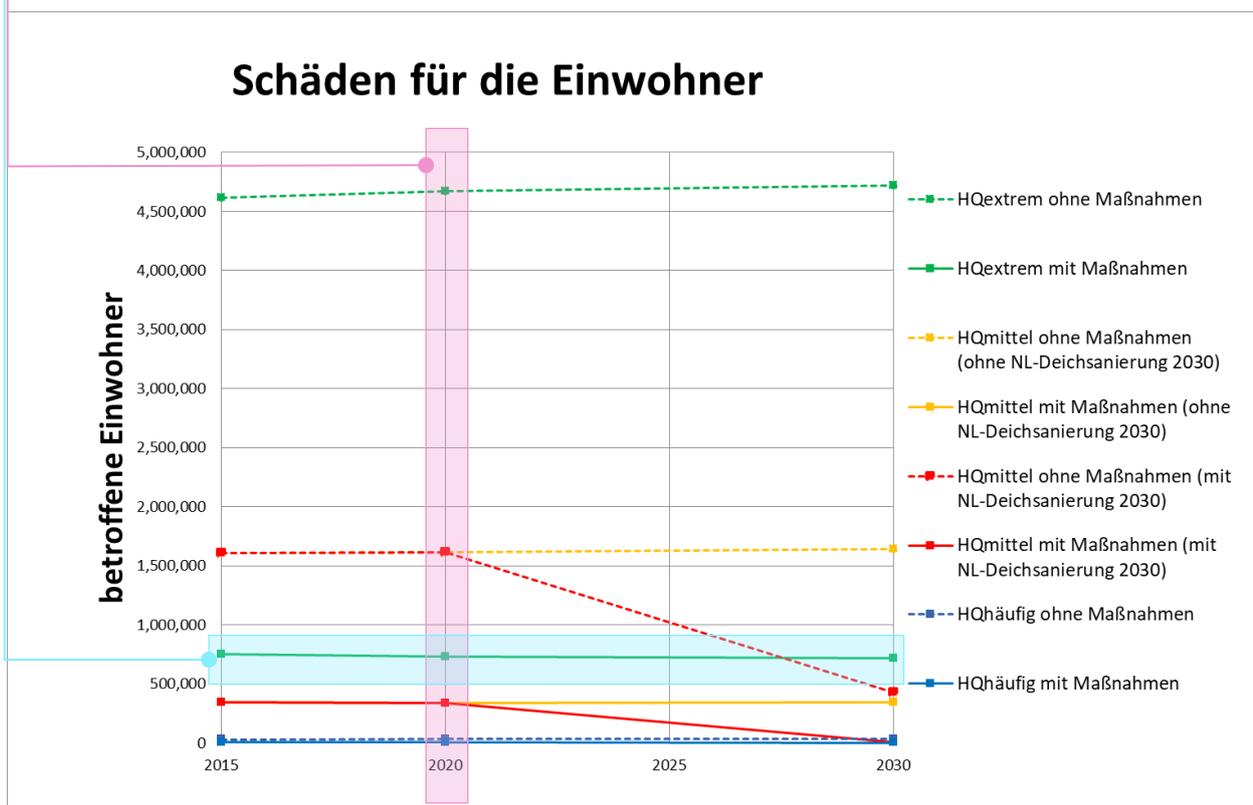


Abbildung 9: Entwicklung der Anzahl von Hochwasser betroffener Einwohner (mit und ohne Maßnahmen sowie mit und ohne NL-Deichsanierung 2030)

Das **Risiko** trägt die Einheit „Betroffene/Jahr“. Es nimmt im Zeitraum 2015-2020 deutlich ab (bis zu 44 %), hauptsächlich aufgrund der Wirkung der wasserstandsenkenden Maßnahmen (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 10). Das gilt sowohl für die Situation ohne als auch mit dem Effekt von Maßnahmen (Indikatoren) (Ergebnisse ähnlich zum IKSR-Bericht Nr. 236, 2016). Im Zeitraum 2020-2030 ist die Reduzierung des Risikos mit 18 % kleiner als zwischen 2015-2020.

Die geringere Risikoreduktion im Zeitraum 2020-2030 ist begründet in der Tatsache, dass entlang des gesamten Rheins für den Zeitraum 2020 – 2030 insgesamt weniger wasserstandsenkende Maßnahmen vorgesehen sind als für den Zeitraum 2015 – 2020 (siehe Kapitel 2). Dabei ist zu berücksichtigen, dass am Ober- und Niederrhein die geplanten wasserstandsenkenden Maßnahmen gerade in diesem Zeitraum fertiggestellt werden sollen, während die Maßnahmen in den Niederlanden bereits bis 2020 realisiert wurden.

Beim Szenario HQ_{mittel} ergibt sich – unter Berücksichtigung des Deichsanierungsprogramms in den Niederlanden – zwischen 2020 und 2030 eine sehr starke Risikoreduktion von 98 %. Ohne Deichsanierungsprogramm in den Niederlanden würde sich eine Risikoreduktion von 6 % ergeben.

Tabelle 2: Risikoentwicklung für menschliche Gesundheit

Risikoentwicklung bei betroffenen Einwohnern (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-33	-31	-2
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-99	-39	-98
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-43	-39	-6
HQextrem mit Maßnahmen	-54	-44	-18

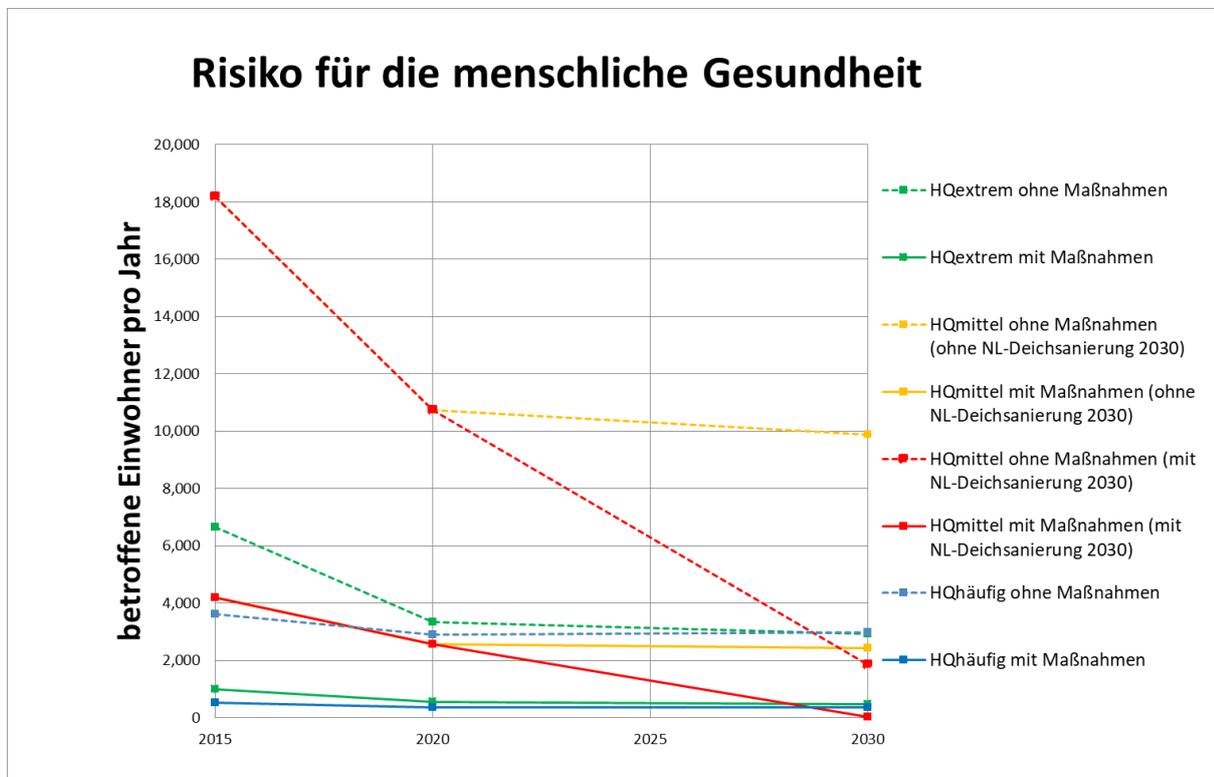


Abbildung 10: Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit mit und ohne Maßnahmen (betroffene Einwohner/Jahr) (= Risiko)

Hinweis zur untenstehenden **Analyse der Wirksamkeit** der Maßnahmen²⁰:

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf die Analyse der Wirksamkeit der verschiedenen Arten von Maßnahmen, die im Kapitel 2.6 beschrieben sind. Die Maßnahmen zur Schadensminderung (nationale Maßnahmen, sogenannte „Indikatoren“, und die niederländische Deichertüchtigungsmaßnahmen, sogenannte „Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsgebiete“) lassen sich nach ihrer Wirkung pro Jahr analysieren. Es wird dann die Situation mit und ohne Maßnahmen verglichen.

Bei den wasserstandssenkenden Maßnahmen, die zu Unterschieden in der Hochwasserwahrscheinlichkeit und damit zu einer direkten Einwirkung auf das Risiko führen, werden deren Effekte im zeitlichen Verlauf, d.h. zwischen den verschiedenen Jahren, untersucht.

Die **Wirksamkeit der Maßnahmen** auf das Schutzgut Mensch lässt sich auf der Basis von Abbildung 10 wie folgt zusammenfassen:

- Großer Einfluss der wasserstandssenkenden Maßnahmen (Reduktion der Wahrscheinlichkeit), Beispiel: Risikoreduktion um bis zu 44 % (HQ_{extrem} zwischen 2015 und 2020).
- Sehr großer Einfluss von Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsgebiete (in unserer Analyse sind das die Deichsanierungsmaßnahmen in NL), Beispiel: Risikoreduktion von 98 % für HQ_{mittel} zwischen 2020 und 2030.
- Großer Einfluss der nationalen Maßnahmen/Indikatoren (insbesondere Sicherungs-/Evakuierungsrate) (Betrachtung der Abbildung 10 pro Jahr, d. h. bezogen auf ein Betrachtungsjahr mit und ohne Maßnahmen): Risikoreduktion um bis zu 88 % bei $HQ_{\text{häufig}}$ und HQ_{extrem} oder anders ausgedrückt und beispielhaft für das Jahr 2020 und $HQ_{\text{häufig}}$ eine Risikoreduktion von ca. 3.000 betroffenen Einwohnern ohne Maßnahmen im Vergleich zu ca. 350 mit Maßnahmen.

²⁰ Hinweis gilt für alle 4 Schutzgüter

3.2. Umwelt

Für das Schutzgut Umwelt ist hinsichtlich des **Schadens** festzustellen, dass der aufsummierte Schadensindex²¹ im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 stagniert außer für HQhäufig (sehr leichte Verminderung aufgrund verbesserte Maßnahmen in 2020 in DE gegenüber 2015; die anderen Staaten haben dieselbe Maßnahmen für die 3 Untersuchungsjahre geliefert) (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 11). Das gleiche Bild zeigt sich zwischen 2020 und 2030 für die beiden Szenarien HQhäufig und HQextrem. Für das Szenario HQmittel gibt es jedoch zwischen 2020 und 2030 eine sehr starke Verminderung des Schadenspotenzials aufgrund des geplanten Deichsanierungsprogramms in den Niederlanden. Ohne Berücksichtigung des Deichsanierungsprogramms in den Niederlanden würde das Schadenspotenzial für die Umwelt auch beim Szenario HQmittel stagnieren.

Tabelle 3: Schadensentwicklung Umwelt

Relative Schadensänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-2	-2	0
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-92	0	-92
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	0	0	0
HQextrem mit Maßnahmen	0	0	0

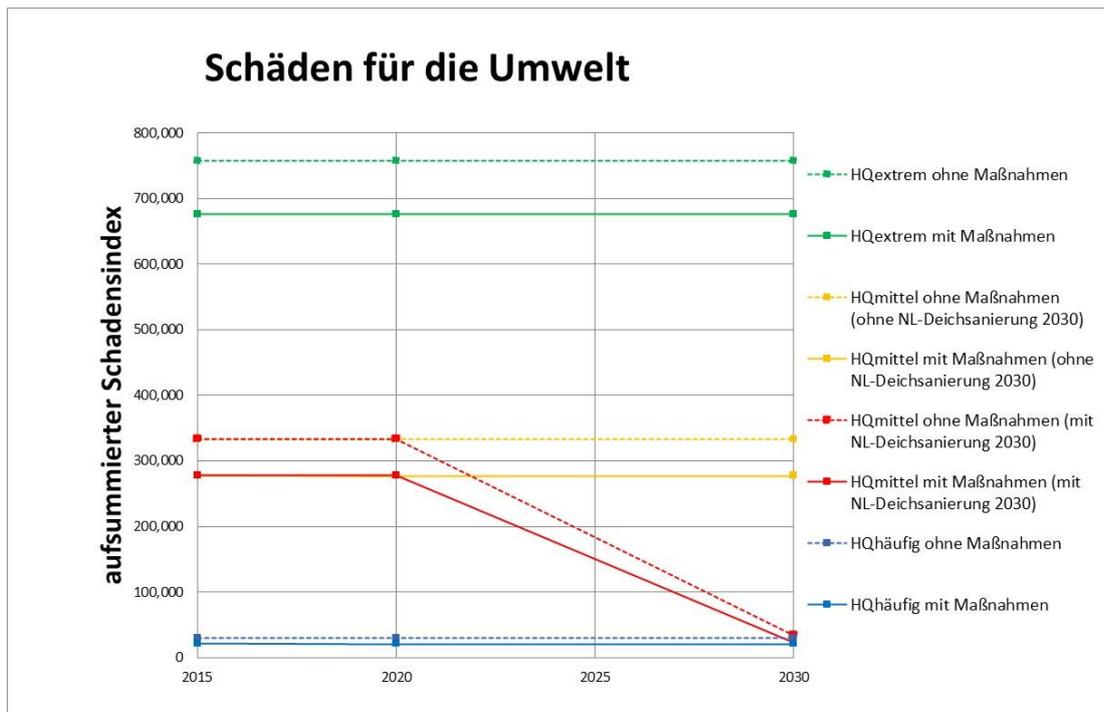


Abbildung 11: Entwicklung des potenziellen Schadens für die Umwelt (aufsummierter Schadensindex)

²¹ Aufsummierter Schadensindex = Summe der Schäden für die Umwelt über alle Schadensklassen

Beim **Risiko** für das Schutzgut Umwelt zeigt sich das gleiche Bild, wie beim Schutzgut Mensch (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 12). Das Risiko nimmt aufgrund der wasserstandsenkenden Maßnahmen entlang des gesamten Rheins im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 stärker ab als zwischen 2020 und 2030. Beim Szenario HQ_{mittel} zeigt sich im Zeitraum 2020-2030 eine signifikante Verminderung des Risikos. Der Grund ist das geplante Deichsanierungsprogramm in den Niederlanden. Ohne Berücksichtigung des Deichsanierungsprogramms in den Niederlanden würde das Risiko beim Szenario HQ_{mittel} nur geringfügig abnehmen.

Tabelle 4: Risikoentwicklung Umwelt

Relative Risikoänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-51	-49	-3
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-96	-44	-93
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-48	-44	-8
HQextrem mit Maßnahmen	-59	-51	-17

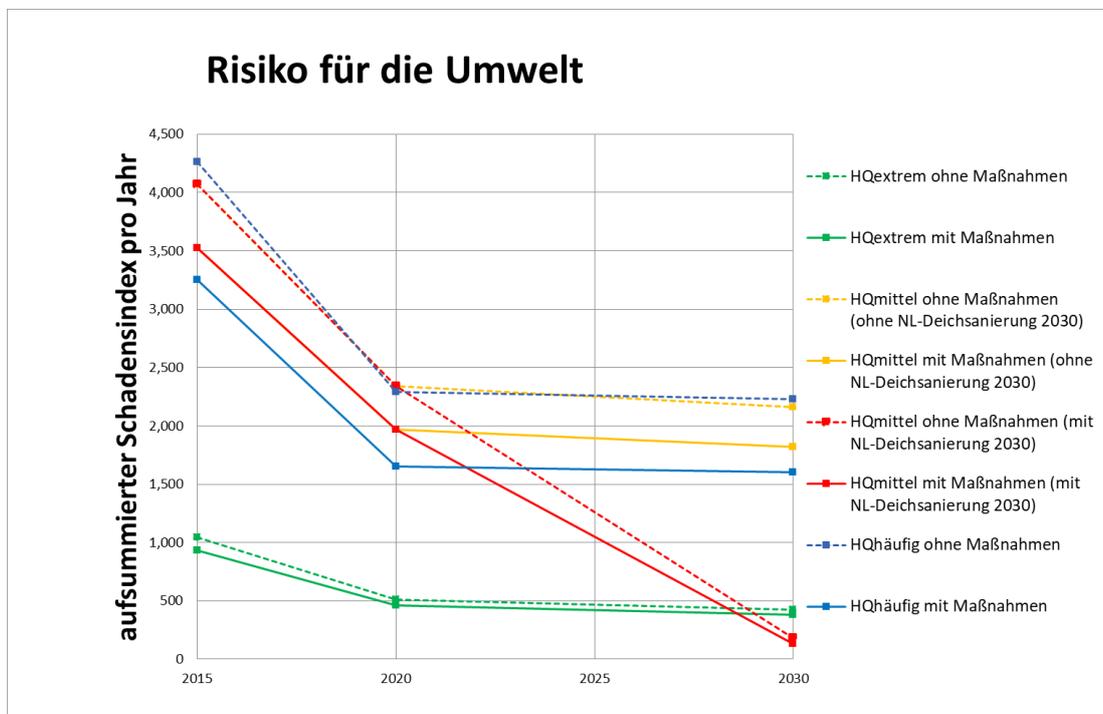


Abbildung 12: Risikoentwicklung für das Schutzgut Umwelt für die drei Szenarien (mit und ohne Maßnahmen) (alle Schadensklassen zusammen)

Die **Wirksamkeit der Maßnahmen** auf das Schutzgut Umwelt lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Großer Einfluss der wasserstandsenkenden Maßnahmen (Reduktion der Wahrscheinlichkeit), Beispiel: Risikoreduktion um bis zu 51 % (HQ_{extrem} zwischen 2015 und 2020).
- Sehr großer Einfluss von Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsgebiete (z. B. Maßnahmen NL), Beispiel: Risikoreduktion von 93 % für HQ_{mittel} zwischen 2020 und 2030
- Relativ großer Einfluss der Maßnahmen „nationale Indikatoren“ (Betrachtung der Abbildung 12 pro Jahr): Risikoreduktion um 10 % bis 28 % für alle Hochwasserszenarien

3.3. Kulturerbe

Hinweis: Wie auf Seite 14 (Fußnote 8) bereits beschrieben und aus technischen Gründen im Zusammenhang mit dem aktuellen FloRiAn-Tool, wurde für die aktuellen Berechnungen ein spezifischer Kulturgüter-Eingabedatensatz pro Hochwasserszenario verwendet. Dabei wurde auf die erste Version von FloRiAn zurückgegriffen.

Für das Schutzgut Kulturerbe ist anhand der Berechnungen festzustellen, dass sich der aufsummierte Schadensindex²² – also der **Schaden** - im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 nur sehr geringfügig reduziert (ca. 1 %) (vgl. Tabelle 5 und Abbildung 13). Im Zeitraum 2020 bis 2030 ist die Entwicklung des Schadenspotenzials gleich wie bei den anderen Schutzgütern: Keine Änderung des Schadenspotenzials für HQhäufig und HQextrem, jedoch eine sehr starke Verminderung des Schadenspotenzials für HQmittel (Grund: geplantes Deichsanierungsprogramm in NL). Ohne Berücksichtigung des Deichsanierungsprogramms würde das Schadenspotenzial zwischen 2020 und 2030 auch beim Szenario HQmittel stagnieren.

Tabelle 5: Schadensentwicklung Kulturerbe

Relative Schadensänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-2	-1	0
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-87	-1	-87
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-1	-1	0
HQextrem mit Maßnahmen	-2	-1	0

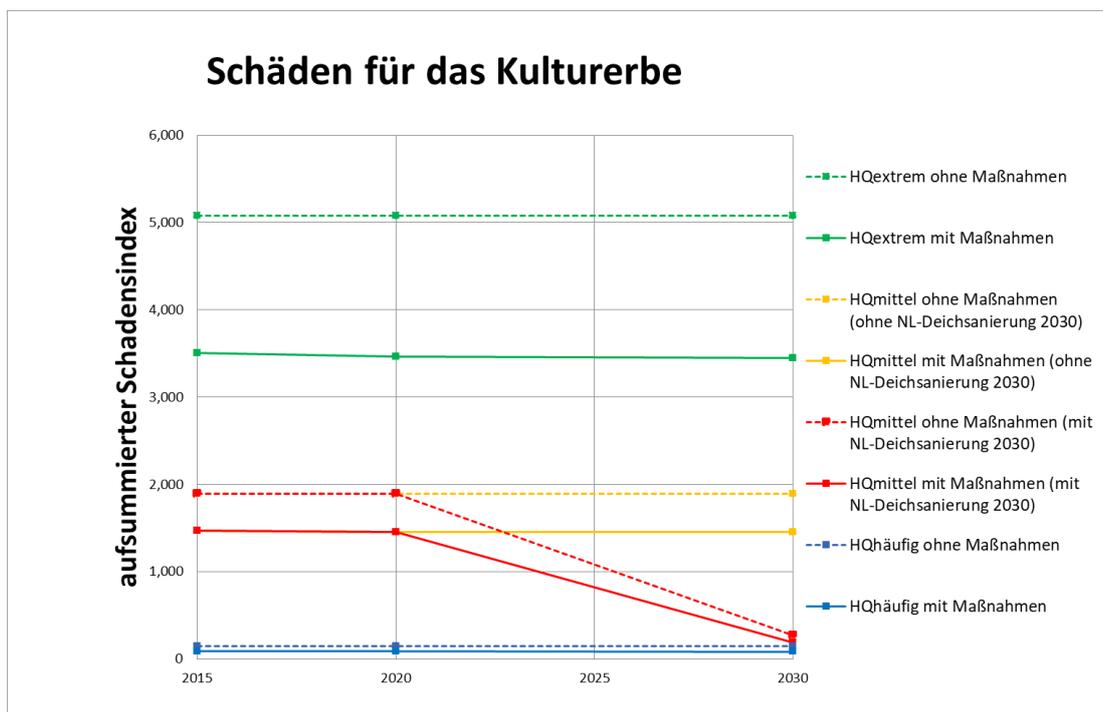


Abbildung 13: Entwicklung des kulturellen potenziellen Schadens (aufsummierter Schadensindex)

²² Aufsummierter Schadensindex = Summe Schaden an Kulturgütern über alle Schadensklassen

Das **Risiko** für das Schutzgut Kulturerbe nimmt aufgrund der wasserstandsenkenden Maßnahmen entlang des gesamten Rheins im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 stärker ab als im Zeitraum 2020-2030 (vgl. Tabelle 6 und Abbildung 14).

Tabelle 6: Risikoentwicklung Kulturerbe

Relative Risikoänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-53	-53	0
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-95	-47	-90
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-53	-47	-10
HQextrem mit Maßnahmen	-50	-50	0

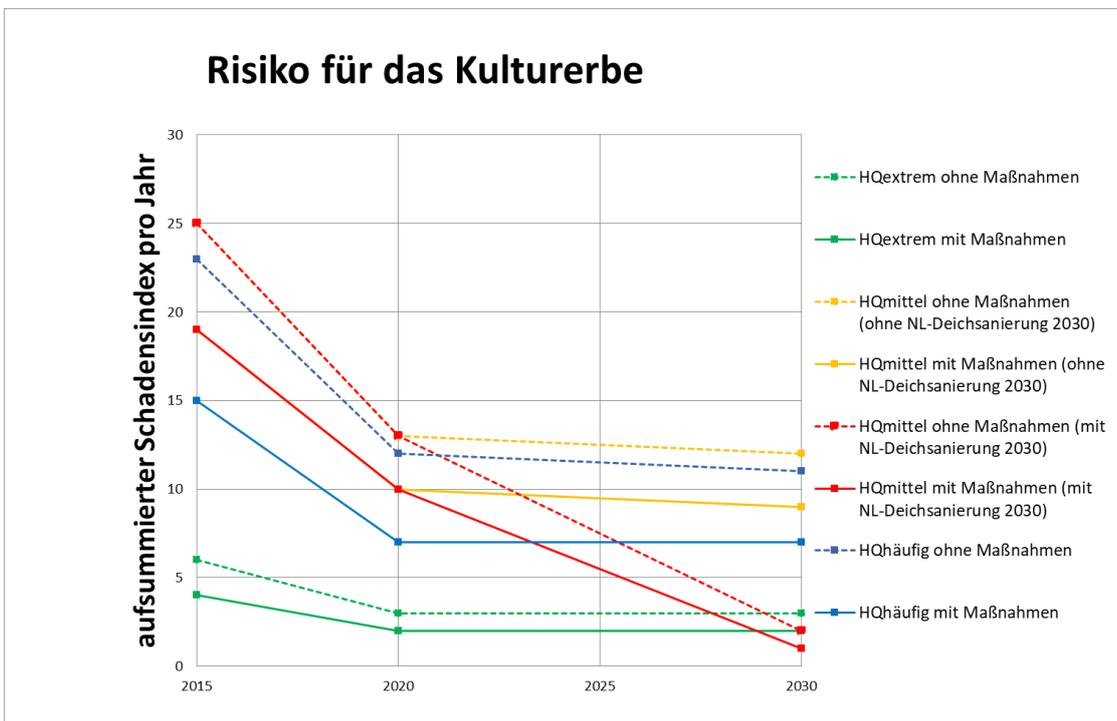


Abbildung 14: Risikoentwicklung für das Schutzgut Kulturerbe (aufsummierter durchschnittlicher Schadensindex pro Jahr über alle Schadensklassen)

Die **Wirksamkeit der Maßnahmen** auf das Schutzgut Kulturerbe lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Großer Einfluss der wasserstandsenkenden Maßnahmen (Reduktion der Wahrscheinlichkeit), Beispiel: Risikoreduktion von etwa 50 % für alle Hochwasserszenarien zwischen 2015 und 2020
- Sehr großer Einfluss von Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsflächen (NL-Deichsanierungsprogramm), Beispiel: Risikoreduktion 90 % für HQ_{mittel} zwischen 2020 und 2030
- Mittlerer bis großer Einfluss der Maßnahmen „nationale Indikatoren“ (Betrachtung der Abbildung 14 pro Jahr): Risikoreduktion um 24% bis 50 % für alle Hochwasserszenarien

3.4. Wirtschaftliche Tätigkeiten

Folgende Ergebnisse bzgl. des wirtschaftlichen **Schadens** sind hervorzuheben (vgl. Tabelle 7 und Abbildung 15):

- Das Schadenspotenzial ist für das Szenario HQ_{extrem} am größten, aufgrund der Tatsache, dass bei einem Extremereignis die größte Fläche überflutet wird.
- Das Schadenspotenzial (ohne und mit Maßnahme) nimmt über die Zeit zu (bis zu 14 % bei HQ_{mittel} in 2030 ohne NL-Deichsanierung). Dies passiert aufgrund des Anstiegs der Vermögenswerte über die Zeit durch das Wirtschaftswachstum. D. h. hier schaffen die Maßnahmen nicht den Trend des Schadenswachstums umzukehren. Ohne die Maßnahmen wäre der Aufwärtstrend aber noch größer.
- Unter Berücksichtigung des geplanten NL-Deichsanierungsprogramms gibt es beim Szenario HQ_{mittel} im Zeitraum 2020 bis 2030 eine sehr starke Verminderung des Schadenspotenzials. Ohne Deichsanierungsprogramm in den Niederlanden gibt es auch beim Szenario HQ_{mittel} einen Anstieg des Schadenspotenzials. Dabei ist zu beachten, dass bereits in vielen Bereichen ein Schutz gegen ein HQ_{mittel} erreicht wurde.
- Wird jedes Jahr einzeln betrachtet (vgl. Abbildung 15, Betrachtung pro Jahr), kann durch die Maßnahmen „nationale Indikatoren“ das Schadenspotenzial deutlich verringert werden (alle Hochwasserszenarien zusammen von 20 % bis 36 % bzw. 53 % mit NL-Deichsanierung).

Tabelle 7: Schadensentwicklung Wirtschaft

Relative Schadensänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	12	2	10
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-90	8	-90
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	23	8	14
HQextrem mit Maßnahmen	14	4	10

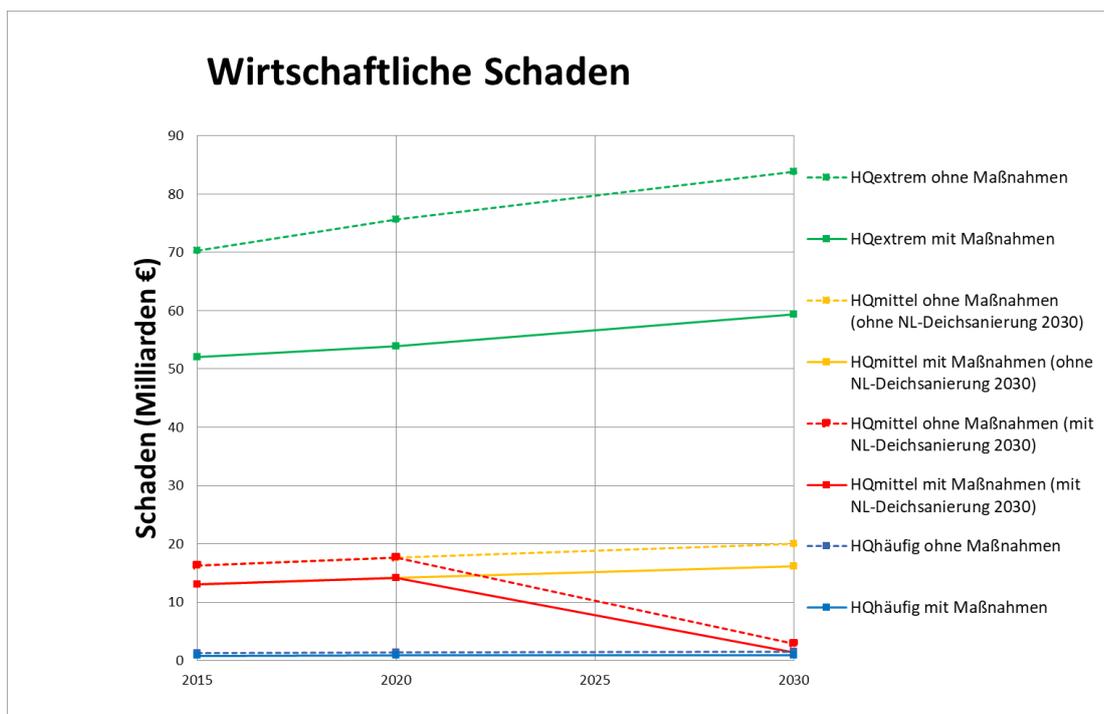


Abbildung 15: Größenordnung der Schadensentwicklung über die Zeit für das Schutzgut Wirtschaft (in Milliarden Euro)

Tabelle 8: Risikoentwicklung Schutzgut Wirtschaft

Relative Risikoänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-28	-28	0
HQmittel mit Maßnahmen (mit NL-Deichsanierung 2030)	-94	-41	-90
HQmittel mit Maßnahmen (ohne NL-Deichsanierung 2030)	-39	-41	3
HQextrem mit Maßnahmen	-44	-36	-12

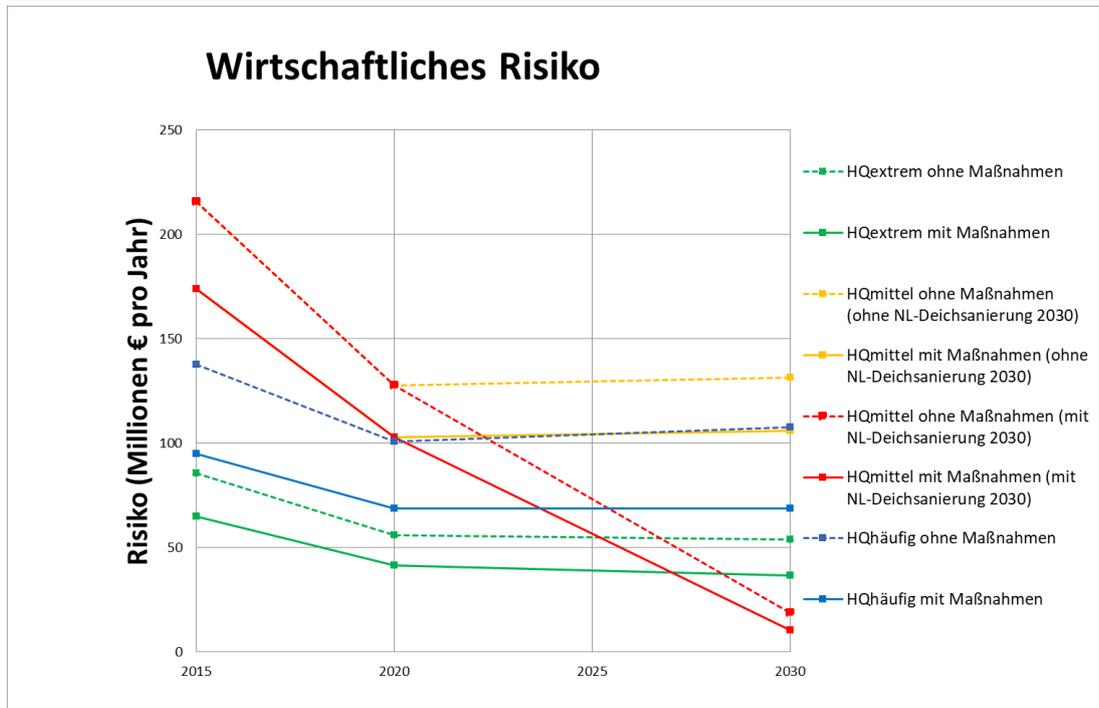


Abbildung 16: Risikoentwicklung Schutzgut Wirtschaft über die Zeit (in Millionen Euro/a)

Beim Schutzgut Wirtschaft zeigt sich - wie bei den anderen Schutzgütern auch - eine deutliche Abnahme des **Risikos** im Zeitraum 2015 bis 2020 (zw. 28 % und 41 %) (vgl. Tabelle 8 und Abbildung 16). Der Grund dafür ist die Wirkung der wasserstandsenkenden Maßnahmen entlang des gesamten Rheins.

Im Zeitraum 2020-2030 ist lediglich eine leichte Abnahme des Risikos bei HQ_{extrem} (12 %) und eine sehr starke Abnahme bei HQ_{mittel} (90 %) unter der Annahme der Durchführung der geplanten Deichsanierung in den Niederlanden, zu erkennen. Falls die Deichsanierung in den Niederlanden jedoch nicht wie geplant durchgeführt werden kann, dann nimmt das Risiko auch im Szenario HQ_{mittel} leicht zu. Weiter ist eine Stagnation des Risikos bei HQ_{häufig} zu erkennen. Grund für die Stagnation/Zunahme des Risikos bei einigen Szenarien: Die Maßnahmen (inkl. Wasserstandsenkung) können das Schadenswachstum über die Zeit nicht umkehren, dennoch bremsen sie die Risikoentwicklung erheblich, denn ohne die Umsetzung der Maßnahme wären ein deutlich größerer Risikoanstieg zu erwarten.

Die **Wirksamkeit der Maßnahmen** auf das Schutzgut Wirtschaft lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Großer Einfluss der wasserstandsenkenden Maßnahmen (Reduktion der Wahrscheinlichkeit), Beispiel: Risikoreduktion um 41 % für HQ_{mittel} zwischen 2015 und 2020
- Sehr großer Einfluss von Maßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsflächen (NL-Deichsanierungsprogramm), Beispiel: Risikoreduktion um 90 % für HQ_{mittel} zwischen 2020 und 2030

- Mittlerer Einfluss der Vorsorge-/Vermeidungsmaßnahmen („nationale Indikatoren“) (vgl. Abbildung 16, Betrachtung pro Jahr) auf den Schaden und somit auch auf das Risiko: Über alle Hochwasserszenarien, Risikoreduktion von 19 % bis 36 % bzw. 45 % mit NL-Deichsanierung.

3.5. Evaluierung im Hinblick auf die IHWRM-Pläne

In diesem Kapitel werden die in dem Mandat gestellten Fragen anhand der in Kapitel 3 vorgestellten Ergebnisse beantwortet und bewertet.

a) Überwachung und Bewertung des 1. IHWRM-Plans 2015-2021

Fragestellung

Zeigen die Maßnahmen, welche bis 2020 (bzw. 2021) national umgesetzt worden sind, eine Verminderung des Schadenspotenzials und des Risikos?

Ergebnisse

- Die Ergebnisse zeigen eine starke Abnahme des Risikos zwischen 2015 und 2020 für alle Schutzgüter. Grund: Im Zeitraum 2015 bis 2020 wurden zahlreiche wasserstandsennkende Maßnahmen entlang des gesamten Rheins umgesetzt, was zu einer Reduktion des Hochwasserrisikos führte. Auch die nationalen Maßnahmen/Indikatoren haben - durch ihre Wirkung auf den Schaden - einen Einfluss auf das Risiko, wenn auch in geringerem Maße.
- Die Ergebnisse zeigen folgende Entwicklungen des Schadenspotenzials - unter Berücksichtigung nationaler Maßnahmen/Indikatoren - zwischen 2015 und 2020:
 - konstantes Schadenspotenzial für das Schutzgut Mensch
 - konstantes Schadenspotenzial für das Schutzgut Umwelt
 - konstantes Schadenspotenzial für das Schutzgut Kulturerbe
 - Zunahme für das Schutzgut Wirtschaft, Grund: Die nationalen Maßnahmen können den Effekt des Anstiegs der Vermögenswerte über die Zeit durch das Wirtschaftswachstum nicht umkehren, dennoch bremsen sie die Risikoentwicklung.

Fazit

Die Maßnahmen, welche bis 2020 national umgesetzt wurden, zeigen eine deutliche Verminderung des Risikos (für alle Schutzgüter). Beim Schadenspotenzial gibt es eine Zunahme (Schutzgut Wirtschaft), eine Stagnation (Schutzgüter Mensch, Umwelt und Kulturerbe).

b) Vorläufige Analyse des 2. IHWRM-Plans 2022-2027

Fragestellung

Wie werden sich das Schadenspotenzial und das Risiko mit den geplanten, zukünftigen Maßnahmen bis 2030 (bzw. 2027) entwickeln?

Ergebnisse

Im Zeitraum 2020-2030 zeigen die Ergebnisse eine weniger große Reduktion des Schadenspotenzials und des Risikos für $HQ_{\text{häufig}}$ und HQ_{extrem} (sowie HQ_{mittel} ohne Deichsanierung in NL). Für das Schutzgut Wirtschaft zeigt sich sogar eine leichte Zunahme des Schadenspotenzials und Risikos. Grund: Entlang des gesamten Rheins sind im Zeitraum 2020 – 2030 insgesamt weniger wasserstandsennkende Maßnahmen vorgesehen als im Zeitraum 2015 – 2020. Eine starke Reduktion des Schadenspotenzials und Risikos für HQ_{mittel} zeigt sich lediglich bei Berücksichtigung der geplanten Deichsanierungsmaßnahmen in den Niederlanden, welche für HQ_{mittel} eine starke Reduktion der Überschwemmungsgebiete zur Folge haben.

Fazit

Das Schadenspotenzial und das Risiko werden sich für HQ_{mittel} bis 2030 deutlich senken, wenn die Deichsanierungsmaßnahmen in NL durchgeführt werden.

Für HQ_{häufig} und HQ_{extrem} werden das Schadenspotenzial und Risiko - basierend auf den aktuellen Daten - bis 2030 konstant bleiben oder leicht ansteigen (Schutzgut Wirtschaft). Das Gleiche gilt auch für HQ_{mittel}, falls die Deichsanierungsmaßnahmen in NL nicht durchgeführt werden sollten.

c) Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen

Fragestellung

Was ist die Wirksamkeit der verschiedenen Hochwasserrisikomanagement-Maßnahmen?

Ergebnisse und Fazit

- Die Ergebnisse zeigen eine mittlere bis starke Reduktion des Schadens und Risikos aufgrund der national gelieferten Maßnahmen (Indikatoren). Dies kann unter anderem mit dem Vergleich pro Jahr (2015, 2020, 2030), der Situation ohne und mit Maßnahmen, also nicht als zeitliche Entwicklung, festgestellt werden (vgl. Abbildungen Kap. 3.1-3.4).
- Im Allgemeinen zeigen einzelne Maßnahmen die größte Wirkung, wenn sie in Kombination mit anderen Maßnahmen eingesetzt und verrechnet werden.
- Das Ausmaß der Auswirkung der nationalen Maßnahmen auf die Schaden- und Risikoreduktion ist unterschiedlich:
 - Beim Schutzgut Mensch haben die nationalen Maßnahmen eine große Wirkung auf die Risikoreduktion. Dies erfolgt hauptsächlich durch die Maßnahmen im Bereich Sicherung / Evakuierung.
 - Bei den Schutzgütern Umwelt, Kultur und Wirtschaft haben die nationalen Maßnahmen (Indikatoren) immer noch eine wichtige Reduzierungswirkung, diese ist jedoch geringer als beim Schutzgut Mensch.
- Maßnahmen zur Wasserstandabsenkung ermöglichen durch die theoretische Änderung der Wahrscheinlichkeiten eine sehr große Reduzierung der Risiken (siehe Ergebnisse in Kap. 3.1-3.4).
- Maßnahmen zur Verringerung der Überschwemmungstiefen/-flächen (NL-Deichsanierungsprogramm) führen zu einer sehr großen Verringerung der Schäden und damit auch des Risikos, bis zu einem bestimmten Hochwasserereignis und vorausgesetzt, der Deich bricht nicht. (siehe Ergebnisse in Kap. 3.1-3.4).
- Die übrigen Hochwasserschutzmaßnahmen (Deiche, Mauern, etc.) beeinflussen die Wirkung der Vorsorge-/Vermeidungsmaßnahmen (nationale Indikatoren) (vgl. Kap. 2.6.1, 2.6.2): letztere können eine größere Wirkung haben, wenn bisher keine Hochwasserschutzeinrichtungen vorhanden waren.

4. Sensitivitätsanalyse

Im Folgenden wird analysiert, wie empfindlich die Ergebnisse auf Änderungen der Eingangsdaten oder der verwendeten Methodik oder der FloRiAn-Version reagieren. Damit kann eine Aussage gemacht werden, wie robust die vorliegenden Ergebnisse sind und was für Einflüsse eine Änderung in den Eingangsdaten haben könnte.

Konkret wurde der Einfluss der Landnutzungsdaten (Kapitel 4.1), der Rheinatlant-Daten sowie weiterer Inputdaten wie die Maßnahmen (Indikatoren) (Kapitel 4.2) untersucht. Zudem wurden die Ergebnisse aus dem Jahr 2020 mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2016 verglichen (siehe Kapitel 4.3), was gleichzeitig auch den Einfluss der Tool-Optimierung zeigt.

Hinweis: Die in diesem Kapitel beschriebenen Analysen für das Schutzgut Wirtschaft²³ wurden lediglich für das Untersuchungsjahr 2020, d. h. mit Anwendung der Eingangsdaten für 2020 und ohne Wirkung des 2030 Deichsanierungsprogramms in NL, durchgeführt. Außerdem wurden hauptsächlich die Unterschiede bei den Schäden/Risiken ohne Maßnahmeneinfluss berechnet und ausgewertet. Die Annahme ist, dass sich die mit der Schadens- und/oder Risikoberechnung ermittelten Unterschiede in den Ergebnissen der Situation mit Maßnahmeneinfluss fortsetzen.

4.1. Einfluss der Landnutzung

Ausgangslage

In den Ergebnissen, welche in Kapitel 3 vorgestellt wurden, ist der Einfluss einer zeitlich veränderten Landnutzung (z. B. zunehmende Siedlungsentwicklung) noch nicht berücksichtigt. Dies basiert auf der Tatsache, dass bei den Landnutzungsdaten (CLC) keine Prognosedaten für die Zukunft zur Verfügung stehen und die bestehenden CLC-Datensätze für die Jahre 2006, 2012 und 2018 nicht vollständig vergleichbar sind. Die oben genannten CLC-Datensätze (CLC 2006, CLC 2012, CLC 2018) wurden auf unterschiedliche Weise erfasst und verarbeitet, was das berechnete Hochwasserrisiko stark beeinflusst. Daher wurde für die Berechnungen für alle Zeiträume (2015, 2020, 2030) der aktuelle Landnutzungsdatensatz, CLC 2018, verwendet. Falls sich das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum in den nächsten Jahrzehnten jedoch ähnlich entwickelt wie in den letzten 20 Jahren, ist davon auszugehen, dass diese auch einen Einfluss auf das Schadenpotenzial und das Hochwasserrisiko haben werden.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen von Sensitivitätsberechnungen der Einfluss einer veränderten Landnutzung analysiert. Da bei den Landnutzungsdaten keine Prognosedaten für die Zukunft zur Verfügung stehen, wurde ein retrospektivischer Ansatz gewählt. Dabei wurde untersucht, wie sich die Landnutzung zwischen 2006 und 2018 verändert hat²⁴. Als Ergänzung zu den CLC-Datensätzen CLC 2006 und CLC 2018 wurde für die vertiefte Analyse der Landnutzungsentwicklung die von Copernicus erstellten Datensätze „Corine Land Cover Changes (CHA)“ für den Zeitraum 2006-2012 und 2012-2018 aufbereitet und verwendet.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie sich die Landnutzung im Zeitraum 2006 bis 2018 verändert hat. Dazu wurde diejenige Fläche angeschaut, welche bei einem Extremhochwasser betroffen ist. In einem zweiten Schritt wurde mit dem FloRiAn-Tool berechnet, welchen Einfluss diese Änderung der Landnutzung auf das Schadenpotenzial und das Hochwasserrisiko hat²⁵.

²³ Die Methodik und monetären Berechnungsergebnisse des Schutzguts Wirtschaft sind am fassbarsten und deshalb wurde dieses Schutzgut primär für die Analyse ausgewählt. Ausnahme: Kapitel 4.2b) enthält zusätzlich auch Ergebnisse von Untersuchungen mit dem Schutzgut Wirtschaft für das Jahr 2030 und dem Schutzgut Mensch (2020).

²⁴ Die CLC-Daten sind aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Vergleichbarkeit, die aus methodischen Unterschieden bei der Erstellung der Datensätze resultieren, weniger geeignet.

²⁵ Hinweis: Landnutzungsänderungen und Schadens-/Risikoerhöhung entwickeln sich nicht zwangsläufig linear, denn die Zunahme des Schadens und des Risikos hängt von der Tiefe bzw. der Wahrscheinlichkeit der Überschwemmung ab.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsberechnungen zeigen folgendes:

- Sowohl im Zeitraum 2006-2012 wie auch im Zeitraum 2012-2018 zeigen sich Flächenänderungen/-umnutzungen. Diese Änderung ist im Zeitraum 2006-2012 mit rund 96 km² größer als im Zeitraum 2012-2018 mit rund 70 km².
- Die größte Änderung betrifft die beiden Landnutzungskategorien „Siedlung“ und „Industrie“²⁶. Diese Veränderungen resultieren hauptsächlich aus einer Umwandlung der Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung sowie der Flächen, welche sich im Bau befinden, in Siedlungs- und Industrieflächen. Zwischen 2012-2018 erfolgt außerdem eine Verdichtung des urbanen Raums.
- Aufgrund der Flächenumnutzungen und Zunahme der Siedlungs- und Industriegebiete sowie in gewissem Umfang auch der landwirtschaftlichen Flächen in den Überschwemmungsflächen steigen auch die Schäden für städtische, industrielle und landwirtschaftliche Gebiete, hauptsächlich bei den Szenarien HQ_{mittel} und HQ_{extrem}. Beim Szenario HQ_{häufig} gibt es keine signifikante Erhöhung des Schadenpotenzials.
- Eine Zunahme der Landnutzung kann zu einer signifikanten Zunahme des Schadenpotentials und des Risikos führen. Vergleichsberechnungen mit CLC 2006 und CLC 2018 zeigen, dass eine Zunahme der Landnutzung in einem Zeitraum von 12 Jahren zu einer Zunahme des Schadenpotenzials und Risikos für das Schutzgut Wirtschaft um bis zu 8-14 % führen könnte.
- Diese Zahlen sind mit Vorsicht zu genießen, da es sich bei diesen Berechnungen um einen retrospektivischen Ansatz handelt, und insbesondere die CLC-Datensätze aus den verschiedenen Jahren (CLC 2006 und CLC 2018) aus methodischen Gründen nicht direkt miteinander vergleichbar sind.
- Diese Ergebnisse geben jedoch einen Hinweis darauf, dass eine Zunahme von Siedlungs- und Industrieflächen in Überschwemmungsflächen bis zum Jahr 2040 zu einer signifikanten Zunahme des Schadenpotenzials und Risikos führen könnte. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass die wirtschaftliche Entwicklung risikobasiert erfolgt, d. h., dass der Bau neuer Siedlungen und Industrien sowie deren Verdichtung außerhalb der Überschwemmungsgebiete erfolgen. Falls in überschwemmungsgefährdeten Gebieten gebaut wird, müssen neue Bebauungen an die Risiken/an Hochwasser angepasst werden.

²⁶ Ebenso für die Kategorie „Sonstiges“, welche im Tool nicht berechnet wird.

4.2 Einflüsse weiterer Datensätzen auf die Ergebnisse

Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen (alte vs. neue Daten) zum Einfluss der Überflutungstiefen/-flächen (Rheinatlaser Daten), weiteren Inputdaten sowie der nationalen Maßnahmen („Indikatoren“)

Schaden

Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Schadensveränderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			Hqhäufig	Hqmittel	Hqextrem
Einfluss der alten (Rheinatlaser 2015) vs. der neuen (Rheinatlaser 2020) Wassertiefen/-flächen auf die Schäden	Neuer Atlas 2020	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Alter Atlas 2015	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Wirtschaft	2020	-47	278	-6
Einfluss von alten Input-Daten (Rheinatlaser 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neue Input-Daten (Rheinatlaser 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf die Schäden				Neuer Atlas 2020		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	0	0	-4
Einfluss von alten Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlaser 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neue Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlaser 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf Schäden				Alter Atlas 2015		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	-47	278	-11
Einfluss von alten vs. neuen nationalen Maßnahmen ("Indikatoren")* auf Schäden (Menschliche Gesundheit, Wirtschaft)	Neuer Atlas 2020	Neue Maßnahmen (2021)	Neue Input-Daten (2021)	Neuer Atlas 2020	Alte Maßnahmen (2016)	Neue Input-Daten (2021)	Menschliche Gesundheit	2020	-12	0	2
							Wirtschaft	2020	-10	-1	-16
							Wirtschaft	2030	-4	0	-16

Risiken

Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Risikoänderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			HQhigh	HQmed	HQext
Einfluss der alten (Rheinatlaser 2015) vs. der neuen (Rheinatlaser 2020) Wassertiefen/-flächen auf die Risiken	Neuer Atlas 2020	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Alter Atlas 2015	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Wirtschaft	2020	-49	263	-15
Einfluss von alten Input-Daten (Rheinatlaser 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Input-Daten (Rheinatlaser 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf die Risiken				Neuer Atlas 2020		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	4	2	8
Einfluss von alten Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlaser 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlaser 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf Risiken				Alter Atlas 2015		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	-49	263	-2
Einfluss von alten vs. neuen nationalen Maßnahmen ("Indikatoren")* auf Risiken (Menschliche Gesundheit, Wirtschaft)	Neuer Atlas 2020	Neue Maßnahmen (2021)	Neue Input-Daten (2021)	Neuer Atlas 2020	Alte Maßnahmen (2016)	Neue Input-Daten (2021)	Menschliche Gesundheit	2020	-3	3	14
							Wirtschaft	2020	-3	1	-8
							Wirtschaft	2030	-1	2	-15

*Wasserstandsenkende Maßnahmen sowie das niederländische Deichsanierungsprogramm sind in dieser Liste nicht enthalten. Für die menschliche Gesundheit beinhalten die Maßnahmen die Evakuierung.
 ** Weitere Input-Daten: Dies sind andere Arten von Daten als Wassertiefen, die für die Berechnungen verwendet werden. Diese Daten haben allgemeinen Charakter (z. B. administrative Gebiete) oder sind mit den 4 Schutzgütern verknüpft.
 ***Berechnung ohne nationale Maßnahmen ("Indikatoren").

Allgemeiner Hinweis: alle Berechnungen wurden mit CLC 2018 (= ein identischer Landnutzungsdatensatz) durchgeführt

Lesehilfe Tabelle 9: Diese Tabelle gibt ein Überblick über die durchgeführten Analysen des Einflusses unterschiedlicher Eingangsdaten (vgl. Anlage 3) auf die Berechnungsergebnisse. Dabei wird jeweils ein Referenzdatensatz mit einem Alternativdatensatz verglichen. Der Alternativdatensatz, welcher für den jeweiligen Vergleich maßgebend ist, ist in **roter Farbe** markiert.

Beispiel: Zeile 1 beim Schaden: Hier werden die Ergebnisse aus den Berechnungen mit den neuen Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2020 („Referenz“) mit den Ergebnissen aus den Berechnungen mit den alten Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2015 („Alternative“) verglichen. Der Unterschied beträgt beim Szenario HQhäufig -47 %. Dies bedeutet, dass die Schäden basierend auf den neuen Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2020 um 47 % geringer sind als die Schäden basierend auf den alten Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2015. Beim Szenario HQmittel sind die Schäden basierend auf den neuen Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2020 um 278 % höher als die Schäden basierend auf den alten Wassertiefen /-flächen aus dem Rheinatlaser 2015.

a) Einfluss der Rheinatlas-Daten und weiterer Inputdaten

Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen wurde der Einfluss der alten Eingabedaten der HIRI-Berechnungen einschließlich der Überflutungstiefen und -flächen des [Rheinatlas 2015 \(RA2015\)](#) untersucht und mit den neuen Eingabedaten für den Zustand 2020, einschließlich des [Rheinatlas 2020 \(RA2020\)](#) verglichen. Verglichen wurden jeweils die Schäden und Risiken ohne die nationalen Maßnahmen (Indikatoren).

In einer ersten Analyse wird versucht, den Einfluss der Variation der Überflutungstiefen/-flächen (Gefahr) von den anderen Eingabedaten (Schutzgüter) zu unterscheiden, indem Daten aus RA2020 und RA2015 sowie neue oder alte Eingabedaten aus HIRI-Berechnungen verwendet werden. Dies wurde anhand zweier Ansätze untersucht:

- 1) Verwendung der neuen Eingabedaten aus den vorliegenden Berechnungen mit Nutzung der Tiefen/Flächen aus RA2015, aber unter Beibehaltung der Verwendung von CLC 2018 (um die Berechnungen/den Einfluss nicht zu verzerren).
- 2) Verwendung der Eingabedaten aus den Berechnungen aus dem Jahr 2016, mit Nutzung der Tiefen/Flächen aus RA2020, aber unter Beibehaltung der Verwendung von CLC 2018.

Eine zweite Analyse verdeutlicht die Veränderungen der Berechnungsergebnisse, wenn die gesamten Daten von RA2020 und RA2015 - unter Verwendung von CLC 2018 - in das Tool eingegeben werden. Diese Analyse hat sehr ähnliche Ergebnisse wie die erste Analyse, *Fragestellung 1*), ergeben.

Tabelle 10: Auszug aus Tabelle 9, durgeführte Sensitivitätsanalyse zum Kap. 4.2a und Ergebnisse

Schaden											
Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Schadensveränderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			Hqhäufig	Hqmittel	Hqextrem
Einfluss der alten (Rheinatlas 2015) vs. der neuen (Rheinatlas 2020) Wassertiefen/-flächen auf die Schäden	Neuer Atlas 2020	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Alter Atlas 2015	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Wirtschaft	2020	-47	278	-6
Einfluss von alten Input-Daten (Rheinatlas 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Input-Daten (Rheinatlas 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf die Schäden				Neuer Atlas 2020		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	0	0	-4
Einfluss von alten Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlas 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlas 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf Schäden				Alter Atlas 2015		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	-47	278	-11

Risiken											
Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Risikoveränderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			HQhigh	HQmed	HQext
Einfluss der alten (Rheinatlas 2015) vs. der neuen (Rheinatlas 2020) Wassertiefen/-flächen auf die Risiken	Neuer Atlas 2020	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Alter Atlas 2015	Keine***	Neue Input-Daten (2021)	Wirtschaft	2020	-49	263	-15
Einfluss von alten Input-Daten (Rheinatlas 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Input-Daten (Rheinatlas 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf die Risiken				Neuer Atlas 2020		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	4	2	8
Einfluss von alten Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlas 2015 und HIRI-Berechnungen 2016) vs. neuen Wassertiefen/-flächen und Input-Daten (Rheinatlas 2020 und HIRI-Berechnungen 2021) auf Risiken				Alter Atlas 2015		Alte Input-Daten (2016)	Wirtschaft	2020	-49	263	-2

* Wasserstandslenkende Maßnahmen sowie das niederländische Deichsanierungsprogramm sind in dieser Liste nicht enthalten. Für die menschliche Gesundheit beinhalten die Maßnahmen die Evakuierung.
** Weitere Input-Daten: Dies sind andere Arten von Daten als Wassertiefen, die für die Berechnungen verwendet werden. Diese Daten haben allgemeinen Charakter (z. B. administrative Gebiete) oder sind mit den 4 Schutzgüter verknüpft.
*** Berechnung ohne nationale Maßnahmen ("Indikatoren").

Allgemeiner Hinweis: alle Berechnungen wurden mit CLC 2018 (= ein identischer Landnutzungsdatensatz) durchgeführt

Zwischenfazit

Die Analyse des Einflusses der Rheinatlasdaten zeigt Folgendes:

Der Schaden und das Risiko werden maßgeblich durch die Änderung der RA-Wassertiefen/-flächen beeinflusst, u. a. durch die Veränderungen der Wassertiefen/-flächen für HQmittel in den Niederlanden beim neuen RA2020 gegenüber dem alten RA2015 (= Vergrößerung der HQmittel-Flächen/Tiefen im neuen gegenüber dem alten Atlas) (vgl. Karten 2 und 3 sowie Abbildungen 17 und 18 als Auszüge aus dem RA2015 und RA2020 für den NL-Bereich). Es steht auch fest, dass die Veränderung der Hochwassertiefenwerte im neuen Atlas (vorgegebene Werte, die in vier Wasserstandsklassen definiert sind) im

Vergleich zum alten Atlas (kontinuierliche Wasserstandswerte) eine Rolle für die Unterschiede in den Schadensergebnissen gespielt haben könnte.

Beim Risiko spielt außerdem der Einfluss der unter *Fragestellung 2)* angegebenen Änderungen der Flussstrecken mit Wahrscheinlichkeitsangaben eine Rolle.

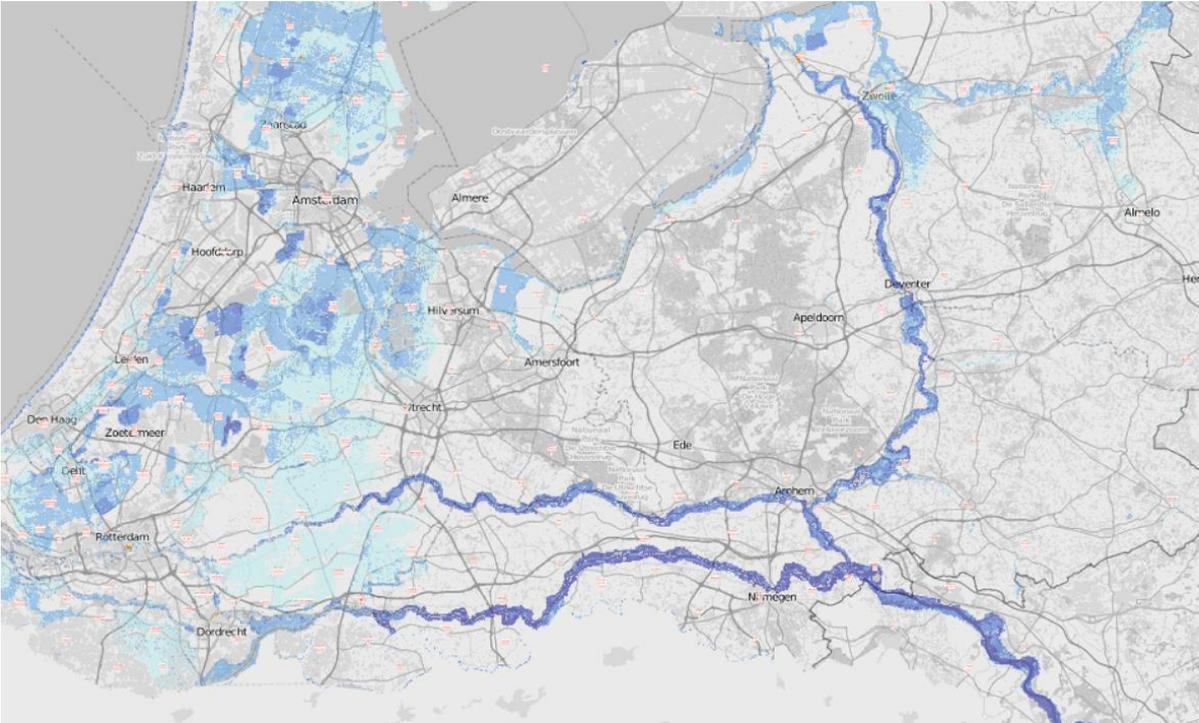


Abbildung 17: **Alte** Überschwemmungsflächen/-tiefen für HQ_{mittel} aus dem RA2015 in den Niederlanden

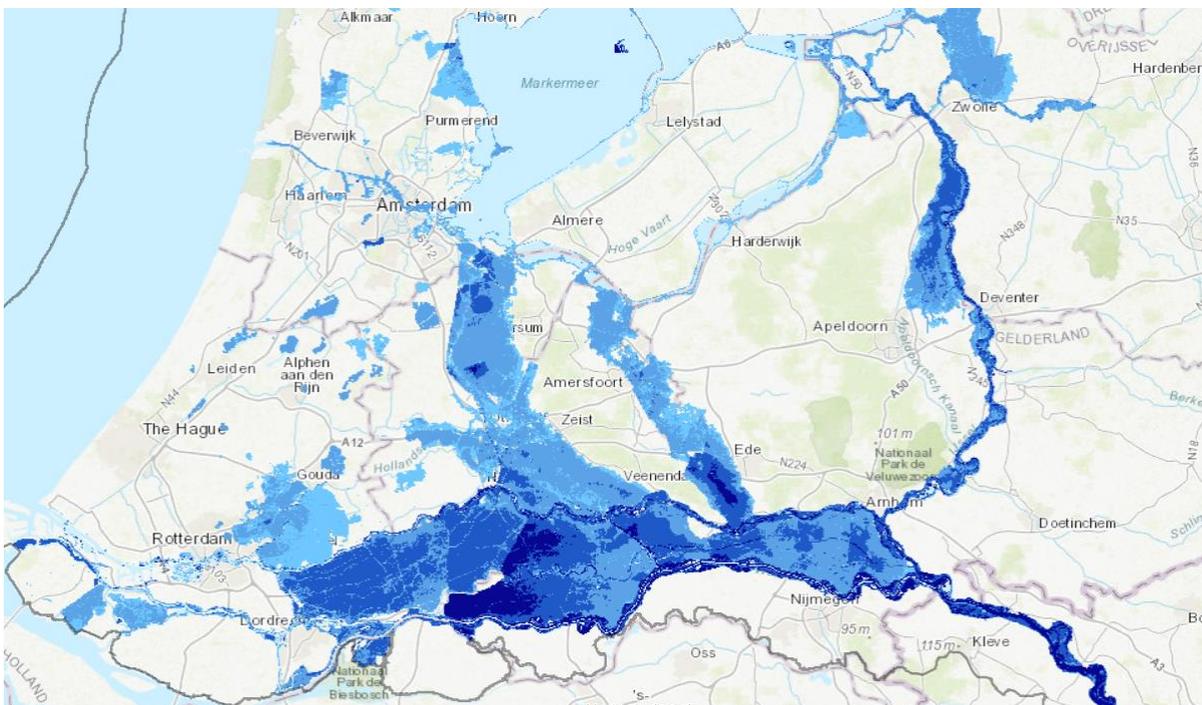


Abbildung 18: **Neue** Überschwemmungsflächen/-tiefen aus dem RA2020 für HQ_{mittel} in den Niederlanden (ohne Deichsanierungsmaßnahmen)

b) Einfluss der aktualisierten nationalen Erhebung der Maßnahmen/Indikatoren

Die Staaten haben für die jetzigen Berechnungen ihre Angaben zu den Maßnahmen/Indikatoren der alten Berechnungen (2015) aktualisiert bzw. neu geliefert (vgl. Anlage 2b). Ein großer Unterschied ist, dass bei den Berechnungen im Jahr 2015 für Deutschland Maßnahmendaten aus Baden-Württemberg auf die anderen Bundesländer extrapoliert wurden. Dies führte zu einer Überschätzung der Realisierung und Wirkung der Maßnahmen. Für die vorliegende Untersuchung haben hingegen alle deutschen Bundesländer am Rhein Daten geliefert.

Auf Basis von Berechnungen pro Jahr (2020 und 2030), bei denen die Auswirkungen alter und neuer Maßnahmen verglichen werden,²⁷ lassen sich folgende Unterschiede auf der Ebene des Rheins feststellen:

- Schutzgut Mensch (beispielhaft für das Jahr 2020): Aktuellere und präzisere Maßnahmen-/Indikatordaten, insbesondere für Deutschland, tendieren dazu, die Anzahl betroffener Einwohner bei HQ_{häufig} zu reduzieren und bei HQ_{extrem} leicht zu erhöhen. Bei HQ_{mittel} werden kaum Unterschiede verzeichnet.
- Schutzgut Wirtschaft (beispielhaft für das Jahr 2020 und 2030): Hier findet man die größten Reduzierungen bei HQ_{häufig} und HQ_{extrem}. Gründe für diese Unterschiede sind oben bereits erklärt. Bei HQ_{mittel} werden kaum Unterschiede verzeichnet.

Tabelle 11: Auszug aus Tabelle 9, durgeführte Sensitivitätsanalyse zum Kap. 4.2b und Ergebnisse

Schaden											
Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Schadensveränderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			Hqhäufig	Hqmittel	Hqextrem
Einfluss von alten vs. neuen nationalen Maßnahmen ("Indikatoren")* auf Schäden (Menschliche Gesundheit, Wirtschaft)	Neuer Atlas 2020	Neue Maßnahmen (2021)	Neue Input-Daten (2021)	Neuer Atlas 2020	Alte Maßnahmen (2016)	Neue Input-Daten (2021)	Menschliche Gesundheit	2020	-12	0	2
							Wirtschaft	2020	-10	-1	-16
								2030	-4	0	-16

Risiken											
Art der Sensitivitätsanalyse	Referenz			Alternative			Schutzgut	Untersuchungsjahr	Risikoeränderung (%)		
	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**	Wassertiefen/-flächen	Nationale Maßnahmen ("Indikatoren")*	Weitere Inputs**			HQhigh	HQmed	HQext
Einfluss von alten vs. neuen nationalen Maßnahmen ("Indikatoren")* auf Risiken (Menschliche Gesundheit, Wirtschaft)	Neuer Atlas 2020	Neue Maßnahmen (2021)	Neue Input-Daten (2021)	Neuer Atlas 2020	Alte Maßnahmen (2016)	Neue Input-Daten (2021)	Menschliche Gesundheit	2020	-3	3	14
							Wirtschaft	2020	-3	1	-8
								2030	-1	2	-15

*Wasserstandsenkende Maßnahmen sowie das niederländische Deichsanierungsprogramm sind in dieser Liste nicht enthalten. Für die menschliche Gesundheit beinhalten die Maßnahmen die Evakuierung.
** Weitere Input-Daten: Dies sind andere Arten von Daten als Wassertiefen, die für die Berechnungen verwendet werden. Diese Daten haben allgemeinen Charakter (z. B. administrative Gebiete) oder sind mit den 4 Schutzgütern verknüpft.
*** Berechnung ohne nationale Maßnahmen ("Indikatoren").
Allgemeiner Hinweis: alle Berechnungen wurden mit CLC 2018 (= ein identischer Landnutzungsdatensatz) durchgeführt

²⁷ Hier wurden, bis auf die Maßnahmen (Indikatoren), die gleichen Eingangsdaten (RA2020, CLC 2018, Einwohnerzahlen, usw.) wie bei den neuen Berechnungen genutzt. Lediglich die Maßnahmen wurden geändert (= alte vs. neue Maßnahmen), um ausschließlich deren Effekt sehen zu können. Beim Schutzgut Mensch ist die Angabe der Evakuierung/Sicherung aus Zeitgründen nicht geändert worden.

Beim Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Schadens und Risikos (Schutzgut Wirtschaft; vgl. Tabelle 12) beispielhaft für den Zeitraum 2020-2030, werden - trotz unterschiedlicher absoluter Werte - keine großen Unterschiede bedingt durch die Anwendung der alten und neuen Indikatoren festgestellt. Alte Maßnahmen neigen dazu, die Reduzierung für HQ_{häufig} und HQ_{mittel} zu überschätzen, neue Maßnahmen haben eine größere Reduzierung auf HQ_{extrem}.

Tabelle 12: Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Schadens und Risikos bei Anwendung der neuen und alten Maßnahmen/Indikatoren-Angaben (**Wirtschaft**)

Reduktion/Entwicklung 2020-2030 mit Maßnahmen (%)						Unterschiede bei der Schaden-/Risikoentwicklung (in Prozentpunkten)		
NEUE MAßNAHMEN			ALTE MAßNAHMEN					
Schaden mit Maßnahmen (Entwicklung 2020-2030 in %)						Schaden mit Maßnahmen (Prozentpunkten)		
HQhäufig	HQmittel	HQextrem	HQhäufig	HQmittel	HQextrem	HQhäufig	HQmittel	HQextrem
10	12	10	2	11,5	10	8	1	0
Risiko mit Maßnahmen (Entwicklung 2020-2030 in %)						Risiko mit Maßnahmen (Prozentpunkten)		
HQhäufig	HQmittel	HQextrem	HQhäufig	HQmittel	HQextrem	HQhäufig	HQmittel	HQextrem
0	3	-12	-1,5	2	-4,5	1,5	0,5	-7,5

4.3. Vergleich mit den Berechnungen aus dem Jahr 2016 (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 236)

Ausgangslage

Das FloRiAn-Tool wurde in der Zeit seit 2016 ständig weiterentwickelt und optimiert. Das FloRiAn-Tool bzw. die für die Methode und Berechnung benötigten Inputdaten (vgl. Kap. 2.1 und Anlagen 2a, 3) unterscheiden sich daher von den alten Berechnungen (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 236).

Aufgrund der zahlreichen unterschiedlichen Inputdaten können die absoluten Werte der Ergebnisse aus den alten Berechnungen nicht mit den neuen Berechnungen verglichen werden (vgl. Abbildung 19²⁸). Im Sinne eines Qualitätschecks ist es jedoch möglich, die Entwicklung des Risikos über die Zeit miteinander zu vergleichen (vgl. Tabelle 13).

Nachfolgend werden die Ergebnisse für das wirtschaftliche Risiko (mit Maßnahmenwirkung) verglichen.

Tabelle 13: Vergleich der relativen Risikoänderung der alten/neuen Berechnungen

Ergebnisse 2016 (HIRI Bericht Nr. 236)			
Relative Risikoänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-22	-20	-2
HQmittel mit Maßnahmen	-47	-41	-10
HQextrem mit Maßnahmen	-44	-39	-8
Ergebnisse 2021			
Relative Risikoänderung (%)			
	Gesamter Zeitraum	1. HWRM-Plan	2. HWRM-Plan
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQhäufig mit Maßnahmen	-28	-28	0
HQmittel mit Maßnahmen	-39	-41	3
HQextrem mit Maßnahmen	-44	-36	-12

²⁸ Die Tabelle und die Abbildung beinhalten für HQ_{mittel} nicht die Wirkung des NL-Deichsanierungsprogramms für 2030.

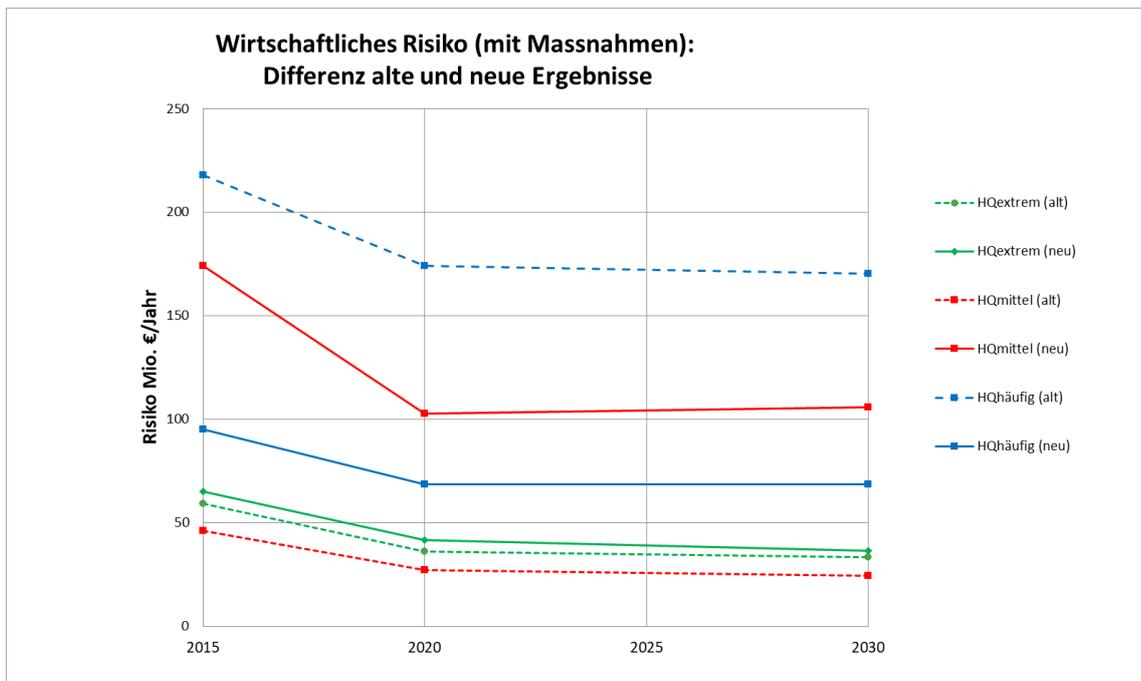


Abbildung 19: Vergleich alte und neue Ergebnisse

Ergebnisse

- Die Ergebnisse zeigen, dass die Risikoentwicklungstendenzen für HQ_{mittel} und HQ_{extrem} beim Schutzgut Wirtschaft für die beiden Berechnungen aus dem Jahr 2016 und dem Jahr 2021 für den gesamten Zeitraum 2015-2030 und die Phase des 1. IHWRM-Plans (Zeitraum 2015-2020) ähnlich sind. Dies gilt auch für HQ_{häufig}, obwohl die Unterschiede hier etwas größer sind. Bei beiden Berechnungen gibt es in der Phase des 1. IHWRM-Plans (Zeitraum 2015-2020) eine große Verminderung des Risikos. In der Phase des 2. IHWRM-Plans (Zeitraum 2020-2030) stellt sich die Situation anders dar: Während die Berechnungen von 2016 eine relative Abnahme der Risiken für alle Hochwasserszenarien für den Zeitraum 2020-2030 ergaben, ist dies in den Berechnungen von 2021 lediglich bei HQ_{extrem} der Fall. Bei den anderen Szenarien wird eine Stagnation oder sogar eine sehr leichte Zunahme angenommen.
- Bei den absoluten Werten gibt es Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus den Jahren 2016 und 2021. Diese Unterschiede sind bedingt durch die unterschiedlichen Datensätze, welche den beiden Berechnungen zugrunde liegen (u. a. andere Überschwemmungstiefen/-flächen-Datensatz, neuer CLC-Datensatz, realitätstreuere Maßnahmendaten).

5. Fazit

Die Expertengruppe Hochwasserrisiken (EG HIRI) hat im Auftrag der Arbeitsgruppe Hoch- und Niedrigwasser (AG H) quantitative Berechnungen zur Überprüfung des 1. und 2. Hochwasserrisikomanagement-Plans durchgeführt. Diese Berechnungen wurden mit dem einzigartigen und innovativen Tool „[ICPR FloRiAn](#)“ ([Flood Risk Analysis](#)) erstellt, welches im Jahr 2015 entwickelt und seither weiterentwickelt und optimiert worden ist.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, dass FloRiAn geeignet ist, quantitative Aussagen zur Entwicklung des Hochwasserrisikos und Schadenspotenzials für die verschiedenen Schutzgüter zu machen. Die Ergebnisse sind plausibel und decken sich im Großen und Ganzen mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2016. Zudem zeigen die zahlreichen durchgeführten Sensitivitätsanalysen, dass je nach Hochwasserszenario die Variation von Landnutzung, Überflutungstiefen/-flächen (aus dem Rheinatlas) und Maßnahmen (Indikatoren) einen (sehr) wichtigen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben. Wenn eine Differenz bei den Schadensergebnissen festgestellt wird, setzt sich diese Differenz bei den Risiken fort.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse lässt sich zudem die Schlussfolgerung ableiten, dass alle Maßnahmentypen (wasserstandsenkende Maßnahmen, Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Überschwemmungsfläche, nationale Maßnahmen/Indikatoren wie Sicherung / Evakuierung) einen signifikanten Effekt auf die Risikoentwicklung haben. Ohne diese Maßnahmen würden die Schäden und Risiken ein deutlich höheres Niveau erreichen. *Anmerkung: Wir weisen darauf hin, dass nach Ansicht der Staaten im Rheineinzugsgebiet, in Übereinstimmung mit dem IHWRM-Plan der IFGE Rhein, die optimale Verringerung von Schäden und Risiken aus der Umsetzung des gesamten Spektrums von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements resultiert, von nichttechnischen Vorsorge- und Vermeidungsmaßnahmen bis zu technischen Schutzmaßnahmen und Krisenmanagement. Es sei in diesem Zusammenhang auch daran erinnert, dass ein Restrisiko immer besteht, auch hinter Schutzmaßnahmen.*

Für den Zeitraum des 1. IHWRM-Plans (2015-2021) zeigt sich eine starke Abnahme des Hochwasserrisikos. Dieser positive Effekt konnte dank der zahlreichen wasserstandsenkenden Maßnahmen erzielt werden, welche in diesem Zeitraum umgesetzt worden und mit in den Berechnungen eingegangen sind. Zwischen 2015 und 2020 blieb das Schadenspotenzial für Mensch, Umwelt und Kulturerbe konstant und nahm für das Schutzgut Wirtschaft zu. Grund für die nicht signifikante Schadensreduzierung: die wasserstandsenkenden Maßnahmen haben keinen Einfluss auf das Schadenspotenzial, da sie sich ausschließlich auf die Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen auswirken.

Für den Zeitraum des 2. IHWRM-Plans (2022-2027) deuten die aktuellen Prognosen darauf hin, dass das Risiko für HQ_{häufig} und HQ_{extrem} weniger stark reduziert werden kann. Dies steht im Gegensatz zum Szenario HQ_{mittel}, bei welchem sich eine sehr starke Risikoreduktion zwischen 2020 und 2030 abzeichnet. Der Grund für diese starke Risikoreduktion ist das geplante Deichsanierungsprogramm in den Niederlanden. Bei der Schadensentwicklung zeigt sich im gleichen Zeitraum keine signifikante Abnahme. Hinweis: die Aussagen für den 2. IHWRM-Plan stellen lediglich eine Prognose zum heutigen Zeitpunkt dar. Eine effektive Aussage, wie sich das Schadenpotential und Risiko im Zeitraum 2020 – 2030 entwickelt hat, ist erst zum Zeitpunkt 2030 möglich.

Die Staaten des Rheineinzugsgebiets haben in den letzten Jahren bereits große Erfolge bei ihren Anstrengungen zur Verringerung des Hochwasserrisikos erreicht (vgl. [Bilanz der Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser im Rahmen des Programms „Rhein 2020“](#)). Die Ergebnisse aus den vorliegenden Berechnungen zeigen jedoch auch, dass die Anstrengungen der Staaten in den kommenden Jahren fortgesetzt werden müssen, wenn künftig - beispielsweise im Rahmen des [Programms „Rhein 2040“](#) - eine weitere Risikominderung erreicht werden soll. Die Ergebnisse zeigen zudem die Wichtigkeit auf, bis 2030 geplante Maßnahmen umzusetzen.

Für zukünftige Optimierungen der Arbeiten oder Tätigkeiten schlägt die EG HIRI folgende Verbesserungsmöglichkeiten vor:

- Es ist davon auszugehen, dass mehrere Mitgliedstaaten im Zeitraum bis 2040 wasserstandsenkende Maßnahmen umsetzen werden. Daher empfiehlt die EG HIRI, dass im Hinblick auf mögliche künftige HIRI-Berechnungen auch die Berechnungen der Expertengruppe HVAL zur Wirksamkeit dieser Maßnahmen aktualisiert werden. Dabei soll der aktuelle Stand der Realisierung/Planung der Maßnahmen berücksichtigt werden.
- Sofern diese Daten auf nationaler Ebene vorhanden sind, empfiehlt die EG HIRI, dass die Staaten in Zukunft die Wassertiefendaten für den Rheinatlas wieder in kontinuierlichen Werten (cm oder dm) liefern. Dies führt zu genaueren Ergebnissen bei den FloRiAn-Berechnungen. Im Allgemeinen ist die Übereinstimmung zwischen den Atlasdaten (geliefert durch die Delegationen in der EG GIS) und die für die HIRI-Berechnungen formatierten/vorbereitenden Daten zu verbessern/verstärken.
- Aus Sicht der EG HIRI wäre es sinnvoll, den Zeitpunkt der Datenabfrage und der Berechnungen besser mit den Arbeiten für die Aktualisierungen der nationalen HWGK und HWRK (d. h. auch den Rheinatlas) und den HWRM-Plänen zu koordinieren. Die EG HIRI empfiehlt daher, dass zuerst die Aktualisierung des Rheinatlas und die Berichterstattung der HWRM-Pläne an die EU (Angaben zur Maßnahmenumsetzung) vorliegen sollten, bevor die EG HIRI mit der Datenintegration und den Berechnungen startet. Denn diese Angaben bildet die Grundlage für die Datenabfrage und Berechnungen mit dem Tool FloRiAn.
- Die EG HIRI erachtet die Unterstützung durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (z. B. zur Datenformatierung und Testberechnungen) als sehr wertvoll.
- Zusätzlich sind für die zukünftigen Berechnungen folgende Punkte zu prüfen:
 - Ist eine Aktualisierung der Schadensfunktionen und der Vermögens-/ Schadenswerte sinnvoll?
 - Ist eine Aktualisierung der Prognosewerte der betroffenen Einwohner auf Basis neuer offizieller statistischer/demographischer Daten zum Bevölkerungswachstum sinnvoll?
 - Ist es möglich, eine Präzisierung der Indikatoren zu erreichen und die Verfügbarkeit der Indikatoren zu verbessern?
 - Ist es möglich, den Effekt der einzelnen Maßnahmen/Indikatoren zu prüfen?
 - Ist die Verwendung der Ergebnisse der Berechnungen des sogenannten integralen Risikos oder des jährlichen Schadenerwartungswertes (d.h. das mittlere jährliche Risiko über einen längeren Zeitraum) für die Zukunft erwünscht (dies war in diesem Bericht nicht der Fall)? Wenn dies der Fall ist, sollte das Tool zu diesem Zweck überprüft/optimiert werden.
 - Untersuchung und Behebung des Problems beim Modul zur Berechnung des kulturellen Erbes des neuen Tools.

Anlagen

Anlage 1: Literaturverzeichnis

IKSR

IKSR: Allgemeine Seite zum Tool FloRiAn und Arbeiten der EG HIRI:

<https://www.iksr.org/de/themen/hochwasser/hochwasserrisiko-instrument-florian>

IKSR (2011): Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung der Hochwasserstände im Rhein - Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser 1995 – 2010 einschließlich Vorausschau für 2020 sowie 2020+ (Bericht Nr. 199)

IKSR (2015): Rheinatlas 2015 (Link:

http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/ICPR_DE/index.html?lang=de)

IKSR (2015): Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung durch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen entlang des Rheins (Bericht Nr. 229)

IKSR (2015): Erster internationalen Hochwasserrisikomanagementplan der IFGE Rhein (*inkl. Angaben/Links zu den nationalen Plänen*) (Link:

https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Rheinkarten/HWRM-PLAN_2015.pdf)

IKSR (2016): Synthesebericht „Nachweis der Minderung des Hochwasserrisikos (Aktionsplan Hochwasser, Handlungsziel 1) unter Berücksichtigung der Maßnahmentypen und Schutzgüter der HWRM-RL 2007/60/EG“ (Bericht Nr. 236)

IKSR (2016): Technischer Bericht „Instrument und Methode zum Nachweis der Änderung bzw. Reduzierung des Hochwasserrisikos“ (Bericht Nr. 237)

IKSR (2016; intern): User's guide to the ICPR GIS Instrument for evaluating the reduction of the risk of flooding taking into account the protection objectives in accordance with Floods Directive

IKSR (2020): Rheinatlas 2020 (Link:

<https://www.iksr.org/de/oeffentliches/dokumente/archiv/karten/rheinatlas> und <https://geoportal.bafg.de/karten/rheinatlas/>)

IKSR (2020): Zweiter internationalen Hochwasserrisikomanagementplan der IFGE Rhein (Entwurf) (*inkl. Angaben/Links zu den nationalen Plänen*) (Link:

https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/BWP-HWRMP/DE/bwp_De_2_IHWRM-Plan_2020.pdf)

IKSR (2020): Bilanz der Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser im Rahmen des Programms Rhein 2020 (Link:

https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Broschueren/DE/bro_De_Bilanz_%E2%80%9ERhein_2020%E2%80%9C.pdf)

IKSR (2020): Communiqué der 16. Rheinminister-Konferenz sowie Programm Rhein 2040 (Link: <https://www.iksr.org/de/iksr/rhein-2040>)

Wichtige externe Publikationen

2017: „ICPR FloRiAn: GIS-Instrument zur Ermittlung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko und erste Anwendung am Rhein“, A. Schmid-Breton, G. Kutschera, EG HIRI; Korrespondenz Wasserwirtschaft 2017 Nr. 11, siehe <https://de.dwa.de/de/kw-korrespondenz-wasserwirtschaft.html>

2017: Poster im Rahmen von Interpraevent – CH:

https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Sonstiges/DE/ot_De_Florian.jpg

2018: „A Novel Method for Evaluation of Flood Risk Reduction Strategies: Explanation of ICPR FloRiAn GIS-Tool and Its First Application to the Rhine River Basin“, A. Schmid-Breton, G. Kutschera, T. Botterhuis, EG HIRI; MDPI Geosciences - Special Issue Hydrological Hazard: Analysis and Prevention, siehe <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/10/371>

2021: "Evaluating past and future flood risk reduction in the Rhine river basin", A. Schmid-Breton, N. Schulte-Kellinghaus; Budapest University of Technology and Economics (Publikation im Rahmen der Konferenz FLOODrisk 2020), siehe <https://repozitorium.omikk.bme.hu/handle/10890/15562>

Externe Anwendungen des Tools

2017: Maria Kaiser (Prof. in TU München), "*Risk-based flood protection planning under climate change and modeling uncertainty: a pre-alpine case study*", (siehe <https://nhess.copernicus.org/articles/18/1327/2018/nhess-18-1327-2018.pdf>) (vgl. "HIRI(1)17_Kaiser_Article NHES")

2017: Helen Harzendorf (RWTH Aachen/STEB Köln) (Masterarbeit) „*Anwendung und Weiterentwicklung eines Instruments zum Nachweis der Reduzierung des Überflutungsrisikos im Stadtgebiet Köln*“ (vgl. „HIRI(1)17_Harzendorf“)

2017/2018: Austausch mit anderen NutzerInnen wie z.B. LfU BY, wurde in dem Protokoll „HIRI(1)18-02“ zusammengefasst.

2019: Iris Buntrock (Uni. Darmstadt und Büro Infrastruktur und Umwelt, Sandra Pennekamp) (Bachelorthesis): „*Ansätze zur Wirkungsermittlung von Maßnahmen im Hochwasserrisikomanagement: Nachweis der Änderung des Hochwasserrisikos im Einzugsgebiet der Donau (Baden-Württemberg) mit Hilfe des FloRiAn-Tool*“ (siehe „HIRI(2)18-03_IrisBuntrock Bachelorarbeit“)

2019: Erika Lindqvist (Uni. Göteborg, SE) (Master thesis), "*Investigating flood risk cost in Kungsbacka (Sweden) using the ICPR FloRiAn GIS-tool*" (siehe <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/62245>)

2016 – 2021: Weitere unterschiedliche Anwendungen, wie z.B. Untersuchung der Effekt des Deichschutzes für die Stadt Neuss, Nutzung des Tools im Projekt BMBF-R2K-Klim+ (RWTH Aachen), Vergleich FloRiAn vs. LATIS durch Flandern (BE), Nutzung des Tools durch die National University of Malaysia.

Anlage 2a: Liste der für die Methode verwendeten Maßnahmen und Indikatoren und deren Wirkung auf die Schutzgütertypen sowie auf Schaden oder Risiko

Maßnahmentyp nach HWRM-RL	Indikator	Effekt auf: Potenzieller Schaden Risiko Berücksichtigte/betroffene Schutzgüter: Mensch Umwelt Kulturerbe Wirtschaft
Vermeidung		
Raumordnung, Regionalplanung und Bauleitplanung	Bauvorschriften/Bebauungspläne, in welchen Vorgaben zum HW-Schutz enthalten sind (HW-angepasstes Bauen)	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe Wirtschaft
Freihaltung von Überschwemmungsgebieten und Angepasste Flächennutzung	Änderung der Landnutzungsdaten (CLC-Daten)	Potenzieller Schaden Mensch Wirtschaft
Hochwasserangepasstes Planen, Bauen, Sanieren	Durchgeführte Maßnahmen hochwasserangepasster Bebauung	Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft
Technischer Objektschutz bei Haushalten/Gemeinden Technischer Objektschutz bei gefährdende Anlagen	Geschützte Flächen durch technischen Objektschutz bzw. mobile Systeme	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft Umwelt
Hochwasserangepasste Lagerung wassergefährdender Stoffe bei Haushalten/Gemeinden Technischer Objektschutz bei gefährdende Anlagen	Sicherung Öltanks bzw. Lagerung in hohen Stockwerken	Potenzieller Schaden Kulturerbe, Wirtschaft Umwelt
Bereitstellung von Hochwassergefahren- und risikokarten / Bewusstseinsbildung zur Eigenvorsorge, Aufklärung und Vorbereitung auf den Hochwasserfall	Häufigkeit/Aktualisierungsfrequenz von Informationskampagnen	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft
Hochwasserschutz		
Retentionsmaßnahmen	Änderung der Wahrscheinlichkeit	Potenzieller Schaden Risiko Mensch, Umwelt, Kulturerbe, Wirtschaft
Deiche, Dämme, Hochwasserschutzmauern, mobiler Hochwasserschutz, ...	Für diese Maßnahmen wird auch eine Wahrscheinlichkeit angegeben: Prozentuale Entwicklung /Änderung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit zwischen 1995 und heute durch Schutzverbesserungen	Potenzieller Schaden Risiko Mensch, Umwelt, Kulturerbe, Wirtschaft
Unterhaltung/Erneuerung Technischer HWS Anlagen		
Vorsorge		
Hochwasserinformation und Vorhersage	Verbesserung der HW-Vorhersage innerhalb eines definierten Zeitraumes.	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft
Alarm- und Einsatzplanung (inkl. Wiederaufbau) /Warnung der Betroffenen / Übungen / Schulung	Vorhandensein und Aktualisierungsfrequenz Alarm- und Einsatzplänen; Anzahl Warnsysteme (Warnwege bzw. Kommunikationsmittel);	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft
	Angabe zu Katastrophenschutzübungen inkl. der Häufigkeit	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft
Sicherheit/Sicherung/Evakuierung von (potentiell) betroffenen Personen	Angabe einer minimalen und maximalen Sicherungsrate für die Betroffenen auf ein bestimmtes Gebiet	Mensch

Anlage 2b: Überblick über die gelieferten Daten zu den nationalen Maßnahmen/Indikatoren (inkl. Sicherungsrate)

Hinweis: In der Tabelle bedeutet „keine Daten geliefert (-)“, dass die Delegation nicht über die Daten verfügt und/oder die Maßnahme nicht auf sie zutrifft.

Maßnahmen/Indikatoren		Staaten/Länder					
Nr.	Bezeichnung	AT ²⁹	CH ³⁰	D ³¹	FR ³²	LI ³³	NL ³⁴
Schutzgut Mensch, Kultur, Wirtschaft							
I.1.1	Flächenvorsorge	+	+	+	+	-	+
I.3.1*	HW-angep. Bebauung	+	+	-	+	-	+
I.3.2*	Techn. Objektschutz	+	+	-	+	-	-
I.3.3*	Angep. Lagerung	+	-	-	+	-	-
I.4.1	Infokampagnen/HWGK	+	+	+	+	+	+
III.1.1	Vorhersage ³⁵	+	+	+	+	+	+
III.2.1	Warnung, Einsatzplanung etc.	+	+	+	+	+	+
Sicherungs-/Evakuierungsrate (Mensch)		+	+	+	+	+	+
Schutzgut Umwelt							
I.3.2	Techn. Objektschutz	-	-	+	+	-	+
I.3.3	Angep. Lagerung	-	-	+	+	-	+

*Datenbereitstellung, eingestuft als nicht prioritär durch die EG HIRI (2019)

²⁹ AT: Selbe Angaben wie 2016 Berechnungen. I.3.2 (Umwelt) und I.3.3 (Umwelt): Es sind Anlagen zum technischen HW-Schutz in Österreich vorhanden, da jedoch keine Angaben zum Schutzgrad gemacht wurden, sind die Daten für die Berechnungen nicht verwendet worden.

³⁰ CH: Lediglich III.2.1 wurde 2019 aktualisiert. Bei den anderen Indikatoren hat es entweder keine Änderung gegeben oder es stehen keine Daten zur Verfügung.

³¹ DE: Bei den alten Ergebnissen wurde für Deutschland Daten aus BW auf die anderen BL extrapoliert. Hingegen haben für die vorliegende Untersuchung alle deutschen Bundesländer am Rhein Daten geliefert. Details: I.1.1, I.4.1 und III.2.1 (sowie Sicherungsrate) durch alle BL neu geliefert. I.3.2 (Umwelt): alle BL außer BY. I.3.3 (Umwelt): RP und NRW.

³² FR: Alles wurde, wenn nötig, aktualisiert außer I.3.2.

³³ LI: Selbe Angaben wie 2016 Berechnungen. Hinweis zu I.1.1 und I.3.1: Diese Maßnahmen existieren in Liechtenstein. Es gibt jedoch keine Datensätze, da, wie in den meisten anderen Ländern auch, für das Extremereignis keine Vorschriften bestehen. Für die häufigeren Ereignisse sind keine Flächen betroffen und können deshalb nicht angegeben werden. I.3.2 (Umwelt): es gibt in Liechtenstein keine IVU/IE, SEVESO-Anlagen. D. h. die Daten wurden nicht geliefert. Es gibt eine einzige Kläranlage, die bei HQ_{extrem} betroffen ist und für das Ereignis nicht genügend geschützt werden kann.

³⁴ NL: I.1.1, I.3.3, I.4.1, III.2.1 (sowie Sicherungsrate) wurden aktualisiert. Der Rest stammt aus den Berechnungen von 2016.

³⁵ Angaben über die Hochwasservorhersagezentralen am Rhein (HWVZ) geliefert.

Aktualisierte Angaben zur Sicherungs-/Evakuierungsraten:

Minimale Sicherungs-/Evakuierungsrate (ohne Maßnahmen) (in %) EVAFRAC		Maximale Sicherungs-/Evakuierungsrate (mit Maßnahmen) (in %) EVAFMAX
z. B.: 20 = 20 % der Einwohner können in Sicherheit gebracht werden		z. B.: 80 = 80 % der Einwohner können in Sicherheit gebracht werden
CH, AT, LI (keine Änderungen der alten Daten):		
	20	80
DE (Politik „Keinen Mensch hinterlassen“), FR		
	100	100
NL (Angaben pro Teileinzugsgebiet)		
Teileinzugsgebiet		
Bovenrivierengebiet	76	83
Übergangsgebiet zur Rhein-Maasmündung	64	71
Östliche Rhein-Maasmündung	12	29
IJsseldelta	55	65

Anlage 3: Zusammenfassung der verwendeten Eingangsdaten

Eingangsdaten	
Daten	Wer/Wo?
Allgemein	
Administrative/Politische Grenzen	Rheinatlas 2020, HWRM-RL Karten, LAU/NUTS Datensätze (ECOSTAT)
Überschwemmungstiefe/-gebiete	
Überschwemmungstiefen- und gebiete (Raster) 3 Szenarien, Zeitpunkt 2020	Rheinatlas 2020
Überschwemmungswahrscheinlichkeiten	
Überschwemmungswahrscheinlichkeiten - Alpenrhein bis Iffezheim (inkl. Bodensee)	IKSR/HIRI (vgl. technischer HIRI-Bericht Nr. 237, aktualisiert), 2. IHWRM-Plan der IFGE Rhein
Überschwemmungswahrscheinlichkeiten - Iffezheim bis Deltarhein (<i>siehe auch unten "Wasserstandsenkende Maßnahmen"</i>)	IKSR/HVAL (vgl. Bericht Nr. 199 u. 229 sowie technischer HIRI-Bericht Nr. 237)
Strecken mit Wahrscheinlichkeitsangaben pro HW-Szenario (polygonen, shp) (<i>siehe auch unten "Wasserstandsenkende Maßnahmen"</i>)	IKSR/HIRI/HVAL (vgl. Bericht Nr. 199 u. 229 sowie technischer HIRI-Bericht Nr. 237, aktualisiert)
Landnutzung	
CORINE Landcover 2018 (in der Testphase/für Sensitivitätsanalyse auch Verwendung von CLC 2006)	Copernicus (EU)
CLC Changes 2006-2012 u. 2012-2018	
Schutzgut Wirtschaft (<i>siehe auch Landnutzung</i>)	
Schadensfunktionen (aus Rheinatlas 2001)	IKSR (Rheinatlas 2001), Staaten/Länder
Spezifische Vermögenswerte (aus Rheinatlas 2001)	IKSR (Rheinatlas 2001), Staaten/Länder
Wirtschaftswachstum/Verbraucherpreisindex (u.a. für Szenario 2030)	IKSR, Staaten/Länder (vgl. technischer HIRI-Bericht Nr. 237)
Schutzgut Mensch	
Einwohner 3 Szenarien, Zeitpunkt 2020	Rheinatlas 2020 (einige Angaben konnten auch aus dem Rheinatlas 2015 entnommen werden)
Bevölkerungsveränderung/-prognose	Rheinatlas 2020
Schutzgut Kulturerbe	
Kulturgüter/Kulturerbe	Rheinatlas 2020 (<i>Hinweis: aus technischen Gründen im Zusammenhang mit dem aktuellsten FloRiAn-Tool, wurden für die aktuelle Berechnungen pro Hochwasserszenario ein spezifischen Kulturgüter-Eingabedatensatz verwendet. Die alte Version von FloRiAn wurde benutzt.</i>)
Schutzgut Umwelt	
Trinkwasserschutz- und -entnahmegebiete	Rheinatlas 2020
FFH-Schutzgebiete	Rheinatlas 2020
Vogelschutzgebiete	Rheinatlas 2020
IE/IVU-Anlage (shp-Files) und/oder SEVESO-Betriebsbereiche (shp-Files)	Rheinatlas 2020, HIRI (vgl. nationale Maßnahmen/Indikatoren)
Kläranlagen (shp-Files)	Rheinatlas 2020, HIRI (vgl. nationale Maßnahmen/Indikatoren und auch technischer HIRI-Bericht Nr. 237), IKSR/EEA (oder nationale Datenbanken)
Strecken in gutem oder sehr gutem ökologischem Zustand (laut WRRL) (<i>nicht mehr verwendet in 2021</i>)	IKSR (WRRL)/BWP
Maßnahmen/Indikatoren (<i>allgemein, für präzisere Informationen zu den Maßnahmen/Indikatoren, siehe technischer HIRI-Bericht Nr. 237</i>)	
Realisierung der nationalen Maßnahmen (Indikatoren)	HIRI, HWVZ (Vorhersagezentralen am Rhein), Staaten/Länder, 1. und 2. IHWRM-Plan der IFGE Rhein
Evakuierungsraten	HIRI, Staaten/Länder
Wirkung/Effekte der Maßnahmen (Indikatoren)	Literatur/IKSR-HIRI/HKV, vgl. technischer HIRI-Bericht Nr. 237
Hochwasserschutzanlagen	Rheinatlas 2020
Änderung der Hochwasserschutzanlagen (Verringerung der ÜSG) (in unserem Fall, neue Maßnahme aus dem NL-Deichsanierungsprogramm)	Rheinatlas 2020, zusätzliche NL-Angaben
Wasserstandsenkende Maßnahmen	HVAL (Bericht Nr. 199 und 229), technischer HIRI-Bericht Nr. 237 2. IHWRM-Plan der IFGE Rhein (letzten Stand der Umsetzung der Maßnahmen, nicht verwendet in den HIRI-Berechnungen)

Anlage 4: Überflutungsflächenanteil pro Staat und pro Hochwasserszenario

Flood waterdepth areas per countries							
EXT							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH	AT	LI
1 (0-49 cm)	49	18560	33158	1279	2133	3869	127
2 (50-199 cm)	199	63726	144661	17	3846	3382	1027
3 (200-299 cm)	299	103561	181196	27	3869	1975	2319
4 (300-9999 cm)	9,999	114927	49162	73	3365	208	0
TOTAL (Hectar)		300,774	408,177	1,396	13,213	9,434	3,473
TOTAL (Km2)		3,007.74	4,081.77	13.96	132.13	94.34	34.73
ME							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2347	27343		20	147	
2 (50-199 cm)	199	8386	97213		21	237	
3 (200-299 cm)	299	24749	78561		19	99	
4 (300-9999 cm)	9,999	34445	16735		52	138	
TOTAL (Hectar)		69,927	219,852		112	621	
TOTAL (Km2)		699.27	2,198.52		1.12	6.21	
ME30 (NL dike improvement)							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2348	677		20	147	
2 (50-199 cm)	199	8389	9096		21	237	
3 (200-299 cm)	299	24748	15460		19	99	
4 (300-9999 cm)	9,999	34444	6406		52	138	
TOTAL (Hectar)		69,929	31,639		112	621	
TOTAL (Km2)		699.29	316.39		1.12	6.21	
LO							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2595	2444		0	60	
2 (50-199 cm)	199	11450	15206		2	131	
3 (200-299 cm)	299	12632	11419		42	122	
4 (300-9999 cm)	9,999	23277	2571		23	144	
TOTAL (Hectar)		49,954	31,640		67	457	
TOTAL (Km2)		499.54	316.40		0.67	4.57	