

# Nachweis der Minderung des Hochwasserrisikos (APH, Handlungsziel 1) unter Berücksichtigung der Maßnahmentypen und Schutzgüter der HWRM-RL

- Synthesebericht -



Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Bericht Nr. 236*



Mit der Unterstützung von:



HKV Hydrokontor  
Aachen

HKV Consultants/Lijn in water  
Lelystad

**IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisiken“ (EG HIRI) im Rahmen der Arbeitsgruppe Hochwasser (AG H):**

Hendrik Buiteveld (Vorsitzender)  
Wolfgang Zwach (DE), Lennart Gosch (DE-BW), Jürgen Reich (DE-BW)  
Holger Kugel (IKSMS)  
Urs Nigg (CH), Markus Hostmann (CH)  
Jean-Pierre Wagner (FR), Régis Creusot (FR)  
Max Schropp (NL), Frank Alberts (NL)  
Clemens Neuhold (AT)  
Reinhard Vogt, Sabine Siegmund (HWNG Rhein)

**IKSR-Sekretariat:** Anne Schulte-Wülwer-Leidig, Adrian Schmid-Breton,  
Dominique Falloux, Isabelle Traue, Fabienne van Harten, Marianne Jacobs

**Weitere Beitragende:**

HKV Hydrokontor & HKV Lijn in Water Gesa Kutschera, Ton Botterhuis  
Andreas Kaufmann (AT), 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

ISBN???

© IKSr-CIPR-ICBR 2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>4</b>
<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Methode zum Nachweis der Wirkung von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Berechnungsmethode .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Menschliche Gesundheit .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Umwelt .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Kulturerbe .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten .....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch hochwasserreduzierende Maßnahmen .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Ergebnisse der Auswertung .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Allgemeines .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Menschliche Gesundheit (potenziell betroffene Personen) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Umwelt .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Kulturerbe .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten .....</b>	<b>25</b>
<b>3. Bewertung der Indikatoren und der Methode .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Indikatoren .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Weitere Präzisierungen zur Methode .....</b>	<b>29</b>
<b>Anlage .....</b>	<b>31</b>

## Status des Dokuments

Die **IKSR** hat zum Nachweis der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko eine **Methode** entwickelt, die in einem **Geoinformationssystem (GIS)** umgesetzt worden ist.

Dieser **Synthesebericht** (IKSR-Fachbericht Nr. 236, 2016) 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. Außerdem enthält der Bericht eine Bewertung der Wirkung von Maßnahmen und Indikatoren, Empfehlungen zur Weiternutzung des Instruments durch die IKSR und durch Dritte sowie Regeln für die Weitergabe des Instruments.

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.

Die Entwicklung der Methodik und des GIS-Instruments sowie die damit durchgeführten Berechnungen erfolgten im Zeitraum 2013 bis 2016 im Rahmen der IKSR mit Hilfe des Konsortiums HKV Hydrokontor und HKV Lijn in Water. Die IKSR-Expertengruppe „Hochwasserrisikoanalyse“ der Arbeitsgruppe Hochwasser hat den IKSR-Auftrag an das Konsortium begleitet und die Arbeiten nach Vertragsende fortgesetzt.

### **Hinweis zur Weitergabe des Instruments an Drittanwender:**

Die Weitergabe des Instruments und dessen Nutzeranleitung (Users Guide) sind möglich und werden im Grundsatz kostenlos, ggf. gegen Aufwandsentschädigung, erfolgen.

Die künftigen Anwender arbeiten mit dem Instrument eigenverantwortlich. Im Gegenzug sollen die Anwender gebeten werden, 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.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

1998 haben die Rheinanliegerstaaten im Aktionsplan Hochwasser (APH, 1998) als eines von vier Zielen festgelegt, das Hochwasserschadensrisiko bis 2005 um 10 % und bis 2020 um 25 % im Vergleich zu 1995 zu senken. Die IKSR hat bisher regelmäßige Evaluierungen für den APH durchgeführt. Bei den Nachweisen der Minderung des Schadensrisikos ist für die Jahre 2000 und 2005 eine eher qualitative Methode verwendet worden (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 157).

Das wichtigste Ziel der seit 2007 geltenden Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL; Richtlinie 2007/60/EG) ist die Verringerung hochwasserbedingter nachteiliger Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten. Im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung des [Hochwasserrisikomanagementplans für die Internationale Flussgebietseinheit Rhein \(HWRM-Plan\)](#) und der Umsetzung der HWRM-RL in 6-Jahreszyklen ist gleichfalls eine Evaluierung vorgesehen. Analog zum APH soll künftig in der IKSR für den gesamten Rheinhauptstrom die Hochwasserrisikoentwicklung mit Berücksichtigung umgesetzter HWRM-Maßnahmen bewertet werden.

Sowohl für die Überprüfung des APH als auch für den HWRM-Plan hat die IKSR ein Instrument zur Evaluierung entwickelt. Ziel der Berechnungen im Rahmen der IKSR war es, eine quantitative Aussage treffen zu können.

Im Gegensatz zur Bewertung der Wirksamkeit von Hochwassermaßnahmen für das Jahr 2005 im Rahmen des APH wurden hier auch die Gebiete am Rhein stromaufwärts von Iffezheim, der Hochrhein, der Bodensee und der Alpenrhein einbezogen. Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse beziehen sich hinsichtlich der Eingangsdaten, der Auflösung und Raumbezug auf die Ebene des gesamten Rheinhauptstroms (großskalige Betrachtung) und erlauben eine Einschätzung der Wirkung von Maßnahmen im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements.

Die Berechnungen zum **Nachweis der Entwicklung des Hochwasserrisikos** haben auf der Ebene des Rheins Folgendes ergeben:

Bei Betrachtung des Risikos für den **Menschen** stellt man fest, dass insbesondere die Sicherung/Evakuierung vom Hochwasser betroffener Personen eine wichtige Rolle spielt. Maßnahmen wie die Sicherung/Evakuierung potenziell Betroffener, die Sensibilisierung, die Hochwasservorhersage und Warn- und Alarmpläne sowie die Änderung der Wahrscheinlichkeiten helfen, das Hochwasserrisiko abzuschwächen. Bei Umsetzung aller Maßnahmen und über die drei Hochwasserszenarien hinweg lässt sich eine Reduzierung des Risikos für den Menschen von ca. 20 bis 40 % (Zeitraum 1995-2005), ca. 70 % bis 80 % (Zeitraum 1995-2020) und ca. 70 % bis 90 % (Zeitraum 2015-2030) feststellen. Der Einfluss der Maßnahmen „Flächenvorsorge“ und „technischer Objektschutz“ auf die bestehenden Risiken ist demgegenüber relativ gering. Die Maßnahmen zur Flächenvorsorge dienen insbesondere der Vermeidung neuer Risiken.

Bei Betrachtung der **Kulturgüter** und der **Umwelt**, - die auf Ergebnissen neuer experimenteller nicht erprobter Methoden basieren, - stellt man fest, dass der Schaden an Kulturgütern und an der Umwelt sich über alle auf Basis der Bedeutung bzw. Vulnerabilität definierten Schadensklassen infolge der Maßnahmen mit fortschreitender Zeit bei allen Szenarien verringert. Das Gleiche gilt für das Hochwasserrisiko für Kulturgüter und für die Umwelt.

Über alle Hochwasserszenarien hinweg wird eine Reduzierung bei dem Schaden und dem Risiko von ca. 10 % für das Kulturerbe und von ca. 5 % für die Umwelt für den Zeitraum 1995-2005 festgestellt, ca. 40 % bis 70 % für das Kulturerbe und die Umwelt für den Zeitraum

1995-2020 sowie ca. 50 % bis 70 % für das Kulturerbe und die Umwelt für den Zeitraum 2015-2030.

Allerdings muss insbesondere für den Bereich der Umwelt hervorgehoben werden, dass wegen nur weniger Angaben zu Maßnahmen genaue Aussagen zurzeit schwierig sind. Wie bei den anderen Schutzgütern wird die Risikoveränderung maßgeblich durch die Veränderung der Hochwasserswahrscheinlichkeiten seit 1995 aber insbesondere ab dem Zeithorizont 2020 hervorgerufen.

Für die **Wirtschaft** kann festgestellt werden, **dass das APH-Ziel, eine Reduzierung des Hochwasserschadensrisikos von 10 % bis 2005, nachgewiesen werden konnte und dass die Reduzierung von 25 % bis 2020 gegenüber 1995 erreicht werden kann.**

Diese Erkenntnisse bestätigen die frühere Untersuchung der IKSR zum Zustand 2005 (Bericht Nr. 157). Die Ergebnisse zeigen zudem über alle Hochwasserszenarien für die Zukunft, d.h. für den Zeitraum 2015-2030 eine Risikoreduzierung von ca. 20 % bis 45 %.

Die durchgeführten Berechnungen für die verschiedenen Zeithorizonte zeigen, dass mit zunehmender Zeit die Umsetzung der Maßnahmen vorangetrieben worden ist oder wird, was sich in den Ergebnissen widerspiegelt. D.h., die seit 1995 laufende Umsetzung unterschiedlicher Maßnahmen zur Vermeidung und Vorsorge einschließlich der Hochwasservorhersagen und der Frühwarnsysteme sowie (der Vorbereitung des) Krisenmanagements führt mit fortschreitender Zeit dazu, dass das Schadenswachstum im Überflutungsgebiet gegenüber der Situation ohne Maßnahmen gedämpft wird. Das gilt für Maßnahmen im Bereich Schutz, wie z.B. Retentionsmaßnahmen, die dazu beitragen, das Risiko zu verringern. Insbesondere tragen die Retentionsmaßnahmen am Rheinhauptstrom sowie die niederländischen Maßnahmen im Rahmen von „Raum für den Fluss“ durch Reduzierung der Wasserstände und daraus resultierender Änderung der Wahrscheinlichkeit, die flussabwärts von Iffezheim seit 1995 bereits realisiert wurden oder deren Fertigstellung bis 2020 oder 2030 geplant sind, erheblich am Rheinhauptstrom zur Minderung des Hochwasserrisikos bei.

Auf der Grundlage der Kriterien **Wirksamkeit, Aufwand** bei der Datensammlung und **Relevanz** der Aussagen für die Ebene des Rheinhauptstroms gibt es einige wichtige **Indikatoren**, die es – global gesehen - erlauben, die Effekte und Entwicklungen von Hochwasserrisikomanagementmaßnahmen zu belegen. Dies sind insbesondere:

- Freihaltung von Überschwemmungsgebieten sowie Festlegung von Bauvorschriften (*Indikatoren: Änderung der Landnutzungsdaten und Bauvorschriften/Bebauungspläne*)
- Umsetzung wasserstandsensinkender Maßnahmen (*Indikator: Änderung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit*)
- Hochwasserschutz (*Indikator: Angabe einer Wahrscheinlichkeit/eines Schutzniveaus und einer Entwicklung/Änderung mit der Zeit*)
- Sensibilisierung der Bevölkerung durch u.a. Bereitstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten (*Indikator: Häufigkeit/Aktualisierungsfrequenz von Informationskampagnen*)
- Hochwasservorhersage und -meldung (*Indikator: Verbesserung der Hochwasservorhersage*)
- Krisenmanagement (*Indikatoren: Vorhandensein und Aktualisierungsfrequenz von Alarm- und Einsatzplänen; Anzahl der Warnsysteme, Angabe zu Katastrophenschutzübungen, Angabe einer minimalen und maximalen Sicherungsrate für die Betroffenen in einem bestimmten Gebiet*)

Aufgrund der gewonnenen Erfahrungen genügt es, für eine effektive Bewertung der Maßnahmen für die Ebene des Rheinhauptstroms mit den zuvor genannten Indikatoren weiter zu arbeiten.

Die IKSR plant, das im Zeitraum 2014-2016 entwickelte Nachweisinstrument künftig für die **regelmäßige Überprüfung des HWRM-Plans für die IFGE Rhein anzuwenden** und die Methodik weiter zu entwickeln.

Die IKSR befürwortet die **Weitergabe und Nutzung des Instruments einschließlich seiner zu Grunde liegenden Methode** nicht nur **an alle Staaten im Rheineinzugsgebiet**, sondern auch an regionale und nationale Behörden im Rheineinzugsgebiet (Staaten/Regionen/Ländern oder auch kleineren Gebieten).

Dasselbe gilt für die Anwendung des Instrumentes in **anderen internationalen und nationalen Flussgebietskommissionen oder interessierten Staaten**, d.h. die IKSR bietet es anderen Flussgebietseinheiten oder Flussgebietskommissionen, Forschungsinstituten, Universitäten, zwischenstaatlichen Kommissionen und Nicht-Regierungsorganisationen zur Anwendung an.

Hervorzuheben ist, dass bei Anwendung des Instrumentes in anderen Flussgebieten oder Teileinzugsgebieten entsprechende Datengrundlagen für die Berechnungen vorliegen müssen, die für die Anwendung des Instruments spezifisch aufzubereiten sind.

## Einleitung

1998 haben die Rheinanliegerstaaten im Aktionsplan Hochwasser (APH, 1998) als eines von vier Zielen festgelegt, das Hochwasserschadensrisiko bis 2005 um 10 % und bis 2020 um 25 % im Vergleich zu 1995 zu senken. Die IKSR hat bisher regelmäßige Evaluierungen für den APH durchgeführt. Bei den Nachweisen der Minderung des Schadensrisikos ist für die Jahre 2000 und 2005 eine eher qualitative Methode verwendet worden (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 157).

Das wichtigste Ziel der seit 2007 geltenden Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL; Richtlinie 2007/60/EG) ist die Verringerung hochwasserbedingter nachteiliger Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten. Im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung des [Hochwasserrisikomanagementplans für die Internationale Flussgebietseinheit Rhein \(HWRM-Plan\)](#) und der Umsetzung der HWRM-RL in 6-Jahreszyklen ist gleichfalls eine Evaluierung vorgesehen. Analog zum APH soll künftig in der IKSR für den gesamten Rheinhauptstrom die Hochwasserrisikoentwicklung mit Berücksichtigung umgesetzter HWRM-Maßnahmen bewertet werden.

Sowohl für die Überprüfung des APH als auch für den HWRM-Plan Rhein Teil A hat die IKSR ein Instrument zur Evaluierung entwickelt. Ziel der Berechnungen im Rahmen der IKSR war es, eine quantitative Aussage treffen zu können.

Das Hochwasserrisiko ist das Produkt aus Schadenpotenzial und seiner Hochwasserwahrscheinlichkeit. Laut HWRM-RL wird zwischen der menschlichen Gesundheit, der Umwelt, dem Kulturerbe und den wirtschaftlichen Tätigkeiten unterschieden. Bei allen vier Schutzgütern stehen die von Hochwasserereignissen verursachten direkten Folgen/Schäden<sup>1</sup> im Fokus.

In Bezug auf die Festlegung des Hochwasserrisikos für die vier Schutzgüter gehen die nationalen, auf der Ebene des Rheins gesammelte Angaben aus den Hochwasserrisikokarten (HWRK) nach HWRM-RL (siehe [Rheinatlas 2015](#)) in den Berechnungen ein. Außerdem werden theoretische, geplante oder realisierte Maßnahmen laut Kategorieneinteilung der HWRM-RL (siehe „[Guidance for Reporting under the Floods Directive \(2007/60/EC\)](#)“) berücksichtigt sowie deren Effekt auf die Entwicklung des Risikos abgeschätzt.

Für die menschliche Gesundheit wird als Kenngröße die Anzahl Betroffener bei einem Hochwasser verwendet.

Für die Bereiche Umwelt und Kulturgüter wird ein anderer Ansatz gewählt, wobei eine Einteilung auf Basis der Kombination von Wassertiefenklassen und eine Klasseneinteilung in Bezug auf die Verletzlichkeit (Vulnerabilität) potenziell betroffener Schutzgebiete sowie auf die Bedeutung von Kulturgütern verwendet wird. Das ergibt eine Matrix, mit der der potenzielle Schaden beurteilt werden kann.

Für die Festlegung des Risikos für wirtschaftliche Tätigkeiten werden Corine Land Cover (CLC) - Landnutzungskarten zusammen mit Hochwassergefahrenkarten (HWGK) nach HWRM-RL (siehe [Rheinatlas 2015](#)) verwendet, die für den gesamten Rheinhauptstrom vorliegen, obwohl die einzelnen Staaten meist detailliertere, innerstaatlich verfügbare Landnutzungsdaten verwenden. Für wirtschaftliche Tätigkeiten wird ein monetäres Risiko anhand der Überschwemmungshöhe bei einer bestimmten Wiederkehrzeit und der vorhandenen Vermögenswerte bestimmt.

---

<sup>1</sup> Abschätzungen von Folgeschäden z.B. durch Produktionsunterbrechungen erfolgen somit nicht.



Maßnahmen, die sich auf das Hochwasserrisiko auswirken, können in Maßnahmen unterteilt werden, die sich auf die Hochwasserwahrscheinlichkeit<sup>2</sup> und in Maßnahmen, die sich auf die potenziellen nachteiligen Folgen/den Schaden auswirken.

Im Rahmen der HWRM-RL sind auf EU-Ebene Maßnahmenkategorien aufgestellt worden. Für die hier verwendeten Maßnahmenkategorien gilt folgende Haupteinteilung: „Vermeidung“, „Schutz“ und „Vorsorge“. Die beiden Kategorien „Vermeidung“ und „Vorsorge“ enthalten Maßnahmen, die in erster Linie die potenziellen Folgen begrenzen. Es sind z. B. nichtbauliche Maßnahmen, Sensibilisierung, Erstellung von Vorhersagen, Kommunikation und Krisenmanagement. Die Maßnahmen zum „Schutz“ wirken sich in erster Linie auf die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit aus, indem sie beispielsweise durch Retentionsmaßnahmen wie Rückhalteräume, Deichrückverlegungen, etc., den Wasserstand senken.

Um den Stand der Umsetzung der geplanten Maßnahmen verfolgen zu können, wurden so genannte „Indikatoren“ definiert. Sie sollten

- repräsentativ für größere Maßnahmengruppen sein und
- mit den vorhandenen Datengrundlagen auch messbar sein.

Für jeden Indikator ist der Zusammenhang zwischen Realisierungsgrad der Maßnahme und den Folgen definiert worden. Wo möglich, geschieht dies auf der Grundlage quantifizierter Daten aber auch auf der Grundlage von Expertenwissen („expert judgement“). Die Wirkung einer Maßnahme ist das Resultat der Kombination ihres maximal möglichen Effekts und ihres Realisierungsgrades pro Zeithorizont und pro Gebiet.

Geo-Informationssysteme (GIS) bieten gute Möglichkeiten, unterschiedliche Arten von Informationen und Daten zu kombinieren, um eine Risikoanalyse durchzuführen. Die IKSR hat dafür dem Consortium HKV Hydrokontor und HKV Lijn in Water einen Auftrag erteilt, ein solches Instrument in GIS-Anwendung zu entwickeln.

## **1. Methode zum Nachweis der Wirkung von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko**

*In Kapitel 1 werden die Methode und Ergebnisse der Berechnungen für die Zeithorizonte 1995, 2005, 2015, 2020 und 2020plus<sup>3</sup> (~2030) für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten vorgestellt.*

### **1.1 Berechnungsmethode**

Die IKSR hat eine quantitative **Methode zur Bestimmung von Hochwasserrisiken und der Wirkung von Maßnahmen zur Risikominderung** entwickelt. Diese wurde für die Bewertung der Entwicklung der Hochwasserrisiken am Rhein im Zeitraum 1995-2015 bzw. bis 2020 als Teil der Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser und für die regelmäßige Überprüfung der Effekte von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko im Rahmen des HWRM-Plans Teil A für den Rhein verwendet. Bei entsprechender Datengrundlage kann die Methode aber auch in anderen (Teil)-Einzugsgebieten eingesetzt werden. Diese Methode ist als GIS-Anwendung implementiert worden.

---

<sup>2</sup> Für die Bestimmung der (Änderung der) Hochwasserwahrscheinlichkeit wird auf dem IKSR-Bericht Nr. 229 verwiesen.

<sup>3</sup> Maßnahmen des APH/des HWRM-Plans, die nach 2020 umgesetzt werden. Im Dokument als Ausbauzustand 2030 bezeichnet.

Die Basis für die Methode bildet die HWRM-RL mit den Hochwassergefahrenkarten (HWGK) bei niedrigen, mittleren und hohen Wahrscheinlichkeiten (im Folgenden HQextreme, HQmedium HQhigh genannt) mit ihren jeweiligen Überschwemmungstiefen und für verschiedene Maßnahmentypen. Des Weiteren gehen die Daten der Hochwasserrisikokarten (HWRK) für die vier Schutzgüter (menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten) in die Berechnungen ein. Das grundsätzliche Vorgehen ist Abbildung 1 zu entnehmen. Dabei ist das Hochwasserrisiko das Produkt des potenziellen Schadens und der Hochwasserwahrscheinlichkeit.

Das Konsortium HKV sowie die IKSR haben Berechnungen des Schadens und des Risikos für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten für die Zeithorizonte 1995, 2005, 2015, 2020 und 2030 durchgeführt. Dazu wurde die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen berechnet.

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. Die Staaten haben Daten zur Realisierung oder zur geplanten Umsetzung dieser Maßnahmen/Indikatoren für verschiedene Zeithorizonte (1995, 2005, 2015, 2020, 2030) gesammelt. Diese Daten wurden auf Ebene der IKSR zusammengeführt.

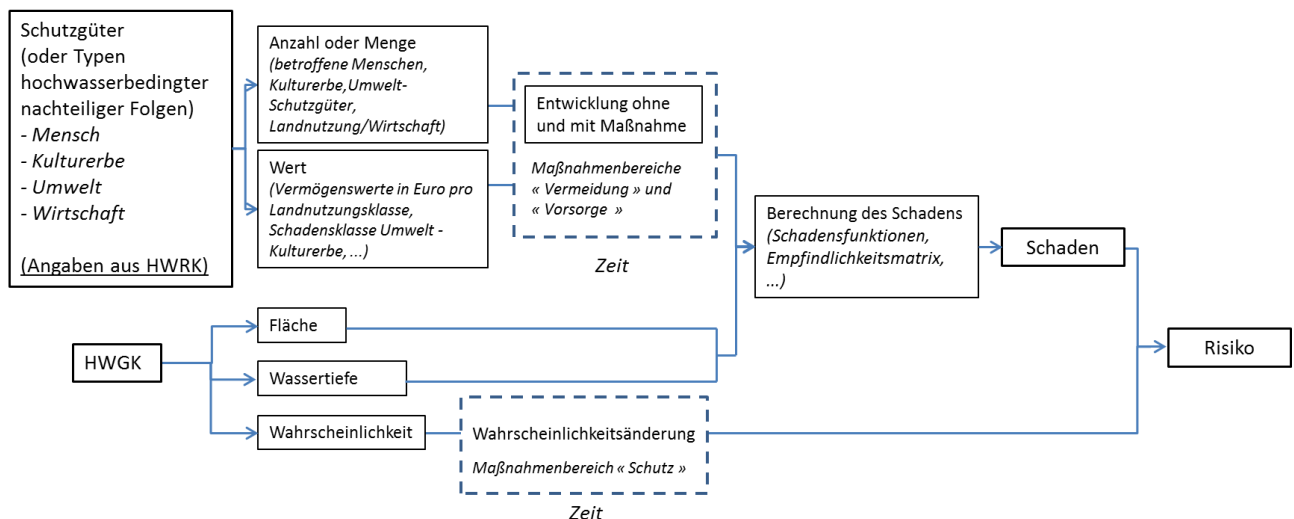


Abbildung 1: Vorgehen bei der Risikoanalyse

Bei der Betrachtung der Wirkung von Maßnahmen auf die Reduzierung des allgemeinen Hochwasserrisikos ist es wichtig, zwischen dem Schadenpotenzial und der Hochwasserwahrscheinlichkeit zu unterscheiden. Die allgemeine Wirkung von Maßnahmen auf die Entwicklung von Schaden, Hochwasserwahrscheinlichkeit und Hochwasserrisiko ist Abbildung 2 (sowie Anlage 1) zu entnehmen.

Generell ist festzuhalten, dass die nichtbaulichen Maßnahmen im Bereich „Vermeidung“ und „Vorsorge“ für eine Abnahme des Schadens sorgen, d.h. dass der normalerweise in der Zeit auftretende Schadenszuwachs gedämpft wird. Maßnahmen im Bereich „Schutz“ können durch die durch die Wasserstandreduzierung verursachte Minderung des Überflutungsmaßes auch einen Reduzierungseinfluss auf den Schaden haben. Allerdings wurden in der vorliegenden Untersuchung die Schutzmaßnahmen nur durch die Änderung/Verringerung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten infolge umgesetzter oder geplanter wasserstandsenkender Maßnahmen/Retentionsmaßnahmen berücksichtigt (vgl. Kap. 1.6). Dies hat einen Einfluss auf

das Risiko und nicht auf den Schaden. Die Schadensminderung und somit die Minderung der Hochwasserrisiken im Rahmen der vorliegenden Studie können daher unterschätzt werden. Der Grund dafür ist, dass nur die Überflutungsausdehnung aufgrund der Situation 2015 verfügbar ist und nicht die Überflutungsausdehnung für die anderen Zeithorizonte. Wie die Hochwasserwahrscheinlichkeit sich in Zukunft ohne Maßnahmen entwickelt, hängt auch vom Einfluss des Klimawandels ab. Mögliche Effekte des Klimawandels auf die Abflüsse sind in dieser Studie nicht berücksichtigt worden.

Werden Schaden, Hochwasserwahrscheinlichkeit und Maßnahmen miteinander kombiniert, ergibt dies eine Hochwasserrisikoänderung.

Diese Betrachtung gilt grundsätzlich für **alle vier Schutzgüter**.

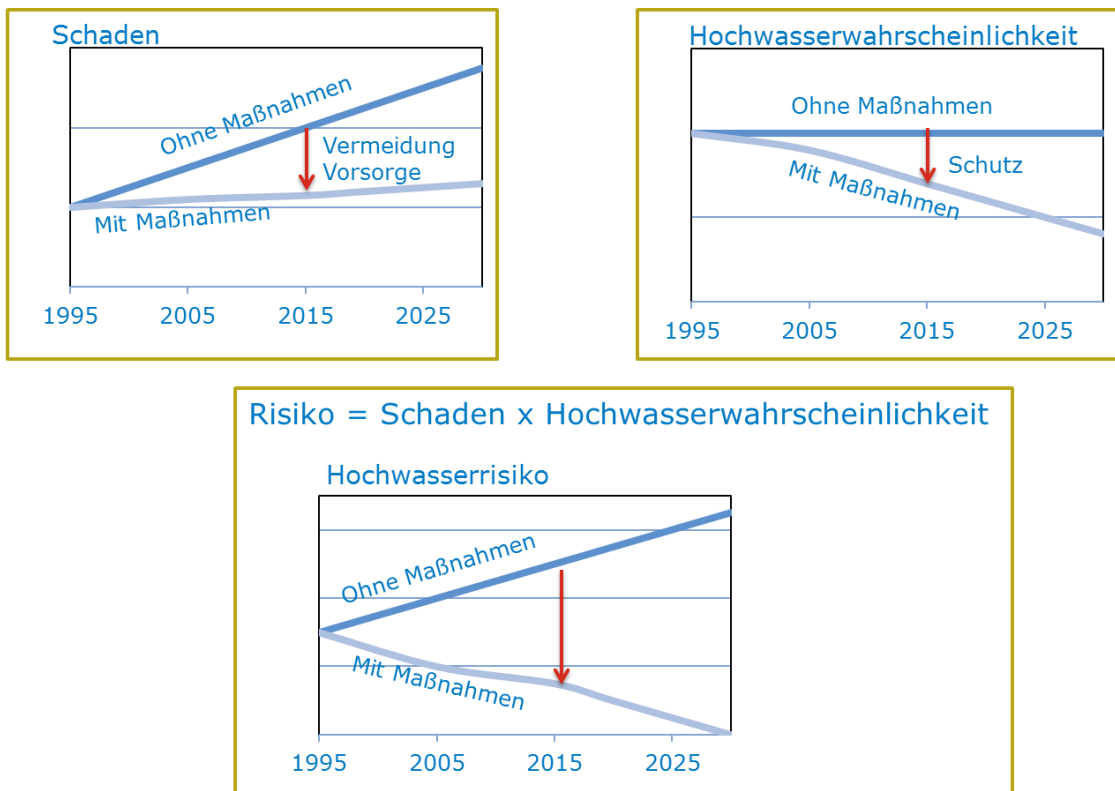


Abbildung 2: Definition des Hochwasserrisikos und Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen

Die spezifische Methodik zur Abschätzung der Hochwasserrisiken und der Wirkung von Maßnahmen auf die Entwicklung dieser Risiken, und die für das Rheineinzugsgebiet verwendeten großskaligen gemeinsam verfügbaren Datengrundlagen können von den - auf einer genaueren Datenbasis beruhenden - nationalen Berechnungsverfahren und -ergebnissen (z.B. im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementplanung) abweichen. Die Methode berechnet zwar absolute Werte für die Risiken, dargestellt werden aber belastbarere relative Änderungen.

## 1.2 Menschliche Gesundheit

Die Methodik für die Einbeziehung des Schutzgutes „Menschliche Gesundheit“ ist in Abbildung 3 dargestellt.

In einem ersten Schritt wird für jedes Hochwasserszenario getrennt nach Wassertiefenklassen die jeweils betroffene Bevölkerung ermittelt.

Die menschliche Gesundheit wird bei diesen Berechnungen als Anzahl potenziell von einem Hochwasser betroffener Personen im jeweils überfluteten Bereich definiert. Auf diese Weise können auch Maßnahmen wie Flächenvorsorge oder Bauvorsorge, die eine ändernde Wirkung auf die Anzahl betroffener Personen für verschiedene Zeithorizonte haben, berücksichtigt werden.

Aus dieser Information ergibt sich in einem zweiten Schritt die Anzahl von Personen pro Region, die im Vorfeld einer eventuellen Überflutung evakuiert werden können (= „Sicherungsrate“) und somit nicht mehr gefährdet sind. Diese „Sicherungsrate“ kann durch Maßnahmen wie Sensibilisierung, Vorhersage, Warnung und Krisenmanagement verbessert werden.

Das Risiko wird folgendermaßen berechnet:

Risiko für den Menschen = Anzahl Betroffener x (1 – Sicherungsrate) x Wahrscheinlichkeit [Häufigkeit/Jahr]

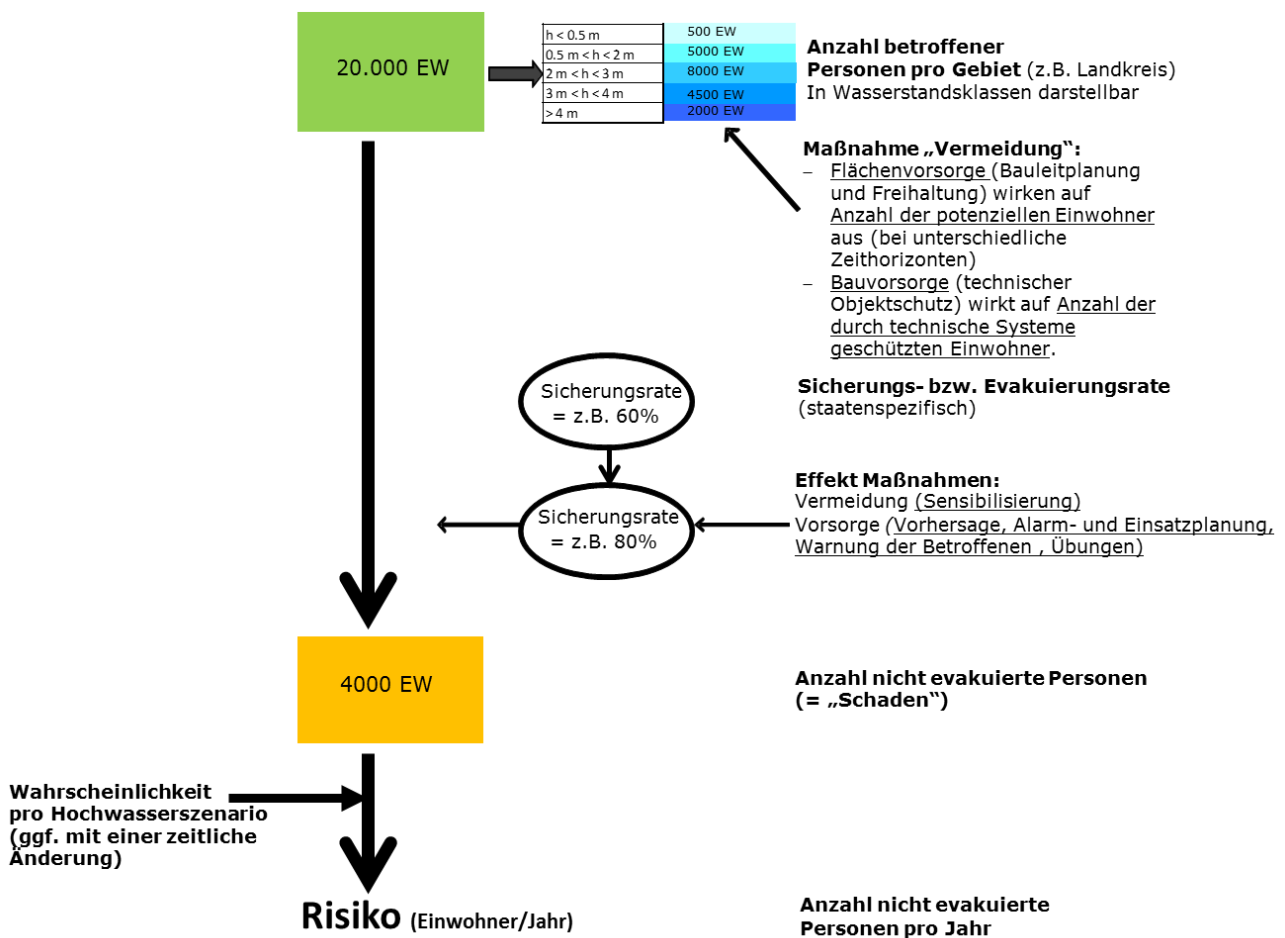


Abbildung 3: Hochwasserrisikoanalyse und Wirkung von Maßnahmen für die „Menschliche Gesundheit“

### 1.3 Umwelt

Diese neue Methode zur Bewertung hochwasserbedingter Risiken für die Umwelt<sup>4</sup> geht davon aus, dass nicht das Hochwasserereignis selbst, sondern die durch das Ereignis ausgelösten Überflutungen von Betrieben und Anlagen einen Schaden an Oberflächenwasserkörpern mit einem guten oder sehr guten ökologischen Zustand und an Schutzgebieten gemäß WRRL<sup>5</sup> verursachen. Als negative Folgen werden durch potenziell verschmutzende Anlagen (IVU-Anlagen<sup>6</sup>, SEVESO-Betriebsbereiche<sup>7</sup> und Kläranlagen) verursachte Verunreinigungen des Gewässers und des Überflutungsbereichs infolge von Hochwasser verstanden. Mögliche Schäden durch eine direkte Auswirkung eines Hochwassers auf die Umwelt werden in der Studie nicht berücksichtigt.

Die Bewertung des Schadens für die Umwelt (vgl. Abbildung 4) erfolgt in 2 Stufen:

- In der ersten Stufe wird das Verschmutzungspotenzial der Anlage mit der Wassertiefe kombiniert. Das höchste Verschmutzungspotenzial und die größte Wassertiefe stellen die höchste Bedrohung dar. Für jede Anlage und jedes Hochwasserszenario wird die jeweilige Bedrohung bestimmt und einer qualitativen Skala (1 bis 5) zugewiesen.
- In der zweiten Stufe wird die ökologische Bedeutung eines Schutzgebiets mit dieser Bedrohung kombiniert.

Diese Bewertung ergibt drei Schadensklassen „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ und führt zu einem Index pro Schutzgebiet. 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).

Beim Schutzgut Umwelt werden die Maßnahmen „technischer Objektschutz“ und „hochwasserangepasste Lagerung wassergefährdender Stoffe“ berücksichtigt (vgl. Anhang). Je besser eine Anlage vor Hochwasser geschützt ist, desto kleiner ist der potenziell betroffene Bereich flussabwärts und je geringer ist die Gefahr, dass eine Trinkwasserentnahme- und/oder ein Schutzgebiet betroffen ist.

---

<sup>4</sup> Dieser vereinfachende Ansatz für die großskalige Abschätzung der Hochwasserrisiken unterscheidet sich teilweise deutlich von den im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementplanung vorgenommenen Analysen des Hochwasserrisikos für entsprechende Anlagen.

<sup>5</sup> Anhang IV Nummer 1 Ziffern i und v der Richtlinie 2000/60/EG: Trinkwasser- und Quellschutzgebiete, Wasserabhängige Flora Fauna Habitats (FFH)-Gebiete, Wasserabhängige Vogelschutzgebiete

<sup>6</sup> Anlagen nach RL 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-RL; jetzt Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen - IE). Bei der Weiterentwicklung des Instruments sollten künftig IE-Anlagen betrachtet werden.

<sup>7</sup> Betriebsbereiche nach Richtlinie 96/82/EG zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (umgangssprachlich auch Seveso II-Richtlinie). Seit 1. Juni 2015 ist sie durch die Richtlinie 2012/18/EU (Seveso-III-Richtlinie oder Störfall-Richtlinie) ersetzt worden.

Verschmutzungspotenzial	Anlagen
1 (niedrig)	
2	IVU, Kläranlage
3	SEVESO1
4	SEVESO2
5 (hoch)	

Wasserstandsklassen	
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

Skala ökologische Bedeutung		Bedrohung*				
Ökol. Empfindlichkeit	Schutzgebietstyp	Niedrig → Hoch				
		1	2	3	4	5
Niedrig	Wasserabhängige Vogelschutzgebiete, Sonstige (verschiedene andere undefinierte Umweltschutzgüter)	1	1,5	2	2,5	3
Mittel	Wasserabhängige FFH-Gebiete, Oberflächenwasserkörper (WRRL)	1,5	2	2,5	3	3,5
Hoch	Trinkwasser- und Quellschutzgebiete	2	2,5	3	3,5	4

\*Bedrohung = (Verschmutzungspotenzial + Wasserstandsklassen)/2

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

Abbildung 4: Methode zur Beurteilung des Schadens für die Umwelt

### 1.4 Kulturerbe

Schäden an Kulturgütern können quantitativ mittels einer Kombination der Bedeutung des jeweiligen Kulturerbes<sup>8</sup> (je nach unterschiedlichem Kulturerbe: UNESCO Weltkulturerbe, Standorte von historischer Bedeutung, Denkmäler) und Wassertiefe geschätzt werden. Die hier entwickelte Matrix erlaubt eine relative, keine monetäre Bewertung.

Wenn Angaben für eine definierte/n Bedeutung/Wert eines Kulturgutes mit den Wassertiefen kombiniert werden, entsteht eine spezifische Matrix zur Beurteilung des Schadens für Kulturgüter (vgl. Tabelle 1). Während bei Kulturgütern mit geringer Bedeutung bei Wasserständen kleiner 2 m mit niedrigen Schäden zu rechnen ist, führen höhere Wasserstände von 2 Metern oder höher zu mittleren oder hohen Schäden.

Die Matrix-Bewertung ergibt für jedes Kulturerbe-Objekt einen Schadensindex, dem eine der drei Schadensklassen „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ zugewiesen wird. Für die vorliegende Studie werden alle Schadensindizes eines Objektes über allen Schadensklassen aufsummiert

<sup>8</sup> Aufgrund der im vorliegenden Projekt aggregierter Datenbasis für die großskalige Abschätzung der Hochwasserrisiken wurde ein vereinfachtes Verfahren entwickelt. Die Auswahl der Kulturgüter und deren Einstufung in die „Bedeutung“ weicht deshalb vom Vorgehen im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementplanung teilweise erheblich ab.

(= aufsummierter Schadensindex). Die Multiplikation des über allen Schadensklassen aufsummierten durchschnittlichen Schadensindex mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit ergibt das Risiko (= aufsummierter durchschnittlicher Schadensindex pro Jahr).

Hier wirken die gleichen Maßnahmen wie beim Schutzgut „Wirtschaftliche Tätigkeiten“ (vgl. Kap. 1.5), was in der Anlage detailliert vorgestellt wird.

Tabelle 1: Matrix zur Beurteilung des Schadens an Kulturgütern

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
---------------------	---------	--------	------

## 1.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten

Der wirtschaftliche potenzielle Schaden wird anhand von Landnutzungskarten (in diesem Fall Corine Land Cover Karten = CLC2006) und den drei Wassertiefenkarten für die drei Hochwasserszenarien mittels Schadensfunktionen „Wassertiefe-Schäden<sup>9</sup>“ und Vermögenswerten (entnommen aus dem IKSR-Rheinatlas 2001) für die Kategorien Siedlung, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft und Forst berechnet.

Vermögenswerte werden anhand der Wirtschaftswachstumsrate bzw. des Verbraucherpreisindex an die tatsächliche Lage/Periode (zeitlich) angepasst. Die Multiplikation des Schadens mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit, die sich auch infolge der jeweiligen Realisierung weiterer wasserstandsensibler Maßnahmen (vgl. Kap. 1.6) ändern kann, ergibt das Risiko (vgl. Abbildung 5).

Eine Berücksichtigung indirekter wirtschaftlicher Schäden durch Produktionsausfälle in den betroffenen Betrieben oder durch die Unterbrechung von Lieferketten ist nicht erfolgt. Diese Schäden können manchmal, beispielsweise in der Automobilbranche, die direkten potenziellen Schäden um ein Vielfaches überschreiten. Im Rahmen der in dieser Studie verfolgten großskaligen Analyse des Hochwasserrisikos standen detailliertere Daten, die für eine Berechnung der indirekten wirtschaftlichen Schäden mit dem hier erfolgten grundsätzlichen Ansatz auf kleinräumiger Ebene benötigt worden wären, nicht zur Verfügung.

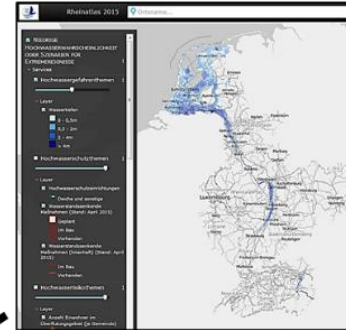
<sup>9</sup> Die Fließgeschwindigkeit wird bei dieser großskaligen Betrachtung außer Acht gelassen.

Landnutzung (z.B.: Corine Land Cover)



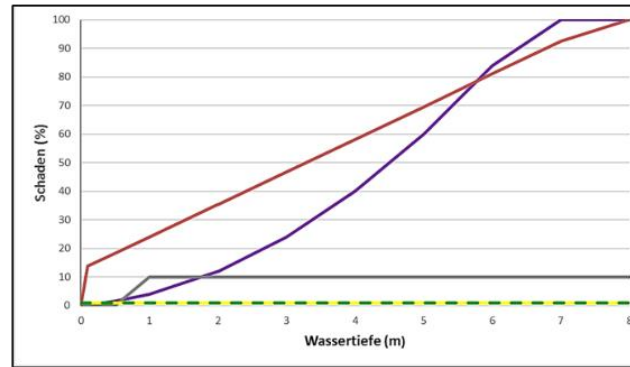
CLC-/Landnutzungskategorien
Siedlung
Industrie
Verkehr
Landw. Nutzfläche
Forst
Sonstige

Hochwassergefahrenkarte (z.B. Rheinatlas 2015)



3 Szenarien mit entsprechenden Überschwemmungstiefen:  
 HQhigh,  
 HQmedium,  
 HQextrem

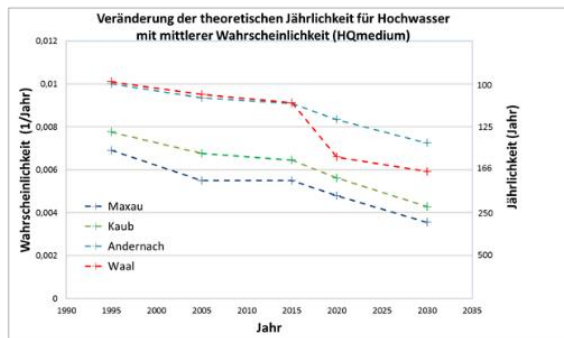
Schadensfunktionen (z.B. Rheinatlas 2001)



Vermögenswerte pro Landnutzungskategorie (hier aggregierten CLC-Klassen: Siedlung, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, Forstwirtschaft)



Wahrscheinlichkeit pro Hochwasserszenario (ggf. mit einer zeitliche Änderung)



Schaden (€)

Risiko (€/Jahr)

Abbildung 5: Vorgehen bei der Analyse des Hochwasserrisikos für wirtschaftliche Tätigkeiten



## **1.6 Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit durch hochwasserreduzierende Maßnahmen**

Nur die technischen Schutzmaßnahmen haben einen Effekt auf die Entwicklung des Risikos durch die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit.

Die bereits umgesetzten und künftig noch umzusetzenden Hochwasserschutzmaßnahmen im Rahmen des APH bis 2015 und der anstehenden Umsetzung der HWRM-RL sind in vorliegender Analyse durch die Berechnung der Änderung der Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden.

Nachdem die IKSR die Wirksamkeit von realisierten und geplanten hochwasserreduzierenden / wasserstandsenkenden Maßnahmen am Rhein (Retentionsmaßnahmen, Maßnahmen aus „Raum für den Fluss“ in den Niederlanden) evaluiert hat (vgl. IKSR-Bericht Nr. 199), hat die IKSR eine Methode zur Abschätzung der Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit entwickelt (vgl. IKSR-Bericht Nr. 229).

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. Maßnahmen stromaufwärts von Basel, die die Wahrscheinlichkeiten beeinflussen, sind in der Analyse nicht berücksichtigt worden. Es ist angenommen worden, dass der damalige Deichzustand gemäß nationaler Normierung ausreichend war. Der wirkliche Zustand der Deiche und folglich die späteren Verbesserungen (wie z.B. im Rahmen des niederländischen Deltaplan Grote Rivieren - DGR) sind deshalb nicht in die Berechnungen der Wahrscheinlichkeiten gemäß IKSR-Bericht Nr. 229 eingeflossen.

Die Ergebnisse der Abschätzung der Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit sind geänderte Jährlichkeiten für Hochwasser mit hoher, mittlerer und niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ<sub>high</sub>, HQ<sub>medium</sub>, HQ<sub>extreme</sub>) für die Zeithorizonte bzw. Ausbaustände 1995, 2005, 2010<sup>10</sup>, 2020 und 2030 (vgl. detaillierte Werte und Angaben im IKSR-Bericht Nr. 229).

Diese Wahrscheinlichkeiten sind als Daten in die vorliegende Berechnung des Risikos mit dem Instrument eingegangen (vgl. Abbildungen 7-9).

Generell zeigen die Ergebnisse, dass Wasserstandreduzierungen durch unterschiedliche wasserstandsenkende Maßnahmen am Rhein ebenfalls Abnahmen der Hochwasserwahrscheinlichkeit verursachen, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die Jährlichkeit zunimmt.

---

<sup>10</sup> In den vorliegenden Risikoberechnungen wurde für den Zeithorizont 2015 der Zustand 2010 verwendet.

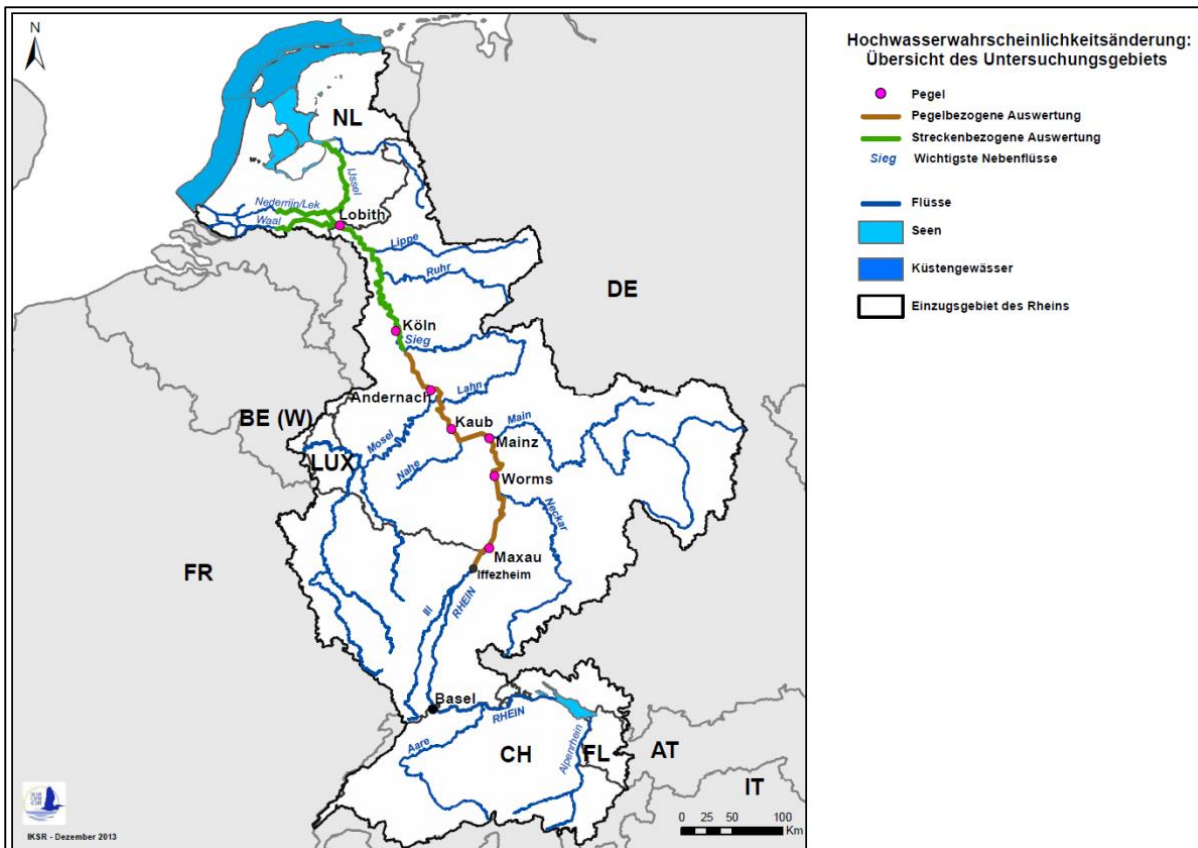


Abbildung 6: Übersicht über die Pegel im Rahmen des Nachweises zur Wahrscheinlichkeitsänderung

An vier ausgewählten Pegeln (vgl. Karte in Abbildung 6: drei Pegel in Deutschland und einer am niederländischen Rheinarm „Waal“) sind für HQ<sub>high</sub>, HQ<sub>medium</sub>, HQ<sub>extreme</sub> in den drei folgenden Grafiken jeweils die Wahrscheinlichkeiten (linke y-Achse) und die Jährlichkeiten (rechte y-Achse) für verschiedene Jahre abgebildet. Die drei Abbildungen 7, 8 und 9 entsprechen HQ<sub>high</sub>, HQ<sub>medium</sub> und HQ<sub>extreme</sub>.

Die mit Retentionsmaßnahmen und mit Maßnahmen für mehr Raum für den Fluss erreichte oder noch zu erreichende Wasserstandsenkung hat zur Folge, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwassers kleiner wird und dadurch das Hochwasserrisiko auch weiter abnehmen wird.

Lesebeispiel Abbildung 7: Die rot gestrichelte Linie (Waal) zeigt eine zeitliche Änderung der Jährlichkeiten für HQhigh eines 10-jährigen Ereignisses 1995 auf ein 12-jähriges Ereignis 2030, d.h., durch die Reduzierung der Hochwasserwahrscheinlichkeit wird ein HQhigh-Ereignis seltener.

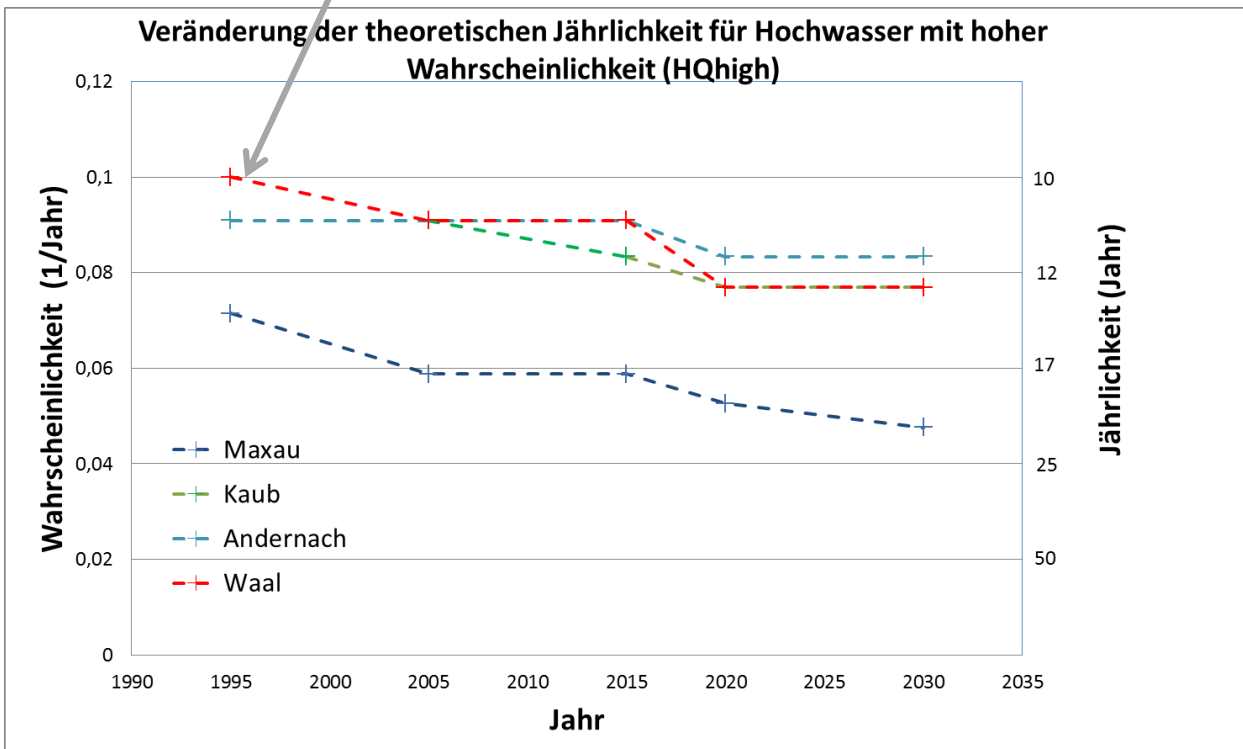


Abbildung 7 – Wahrscheinlichkeit- (linke y-Achse) und Jährlichkeitsänderung (rechte y-Achse) des HQhigh-Szenarios für verschiedene Jahre und an vier verschiedenen Pegeln (Rhein/Waal)

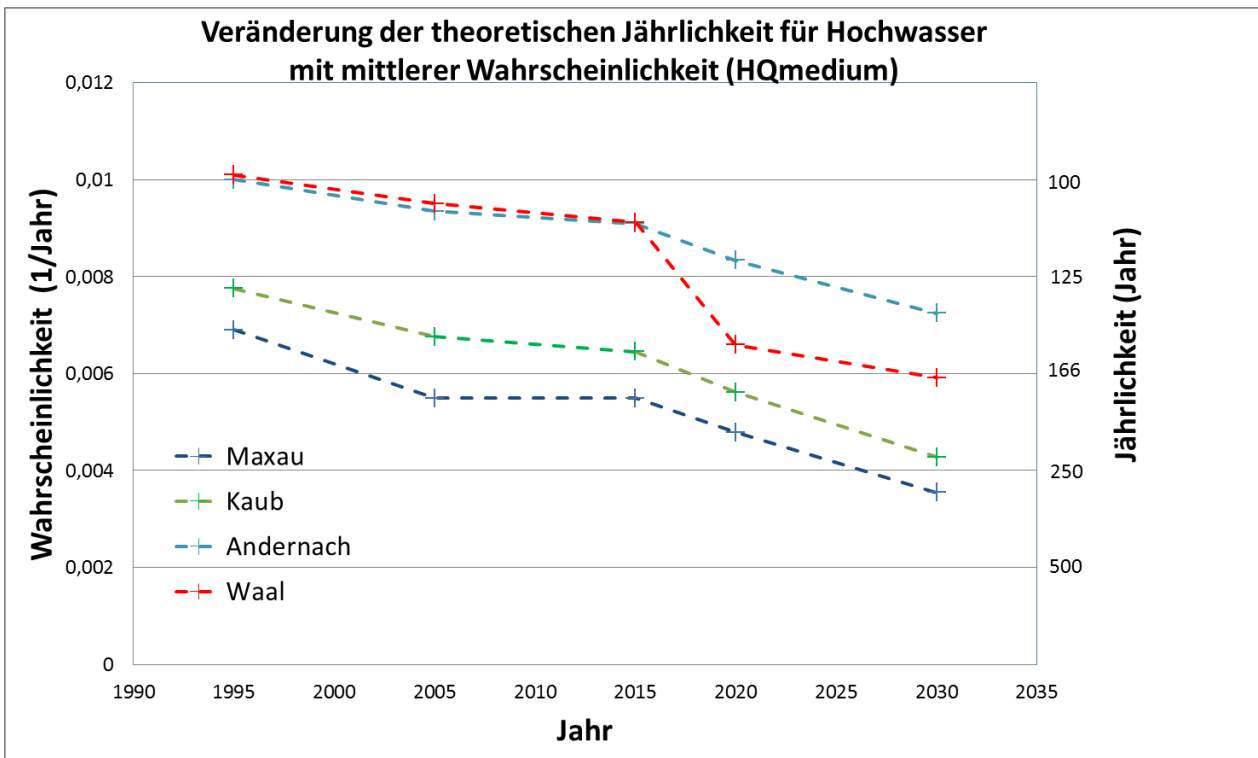


Abbildung 8 – Wahrscheinlichkeit (linke y-Achse) und Jährlichkeitsänderung (rechte y-Achse) des HQmedium-Szenarios für verschiedene Jahre und an vier verschiedenen Pegeln (Rhein/Waal)

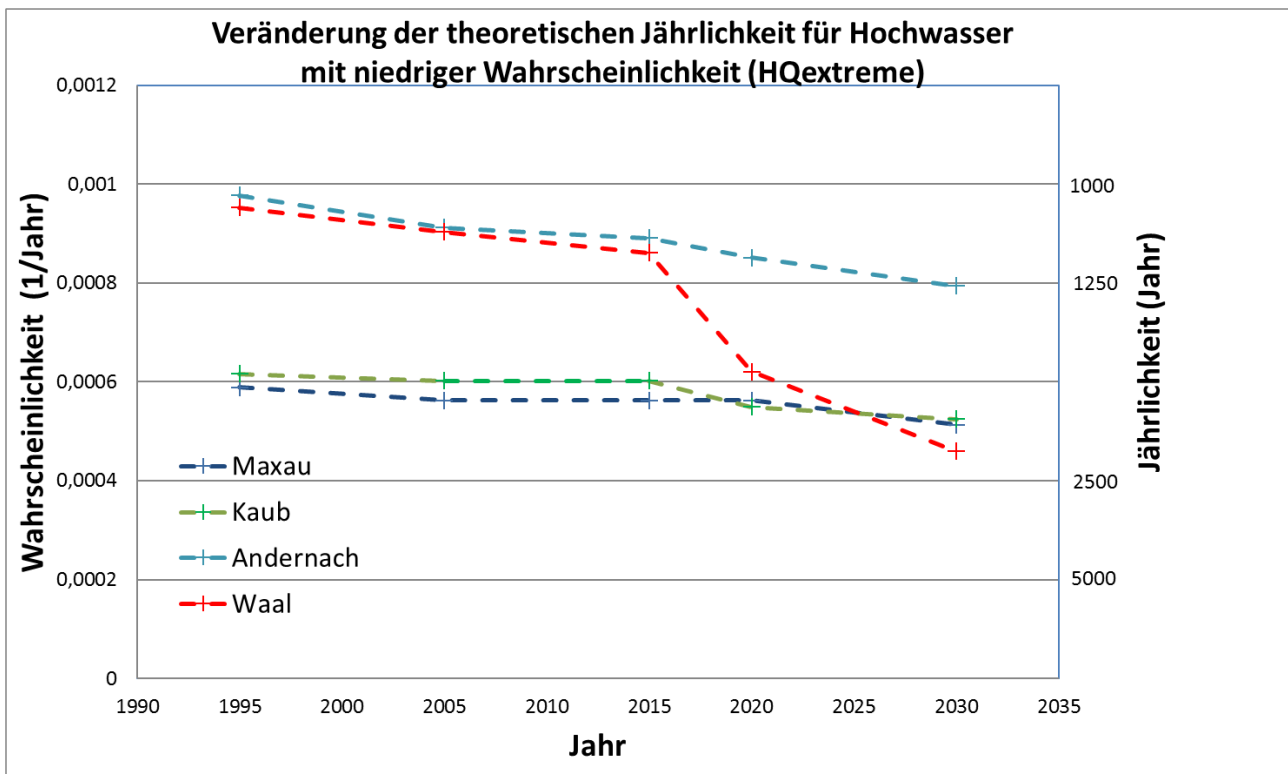


Abbildung 9 - Wahrscheinlichkeits- (linke y-Achse) und Jährlichkeitsänderung (rechte y-Achse) des HQextreme-Szenarios für verschiedene Jahre und an vier verschiedenen Pegeln (Rhein/Waal)

## 2. Ergebnisse der Auswertung

In Kapitel 2 werden die Ergebnisse der Berechnungen für die Zeithorizonte 1995, 2005, 2015, 2020 und 2030 für die vier Schutzgüter Mensch, Umwelt, Kultur und Wirtschaft bewertet. Die Ergebnisse werden in Bezug auf die Erreichung des Handlungsziels 1 des APH (= Reduzierung des Schadensrisikos um 10 % in 2005 und 25 % in 2020 gegenüber 1995<sup>11</sup>) sowie des Ziels der Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten im Rahmen der HWRM-RL-Umsetzung vorgestellt.

### 2.1 Allgemeines

Die wesentlichen Aspekte und Rückschlüsse der Auswertung der Berechnungsergebnisse für die vier Schutzgüter auf Ebene des gesamten Rheinhauptstroms werden in den Kapiteln 2.2 bis 2.4 zusammengefasst.

Allgemein lässt sich sagen, dass die Kombination von Maßnahmen zur Minderung des Schadens einerseits und der Änderung der Wahrscheinlichkeiten durch die Realisierung wasserstandsenkender Maßnahmen andererseits für die 4 Schutzgüter zu einer Abnahme des Risikos in der Zeit führt.

Die IKSR-Methodik für die menschliche Gesundheit, Umwelt und Kulturerbe ist teilweise experimentell und kann von nationalen Untersuchungsergebnissen abweichen. Es werden für die vier Schutzgüter zwar absolute Werte für die Risiken berechnet, relative Änderungen werden aber als belastbarer angesehen.

<sup>11</sup> Annahme Zustand 1995: keine Maßnahmen

## 2.2 Menschliche Gesundheit (potenziell betroffene Personen)

Die Bevölkerung (= bei Hochwasser potenziell betroffene Personen) steigt oder stagniert im gesamten betrachteten Zeitraum (1995-2030) ohne Maßnahmen (vgl. Abbildung 10). Die meisten Betroffenen werden bei Extremhochwasser nachgewiesen, weil die Überschwemmungsfläche bei diesem Hochwasserszenario am größten ist.

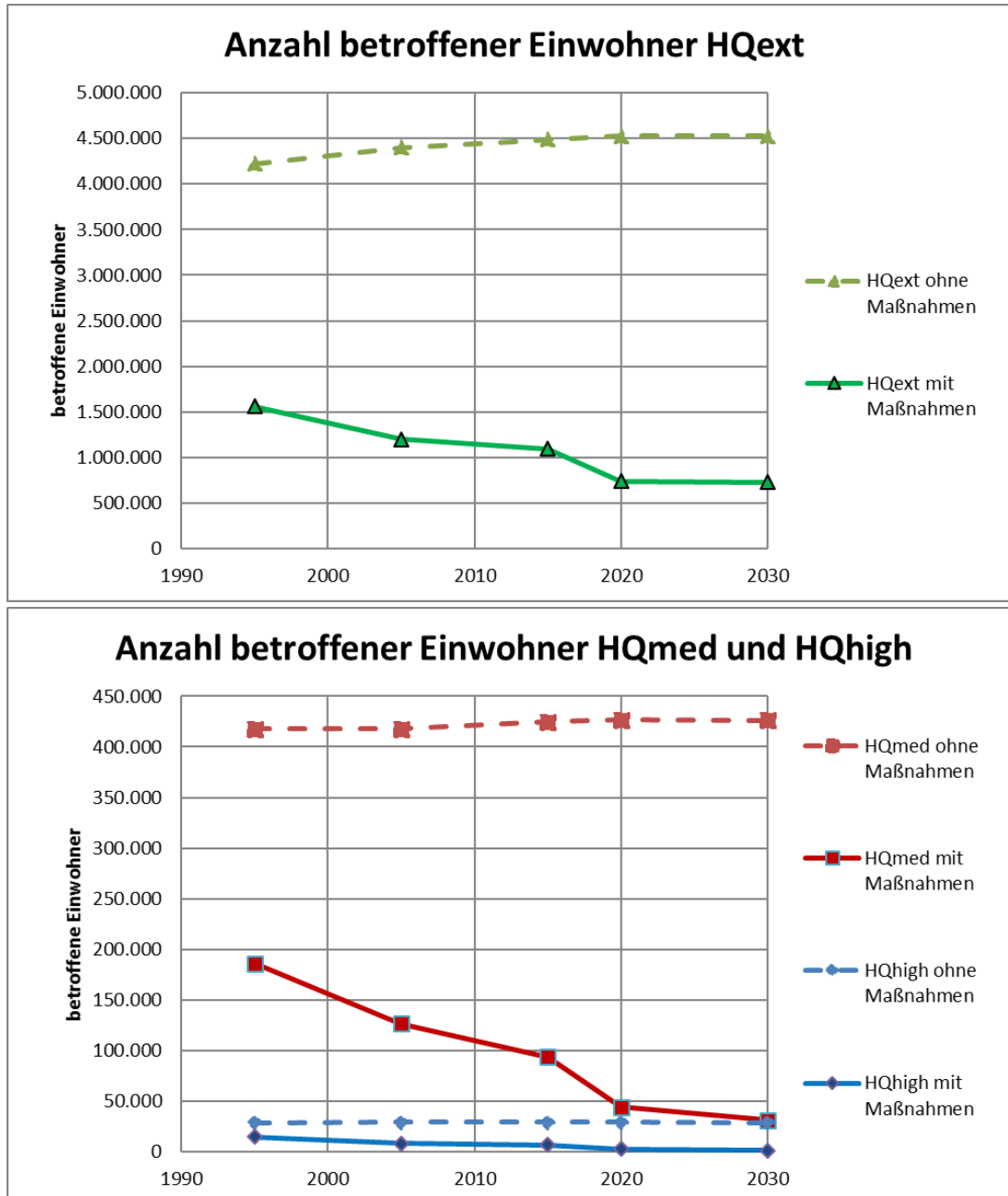


Abbildung 10: Entwicklung der Anzahl von Hochwasser betroffener Personen

Für den betrachteten Zeitraum reduziert sich das Risiko hauptsächlich durch den Einfluss von Maßnahmen wie Sicherung/Evakuierung sowie durch die Änderung der Wahrscheinlichkeit durch Realisierung wasserstandsensenkender Maßnahmen. Die höchsten Risiken für die menschliche Gesundheit (= Anzahl potenziell betroffener Personen) bestehen laut den Berechnungen bei HQmedium und HQextreme (vgl. Abbildung 11 und Tabelle 2). Maßnahmen wie „Flächenvorsorge“ und „technischer Objektschutz“ haben relativ geringen Einfluss auf die Anzahl betroffener Personen vor Umsetzung von Maßnahmen zur Sicherung (d.h. vor Evakuierung, d.h. bevor sie in Sicherheit gebracht worden sind).

Tabelle 2: Risikoentwicklung

	Relative Risikoänderung seit 1995 (%)				Relative Risikoänderung seit 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
HQhigh	-45	-50	-85	-90	-70	-80
HQmed	-35	-50	-90	-95	-80	-85
HQext	-25	-35	-75	-80	-60	-70

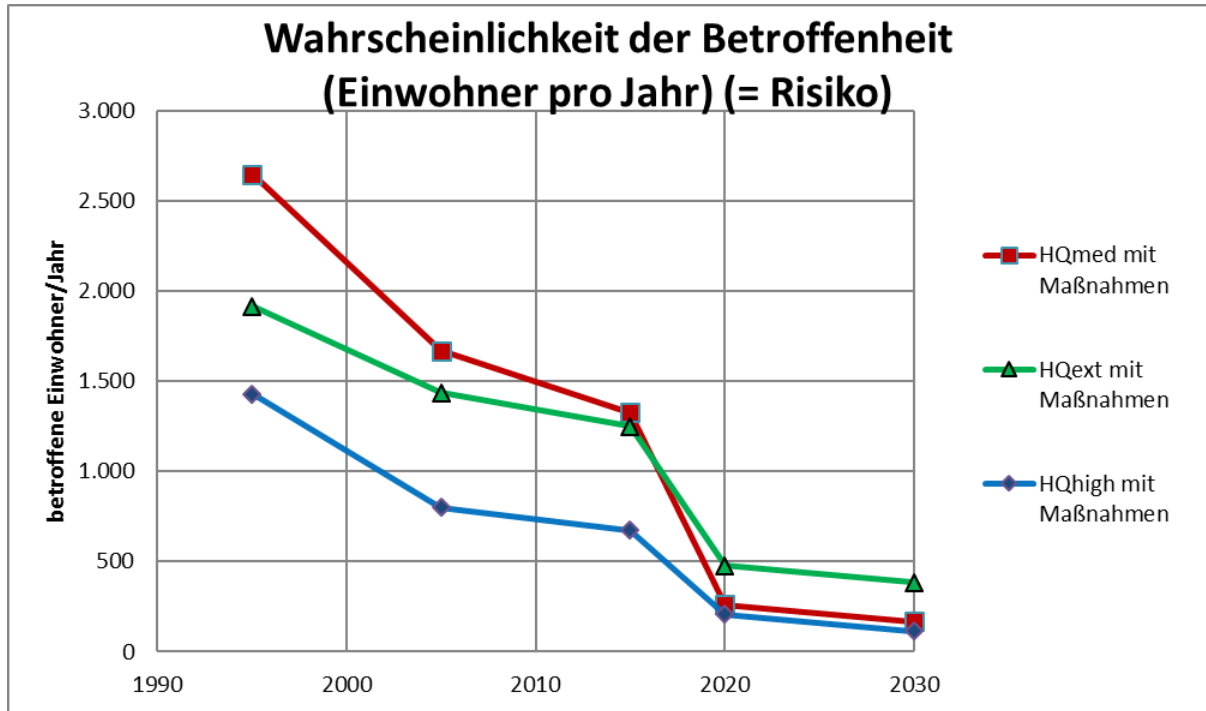


Abbildung 11: Wahrscheinlichkeit der Betroffenheit mit Berücksichtigung aller Maßnahmen (betroffene Personen/Jahr) (= Risiko)

### 2.3 Umwelt

Für die Umwelt stellt man fest, dass der aufsummierte Schadensindex<sup>12</sup> (mit Berücksichtigung der Maßnahmen<sup>13</sup>) für den betrachteten Zeitraum (1995-2030) leicht abnimmt oder stagniert. Die meisten Schäden werden bei Extremhochwasser festgestellt. Des Weiteren wird die Fläche betroffener wasserbezogener Schutzgebiete größer bei extremeren Hochwasserereignissen (*nicht abgebildet*).

Durch die ergriffenen Maßnahmen („technischer Objektschutz“ bei den Industrie- und in Kläranlagen und „hochwasserangepasste Lagerung wassergefährdender Stoffe“ bei den Industrie-Anlagen und Haushalten) kann für die drei Hochwasserszenarien eine Reduzierung der Summe der Schäden für die Umwelt im Zeitraum 1995 bis 2015 erreicht werden. Ab 2015 erfolgt keine weitere Minderung der Schäden, da die Maßnahmen für die Zeithorizonte 2020 und 2030 unverändert bleiben (vgl. Abbildung 12).

<sup>12</sup> Aufsummierter Schadensindex = Summe der Schäden für die Umwelt über alle Schadensklassen

<sup>13</sup> NB: Die Berechnung des potenziellen Schadens für die Umwelt ohne Maßnahmen ist aufgrund derselben Inputdaten für alle fünf Zeithorizonte gleich.

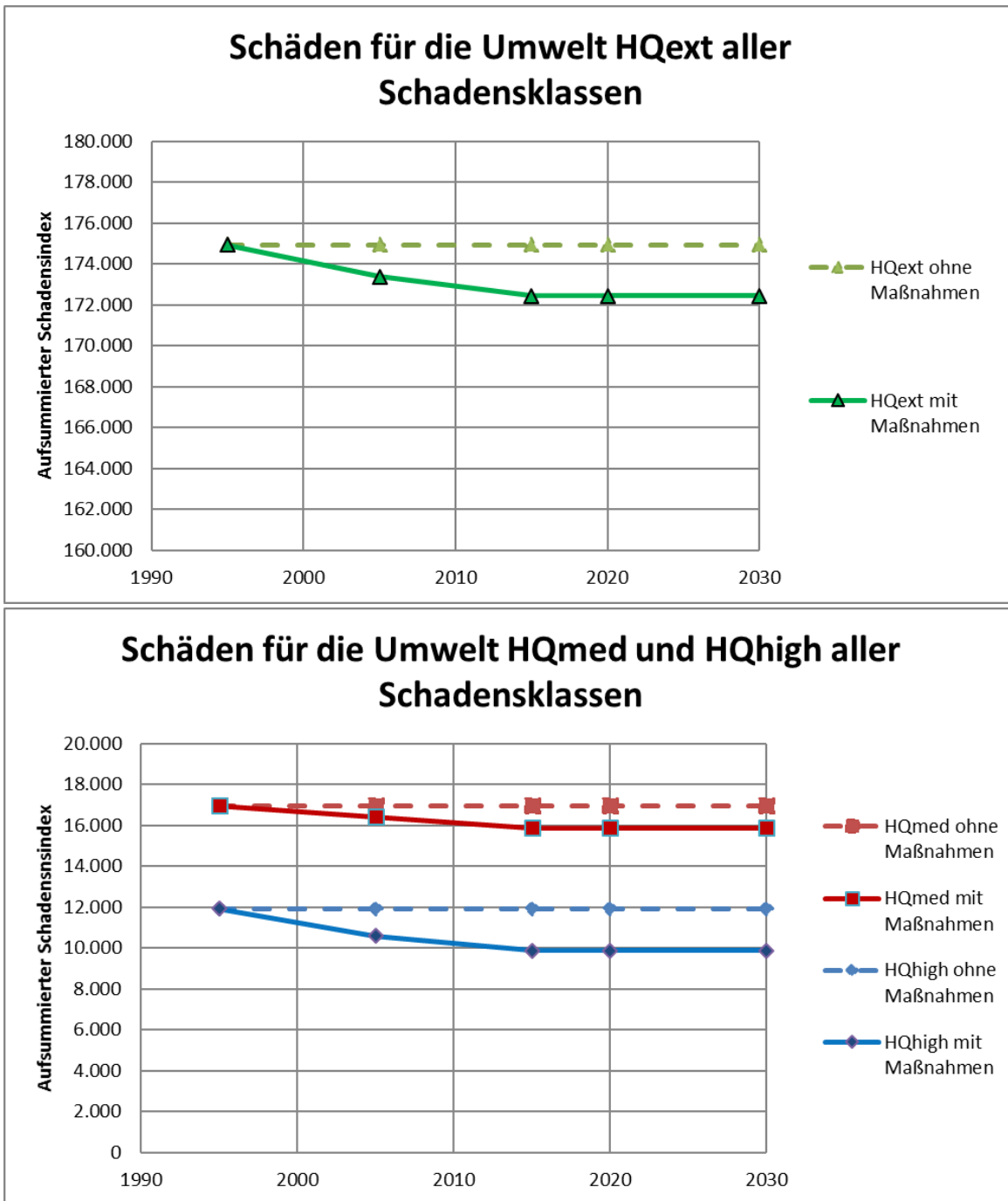


Abbildung 12: Entwicklung des potenziellen Schadens für die Umwelt (aufsummierter Schadensindex)

Für den gesamten betrachteten Zeitraum (1995-2030) verändert sich das Hochwasserrisiko generell, wobei die durch die geänderten Wahrscheinlichkeiten bedingte Reduzierung zwischen 2015 und 2020/2030 am deutlichsten ist. Das Risiko ist am höchsten für HQhigh (vgl. Abbildung 13 und Tabelle 3). Wie bei allen Schutzgütern wird die Risikoveränderung des Schutzgutes Umwelt maßgeblich durch die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit, insbesondere ab 2020 flussabwärts von Iffezheim bestimmt.

Tabelle 3: Risikoentwicklung

	Relative Risikoänderung seit 1995 (%)				Relative Risikoänderung seit 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
<b>HQhigh</b>	< -5	< -5	-45	-45	-45	-45
<b>Hqmed</b>	-5	-10	-70	-75	-70	-75
<b>HQext</b>	-5	-10	-65	-70	-60	-70

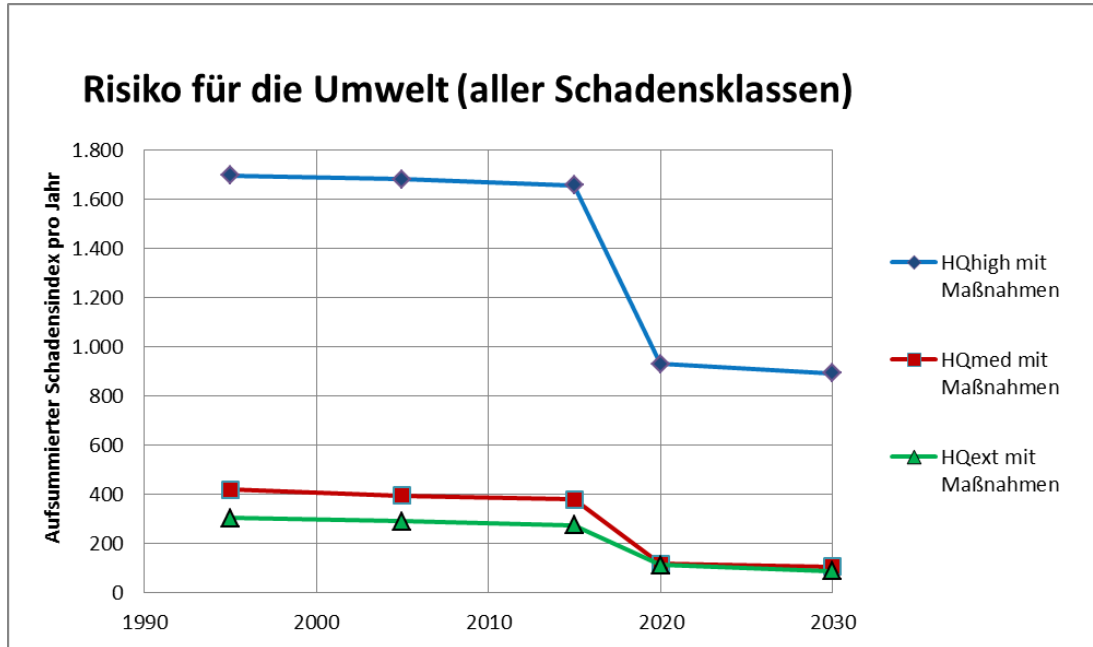


Abbildung 13: Risikoentwicklung bei Berücksichtigung aller Maßnahmen (Aufsummierter Schadensindex pro Jahr über alle Schadensklassen) (Y-Axe)

## 2.4 Kulturerbe

Für die Kulturgüter stellt man anhand der Berechnungen fest, dass der aufsummierte Schadensindex<sup>14</sup> (mit Berücksichtigung der Maßnahmen<sup>15</sup>) eine Reduzierung im Zeitraum 1995 bis 2005 und eine (sehr) leichte Reduzierung des Schadens im Zeitraum 2005 bis 2030 zeigt. Hier sind die meisten Schäden bei Extremhochwasser nachzuweisen (vgl. Abbildung 14).

Bedingt durch die Maßnahmenumsetzung verringert sich das Risiko mit zunehmender Zeit deutlich für alle Szenarien, d.h. um mehr als 50 % bis 2030 (hier werden die höchsten Schäden bei HQhigh festgestellt) (vgl. Abbildung 15 und Tabelle 4).

Die Anzahl oder die Fläche (*nicht abgebildet*) der betroffenen Schutzgüter nimmt mit abnehmender Hochwasserwahrscheinlichkeit, d.h. bei größeren Hochwasserereignissen, zu und - wie bei den anderen Schutzgütern - wird die Risikoveränderung maßgeblich durch die Änderung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten (insbesondere ab dem Zeithorizont 2020) flussabwärts von Iffezheim bestimmt.

<sup>14</sup> Aufsummierter Schadensindex = Summe Schaden an Kulturgütern über alle Schadensklassen

<sup>15</sup> NB: Die Berechnung des kulturellen potentiellen Schadens ohne Maßnahmen ist aufgrund derselben Inputdaten für alle fünf Zeithorizonte gleich.



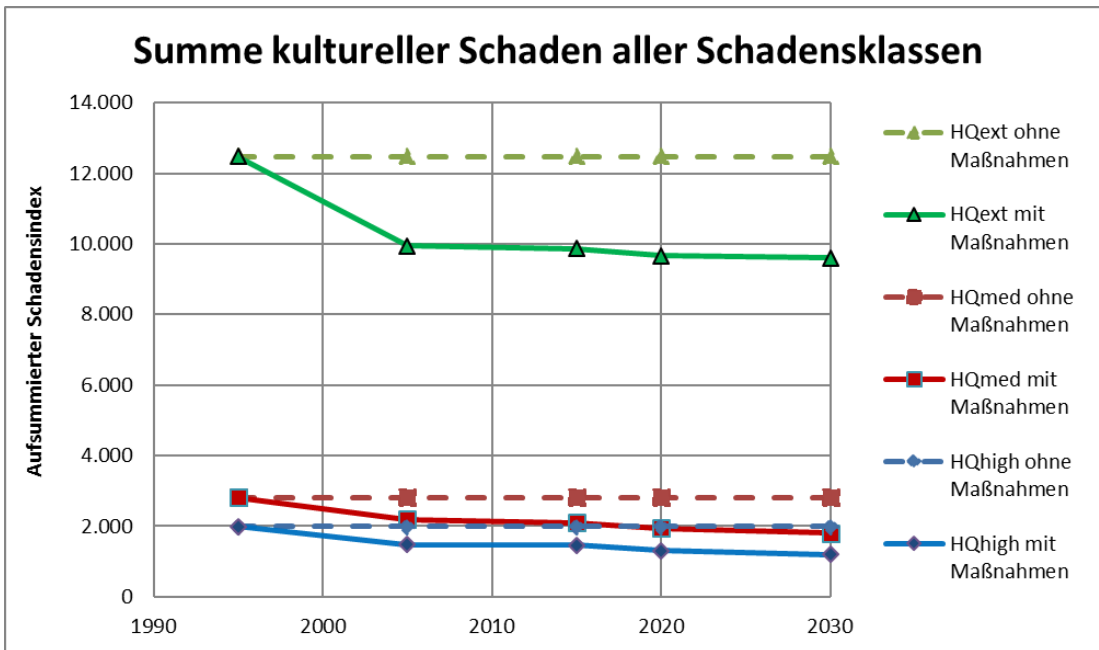


Abbildung 14: Entwicklung des kulturellen potentiellen Schadens (Aufsummierter Schadensindex) (Y-Axe)

Tabelle 4: Risikoentwicklung

	Relative Risikoänderung seit 1995 (%)				Relative Risikoänderung seit 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
<b>Hqhigh</b>	-15	-15	-50	-60	-40	-50
<b>HQmed</b>	-15	-20	-65	-70	-55	-65
<b>Hqext</b>	-10	-15	-55	-65	-50	-55

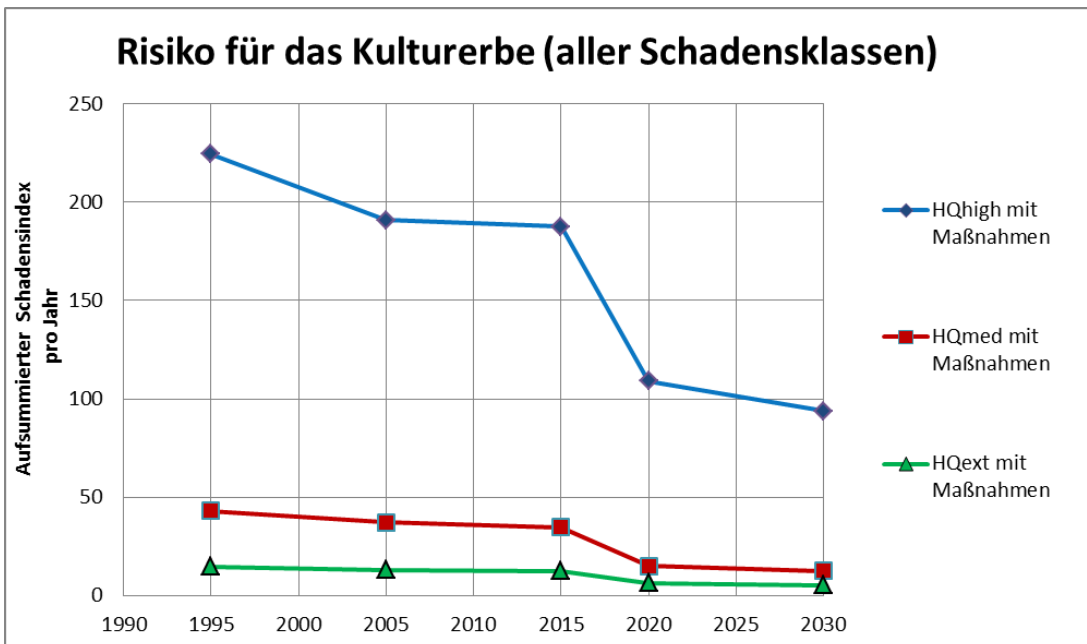


Abbildung 15: Risikoentwicklung bei Berücksichtigung aller Maßnahmen (aufsummierter durchschnittlicher Schadensindex pro Jahr über alle Schadensklassen)

## 2.5 Wirtschaftliche Tätigkeiten

Die Ergebnisse für „Wirtschaftliche Tätigkeiten“ (Wirtschaft) zeigen, dass - obwohl der potenzielle Schaden mit der Zeit (1995-2015, 1995-2020/2030 oder 2015-2020/2030) normalerweise aufgrund des Wirtschaftswachstums kontinuierlich steigt, die größten Schäden bei niedriger Wahrscheinlichkeit, d.h. bei Extremhochwasser festgestellt werden (vgl. Abbildung 16).

Wenn man jedoch das Risiko betrachtet, stellt man fest, dass HQhigh das höchste Risiko aufweist. Im gesamten Zeitraum (1995-2030) reduziert sich das Risiko für die 3 Hochwasserszenarien (vgl. Abbildung 17 und Tabelle 5). Wie bei den Informationen zur Wassertiefe und zur Überschwemmungsausdehnung, die den nationalen Hochwassergefahrenkarten 2015 entnommen wurden (vgl. entsprechende Erläuterungen im Kap. 1.5), wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Schadensberechnungen für alle Zeithorizonte für die Beschreibung der Landnutzung nur auf der Grundlage des neuesten und zuverlässigsten Landnutzungsdatensatz (CLC 2006) durchgeführt wurden. Aus diesem Grund konnte den oben genannten Aspekten (Entwicklung der Wasserstände und Überschwemmungsausdehnung sowie der Entwicklung der Landnutzung mit der Zeit) bei der zeitlichen Entwicklung des Schadens und damit des Risikos nicht Rechnung getragen werden. Die Resultate (Tabelle 5) zeigen, dass für die **Wirtschaft das APH-Ziel einer Reduzierung des Schadensrisikos von 10 % bis 2005 gegenüber 1995 rechnerisch nachgewiesen werden konnte. Dasselbe gilt für das APH-Reduzierungsziel von 25 % bis 2020 gegenüber 1995.**

Diese Erkenntnisse bestätigen die früheren IKSR-Untersuchungen zum Zustand 2005 im Rahmen der Umsetzung des APH (Bericht Nr. 157). Sie sind durch die Umsetzung verschiedener Maßnahmen mit zunehmender Zeit und ihrem Einfluss auf die Risikoreduzierung<sup>16</sup> zu erklären. Insbesondere tragen die vielen Retentionsmaßnahmen sowie die Maßnahmen aus dem niederländischen Programm „Raum für den Fluss“ (durch Reduzierung der Wasserstände und daraus resultierender Änderung der Wahrscheinlichkeit), die flussabwärts von Iffezheim im Zeitraum 2020 bzw. 2030 realisiert sein sollen, erheblich zur Minderung des Hochwasserrisikos am Rheinhauptstrom bei. Neben wasserstandsenkenden Maßnahmen führen aber auch unterschiedliche Maßnahmen zur Vermeidung und Vorsorge einschließlich der Hochwasservorhersagen und Frühwarnsysteme sowie (die Vorbereitung des) Krisenmanagements seit 1995 mit voranschreitender Zeit dazu, dass das Schadenswachstum im Überflutungsgebiet gedämpft wird (vgl. Abbildung 16).

---

<sup>16</sup> Allerdings ist die Schadensminderung effektiver bei HQhigh und HQmedium (leichte Steigerung der Schäden mit der Zeit) als bei HQextreme (höhere Steigerung der Schäden mit der Zeit).

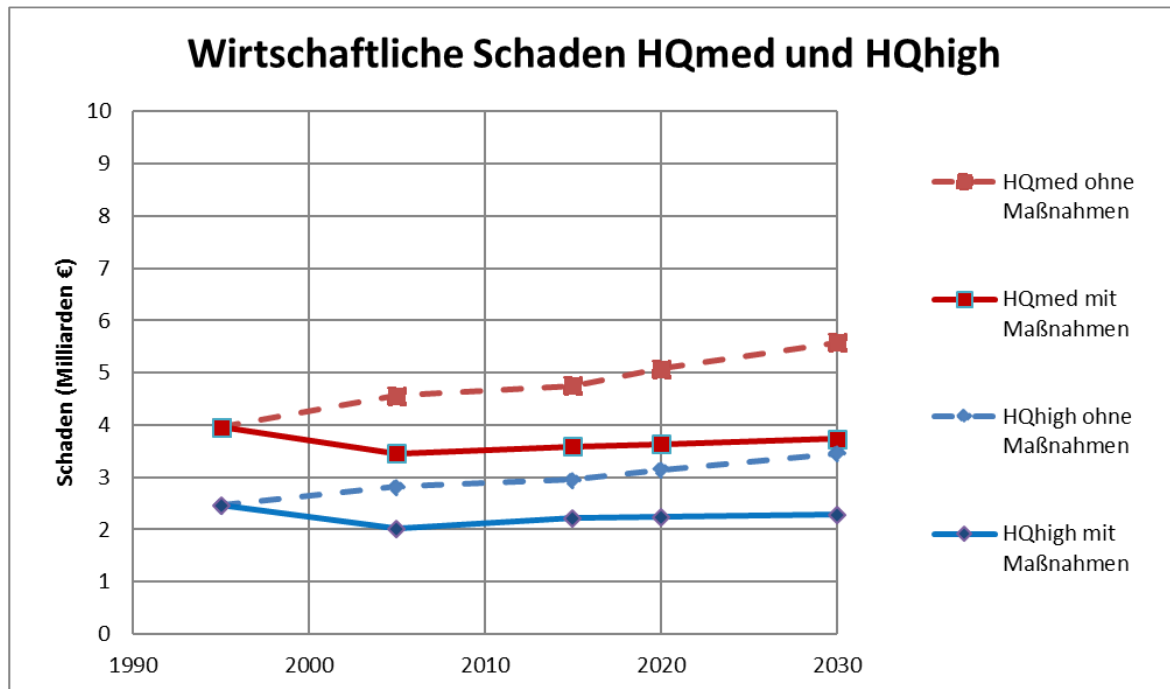
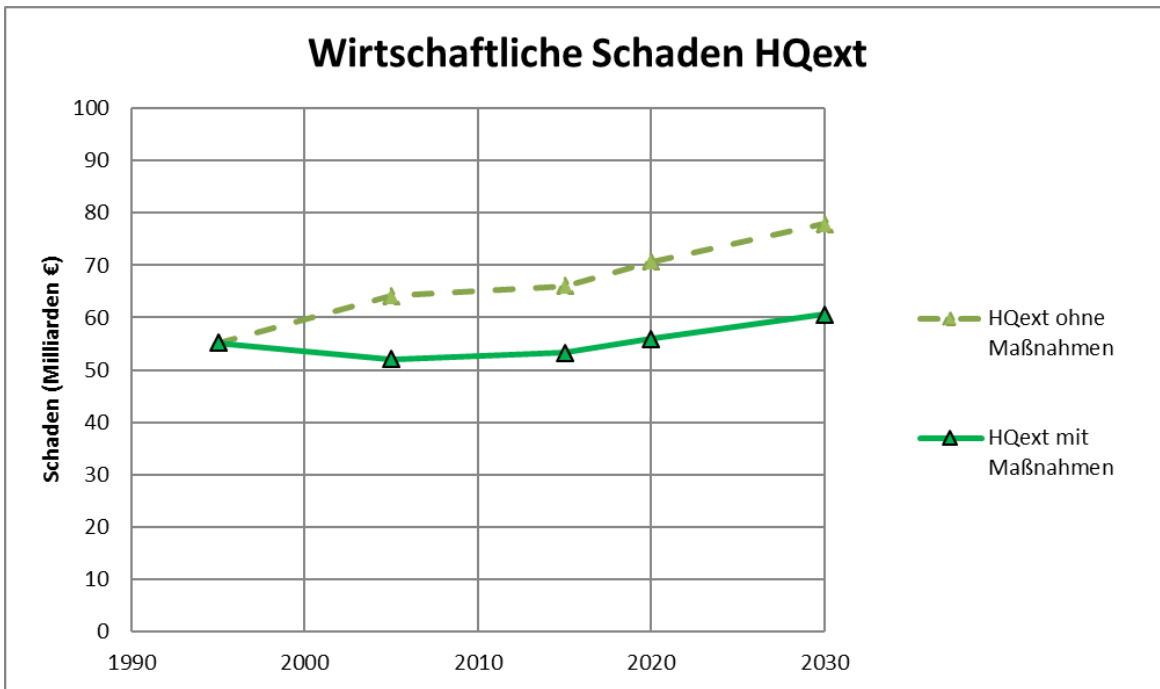


Abbildung 16: Größenordnung der Schadensentwicklung (Milliarden Euro)

Tabelle 5: Risikoentwicklung

	Relative Risikoänderung seit 1995 (%)				Relative Risikoänderung seit 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
<b>HQhigh</b>	-15	-10	-30	-30	-20	-20
<b>Hqmed</b>	-15	-15	-50	-55	-40	-45
<b>Hqext</b>	-10	-10	-45	-50	-40	-45
<b>Integral</b>	-10	-10	-45	-45	-35	-40

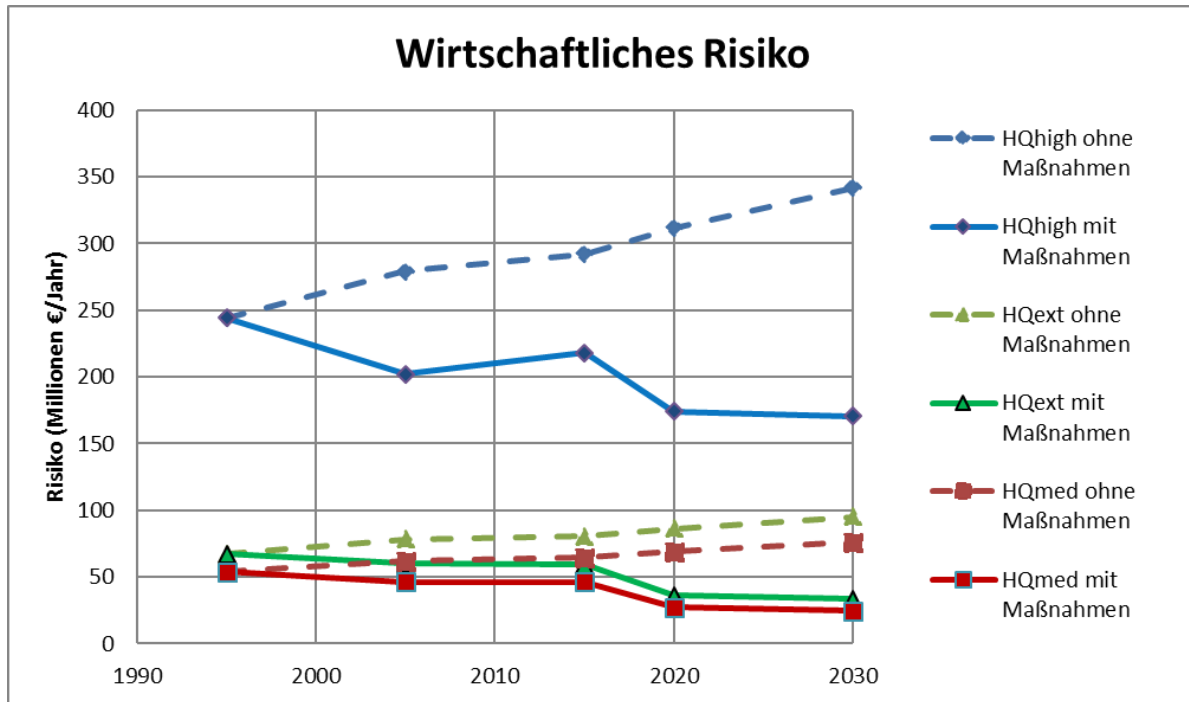


Abbildung 17: Risikoentwicklung (Millionen Euro/a)

### 3. Bewertung der Indikatoren und der Methode

#### 3.1 Indikatoren

Zur Berechnung des Effektes der Maßnahmen wurden Indikatoren definiert. Dabei wurden die Maßnahmen-Kategorien der HWRM-RL verwendet. Pro Maßnahmen-Kategorie ist ein Indikator festgelegt worden, der repräsentativ für die jeweilige Gruppe von Maßnahmen ist. Auf der Basis von Literatur und teilweise auf Expertenkenntnissen wurde die maximale Schadensminderung pro Indikator geschätzt und definiert.

Der Realisierungsgrad, d.h. welche und wie viele Maßnahmen bereits umgesetzt/realisiert sind bzw. in Zukunft umgesetzt sein werden, ist in die Berechnungen eingegangen. Die Daten/Angaben zu den realisierten oder geplanten Maßnahmen wurden von den Rheinanliegerstaaten geliefert.

Die durchgeführten Berechnungen zur Risikoentwicklung für die vier Schutzgüter erlauben Rückschlüsse auf die Wirkung der Summe der Maßnahmen. Neben diesen Berechnungen ist eine so genannte Sensitivitätsanalyse (vgl. Details und Zusammenfassung in „Technischen Bericht Nr. ...“, Abbildung 18) durchgeführt worden, mit der die Wirkung einzelner hypothetischer Maßnahmen auf die Entwicklung/Reduzierung des wirtschaftlichen Schadens/Risikos geschätzt werden konnte.

Die Sensitivitätsanalyse bezog sich auf die Maßnahmenbereiche „Vermeidung“ und „Vorsorge“, die Effekt auf den Schaden haben. Die Maßnahmen im Bereich „Schutz“ haben einen großen

direkten Effekt auf die Risikominderung, wie es bereits in Kap. 1.1 und im 1.6 verdeutlicht wurde.

Lesebeispiel Abbildung 18: Die relative Risikoveränderung der Maßnahme „HW-Vorhersage“ zu Variante „Zustand 2005 ohne Maßnahmen“ beträgt für das Szenario HQmedium ca. 15 % (blaue Säule). D.h. durch die Maßnahme „HW-Vorhersage“ wird das Risiko für das Szenario HQmedium um 15 % reduziert.

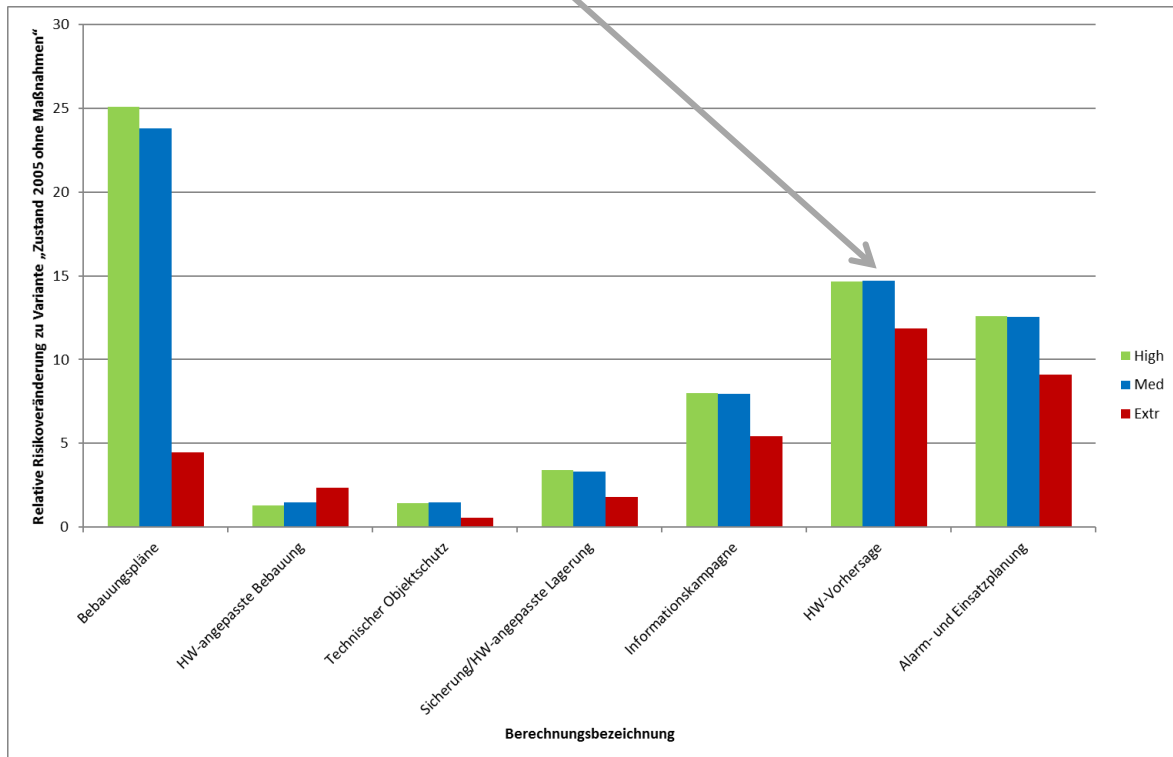


Abbildung 18: Risikoveränderung mit einzelnen Indikatoren im Vergleich zur Variante ohne Maßnahmen (Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zur Maßnahmenwirkung)

Die wichtigsten Erkenntnisse über die in dieser Analyse verwendeten **Maßnahmen** sind:

- Die meisten Maßnahmen, die für das häufige und mittlere Hochwasserszenario (HQhigh und HQmedium) in den Bereichen „Vorsorge“ und „Vermeidung“ geplant wurden, zeigen einen größeren Effekt bei diesen beiden Hochwasserszenarien als es für das Szenario Extremereignis (HQextreme) der Fall ist.
- Auf der Ebene des Rheineinzugsgebietes zeigen die Maßnahmen der „Bauvorsorge“ den geringsten Effekt. In kleineren Betrachtungseinheiten/-gebieten können Bauvorsorgemaßnahmen jedoch wesentlich zur Risikoreduzierung beitragen.
- Die Maßnahmen „Informationskampagne“, „Hochwasservorhersage“ und „Alarm- und Einsatzplanung“ tragen erheblich zur Verbesserung der Situation im Rheineinzugsgebiet bei.
- Den mit Abstand größten Effekt erzielt die Maßnahme „Bebauungspläne“ bei HQhigh und HQmedium für die wirtschaftlichen Tätigkeiten, die eine Reglementierung der Bebauung in Überschwemmungsgebieten oder Freihaltung beinhaltet.
- Obwohl nicht direkt in der Sensitivitätsanalyse enthalten, tragen die Maßnahmen im Bereich „Schutz“ wesentlich zur Minderung des Risikos bei.

Eine **Indikatoren-Bewertung** (vgl. Anlage) wurde anhand der theoretischen und realen Analysen-Ergebnisse, des Aufwandes der Datenverfügbarkeit und -beschaffung sowie der Datenaufbereitung durchgeführt. Auf der Basis dieser Bewertung und mit Blick auf die

Aufgaben der IKSR in Bezug auf die Berechnungen der Risikoentwicklung für die Überprüfung der Umsetzung des HWRM-Plans in der IFGE Rhein sind folgende Indikatoren am relevantesten:

- Freihaltung von Überschwemmungsgebieten sowie Festlegung von Bauvorschriften (*Indikatoren: Änderung der Landnutzungsdaten und Bauvorschriften/Bebauungspläne*)
- Umsetzung wasserstandsensinkender Maßnahmen (*Indikator: Änderung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit*)
- Hochwasserschutz (*Indikator: Angabe einer Wahrscheinlichkeit/eines Schutzniveaus und einer Entwicklung/Änderung in der Zeit*)
- Sensibilisierung der Bevölkerung durch u.a. Bereitstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten (*Indikator: Häufigkeit/Aktualisierungsfrequenz von Informationskampagnen*)
- Hochwasservorhersage und -meldung (*Indikator: Verbesserung der Hochwasservorhersage*)
- Krisenmanagement (*Indikatoren: Vorhandensein und Aktualisierungsfrequenz von Alarm- und Einsatzplänen; Anzahl der Warnsysteme, Angabe zu Katastrophenschutzübungen, Angabe einer minimalen und maximalen Sicherungsrate für die Betroffenen in einem bestimmten Gebiet*)

Dies bedeutet, dass für die zuvor genannten Indikatoren (und die entsprechenden Maßnahmen) für den Nachweis der Wirksamkeit genügend Daten verfügbar sind oder künftig erwartet werden können. Eine Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf Ebene der Flussgebietseinheit Rhein ist mit diesen Indikatoren möglich.

Außerdem können Maßnahmen wie „Hochwasserangepasstes Bauen“, „technischer Objektschutz“ und „angepasste Lagerung“ lokal oder regional eine bedeutende Risiko- bzw. Schadensminderungswirkung haben. Jedoch sind die Indikatoren für diese Maßnahmen auf der Ebene des Rheinhauptstroms wenig geeignet, da die entsprechende Datenbeschaffung sehr aufwändig ist. Zudem hat sich herausgestellt, dass die Informationen für diese Maßnahmen nicht immer zur Verfügung stehen.

### 3.2 Weitere Präzisierungen zur Methode

Für die Anwendung der Methode und der Indikatoren wird auf wichtige Annahmen und Einschränkungen hingewiesen:

#### Gemeinsame Datengrundlage und großskalige Betrachtung

- Aufgrund der spezifischen Methodik und der für das Rheineinzugsgebiet angewandten großskaligen gemeinsamen Datengrundlagen können die in dieser Studie berechneten Ergebnisse von den auf einer präziseren Datenbasis beruhenden nationalen Berechnungsergebnissen abweichen. Ein Beispiel dafür sind die von der IKSR genutzten CLC-Daten, die eine gemeinsame Datenbasis für das gesamte Rheineinzugsgebiet bildeten. In absoluten Werten gibt es Unterschiede, aber relativ gesehen sind diese für die Auswertung von geringerer Bedeutung.
- Es gibt verschiedene Gründe, warum die berechneten absoluten Zahlen vorsichtig zu nutzen sind und sicher nicht geeignet sind, in eine Kosten-Nutzen-Analyse einzufließen:
  - In den Berechnungen wurden für alle Zeithorizonte dieselben Hochwassergefahrenkarten verwendet. Dies bedeutet, dass nicht die reelle Reduzierung der Überschwemmungsflächen infolge wasserstandsensinkender Maßnahmen abgebildet wird. Dadurch kann es zu einer Verzerrung der Erfassung des Schadens kommen.

- Nicht alle Maßnahmen sind detailliert in die Berechnungen aufgenommen worden, dies ist z.B. für Schutzmaßnahmen wie Deichsanierungen der Fall. Dies könnte eine Unterschätzung der Risikoreduzierung ergeben.
- Der Indikator „Freihaltung von Überschwemmungsgebieten und angepasste Flächennutzung“ also die **flächenbezogene Entwicklung der Landnutzung** konnte für den Zeitraum 1990-2006 in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden (dies gilt insbesondere für die Wirtschaft). Der Grund liegt darin, dass für alle wirtschaftlichen Tätigkeiten nur der Datensatz CLC2006 bei den Berechnungen verwendet werden konnte, da die früheren CLC-Datensätze (1990 und 2000) zu viele Schwachpunkte aufwiesen. Eine Verbesserung des Ergebnisses kann nur durch Verwendung verbesserter/präziserer Landnutzungsdaten bei künftigen Berechnungen erzielt werden.

### **Nutzung von Expertenwissen**

- Die in die Berechnungen eingeflossenen Informationen über die Effekte der Maßnahmen im Bereich „Vorsorge“ und „Vermeidung“ hätten einer besseren wissenschaftlichen Untermauerung bedurft, die aber im Rahmen dieser Studie nicht möglich war. Daher hat sich die IKSR auf die verfügbaren Datenquellen in Bezug auf Informationen über Maßnahmen, ihre Effekte und Realisierungsgrade sowie auf Expertenwissen gestützt. Die Schätzungen und Annahmen hinsichtlich der Maßnahmen sollten künftig durch verbesserte Kenntnisse und detailliertere Datensätze ersetzt werden.
- Bei identischen Indikatoren können teils unterschiedliche/heterogene Angaben und „Interpretationen“ vorliegen.

### **Datenverfügbarkeit und -sammlung**

- Für manche Indikatoren war es den Staaten nicht möglich, Daten zu erheben. Dies ist z.B. der Fall für die Indikatoren „Hochwasserangepasstes Bauen“, „technischer Objektschutz“ und „angepasste Lagerung“, wofür viele Detailangaben benötigt werden.

## Anlage 1 - Bewertung der Maßnahmen und Indikatoren: Wirkung, Aufwand und Eignung für das Rheineinzugsgebiet

Maßnahmentyp nach HWRM-RL	Indikator	Effekt auf: Potenzieller Schaden Risiko  Berücksichtigte/betroffene Schutzgüter: Mensch Umwelt Kulturerbe Wirtschaft	Wieviel Effekt auf das Risiko? <i>(basierend auf der Sensitivitätsanalyse und den Berechnungsergebnissen)</i>	Aufwand bei Datensammlung und –aufbereitung	Indikator geeignet für eine Analyse auf Rheineinzugsgebietsebene
					Gering (hohe Verfügbarkeit) Mittel (mittlere Verfügbarkeit) Hoch (niedrige Verfügbarkeit)
<b>Vermeidung</b>					
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			
<b>Hochwasserschutz</b>					
Retentionsmaßnahmen	Änderung der Wahrscheinlichkeit	Potenzieller Schaden Risiko Mensch, Umwelt, Kulturerbe, Wirtschaft			
Deiche, Dämme, Hochwasserschutzmauern, mobiler Hochwasserschutz, ... Unterhaltung/Erneuerung Technischer HWS Anlagen	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			
<b>Vorsorge</b>					
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);  Angabe zu Katastrophenschutzübungen inkl. der Häufigkeit	Potenzieller Schaden Mensch, Kulturerbe, Wirtschaft  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			