

**[ Report 3/2015 ]**

***Ökonomische Untersuchung der Hochwasserschutz-  
investitionen am Oberrhein in Rheinland-Pfalz***

Rolf Bergs

PLANUNG & FORSCHUNG  
POLICY RESEARCH & CONSULTANCY

# Ökonomische Untersuchung der Hochwasserschutzinvestitionen am Oberrhein in Rheinland-Pfalz

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	4
2	Theorie und Empirie.....	5
3	Aktualisierung und Überprüfung einer älteren Kosten-Nutzen-Analyse.....	14
3.1	Datenbasis der Kosten-Nutzen-Analyse und Umrechnung.....	14
3.2	Aktualisierung und Bezug zum Stand 2015.....	16
3.3	Untersuchungsergebnisse für Rheinland-Pfalz.....	19
3.4	Wirkungen auf Vermögensschäden in der Landwirtschaft mit Beispielrechnung für die Gefahrengemeinschaft Worms-Oppenheim.....	22

## **1 Vorbemerkung**

Die vorliegende Kurzstudie betrachtet - unter vereinfachten Annahmen - ökonomische Wirkungen der Hochwasserschutzinvestitionen in den Bau von Retentionspoldern und Deichertüchtigung am Oberrhein in Rheinland-Pfalz. Wesentliche empirische Basis sind Langfristzeitreihen der Abflüsse an den Pegeln Maxau und Worms sowie eine ältere Kosten-Nutzen-Analyse aus dem Jahre 1995, die in der vorliegenden Untersuchung überprüft und aktualisiert wird. Ziel der Studie ist nicht primär die Ermittlung belastbarer Werte zur Schätzung der Wirkungen, sondern vielmehr die Prüfung, welchen Aussagewert die verfügbaren Daten für den gegenwärtigen Stand des Hochwasserschutzes am Oberrhein in Rheinland-Pfalz haben.

Die Ergebnisse finden Eingang in die Ex-post-Bewertung des durch die EU geförderten ländlichen Entwicklungsprogramms ELER-PAUL, über das im Rahmen einer gesonderten Maßnahme der Hochwasserschutz an Rhein und Nahe gefördert wird.

Für die Bereitstellung von Daten und Informationsaustausch sei Herrn Dr. Andreas Meuser (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht), Herrn Adrian Schmid-Breton (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins), Herrn Andreas Christ, Herrn Dr. Bernd Worreschk und Herrn Klaus Weichhart (alle Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz) herzlich gedankt.

## 2 Theorie und Empirie

Die Wirkungsmechanismen von Deichen und Poldern sind unterschiedlich. Während bei bloßem Schutz durch Deiche Abflussvolumen und deren Verteilung konstant bleiben und nur das Schutzniveau verbessert bzw. gesichert wird, haben Retentionspolder einen maßgeblichen Einfluss auf den Abfluss und dessen Verteilung. Beides gemeinsam trägt zu einer Verringerung des Schadens Erwartungswerts bei. Der Hochwasserschutz verfolgt über die Förderung von Poldern und Deichertüchtigung eine Reduzierung der Schadens Erwartung. Zum allgemeinen Ziel eines HQ<sub>200</sub>-Schutzes soll auch die ELER-Förderung der ländlichen Entwicklung beitragen. Die über die Hochwasserschutzbaumaßnahmen des ELER-PAUL-Programms zwischen 2007 und 2013 bewirkte gesamte Reduzierung des Schadensrisikos ist allerdings weder unmittelbar beobachtbar noch mit den verfügbaren Zeitreihen empirisch zu schätzen. Lediglich eine modellhafte Schätzung mit einer Vielzahl von Annahmen ist möglich und kann i.ü. auch nur sehr schwer auf den Landwirtschaftssektor isoliert betrachtet werden.

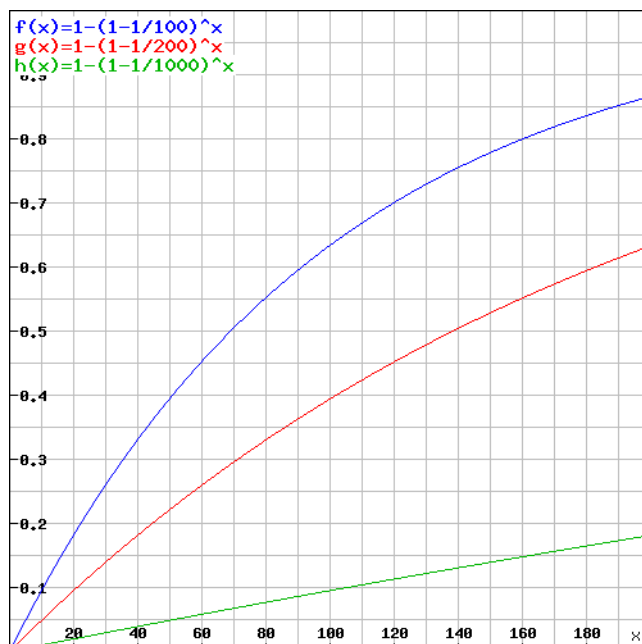
Daher soll hier der Zusammenhang zunächst theoretisch erörtert werden.

Zunächst ist festzuhalten, dass ein HQ<sub>200</sub> Hochwasser, das statistisch im Durchschnitt einmal in 200 Jahren auftritt, nicht automatisch Überschwemmungssicherheit für die nächsten 200 Jahre bedeutet. Es handelt sich lediglich um eine statistische Risikoreduktion im Sinne von:

$$P_H = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

wobei  $P_H$  die Risikowahrscheinlichkeit,  $T$  die Jährlichkeit und  $n$  den betrachteten Zeitraum darstellen. Bei einem HQ<sub>200</sub>-Ereignis liegt demnach die Wahrscheinlichkeit einer entsprechenden Überflutung in den nächsten 50 Jahren bei 22 %. Bei HQ<sub>100</sub> erhöht sich die entsprechende Risikowahrscheinlichkeit auf knapp 40 %. Bei 1000-jährlichem Hochwasser reduziert sich das Risiko auf 5 %. Die Funktionsverläufe sind in folgendem Schaubild dargestellt.

### Vergleich der Risikowahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Jährlichkeiten



Quelle: eigene Berechnung

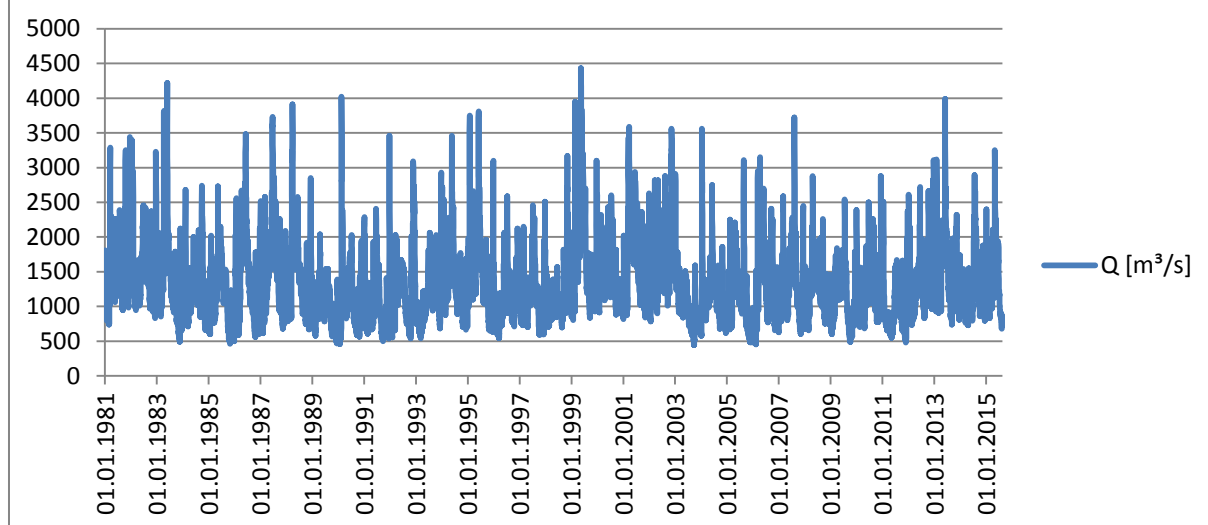
Ein für die angestrebte Schadensminderung notwendiges Ergebnis des Hochwasserschutzes ist die Verringerung der Überflutungshäufigkeit.

Modellhaft soll für die verfügbaren Daten der Pegel Maxau und Worms die Verbesserung des Hochwasserschutzes durch Retentionspolder und Deiche demonstriert werden. Durch erhöhte bzw. ertüchtigte Deiche erhöht sich der Schutz bei gleichbleibendem Abfluss, während Retentionspolder auf eine Veränderung der Verteilung der Abflüsse (niedrigere Mittelwerte, veränderte Streuung) wirken. Deiche werden allerdings in Rheinland-Pfalz nicht erhöht, sondern an das mit HE und B-W vereinbarte gleichwertige Höhenniveau angepasst und gemäß den heutigen technischen Regelwerken ertüchtigt. Der wesentliche Beitrag zur Erhöhung des Schutzes resultiert daher aus den Poldern. Deichertüchtigung soll lediglich das erreichte Schutzniveau stabilisieren.

Durch den Bau von Staustufen hat sich bis 1977 der natürliche Hochwasserschutz am Rhein zunächst maßgeblich verringert. Daher waren in dieser Zeit Wahrscheinlichkeiten von Abflüssen  $> 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (Worms) oder  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (Maxau) signifikant höher als heute, nachdem in Frankreich, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz mehr als 1,5 Mrd. Euro in den Bau von Retentionspoldern investiert wurden. Da sich durch die Fertigstellung eines jeden Polders die Wahrscheinlichkeitsdichte der Abflüsse verändert, lässt sich eine homogenisierte Verteilung und Zuordnung zu Wahrscheinlichkeiten im Zeitablauf nicht empirisch sondern nur im Modell simulieren (s.u.).

Die tatsächliche Veränderung der Verteilung der Abflüsse durch den Bau von Retentionspoldern ist daher empirisch nur schwer zu ermitteln, da die Abflüsse erst über einen hinreichend langen Zeitraum im konstanten Ausbauzustand beobachtet werden müssten, um überhaupt in bestimmten vergleichbaren Intervallen eine Veränderung bei der Verteilung der Abflüsse festzustellen. Diese Veränderung der Verteilung findet auch nur dann statt, wenn die Retentionspolder faktisch zum Einsatz kommen. Dies geschieht freilich wiederum nur bei bedeutenden Hochwasserereignissen und ist daher sehr selten. Auf Mittelwert und Streuung der Abflüsse haben etwaige seltene Ereignisse somit auch einen nur geringen Einfluss. Betrachtet man letztere Lage- und Formparameter, für jeden Ausbauzustand (1977, 1995, 2005, 2010) über den Zeitraum von 1981 bis heute, lassen sich keine wesentlichen Unterschiede erkennen. Erkennbar ist nur, dass die Ausreißer (Extremausschläge) nach 1999 leicht weniger wurden, wie die Graphiken zeigen. Ob dies allein auf die Polder zurückzuführen ist, ist nicht zu vermuten:

## Langfristzeitreihe: Abfluss am Pegel Maxau (Q [m<sup>3</sup>/s])



### Pegel Maxau

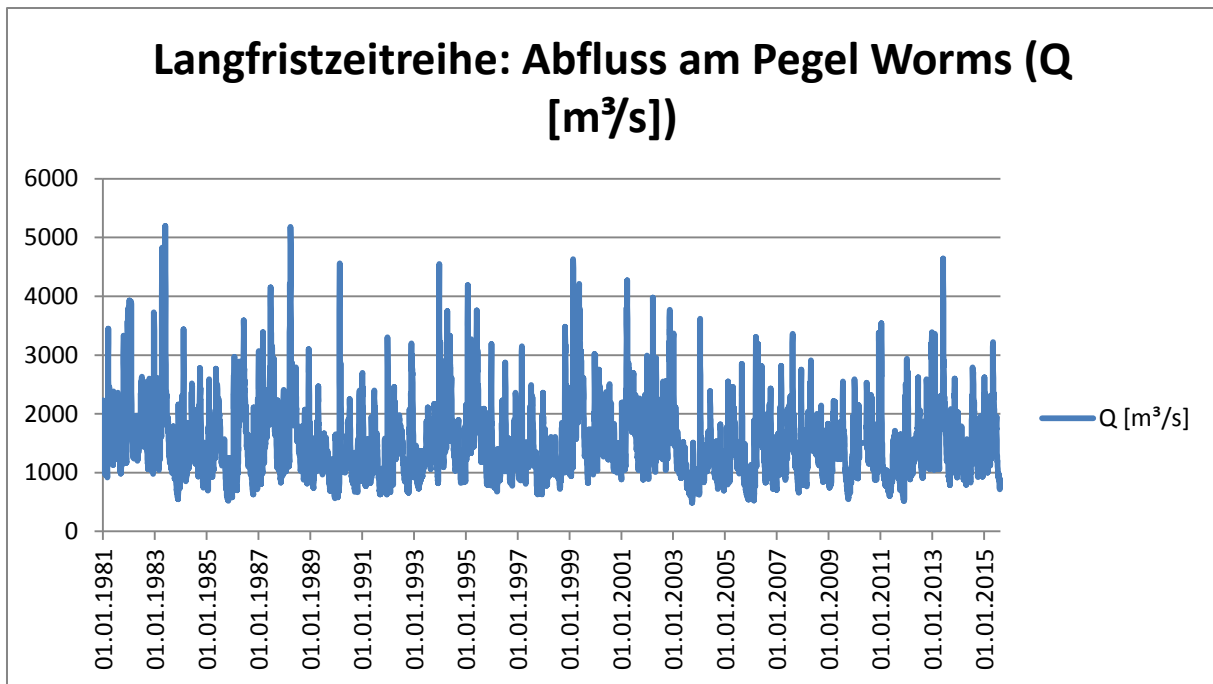
Ausbauzustand 1977	
$\mu^1$	$\beta$
1265,24	531,47

Ausbauzustand 1995	
$\mu$	$\beta$
1346,33	557,94

Ausbauzustand 2005	
$\mu$	$\beta$
1190,73	451,61

Ausbauzustand 2010	
$\mu$	$\beta$
1262,50	476,63

<sup>1</sup>  $\mu$ : Mittelwert;  $\beta$ : Standardabweichung



#### Pegel Worms

Ausbauzustand 1977	
$\mu$	$\beta$
1484,94	633,56

Ausbauzustand 1995	
$\mu$	$\beta$
1485,42	610,09

Ausbauzustand 2005	
$\mu$	$\beta$
1335,62	479,54

Ausbauzustand 2010	
$\mu$	$\beta$
1432,40	531,31

Datenbasis zu den obigen Diagrammen und Tabellen: Tagesdaten zu den Pegeln Maxau und Worms 01.01.1981-19.08.2015, bereitgestellt von der Abteilung „Hydrologie und vorsorgender Hochwasserschutz“ des Landesamts für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz.



Nun ist es aber zumindest möglich, über die Form- und Lageparameter (Mittelwert und Standardabweichung) eine Verteilung zu modellieren, an der die Risikoänderung der Überflutung berechnet werden kann (Hydrologie). Wüsste man zusätzlich, welcher physische Schaden bei welcher Überstauhöhe entstünde (Hydraulik), könnte man den Schadenserwartungswert (Ökonomie) schätzen. Abgesehen davon, dass Lage und räumliche und zeitliche Ausdehnung einer möglichen Deichüberströmung und damit Deichversagens nicht vorhersehbar sind, sind auch Relief und räumliche Vermögensverteilung an jedem Ort sehr unterschiedlich. Folglich kann ein Schadenserwartungswert im Allgemeinen nur mikroskalig ermittelt werden (vgl. Kron 2008). Dies geschieht im Wesentlichen durch die Nutzung von spezifischen empirischen Schadensfunktionen, die in Abhängigkeit vom Vermögensgegenstand höchst unterschiedlich sein können.

In der vorliegenden Analyse betrachten wir zunächst nur die Risikoänderung der Überflutung durch den Bau von Poldern und unter Annahme der gebotenen Deichsicherheit.

Dabei wird für Scheitelabflüsse standardmäßig eine Gumbel-Verteilung angenommen. Die Gumbel-Verteilung wird durch folgenden Zusammenhang dargestellt:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{1}{\beta}(x-\mu)} e^{-e^{-\frac{1}{\beta}(x-\mu)}}$$

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx$$

$$= e^{-e^{-\frac{1}{\beta}(x-\mu)}}$$

Hierbei bedeuten  $\mu$  der Mittelwert der Grundgesamtheit der Abflüsse und  $\beta$  die entsprechende Standardabweichung der Grundgesamtheit. Dabei geben die Werte  $a$  und  $b$  ein beliebiges Intervall an, also z.B. Abflussvolumen.

Bei einem Mittelwert von 0 und einer Standardabweichung von 1 lautet die Verteilungsfunktion:

$$F(x) = e^{-e^{-x}}$$

Die Verteilung konvergiert dabei zu einem Erwartungswert  $\gamma=0,5772$  (Euler-Mascheroni-Konstante).

Um nun zu testen, in welchem Ausmaß eine Verbesserung des Hochwasserschutzes durch Polder von einem jetzigen Schutzniveau von  $HQ_{130}$  (angegebenes Schutzniveau 2015)<sup>2</sup> auf das angestrebte Schutzniveau  $HQ_{200}$  beitragen wird, müssen die Langfristzeitreihen des Abflusses dahingehend manipuliert werden, dass damit ein Abflusszeitraum mit einem Extremhochwasser ( $HQ_{1000}$ ) simuliert wird. Zu diesem Zweck erhöhen und strecken wir die zwischen 2010 und 2015 gemessenen Maximalwerte auf den geschätzten  $HQ_{1000}$ -Abfluss (Maxau: ca. 6.100 m<sup>3</sup>/s; Worms: ca. 7.200 m<sup>3</sup>/s)<sup>3</sup>. Die Streckung der Daten ist erforderlich, um die für diesen Abfluss erforderliche Welle abzubilden.

<sup>2</sup> Das Schutzniveau entlang der durch Deiche geschützten Bereiche am rheinland-pfälzischen Oberrhein variiert infolge der Lage der Retentionspolder. Im Bereich zwischen dem Pegel Maxau und der Neckarmündung liegt der Schutz bei etwa  $HQ_{120}$ , während er zwischen der Neckarmündung und Mainz bei etwa  $HQ_{150}$  liegt. Vereinfachend wird der Schutz einheitlich auf  $HQ_{130}$  angenommen (lt. Aussage des Landesamts für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; siehe auch Homagk 2010).

<sup>3</sup> Siehe Fußnote oben; Es ist darauf zu verweisen, dass in den verschiedenen Studien keine exakt einheitlichen Werte für  $HQ_{1000}$  verwendet werden. Daher wird von uns auch nur ein „Circa-Wert“ verwendet.

Die Form- und Lageparameter ändern sich für die Pegel Worms und Maxau durch die Manipulation wie folgt:

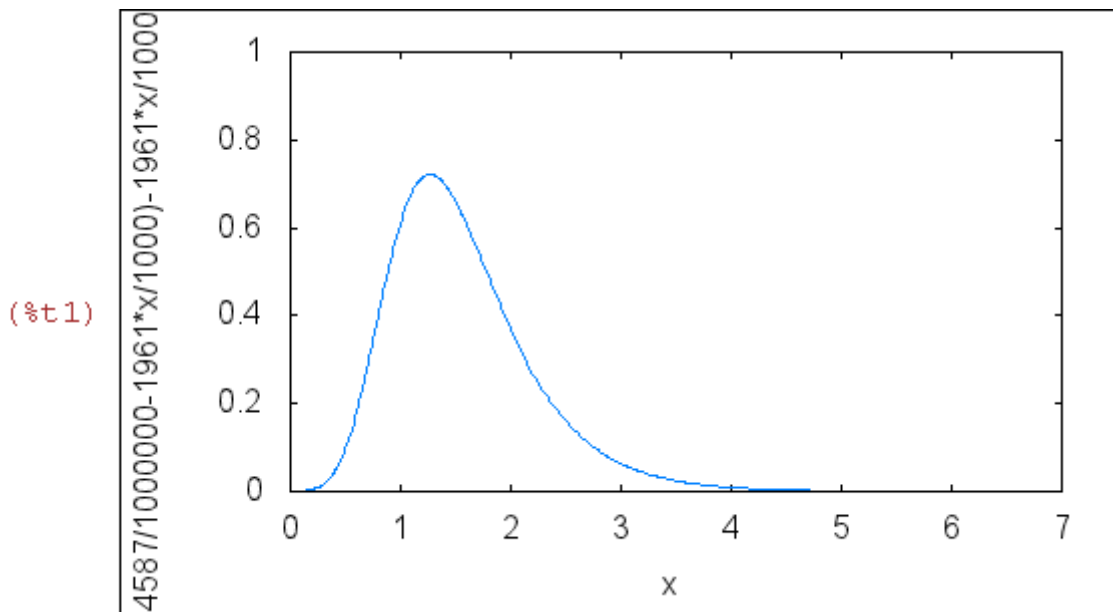
**Veränderung der Parameter bei einem HQ<sub>1000</sub>-Hochwasser Pegel Maxau (Ausbauzustand 2010)**

Real		HQ <sub>1000</sub>	
μ	β	μ	β
1262,5	476,6	1267,0	510,0

**Veränderung der Parameter bei einem HQ<sub>1000</sub>-Hochwasser Pegel Worms (Ausbauzustand 2010)**

Real		HQ <sub>1000</sub>	
μ	β	μ	β
1432,4	531,3	1440,2	585,0

Mit den obigen Daten und Parametern ergibt sich für Maxau eine Gumbel-Dichte-Funktion mit folgender Ausprägung:

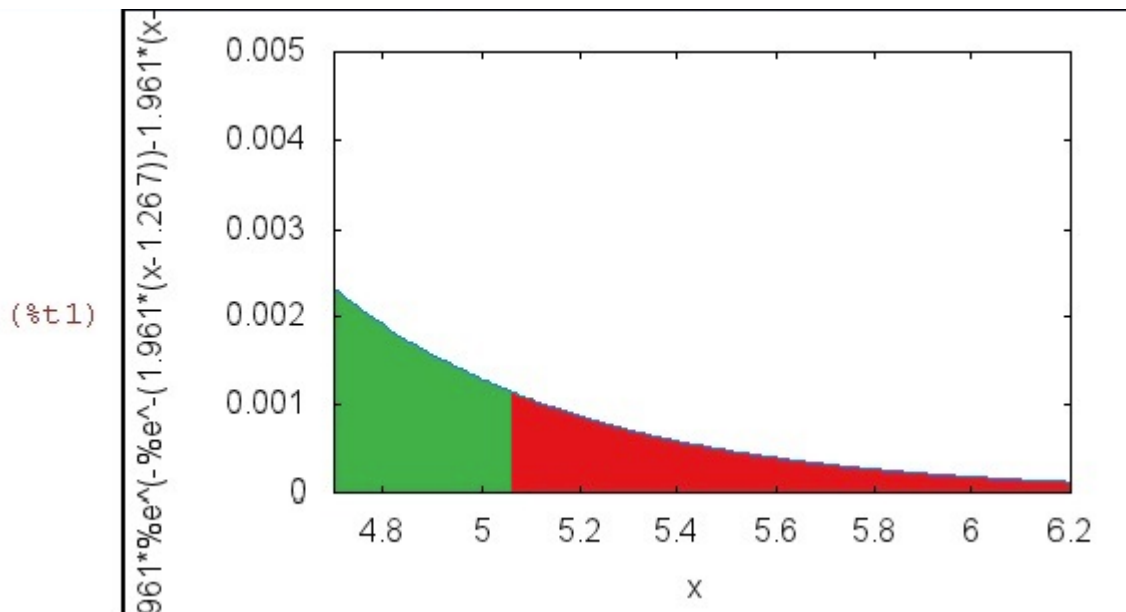


Dabei stellt die x-Achse die Scheitelabflüsse (1/1000\*m<sup>3</sup>/s) und die y-Achse die Häufigkeit in Prozent/100 dar.

Integriert man die Dichtefunktion in den verschiedenen Intervallen, in denen zwischen den Ausbauzuständen HQ<sub>130</sub> und HQ<sub>1000</sub> Schäden zu erwarten sind, also zwischen ca. 4.800 m<sup>3</sup>/s und einem historisch nicht erreichten Extremhochwasser (hier z.B. 6.100 m<sup>3</sup>/s)<sup>4</sup> erhält man einen Wert (Fläche) von 0,00090272 als Überflutungsrisiko. Erhöht man nun das Schutzniveau auf ein HQ<sub>200</sub>-Schutz (ca. 5.050 m<sup>3</sup>/s) reduziert sich das Überflutungsrisiko auf 0,00052334, was einer ca. 42-prozentigen Risikoreduktion entspräche, wie die unter der vergrößerten Kurve dargestellten Abschnitte im folgenden Diagramm zeigen. Der grüne

<sup>4</sup> Abgelesen aus der IKSR-EG-HVAL-Studie: G. Brahmer et al. 2015, Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung durch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen entlang des Rheins, Koblenz: IKSR, p. 30

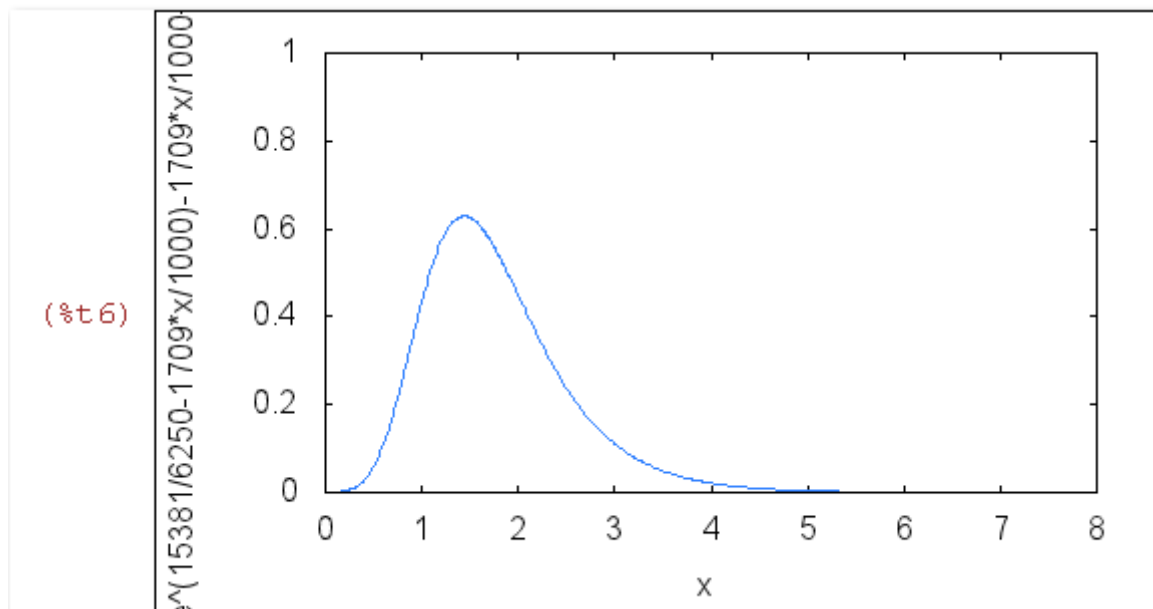
Bereich repräsentiert die durch die Erhöhung des Schutzes von HQ<sub>130</sub> auf HQ<sub>200</sub> erzielte Verbesserung.



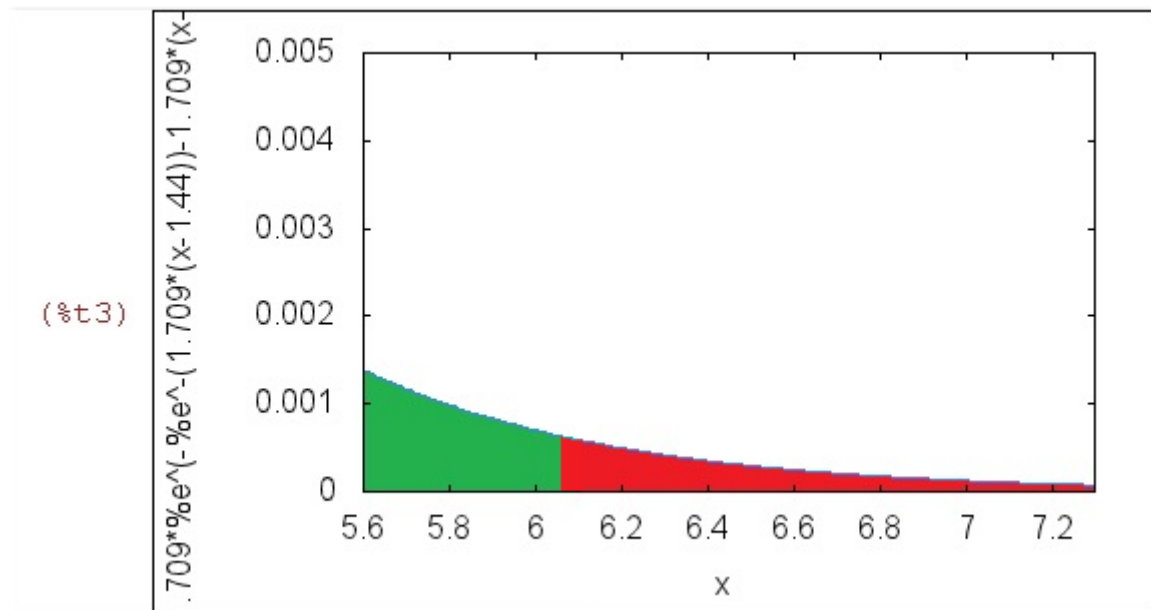
Die augenscheinlich geringen Wahrscheinlichkeiten betreffen Extremausreißer (Überflutung) und sind immer in Verbindung mit den im Eintrittsfall entstehenden Schäden zu betrachten.

Für den Pegel Worms ergeben sich ähnliche Ergebnisse:

Die Dichtefunktion mit simuliertem HQ<sub>1000</sub>-Hochwasser zeigt folgende Ausprägung:



Unter dem HQ<sub>130</sub>-Schutz (ca. 5.850 m<sup>3</sup>/s) ergibt sich ein Risiko einer Überflutung durch ein Extremhochwasser (Fläche bei HQ<sub>1000</sub>-Ereignis) von 0,00048. Bei einer Erhöhung des Schutzes auf HQ<sub>200</sub> (ca. 6.150 m<sup>3</sup>/s) reduziert sich der Wert auf 0,00027 (knapp 44%).



Alleine mit der Verteilungsfunktion lassen sich – wie oben angemerkt - nur die Überschwemmungswahrscheinlichkeiten schätzen, nicht jedoch der Schaden, da dieser für jedes Hochwasser in Abhängigkeit vom Ausbauzustand variiert.

Möchte man nun den Schadenserwartungswert  $SEW_T$  bestimmen, so hängt dieser ab vom Schadensumfang  $S_T$  beim kritischen Ereignis  $HQ_T$  und der Eintrittswahrscheinlichkeit  $P_H$  von  $HQ_T$ :

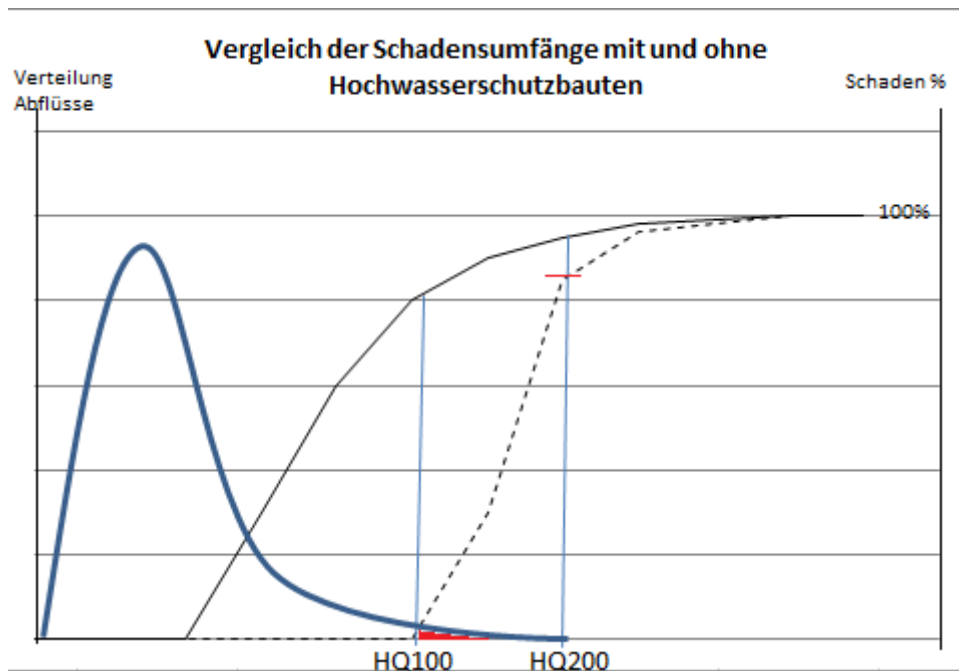
$$SEW_T = S_T \cdot P_H$$

Bei einer 30-prozentigen Schadenswahrscheinlichkeit ( $HQ_{200}$ ) für die nächsten 70 Jahre (d.h.  $P_H$  für  $HQ_{200}$  über die kommenden 70 Jahre) und ca. 13 Mrd. € Schadenspotenzial für den eingedeichten Oberrhein liegt demnach der Schadenserwartungswert folglich bei 3,9 Mrd. € (in Preisen von 1995<sup>5</sup>), sofern keine Veränderung des Status Quo des Hochwasserschutzes und der hydrologischen Gegebenheiten des Rheins angenommen werden.

Sowohl  $S_T$  als auch  $P_H$  hängen von der Jährlichkeit ab. Die Problematik lässt sich an der folgenden mikroskaligen Modellgraphik erkennen. Dabei stellt die linke Ordinate die Verteilung der Abflüsse und die rechte den relativen Schaden dar. Ohne Schutz verläuft die Schadensfunktion entlang der schwarzen Linie. Ein 100-jährliches Hochwasser würde in diesem Modell demnach knapp über 80% des möglichen Vermögensschadens verursachen; ein 200-jährliches entsprechend ca. 95%. Bei einem  $HQ_{100}$ -Hochwasserschutz ist die Schadensfunktion nach rechts gestaucht; Schäden treten erst bei  $HQ_{>100}$  auf. Allerdings sind diese ebenfalls verringert.<sup>6</sup> So verursacht ein 200-jährliches Hochwasser in dem Modell nur 85% des möglichen Vermögensschadens. Die Schadensreduktion ergibt sich dann aus dem Anteil der Fläche unter der Verteilungsdichte im kritischen Intervall  $>HQ_{100}$  (rote Fläche) und dem bei  $HQ_{200}$  möglichen Schaden mit einem 100-jährlichen Hochwasserschutz. Ohne Schutz müsste die Fläche des gesamten Intervalls, in dem Überschwemmungen zu erwarten sind, und die gesamte Schadenserwartung betrachtet werden.

<sup>5</sup> S.u. Daten der Kosten-Nutzen-Analyse. Bei einer durchschnittlich jährlichen Preissteigerung von 2% erhöht sich der Gegenwartswert auf 5,25 Mrd. Euro

<sup>6</sup> Vgl. Feldmann, Lutz 2009, Optimierung des Mitteleinsatzes für Hochwasserschutzmaßnahmen an Fließgewässern im urbanen Raum, Diss. Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, pp. 132 f.



Quelle: Eigene Darstellung

Legende:

Blaue Kurve: Dichtefunktion

Schwarze Kurve: Schadensfunktion ohne Schutz

Schwarz-gestrichelte Kurve: Schadensfunktion mit Schutz

Tatsächlich wird der Schadenserwartungswert stufenweise mit der jeweiligen Fertigstellung der Deichbau- und Retentionsmaßnahmen abnehmen und ggf. durch Wertsteigerungen im vom Hochwasser bedrohten Vermögen sowie hydrologische/klimatische Veränderungen auch wieder zu einem gewissen Grade neutralisiert.<sup>7</sup>

Die durch die Hochwasserschutzmaßnahmen bewirkte Schadensminderung ergibt sich in der Theorie durch den folgenden Zusammenhang:

$$S_M = \int_{Q_A}^{HHQ} s(Q) \cdot h(Q) \cdot dQ - \int_{Q_A}^{HHQ} s(Q) \cdot h'(Q) \cdot dQ$$

<sup>7</sup> Eine wichtige Größe für eingedeichte Gebiete bezüglich der Schadensrisiken ist das für die Auslegung der Deiche zugrunde gelegte Bemessungshochwasser. Hierzu führt der Bericht der IKSR 2006 (Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser Bericht 2005 *Bezugsjahr 1995*) folgendes aus: „Bei einem Hochwasserereignis im Bereich des Bemessungsabflusses, wird das Schadensrisiko durch die Kombination von vermindertem Schadenspotenzial und der geänderten Jährlichkeit bestimmt (in diesem Abflussbereich beeinflussen die wasserstandsmindernden Maßnahmen die Hochwasserereignisse). Die Reduzierung des Schadenspotenzials beträgt auf den eingedeichten Rheinstrecken zwischen 0 und 10 %. Die Veränderungen im Wasserstand führen allerdings, aufgrund der Sensitivität der Eintrittswahrscheinlichkeit auf geringe Änderungen beim Abfluss, zu einer deutlichen Reduzierung des Schadensrisikos. Dies bedeutet, dass Abflüsse, die im Jahr 1995 noch zu Überflutungen geführt haben, durch die umgesetzten Retentionsmaßnahmen keine Überschwemmungen mehr bewirken. Da das Hochwasserbewusstsein in deichgeschützten Bereichen jedoch geringer ausgeprägt ist als in Gebieten, die regelmäßig mit Hochwasser konfrontiert werden, wird die Zielsetzung 2020 dort auch schwieriger zu erreichen sein. Hier sind weitere Anstrengungen erforderlich. Bei extremen Ereignissen mit Überströmen der Deiche ist die Zielsetzung, die Reduzierung um 25 % bis 2020 zu erreichen, ohne zusätzliche Anstrengungen auf der gesamten Rheinstrecke voraussichtlich nicht realistisch. Hinsichtlich der angestrebten 25-prozentigen Reduzierung der Hochwasserschadensrisiken bis 2020 ist festzuhalten, dass der weitere Handlungsbedarf somit offensichtlich wird.“

Hierbei stellen  $S_M$  die Schadensminderung,  $Q_A$  den Ausbaudurchfluss, HHQ das höchste Hochwasser,  $s(Q)$  die Schadensfunktion,  $h(Q)$  die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Hochwasserabflüsse ohne Schutzmaßnahmen und  $h'(Q)$  die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit Schutzmaßnahmen dar<sup>8</sup>. Entscheidend sind die Dichtefunktionen, die auf zwei Hochwasserabflusssequenzen mit unterschiedlichen Mittelwerten und ggf. unterschiedlicher Streuung basieren. In dem obigen Zusammenhang erscheint das Zusammenspiel von Hydrologie (Abflussverhalten), Hydraulik (Physik von Wasserstand, Widerstandsfähigkeit der Deiche in Abhängigkeit des Abflussverhaltens) und Ökonomie (Schaden in Abhängigkeit von der möglichen Überstauhöhe bezogen auf das betroffene Vermögen, entgangener Wertschöpfung und den erforderlichen Kosten im Katastrophenschutz).

Die Schadensfunktion lässt sich zwar für jeden Vermögensgegenstand bestimmen, allerdings ist bei einem Hochwasser die Überstauhöhe aufgrund des Reliefs nicht konstant, eine Berechnung auf Basis der Verteilung und der Schadensfunktionen ist daher nur als Summe aus einer mikroskaligen Betrachtung heraus möglich. Dazu müsste man in der Theorie zu jedem betroffenen Vermögensgegenstand im hochwassergefährdeten Gebiet die jeweilige Überflutungshöhe bei allen das Bemessungshochwasser übersteigenden Abflüssen berechnen. Ein solches Vorgehen ist nicht praktikabel.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird stattdessen im Folgenden eine bestehende ältere Kosten-Nutzen-Analyse für den Oberrhein überprüft und aktualisiert (Pflügner, W. et al. 1995, Ermittlung der Hochwasserschadenspotenziale am Oberrhein, München, Wiesbaden). Gleichzeitig werden die Ergebnisse speziell für Rheinland-Pfalz bewertet. Anhand einer weiteren Fallstudie wird – ebenfalls auf Basis der Kosten-Nutzen-Analyse - eine ländlich geprägte Gefahrengemeinschaft (Worms-Oppenheim) näher betrachtet.

### **3 Aktualisierung und Überprüfung einer älteren Kosten-Nutzen-Analyse<sup>9</sup>**

#### **3.1 Datenbasis der Kosten-Nutzen-Analyse und Umrechnung**

Als Gesamtschadenspotenzial, d.h. der Gesamtvermögenswert der von Hochwasser bedrohten Güter wurde für den Oberrhein ein kapitalisierter Wert von 121 Mrd. DM, entsprechend 61,9 Mrd. Euro errechnet.<sup>10</sup> Im Bereich der deichgeschützten Abschnitte hat Rheinland-Pfalz mit gut 25 Mrd. Euro den größten Anteil.

---

<sup>8</sup> Vgl. auch H. Holzmann o.J., *Wasserwirtschaft, Hydrologie und Flussgebietsmanagement: Schadensanalyse*, IWHW, Wien; A. Kron 2008, *Mikroskalige Ermittlung potenzieller Hochwasserschäden zur Gefahren- und Risikoanalyse*, Mitteilungen des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe Heft 236, Karlsruhe

<sup>9</sup> Pflügner, W. et al. 1995, Ermittlung der Hochwasserschadenspotenziale am Oberrhein, München, Wiesbaden

<sup>10</sup> Der Einfachheit halber wurde der offizielle Kurs bei Einführung des Euro gewählt. Präziser wäre der Wechselkurs DM/Euro zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie (aktueller Wert zum Monatsbericht der Bundesbank). Da der Wechselkurs jedoch nur in einem engen Korridor schwanken durfte (er diesen Korridor dann aber auch voll abdeckte) und die Kalkulationsgrundlagen der Studie Kostenschätzungen waren, sollte der fixierte DM/Euro-Wechselkurs als Grundlage akzeptabel sein.

Maximales Gesamtschadenspotenzial		
	Mrd. DM	Mrd. Euro
5 offene Systeme	4	2,05
BW	44	22,50
Hessen	28	14,32
RLP	49	25,05
Gesamtschaden geschl. Systeme	121	61,87

Der maximal durch Hochwasser verursachte Gesamtschaden entspricht aber nicht dem gesamten Vermögen. Als maximaler Schaden wurde 1995 folgender Wert errechnet:

Maximale Gesamtvermögensschäden je Bundesland	Mrd. DM	Mrd. Euro
BW	9,1	4,65
Hessen	5,5	2,81
RLP	10,8	5,52
Gesamt	25,4	12,99

Insgesamt liegt damit der mögliche maximale Schädigungsgrad bei 20,99%.

Davon lässt sich für die einzelnen Vermögenskategorien grob unterteilen:

Maximale Gesamtvermögensschäden	sektoral		
	%	Mio. DM/qkm	Mio. Euro/qkm
Produktivvermögen (inkl. Hausrat)	52	13,3	6,80
Wohnvermögen (inkl. Hausrat)	42	10,6	5,42
Sonstige	6	1,5	0,77

Wohn- und Produktivvermögen machen dabei 94% aus. Vermögen bei Nutzflächen z.B. in der Landwirtschaft fallen dabei kaum ins Gewicht.

Pflügner et al. (1995) berechnen den erwarteten Schaden bei einem HQ<sub>200</sub>-Ereignis wie folgt:

Durchschnittlicher Vermögensschaden bei HQ <sub>200</sub> *		
	Mrd. DM	Mrd. Euro
Schadensumfang	10,8	5,52

\*Mittelwert in einem Intervall zwischen 8,2 und 13,4 Mrd. DM (bzw. 4,19 und 6,85 Mrd. Euro)

Unter Berücksichtigung von Wertschöpfungsverlusten, Katastrophenschutz Aufwand und sonstigen Kosten errechnen sich im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse (Pflügner 1995 ibid.) die Schadenserwartungen für folgende Hochwasser im Ist- und Sollzustand:

Vermögensschäden HQ <sub>200</sub> /HQ <sub>1000</sub>		
	Mrd. DM	Mrd. Euro
HQ <sub>200</sub> (ist)	12,4	6,34
HQ <sub>1000</sub> (ist)	17	8,69
HQ <sub>1000</sub> (soll)	12,9	6,60

Als jährliche Schadensminderung aufgrund der Wirkungen der zu bauenden Polder wurden 36,6 Mio. Euro errechnet:

Jährliche Schadensminderung ( $\Delta S/a$ )		
	Mio. DM	Mio. Euro
Minderung	71,6	36,61

Hiermit wurde sodann der Nutzenbarwert (NBW) über einen Prognosezeitraum von 80 Jahren ermittelt.

$$NBW = (1 + r) \cdot \frac{(1 + i)^n - (1 + r)^n}{(1 + i)^n \cdot (1 - r)} \cdot \Delta S/a$$

wobei S den Schaden, r die angenommene Vermögenswertsteigerung pro Jahr und i den Zinsfuß darstellen. Der daraus errechnete Nutzenbarwert (ex-ante) entspricht  $55,27 \times 71,6 = 3,95$  Mrd. DM, entsprechend 2,02 Mrd. Euro. Unter Annahme der aus Sicht 1995 erforderlichen ca. 1 Mrd. DM (0,51 Mrd. Euro) Investitionskosten zum Bau der Polder ergibt sich ex-ante ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von knapp 4, was volkswirtschaftlich eine möglichst zügige Umsetzung der Baumaßnahmen nahegelegt hatte.

### 3.2 Aktualisierung und Bezug zum Stand 2015

Nun lässt sich auf Basis dieser Zahlen auch der ex-ante-Stand für 2015 berechnen:

Kosten-Nutzen-Verhältnis ex-ante (bis 2015)			
	Mio. Euro/a	Faktor	Nutzenbarwert (Mio. Euro)
Nutzenbarwert 20 Jahre	36,61	16,13	590,52
angenommene Investitionen 1995 (kapitalisiert)	510		
Kosten-Nutzen-Verhältnis ex-post (2015)	1,16		

Demnach ergibt sich unter Annahme korrekter Schätzungen bereits für 2015 eine positive Nutzen-Kosten-Bilanz.

Nun interessiert uns aber weniger das Ex-ante-Ergebnis, sondern vielmehr der Zustand ex-post. Auch dieser ist nur unter verschiedenen vereinfachenden Annahmen zu berechnen, wie z.B. einer konstanten Wertsteigerung und gleichbleibenden Jahrestrenchen.

Investitionen 1995-2015 (Soll und Ist)	Inv-Soll/a	Inv-Soll gesamt	Auf 2015 aufgezinnt (r=2%)	Investiert in Polder MULEWF <sup>11</sup>	Inv.-Ist auf 1995 abgezinst (r=2%)	Inv.-Ist/a
Investitionen 1995-	25.500.000	510.000.000	757.833.172	1.300.000.000	874.862.733	43.743.137

<sup>11</sup> 2005 lagen die realen Investitionen bereits bei Euro 850 Mill. (IKSR 2005, Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser, Koblenz (156\_d.pdf), p. 28

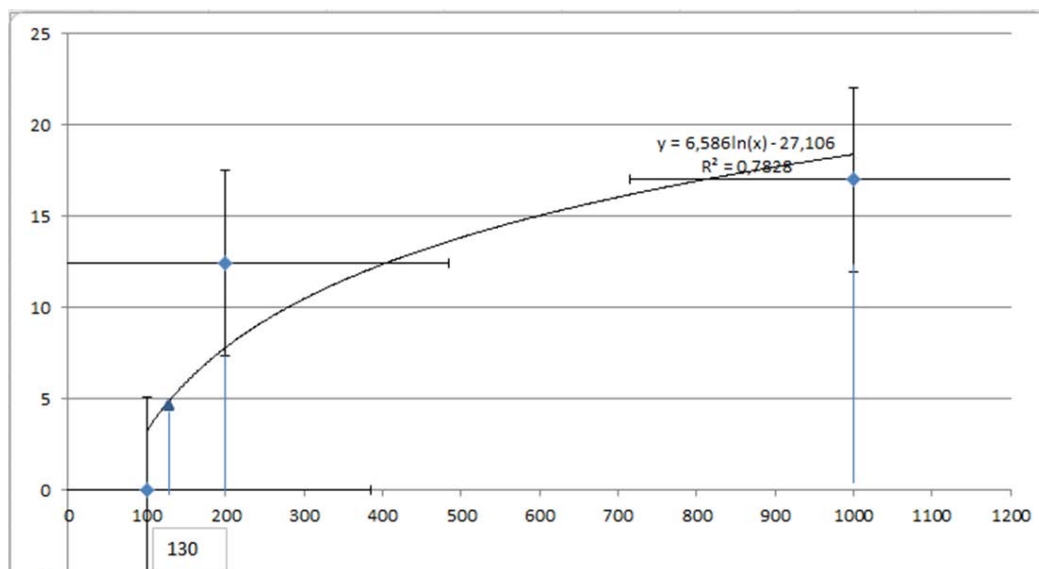


2015 (20 Jahre) (€)						
---------------------	--	--	--	--	--	--

Auswertung KNV ex-post 2015	
Nutzenbarwert 20 Jahre (€)	790.919.654
Realinvestition (Preise von 1995) (€)	874.862.733
Differenz (€)	83.943.079
Ergebnis Nutzen-Kosten-Verhältnis bei einem angenommenen HQ <sub>200</sub> -Schutz:	0,90
Schlussfolgerung	noch nicht amortisiert

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis liegt unter der Betrachtung der real erfolgten Investitionen unter Annahme der gleichen Parameter (Zinsfuß  $i=3\%$  und Wertzuwachs  $r=2\%$ ) bei 0,9. Das Ergebnis ist allerdings annahmesensitiv. Würde man in einer Sensitivitätsüberprüfung den Zinsfuß auf 1% reduzieren und den Wertzuwachs auf 3% erhöhen (was unter den gegenwärtigen Bedingungen der Niedrigzinspolitik mit Neigung zur Vermögensblasenbildung in Deutschland sogar realistisch wäre) läge der Nutzenbarwert bereits bei 890 Mio. Euro und die Investitionen hätten sich bereits amortisiert. Retrospektiv, über den gesamten Zeitraum der Betrachtung, dürften die gewählten Parameter jedoch halbwegs realistisch sein.

Bekanntlich wurde bislang der HQ<sub>200</sub>-Schutz aber noch nicht erreicht. Definitiv erreicht ist laut Aussage des Landesamts für den gesamten Oberrhein lediglich der Schutz gegen ein HQ<sub>130</sub>-Hochwasser. Die Schadenserwartung hierfür lässt sich mit den verfügbaren Daten nur sehr unpräzise berechnen. Behelfsmäßig lässt sich mit den Daten der Kosten-Nutzen-Analyse (Pflügner et al. 1995 ibid.) für 100-jährlichen Schutz (Schaden 0 Euro<sup>12</sup>), 200-jährlichem Ist-Schutz (Schaden 12,4 Mrd. DM) und 1000-jährlichem Ist-Schutz (Schaden 17 Mrd. DM) lediglich der folgende Zusammenhang schätzen:



X-Achse: Jährlichkeit, Y-Achse: Mrd. DM (Datenquelle: Pflügner, W. et al. 1995)

<sup>12</sup> Unter den Annahmen einer vollständiger Sicherheit der Deiche und einer korrekten Schadensprognose eines 200-jährlichen und 1000-jährlichen Hochwassers mit einem durchgängigen HQ<sub>100</sub>-Schutzniveau.

Nimmt man die ermittelte logarithmische Regressionskurve trotz der ausgewiesenen extremen Fehlervarianz ernst, lässt sich zur Illustration für ein HQ<sub>130</sub>-Hochwasser mit HQ<sub>100</sub>-Schutz ein Wert bestimmen, der 1995 knapp unter 5 Mrd. DM liegt. Mit Umrechnung auf Euro und unter Annahme der 2-prozentigen Wertsteigerung ergeben sich dann folgende Werte:

Schadensableitung (bei 2-prozentiger Wertsteigerung pro Jahr)			
	Schaden 1995 Mrd. DM	Schaden 1995 Mrd. €	Real 2015 (Mrd. €)
HQ <sub>130</sub>	4,95	2,53	3,76
Differenz HQ <sub>200</sub> -HQ <sub>130</sub>	7,45	3,81	5,66

Damit lassen sich unter Annahme eines künftig konstanten Schutzniveaus (HQ<sub>130</sub>) für den Oberrhein theoretische Schadenserwartungswerte ableiten:

Schadenserwartungswerte (HQ <sub>130</sub> * p) (Mrd. €)			
Zeithorizont	10 Jahre	80 Jahre	130 Jahre
Mrd. €	0,28	1,73	2,39

Bleibe das Schutzniveau für die kommenden 10 Jahre konstant, müsste man demnach mit einem statistischen Schaden von ca. 280 Mio. Euro rechnen. Es kann aber realiter angesichts der ausgewiesenen Fehlervarianz in der Schätzung viel weniger oder auch viel mehr sein, daher ist die Berechnung nicht als Ergebnis, sondern wirklich nur als Beispielrechnung zu verstehen.

Zum Erreichen eines vollständigen HQ<sub>200</sub>-Schutzes sind nach Aussage des MULEWF noch weitere 100 Mio. m<sup>3</sup> Retentionsraum in Baden-Württemberg zu schaffen. Dies beläuft sich in einem Kostenumfang von weiteren ca. 1 Mrd. Euro. Da die Schadensprognose insgesamt sehr unzuverlässig ist, besteht weiterhin der Bedarf eines möglichst zügigen Ausbaus der Polder.

Schließlich ist noch auf zusätzliche Unsicherheiten bei den Schadensprognosen durch sog. „Unobservables“ in der Zukunft zu verweisen. Zu nennen sind fiskalische Unsicherheiten, die z.B. einen Einfluss auf die Unterhaltungsinvestitionen bei Deichen und damit einen direkten Einfluss auf die Sicherheit haben, und zwar nicht nur durch Deichbruch sondern auch durch Unterläufigkeit (so z.B. Rice, J. und Lourdes Polanco 2012, Reliability-Based Underseepage Analysis in Levees Using a Response Surface–Monte Carlo Simulation Method, in *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 138/2012).

Vor allem aber auch der Klimawandel spielt eine herausragende Rolle bei der Prognoseunsicherheit. Te Linde et al. (2011) haben dies in Modellszenarien näher verdeutlicht:

Unsicherheit bei den Schadensprognosen durch multiple "unobservables", wie Klimaänderungen etc.*	
	Schadenserwartung/a (Mrd. €)
Referenzsituation Oberrhein 2000 (p=0,005)	0,29
Prognose 2030 optimistisch (p=0,0062)	0,39
Prognose 2030 pessimistisch (p=0,0129)	0,94

Überflutungswahrscheinlichkeiten unter optimistischer und pessimistischer Prognose	
Überflutungswahrscheinlichkeit Oberrhein Referenz	0,005
Überflutungswahrscheinlichkeit 2030 optim. (p)	0,0062
Überflutungswahrscheinlichkeit 2030 pessim. (p)	0,0129

Cf. te Linde, A.H. et.al. 2011, Future flood risk estimates along the river Rhine, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, pp. 465 u. 469

Solche weiteren möglichen Prädiktoren für das künftige Schadensrisiko können im Rahmen dieser Untersuchung aber nicht näher berücksichtigt werden.

Als Schlussfolgerung muss gesagt werden, dass eine Aktualisierung der Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserschutzinvestitionen am Oberrhein von 1995 für eine Bewertung der Minderung der Schadenserwartungswerte insgesamt nur bedingt aussagekräftig ist. Dennoch sollen auch die Ergebnisse speziell für Rheinland-Pfalz aktualisiert, überprüft und mit neuen modellbasierten Prognosen über die Wahrscheinlichkeitsänderungen aufgrund der Wirkung von Retentionspoldern kombiniert und analysiert werden.

### 3.3 Untersuchungsergebnisse für Rheinland-Pfalz

Mit 40,5% der durch Hochwasser gefährdeten Fläche am Oberrhein, hat Rheinland-Pfalz den größten Anteil der Oberrheinanlieger. Hochgerechnet auf 2015 besitzt das in Rheinland-Pfalz mit den Daten der Kosten-Nutzen-Analyse von 1995 errechnete Vermögen einen Wert von 33,72 Mrd. Euro. Der maximal mögliche Schaden liegt entsprechend der obigen Berechnungen bei 7,43 Mrd. Euro (hochgerechnet 1995-2015). Bezogen auf Extremhochwässer (HQ<sub>200</sub> und HQ<sub>1000</sub>) errechnen sich auf der Basis der KNA (Pflügner et al. 1995) folgende Werte:

Vermögensschäden HQ <sub>200</sub> /HQ <sub>1000</sub>	RLP			
	Gesamtschaden Mrd. Euro (1995)	Gesamtschaden Mrd. Euro (2015) (r=2%)	Schadenserwartungswerte 200a/1000a gesamt (Mrd. €)	Schadenserwartungswerte bis 2095 (Mrd. €)
HQ <sub>200</sub> (ist)	2,57	3,46	2,19	1,1404
HQ <sub>1000</sub> (ist)	3,52	4,74	2,99	0,3648
HQ <sub>1000</sub> (soll)	2,67	3,60	2,27	0,2768
Jährliche Schadensminderung Anteil RLP	29,00	39,03		

Hochgerechnet auf die nächsten 80 Jahre ergibt sich unter Annahme eines bis 2020 erfolgten vollständigen HQ<sub>200</sub>-Schutzes am Oberrhein die folgende Wertstaffelung:

Schadenserwartung 2015/2020-2095 (HQ <sub>200</sub> -Schutz) (Mrd. €)	gestaffelt
0,0864	bis 2020 (HQ <sub>200</sub> -Ist)
0,0237	bis 2020 (HQ <sub>1000</sub> -Ist)
0,2589	ab 2020-2095 (HQ <sub>1000</sub> -Soll)
<b>0,3689</b>	Gesamt

Unter der Annahme eines möglichen 200-jährlichen Hochwasserschadens bis 2020 ist das hierfür verbleibende Restrisiko (5 Jahre) plus die Schadenserwartung  $HQ_{1000}$  (Extremhochwasser) zu addieren und davon die Schadensminderung abzuziehen, die sich ab 2020 durch die Schadenserwartung eines  $HQ_{200}$ -Hochwassers ergibt. Nominal ergibt sich bis 2095 damit eine Schadensminderung von in etwa 1,14 Mrd. Euro [Summe der Schadenserwartungswerte für  $HQ_{200}$  und  $HQ_{1000}$  im Istzustand abzüglich der Schadenserwartung im Sollzustand: (1,1404 Mrd. € + 0,3648 Mrd. €) – 0,3689 Mrd. €].

Der Ist-Zustand des Hochwasserschutzes am Oberrhein im Jahr 2015 liegt bei einem in etwa 130-jährlichen Hochwasser. Aufgrund der in den letzten Jahrzehnten getätigten Investitionen in den Polderbau entspricht der Abfluss eines 130-jährlichen Hochwassers im Jahre 2015 nicht mehr einem 130-jährlichen Abfluss im Jahre 1995; die hydrologischen Gegebenheiten haben sich verändert. Die Wahrscheinlichkeitsänderung ist hier entscheidend.

Hierzu haben wir die Auswertung zu den modellbasierten Datenpunkten aus der IKSR-Studie (Brahmer et al. 2015) zu den theoretischen Jährlichkeiten abgelesen, um damit die unterschiedlichen Verteilungen und jeweiligen kritischen Werte der einzelnen Ausbaustände zu vergleichen.

Abfluss/Jährlichkeit	HQ <sub>100</sub> (1995)	HQ <sub>100</sub> (2015)*	HQ <sub>200</sub> (2010)	HQ <sub>200</sub> (2010) modellberechnet**	HQ <sub>200</sub> (2015) abgelesen***	Realschutz 2015: ≈HQ <sub>130</sub> ****
Maxau	5.300	4.650	5.700	5.670,72	5.050	4.800 (+/- 100)
Worms	6.200	5.650	6.700	6.656,65	6.150	5.850 (+/- 150)

\*Studie der IKSR EG HVAL: Brahmer et al 2015, Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung durch die hochwasserschutzinduzierenden Maßnahmen entlang des Rheins, p. 30; Mittelwert der Werte 2010 und 2020

\*\* ibid. Auf Basis der Regressionsgleichungen, p. 26

\*\*\* ibid. Abgelesen auf der logarithmischen Skala, p.30

\*\*\*\* ibid. p. 30 (ca. mittlerer Wert mit der abgelesenen Streuung zwischen den Ausbauzuständen 2010 und 2020 (geplant))

### **3.4 Wirkungen auf Vermögensschäden in der Landwirtschaft mit Beispielrechnung für die Gefahrengemeinschaft Worms-Oppenheim**

Was die Wirkung des Hochwasserschutzes auf die Landwirtschaft betrifft, ist es zunächst erforderlich, die Wertsteigerungen seit 1995 und die Änderung des Anteils an der Flächennutzung zu betrachten. Die Pachtpreise für landwirtschaftliche Flächen stiegen laut Landesgrundstücksmarktbericht Rheinland-Pfalz 2013 (Oberer Gutachterausschuss 2013) in Rheinland-Pfalz zwischen 1997 und 2011 von 174 €/ha. auf 199 €/ha, d.h. nominal jährlich um ca. 1% (p. 68), Grundstückspreisentwicklungen zeigen regional und über die Zeitachse hinweg (2001-2011 bzw. 2010-2012) ein höchst heterogenes Bild: für den Zeitraum 2001-2011 lag die Preissteigerung in Bad Kreuznach bei 0% während für den Raum Trier bei 2% lag. Zwischen 2010 und 2012 stieg die Rate für den Raum Bad Kreuznach auf 1%, während sie im Raum Trier nicht zuletzt aufgrund des Pendlerarbeitsmarkts Luxemburg auf 8,2% (Stadt) und 5,2% (Umland) emporschnellte. Entlang der Oberrheinschiene haben sich die Bodenpreise z.B. für Worms zwischen 1% (2001-2011) und 6,5% (2010 – 2012) entwickelt (ibid. p.35-36). Insgesamt ist die Bevölkerungsdichte in den Kommunen am Oberrhein im Vergleich zu den übrigen Landesteilen relativ hoch, v.a. Worms, Frankenthal, Ludwigshafen, Rhein-Pfalz-Kreis und Speyer; gleichzeitig ist der Raum Germersheim bis Bingen mit Ausnahme von Frankenthal durch eine positive demographische Entwicklung gekennzeichnet (ibid. pp. 69 und 71). Folglich kann der in der Kosten-Nutzen-Analyse von 1995 unterstellte nominale Wertzuwachs von 2% als realistisch eingestuft werden, jedoch dürfte der Bodenpreiswert in den Kommunen am Oberrhein in Zukunft eher steigen. Was die Wertsteigerungen speziell in der Landwirtschaft betreffen sind die Werte jedoch unterdurchschnittlich. Gleichzeitig hat sich auch der Anteil der Landwirtschaft an der Fläche verringert. Zwischen 1996 und 2013 sank die Landwirtschaftsfläche von 862.000 ha auf 829.000 ha (Statistisches Landesamt 2014, Nutzung der Bodenfläche zum 31.12.2013, Bad Ems, p. 9). Multipliziert man die jeweilige Fläche mit dem Hektarpachtpreis in 1997 und 2011 erhält man eine Steigerung von 150 auf 165 Mio. Euro, entsprechend 0,7% p.a.. Dies bedeutet, dass bei einer Kosten-Nutzen-Analyse speziell für den Landwirtschaftssektor der unterstellte Parameter ( $r=0,02$ ) zu hoch gewählt wäre. Dies ist umso mehr von Bedeutung, als dass Prognosen bis 2030 einen erheblichen Rückgang der Landwirtschaftsfläche andeuten. Te Linde (2011, p. 465) prognostizieren demnach zwischen 2000 und 2030 einen Rückgang zwischen 15 und 16%. Das bedeutet, dass sich die durch Hochwasserschutz bewirkte Schadensminderung in der Landwirtschaft angesichts der Vermögensentwicklung relativ zu den anderen Flächenkategorien (v.a. Siedlung und Gewerbe) verringern wird. Eine auf den Landwirtschaftssektor in den rheinland-pfälzischen Gemeinden am Oberrhein fokussierte langfristige Kosten-Nutzen-Berechnung kann mit den verfügbaren Daten nicht realisiert werden.

Für die Gefahrengemeinschaft Worms-Oppenheim, eine Schwerpunkt-Gefahrengemeinschaft in der ELER-Förderung, lässt sich beispielhaft die Veränderung des erwartbaren Schadens für die Landwirtschaft jedoch wie folgt berechnen:

## LW-Flächen: Gefahrgemeinschaft Worms-Oppenheim

Gemeinden	Qkm	LW-Fläche (%1996)	LW-Fläche (%2014)	LW-LNF (Qkm 1996)	LW-LNF (Qkm 2014)
Worms <sup>13</sup>	108,73	63,20	61,20	68,72	66,54
Hamm	7,89	61,30	54,40	4,84	4,29
Gimbsheim	17,62	72,50	69,50	12,77	12,25
Guntersblum	16,71	79,80	77,90	13,33	13,02
Ludwigshöhe	2,99	63,30	61,60	1,89	1,84
Dienheim	9,91	81,60	77,20	8,09	7,65
Oppenheim	7,09	34,80	32,20	2,47	2,28
<i>Summe/Durchschnitt</i>	170,94	65,58	63,11	112,11	107,87

Quelle: Daten des statistischen Landesamtes zu den Rheinanliegergemeinden (<http://www.infothek.statistik.rlp.de/MeineHeimat/>)

Die durchschnittliche Veränderung der landwirtschaftlichen Fläche liegt bei -3,8%. Kombiniert man nun dieses Ergebnis mit den Daten der Kosten-Nutzen-Analyse und differenziert zwischen der allgemeinen und landwirtschaftsspezifischen nominalen Wertsteigerung bei Berücksichtigung der Veränderung der Flächennutzung ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Spezifischer Vermögenswert/Hektar 1995: € 301.800,- (lt. KNA 1995)
- Spezifischer Vermögenswert/Hektar 2015: € 448.459,- (bei unterstellter 2-prozentiger nominaler Wertsteigerung/a)
- Vermögenswert Landwirtschaft 1995: € 50,5 Mio. (lt. KNA 1995)
- Vermögenswert Landwirtschaft 2015: € 55,9 Mio. (bei einer Wertsteigerung von 0,7% und einer Verringerung der Fläche von -3,8%)

Demnach liegt für die Gefahrgemeinschaft Worms-Oppenheim der Indexwert für die allgemeine Vermögenswertsteigerung bei 149 und speziell für die Landwirtschaft bei lediglich 111 (1995=100).

Wertschöpfungsverluste sind hierbei mangels Daten nicht berücksichtigt.

<sup>13</sup> Nur der nördliche Stadtbezirk von Worms zählt zu der Gefahrgemeinschaft. Daher rührt auch der Unterschied in den Flächenangaben verglichen mit der KNA (Pflügner et al. 1995). Es ist aber nicht davon auszugehen, dass die Vermögenswertveränderungen sich im südlichen Teil von Worms wesentlich anders darstellen als in den Gebieten der Gefahrgemeinschaft.

## Literatur

- Brahmer, G. et al. 2015, *Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsänderung durch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen entlang des Rheins*, Koblenz: IKSR
- Feldmann, L. 2009, *Optimierung des Mitteleinsatzes für Hochwasserschutzmaßnahmen an Fließgewässern im urbanen Raum*, Diss. Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
- Holzmann, H. o.J., *Wasserwirtschaft, Hydrologie und Flussgebietsmanagement: Schadensanalyse*, IWHW, Wien
- Homagk, P. 2010, „Hochwasserschutz am Oberrhein bis Worms im Wandel der letzten 200 Jahre“, in *Wasserwirtschaft 1-2/2010*
- IKSR 2006, *Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser - Bericht 2005 Bezugsjahr 1995*, Koblenz: IKSR-Bericht 156d
- Kron, A. 2008, *Mikroskalige Ermittlung potenzieller Hochwasserschäden zur Gefahren- und Risikoanalyse*, Mitteilungen des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe Heft 236, Karlsruhe
- Oberer Gutachterausschuss für Grundstückswerte 2013, *Auszug aus dem Landesgrundstücks-Marktbericht Rheinland-Pfalz 2013 – Transparenz des Grundstücksmarktes*, Koblenz
- Pflügner, W. et al. 1995, *Ermittlung der Hochwasserschadenspotenziale am Oberrhein*, München, Wiesbaden
- Rice, J. und L. Polanco 2012, “Reliability-Based Underseepage Analysis in Levees Using a Response Surface–Monte Carlo Simulation Method”, in *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 138/2012
- te Linde, A.H. et.al. 2011, “Future flood risk estimates along the river Rhine”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11

## Daten:

<http://www.infothek.statistik.rlp.de/MeineHeimat/>

Langfristdaten zu den Abflüssen an den Pegeln Maxau und Worms (bereitgestellt vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht)



Oktober 2015

PRAC – Bergs u. Issa Partnerschaftsgesellschaft  
Im Hopfengarten 19 b  
D-65812 Bad Soden a. Ts.  
[www.prac.de](http://www.prac.de)

