

## Auszüge aus dem 2. KLIWAS-Tagungsband (Bezug 1)

### Seite 25 Kurzfassung:

#### Kurzfassung

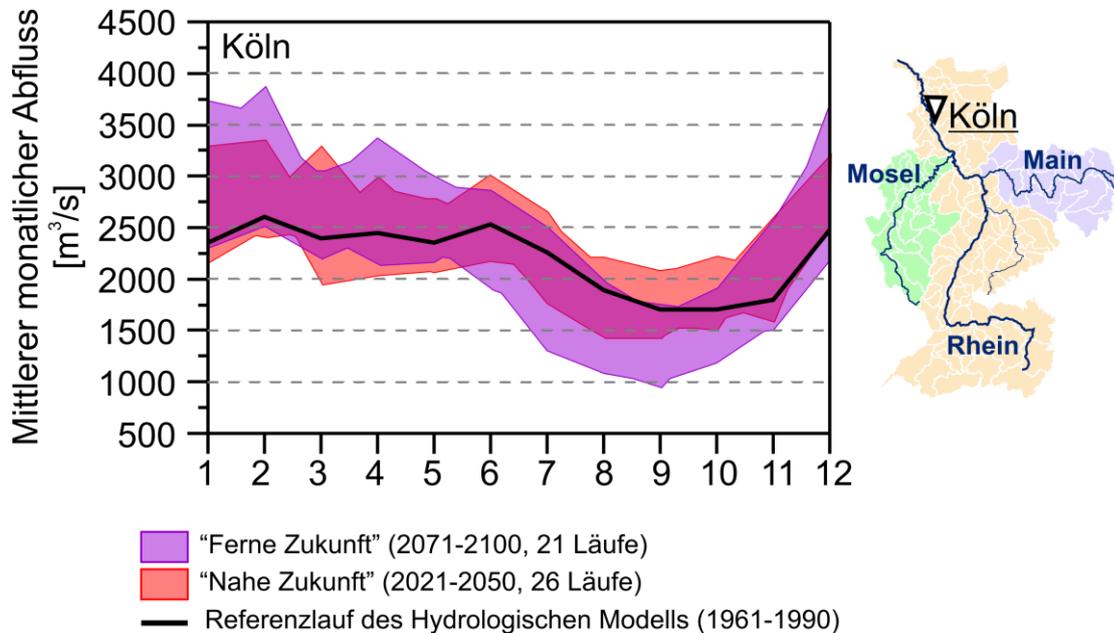
Vor kurzem hat ein niederländisches staatliches Komitee (auch bekannt als das 2. Delta-Komitee) weitreichende Empfehlungen darüber ausgesprochen, wie die niederländische Sturmflut-/Hochwassersicherheit über das nächste Jahrhundert und darüber hinaus aufrechterhalten werden sollte, vor dem Hintergrund der Tatsache, dass ein möglicher Klimawechsel zu einem schnelleren Anstieg des Meeresspiegels und erhöhten Abflüssen führen könnte. In diesem Beitrag werden die Empfehlungen des Komitees mit Bezug auf Impulse aus nationalen und internationalen Debatten vorgestellt und erläutert. Die Empfehlungen des Komitees beruhen auf der Notwendigkeit, die Sicherheitsstandards unter Berücksichtigung von Wirtschaftswachstum und Gruppenunfallsrisiko zu erhöhen. Das Komitee unterstützte die grundlegende Prämisse des 1. Delta-Komitees (1953), dass die Risikoanalyse die Grundlage dafür ist. Die wichtigste Schlussfolgerung besteht darin, dass der Schutz der Niederlande, wo zwei Drittel des wirtschaftlichen Wertes und die Hälfte der Bevölkerung unterhalb der Meeresspiegelhöhe angesiedelt sind, sowohl technisch als auch wirtschaftlich machbar ist. Eine derartige Vorgehensweise könnte auch für andere tief gelegene Gebiete nützliche Elemente enthalten.

### Seite 29 Empfehlung 9:

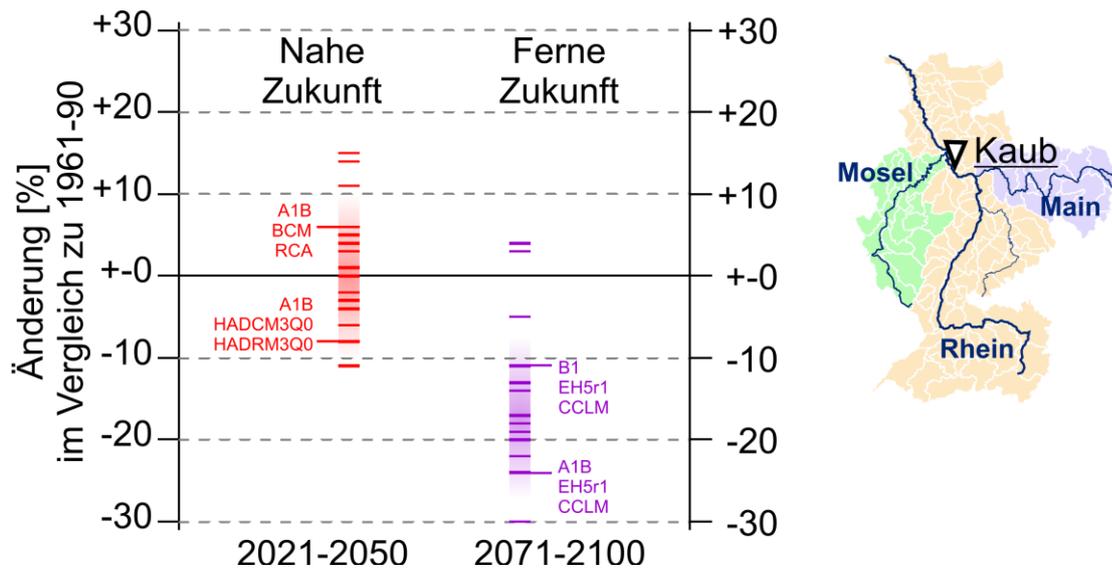
#### Empfehlung 9: Das Gebiet der größten Flüsse

*Bis 2050:* Die Programme *Room for the River* (siehe Abb. 5) und *Maaswerken* (Maasarbeiten) müssen unverzüglich durchgeführt werden. Vorbehaltlich einer Kosteneffizienz müssen bereits jetzt Maßnahmen zur Bewältigung von Abflüssen von 18.000 m<sup>3</sup>/s von Rhein und 4.600 m<sup>3</sup>/s von der Maas getroffen werden. In diesem Zusammenhang wird es notwendig sein, Verhandlungen mit Nachbarstaaten unter der *Europäische Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken* zu führen, um die Maßnahmen zu harmonisieren. Außerdem muss Platz reserviert und, wenn nötig, Land erworben werden, damit es für das Flusssystem möglich wird, sichere Abflüsse für 18.000 m<sup>3</sup>/s Rheinwasser und 4.600 m<sup>3</sup>/s Maaswasser zu schaffen.

*2050 – 2100:* Abschluss der Maßnahmen zur Bewältigung von Abflüssen des Rheins von 18.000 m<sup>3</sup>/s und der Maas von 4.600 m<sup>3</sup>/s. **Seite 60:**



**Abb. 1:** Mittlerer monatlicher Abfluss am Pegel Köln für drei Zeitscheiben. Die Hüllkurven umspannen die durch die einzelnen Projektionen abgedeckte Bandbreite. Je Simulation wurden monatliche Änderungssignale [%] ermittelt und mit dem Referenzlauf verrechnet.



**Abb. 2:** Mittlere Änderungen des Niedrigwasserkennwertes NM7Q (niedrigstes 7-Tagesmittel) am Pegel Kaub während des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai-Oktober). Ensemble von ca. 20 Abflussprojektionen (kurze Striche) sowie Grenzen der Szenariokorridore (längere Striche) und entsprechende repräsentative Simulationen.

## Seite 62:

Tab 1: Szenariokorridore für Mittel- und Niedrigwasserkennwerte (MQ und NM7Q) an ausgewählten Pegeln im Rheineinzugsgebiet basierend auf einem Ensemble von 20 (2021-2050) bzw. 17 (2071-2100) Projektionen. Eine blaue Färbung verweist auf eine mehrheitlich (~80%) zunehmende Tendenz der Projektionen; eine orange Färbung auf eine mehrheitlich abnehmende Tendenz; eine graue

Färbung zeigt ein uneinheitliches Änderungssignal der Projektionen an (vgl. NILSON et al., 2010c; DE KEIZER et al, 2010).

Kennwert	Pegel	2021 – 2050	2071 - 2100
Mittlerer Abfluss (MQ) im hydrologischen Sommer (Mai-Okt)	Basel	-10 bis +5%	-25 bis -10 %
	Maxau	-10 bis +5%	-25 bis -10 %
	Worms	-10 bis +5%	-25 bis -10 %
	Kaub	-10 bis +10%	-25 bis -10 %
	Köln	-10 bis +10%	-25 bis -10 %
	Lobith	-10 bis +10%	-25 bis -5%
	Raunheim	0 bis +25%	-20 bis +10%
	Trier	-15 bis +10%	-30 bis -10%
Mittlerer Abfluss (MQ) im hydrologischen Winter (Nov-Apr)	Basel	0 bis +20%	+5 bis +25%
	Maxau	+5 bis +20%	+5 bis +25%
	Worms	+5 bis +20%	+5 bis +30%
	Kaub	+5 bis +20%	+10 bis +30%
	Köln	+5 bis +20%	+10 bis +30%
	Lobith	+5 bis +15%	+10 bis +30%
	Raunheim	+5 bis +25%	+10 bis +40%
	Trier	0 bis +15%	+5 bis +25%
Niedrigwasserabfluss (NM7Q) im hydrologischen Sommer (Mai-Okt)	Basel	+/-10%	-20 bis -10%
	Maxau	+/-10%	-20 bis -10%
	Worms	+/-10%	-25 bis -10%
	Kaub	+/-10%	-25 bis -10%
	Köln	+/-10%	-30 bis -10%
	Lobith	+/-10%	-30 bis -10%
	Raunheim	0 bis +20%	-20 bis 0%
	Trier	+/- 20%	-50 bis -20%
Niedrigwasserabfluss (NM7Q) im hydrologischen Winter (Nov-Apr)	Basel	+5 bis +15%	0 bis +15%
	Maxau	0 bis +10%	-5 bis +15%
	Worms	+5 bis 15%	-5 bis +15%
	Kaub	0 bis +15%	-5 bis +15%
	Köln	0 bis +15%	0 bis +20%
	Lobith	0 bis +15%	-5 bis +15%
	Raunheim	+5 bis 15%	0 bis +20%
	Trier	+/-15%	0 bis +20%

**Seite 64 ff:**

Analysen zur Betroffenheit der Binnenschifffahrt und der Wirtschaft am Rhein

Berthold Holtmann (DST), Anja Scholten (Univ. Würzburg), Roland Baumhauer (Univ. Würzburg), Benno Rothstein (HFR), Dieter Gründer (DST), Volker Renner (DST) & Enno Nilson (BfG)

## **1 Einleitung**

Unternehmen der verladenden Wirtschaft sind auf kostengünstige und zuverlässige Gütertransporte angewiesen. Dies gilt sowohl für massengutaffine Branchen wie z.B. Energiewirtschaft, Montan- und chemische Industrie als auch für den Transport von Containern. Diese Transportnachfrage wird im Rheinkorridor zu großen Teilen durch die Binnenschifffahrt abgedeckt, die auf dem Rhein aufgrund der dortigen guten Infrastrukturbedingungen durch eine hohe Kostengunst und große Leistungsfähigkeit gekennzeichnet ist.

Der Einfluss des Klimawandels auf das Wasserdargebot, den Abfluss und die Wassertiefen (vgl. Beitrag NILSON ET AL., in diesem Band) kann sich in diesem Kontext auf verschiedene Aspekte erstrecken wie z.B. auf Kostenstrukturen, Transportkapazitäten und Zuverlässigkeit der Binnenschifffahrt sowie in Abhängigkeit davon auf die Unternehmen der verladenden Wirtschaft. Im Rahmen des Projektes KLIWAS – "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" (KLIWAS 4.01) beschäftigt sich der vorliegende Beitrag mit den Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf Kostenstrukturen und Transportkapazitäten der Binnenschifffahrt auf dem Rhein sowie mit der Betroffenheit der Verloader am Beispiel ausgewählter Unternehmen verschiedener Branchen. Er setzt die bei HOLTSMANN & BIALONSKI (2009) und SCHOLTEN & ROTHSTEIN (2009) im Rahmen der ersten KLIWAS-Statuskonferenz vorgestellten Konzepte um und entwickelt diese fort.

## **2 Auswirkungen auf die Kostenstrukturen der Binnenschifffahrt**

### **2.1 Konzept**

Der Einfluss des Klimawandels auf die Kostenstrukturen der Binnenschifffahrt ergibt sich primär über die verfügbaren Wassertiefen in Verbindung mit den entsprechenden Fließgeschwindigkeiten bzw. deren mögliche Änderungen. Dabei beeinflusst zunächst die Wassertiefe des flachsten Wasserstraßensegmentes den möglichen Tiefgang und damit die maximale Zuladung und Auslastung des Schiffes (sog. abladerelevante Wassertiefe). Gleichzeitig wirken sich geringe Wassertiefen und hohe Fließgeschwindigkeiten ungünstig auf den Leistungsbedarf und die mögliche Geschwindigkeit und damit auf die Umlaufzeit aus (sog. vortriebsrelevante Wassertiefe). Hier ist die kleinräumig sehr variable Topographie des Flussbettes zu berücksichtigen.

Diese Zusammenhänge gelten für jede Schiffsklasse, jede (tagesaktuelle) Wassertiefe und jeden Tiefgang jeweils individuell. Sie werden im Rahmen des Projektes anhand eines hierfür entwickelten Modells in der genannten Differenzierung analysiert. Dabei werden die verschiedenen Schiffstypen mit ihren unterschiedlichen Tiefgängen bzw. ihrer unterschiedlichen „Sensibilität“ gegenüber Niedrigwassersituationen entsprechend berücksichtigt.

Der für die Zukunft projizierte Klimaeinfluss wird anhand unterschiedlicher Abflusszenarien erfasst, die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde generiert werden. Dabei werden die derzeit vorhandenen Unsicherheiten der Klimamodellierung berücksichtigt. Bereitgestellt werden letztlich 150 Jahre täglicher Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für 15 Rheinsegmente, wobei je ein "optimistisches" und ein "pessimistisches" Abflusszenario mit Blick auf die Entwicklung der Niedrigwasserbedingungen zugrunde liegt. Die zugehörigen Modellketten, mit denen die Daten erarbeitet wurden, lauten "B1-EH5r1-CCLM-LS-HBV-SOBEK" bzw. "A1B-EH5r1-CCLM-LS-HBV-SOBEK". Einzelheiten hierzu finden sich bei NILSON ET AL. (in diesem Band) sowie in der dort zitierten Literatur.

Da die Ermittlung der Auswirkungen veränderlicher Fahrwasserbedingungen im Fokus der Studie steht, werden weitere Parameter, wie z.B. die Preise für Treibstoff oder die Kosten für Kapitaldienst und Personal bewusst konstant gehalten. Die entsprechenden Informationen basieren auf Expertengesprächen und eigenen Rechnungen und Recherchen bzw. werden der Literatur entnommen (PLANCO & BFG (2007) in Bezug auf Personalkostenstrukturen).

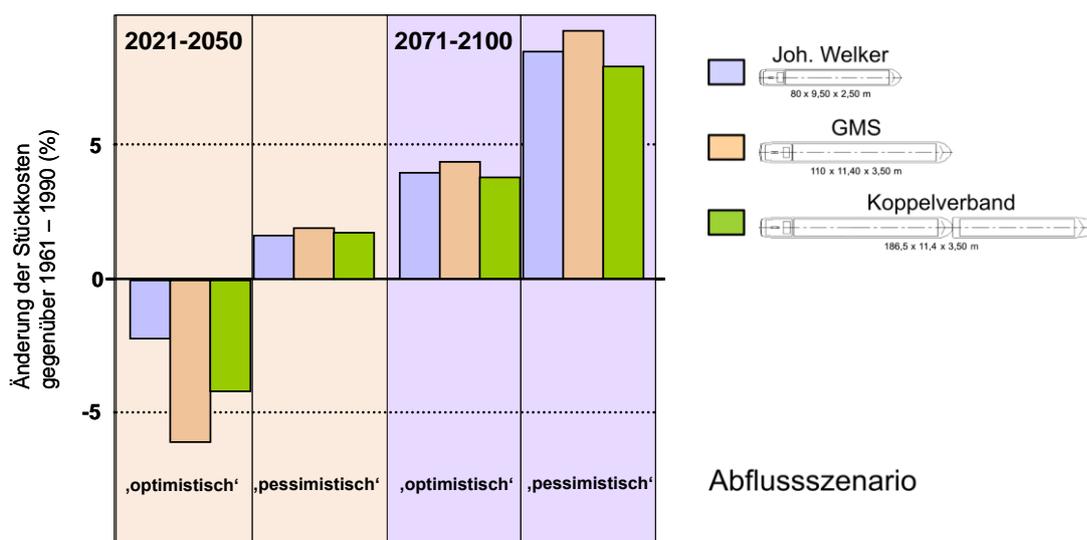
## 2.2 Bisherige Ergebnisse

Die Modellrechnungen werden zunächst für den Referenzlauf durchgeführt und validiert. Dabei wird der Zeitraum von 1980 bis 2007 betrachtet (und die Wassertiefen der „Ist“-Simulation auf Basis beobachteter Abflüsse zugrunde gelegt).

Bei der Analyse der Ergebnisse werden erwartungsgemäß und in Übereinstimmung mit HOLTSMANN & BIALONSKI (2009) verschiedene Tendenzen deutlich:

- (1) Bei günstigen (höheren) Wasserständen verzeichnen größere Schiffe aufgrund guter Auslastung und hoher Geschwindigkeit niedrigere Stückkosten als kleinere Schiffe; hier kommen so genannte Größeneffekte (Economies of Scale) zum Tragen.
- (2) Bei niedrigen Wasserständen steigen die Stückkosten aufgrund sinkender Auslastung und Geschwindigkeit, bei großen Schiffen jedoch stärker als bei kleineren Schiffen. Bei weiter sinkenden Wasserständen kommen größere Schiffe eher in den Bereich, in dem ein Einsatz gar nicht mehr möglich ist; die Stückkosten können dann zeitweise höher als bei kleinen Schiffen sein.

Im Weiteren werden die Wirkungen der beiden vorgenannten Abflussszenarien bis in das Jahr 2100 untersucht. Um die langjährigen Trends und Entwicklungen besser erkennen und auswerten zu können, werden die sehr differenziert vorliegenden Einzelergebnisse in aggregierter Form betrachtet: Konkret wird jeweils ein 30-Jahreszeitraum der „nahen Zukunft“ (2021 bis 2050) und der „fernen Zukunft“ (2071 bis 2100) mit einem 30-Jahreszeitraum der Vergangenheit (1961 bis 1990) verglichen. Exemplarisch werden hier drei Schiffstypen (Johann Welker, GMS und Koppelverband) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, betrachtet.



**Abb. 3:** Änderung der Stückkosten (vieljähriges Jahresmittel) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Kostenstrukturen

Für die „nahe Zukunft“ zeigt sich ein uneinheitliches Bild (Abb. 1): Es wird deutlich, dass im "optimistischen" Szenario aufgrund im Mittel steigender Wasserstände die Stückkosten im Durchschnitt sinken, während im "pessimistischen" Szenario im Durchschnitt leicht steigende Stückkosten zu erwarten sind. Demgegenüber ist für die „ferne Zukunft“ in beiden Szenarien ein deutlicher Trend in Richtung steigende Stückkosten zu erkennen; dieser ist im "pessimistischen" Szenario mit einer Zunahme der durchschnittlichen Stückkosten um ca. 8-10 % etwa doppelt so stark ausgeprägt, wie im "optimistischen" Szenario, bei dem die Zunahme der durchschnittlichen Stückkosten unter 5 % bleibt.

### 3 Auswirkungen auf die Transportkapazitäten der Wasserstraße Rhein

#### 3.1 Konzept

Neben den Kostenstrukturen werden auch die Kapazitätswirkungen näher analysiert. Hierbei steht die Fragestellung im Mittelpunkt, ob bzw. inwiefern die Transportkapazität des Rheins als Wasserstraße durch Folgen des Klimawandels beeinträchtigt wird. Zur Klärung dieser Frage wird insbesondere der Zusammenhang zwischen den Fahrwasserbedingungen und den möglichen Auslastungen der verschiedenen Schiffsgrößenklassen hergestellt und analysiert. Dabei wird in der Modellierung unterstellt, dass die Schiffe entsprechend der Wassertiefen jeweils maximal beladen werden. Somit wird hier eine wasserstandsabhängige rechnerische Maximalkapazität betrachtet.

Wie schon bei den Kostenstrukturen wird auch hier gemäß den Abflussszenarien (NILSON ET AL., in diesem Band) jeweils eine "optimistische" und eine "pessimistische" Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse in den Zeiträumen bis 2100 zugrunde gelegt. Darüber hinaus werden drei verschiedene Flottenszenarien betrachtet, anhand derer mögliche Flottenentwicklungen bis 2100 berücksichtigt werden:

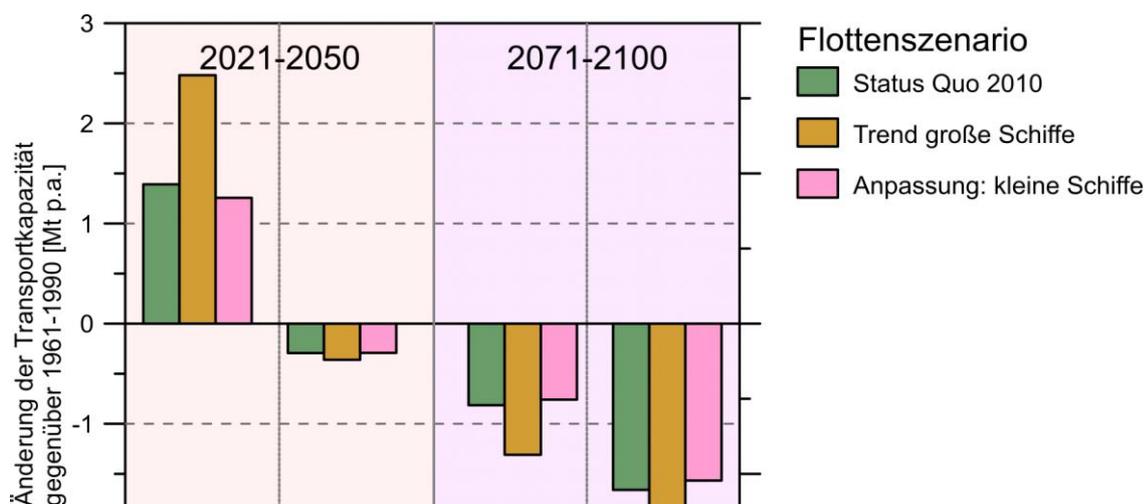
- "Status quo" (Flotte wie im Jahr 2010)
- "Trend: große Schiffe"
- "Anpassung: kleine Schiffe"

Im Szenario „Status quo“ wird angenommen, dass sich die Flottenzusammensetzung im 21. Jahrhundert gegenüber der aktuellen Situation (2010) nicht verändert. Das Szenario „Trend: große Schiffe“ geht davon aus, dass sich der aktuelle Trend hin zu größeren Schiffen fortsetzen wird. Demgegenüber unterstellt das Szenario „Anpassung: kleine Schiffe“, dass sich der Trend zu großen Schiffen in den kommenden Jahrzehnten abschwächt und ab Mitte des Jahrhunderts aufgrund erwarteter Klimawirkungen umkehrt in einen Trend hin zu kleineren Schiffen. Alle anderen Parameter werden wiederum konstant gehalten, um den Effekt der veränderlichen Fahrwasserbedingungen zu isolieren.

#### 3.2 Bisherige Ergebnisse

Exemplarisch wird nachfolgend die Änderung der Transportkapazität (vieljährige Jahressumme) am Beispiel der Relation Rotterdam - Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, in Form von 2 Abflussszenarien und 3 Flottenszenarien vorgestellt.

Wie bereits bei den Kostenstrukturen zeigt sich auch bei der Transportkapazität für die „nahe Zukunft“ ein uneinheitliches Bild: Während die Transportkapazität im "optimistischen" Abflussszenario aufgrund im Mittel steigender Wasserstände signifikant zunimmt, ist im "pessimistischen" Szenario eine leichte Abnahme der Transportkapazität gegenüber 1961-1990 zu erwarten. In der „fernen Zukunft“ werden in Analogie zu den Kostenstrukturen in beiden Abflussszenarien sinkende Transportkapazitäten, die mit im Mittel sinkenden Wasserständen und steigenden Stückkosten korrelieren, erwartet. (Abb. 2).



**Abb. 2:** Änderung der Transportkapazität (vieljährige Jahressumme) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrriktion zu Berg, 2 Abflusszenarien, 3 Flottenszenarien, beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Kapazitäten

Die genannten Trends sind jeweils für alle 3 Flottenszenarien zu erkennen, jedoch mit deutlich unterschiedlichem Gewicht. Im Vergleich zum Szenario „Status quo“ führt das Szenario „Trend: Große Schiffe“ aufgrund der im Durchschnitt größeren Tragfähigkeiten bei günstigen (höheren) Wasserständen zu größeren Kapazitätsgewinnen und bei ungünstigen (niedrigeren) Wasserständen zu größeren Kapazitätsverlusten. Demgegenüber ist im Szenario „Anpassung: Kleine Schiffe“ erwartungsgemäß die entgegen gesetzte Entwicklung zu erkennen, nämlich eine geringere Ausprägung der gleichen Trends gegenüber dem „Status quo“.

## **4 Auswirkungen auf die verladende Wirtschaft**

### **4.1 Konzept**

Neben der Betroffenheit der Binnenschifffahrt auf dem Rhein wird auch untersucht, inwieweit die verladenden Unternehmen entlang des Rheins betroffen sind und inwieweit sich eine mögliche Betroffenheit auf das Unternehmerverhalten auswirkt. Hierbei wurde bewusst nicht versucht, "top-down" von der gesamtökonomischen Entwicklung auf das Verhalten des einzelnen Unternehmens zu schließen, sondern "bottom-up" beim einzelnen Unternehmen anzusetzen und dessen spezifische Rahmenbedingungen und Verhaltensweisen zu berücksichtigen.

Die wesentlichen Methoden der Datenerhebung sowie das resultierende Datenkollektiv sind bei SCHOLTEN & ROTHSTEIN (2009) beschrieben. Auf dieser Grundlage wurde ein Index abgeleitet, mit dessen Hilfe sich die Vulnerabilität unterschiedlicher Unternehmensgruppen gegenüber Niedrigwassersituationen quantitativ darstellen und vergleichen lässt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei SCHOLTEN & ROTHSTEIN (2012).

Als Maßzahl der Betroffenheit der verladenden Wirtschaft wird die prozentuale Abweichung von der optimalen (d.h. unter gegenwärtigen Bedingungen realisierten) Lagerhaltung verwendet. Der Grad, in dem die optimale Lagerhaltung unter Niedrigwasserbedingungen mit Fahrwassereinschränkungen erreicht werden kann, hängt wesentlich von der jeweils gewählten Schiffsgrößenklasse (unter 1.350 t, zwischen 1.400 t und 3.000 t, 3.700 t oder größer; vgl. oben) sowie dem Anteil des Binnenschiffstransport am Transportmix eines Unternehmens (unter 20%, zwischen 20 und 40%, über 50 %) ab. Diese Informationen wurden durch eine Unternehmensbefragung beigebracht.

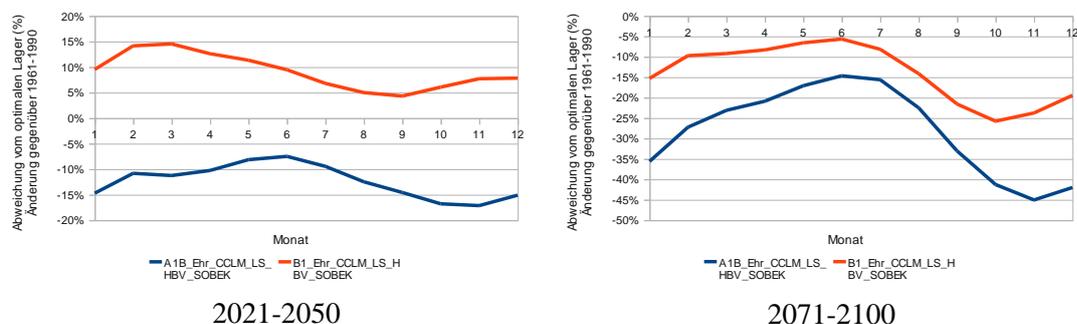
Ebenfalls auf Grundlage der Befragung werden verschiedene Anpassungsszenarien generiert.

Beispielsweise umfasst das "Anpassungsszenario 2003" die Anpassungsmaßnahmen, die von den Verladern während des Niedrigwassers 2003 bereits erfolgreich angewendet wurden. Hierzu gehören die Vergrößerung des Lagers (manchmal auch kurzfristig möglich, beispielsweise durch die Zwischenlagerung fertiger Produkte auf Wiesen oder in Häfen), die Verlagerung von Transportmengen auf andere Verkehrsträger, der Einsatz von zusätzlichen Schiffen und der Umstieg auf kleinere Schiffsgrößen, die Niedrigwasser gegenüber weniger anfällig sind, um nur einige zu nennen. Dabei sind bei allen Anpassungsmaßnahmen natürlich auch die entsprechenden Nachteile für den Verlagerer mitzudenken. So ergeben sich beispielsweise bei der Verlagerung des Transports auf andere Verkehrsträger nicht nur höhere Kosten und kleinere Packungsgrößen, sondern es besteht auch das Problem der geringen freien Kapazitäten auf Straße und Schiene.

Daten zu den zukünftigen Niedrigwasserbedingungen werden wie oben beschrieben ausgehend von "optimistischen" bzw. "pessimistischen" Abflussszenarien, bzw. den entsprechenden Fahrrinntiefen gewonnen. Weitere Zukunftsentwicklungen (z.B. weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen) werden bewusst auf heutigem Niveau konstant gehalten, da der Fokus auf der Sensitivität gegenüber möglichen zukünftig auftretenden Niedrigwasserereignissen liegt.

## 4.2 Betroffenheit einer Verloader-Gruppe unter Klimawandel-Bedingungen

In Abbildung 3 ist die prozentuale Abweichung von der optimalen Lagerhaltung als Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961-1990 exemplarisch für die Verloadergruppe mit einer bevorzugten Schiffsgröße über 3.000 t dargestellt. Die Änderungen sind konsistent mit den in Abschnitt 2 und 3 genannten, sowie den Änderungen des Abflussregimes (vgl. NILSON et al, in diesem Band): Für die „nahe Zukunft“ (2021-2050) scheint die Abweichung von der optimalen Lagerhaltung moderat. Die beiden Abflussszenarien führen hier zu einer Spanne von +/- 15% mit leichten Schwankungen im mittleren Jahresgang. Für die „ferne Zukunft“ hingegen zeigt die Bandbreite der Szenarien eine Abweichung in negativer Richtung zwischen -5 und -45%, wobei die Abweichungen in der ersten Jahreshälfte bzw. der Mitte des Jahres am geringsten sind und die deutlichsten Abweichungen im Herbst auftreten.



**Abb 3:** Abweichung von der optimalen Lagerhaltung: Änderungen gegenüber 1961-1990 basierend auf zwei Abflussszenarien gemittelt für Unternehmen mit Bevorzugung der Schiffsgröße 3.000t. Szenario "Keine Anpassung"; Quelle: eigene Berechnungen basierend auf den Unternehmensdaten und Fahrrinntiefendaten der BfG

In weiteren Auswertungen (hier nicht dargestellt) wird die Wirkung von Anpassungsszenarien in die Betrachtung einbezogen. Aufgrund der begrenzten Datenlage ist dies nur für einzelne Unternehmen möglich. Die Berechnungen zeigen, dass Maßnahmen wie sie etwa im Jahr 2003 getroffen wurden, die Betroffenheit der jeweiligen Unternehmen deutlich abdämpfen, sie jedoch, je nach Szenario nicht vollständig kompensieren können. Hierzu sind sowohl kombinierte Maßnahmen als auch weitere Innovationen in Form von operativen und investiven Maßnahmen (Ausstattung von Schiffen, Continue-Betrieb) nötig, die im weiteren Verlauf von KLIWAS untersucht werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Wirkungsgefüge von der Treibhausgasemission über das globale und regionale Klima hin zu den Wirkungen auf den hydrologischen Wasserhaushalt, die Hydrodynamik (s. NILSON ET AL., in diesem Band) auf die Wasserstraße Rhein und die Wasserstraßennutzer wurde im Rahmen des KLIWAS-Projektes 4.01 modellhaft implementiert. Validierungsexperimente zeigen ein plausibles Gesamtverhalten der Modellkette für relevante verkehrswasserwirtschaftliche Kennwerte.

Die bisher vorgestellten Änderungen der Kennwerte (hier: jährliche Mittel der schiffsseitigen Kostenstrukturen und Transportkapazitäten sowie der verloaderseitigen Abweichungen von der

optimalen Lagerhaltung) für die Mitte und das Ende des 21. Jahrhunderts folgen im wesentlichen den projizierten Entwicklungen der Abflussverhältnisse, d.h. moderate Änderungen (+/-10%) für die „nahe Zukunft“ (Jahre 2021-2050) und deutliche Änderungen mit einer potentiell höheren Betroffenheit der Binnenschifffahrt und verladenden Wirtschaft in der „fernen Zukunft“ (Jahre 2071-2100). Mit der Modellkette kann nun die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen geprüft werden. Durchgeführt wurde dies für angepasste Flottenzusammensetzungen und ein angepasstes Verladerverhalten (z.B. Nutzung anderer Schiffsgrößen). Es zeigt sich, dass die aus den projizierten Änderungen der Fahrwasserhältnisse resultierenden Wirkungen teilweise kompensiert werden können. Zukünftige Arbeiten werden neben weiteren Varianten bzw. Szenarien zusätzliche Anpassungsoptionen (z.B. innovative Schiffskonzepte) analysieren.

## **Literatur**

- HOLTMANN, B. & W. BIALONSKI (2009): Einfluss von Extremwasserständen auf die Kostenstruktur und Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt. In: BMVBS (2009): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. 80-82.
- PLANCO & BFG (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Essen, Koblenz, 2007.
- SCHOLTEN & ROTHSTEIN (2009): Kritische Einflussgrößen für die massengutaffine Wirtschaft, In: BMVBS (2009): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. 83-87.
- SCHOLTEN & ROTHSTEIN (2012): Auswirkungen von Niedrigwasser und Klimawandel auf die verladende Wirtschaft, Binnenschifffahrt und Häfen entlang des Rheins – Untersuchungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Vulnerabilität durch Niedrigwasser, Würzburger Geographische Arbeiten, Heft 104, Würzburg
- DIN-Taschenbuch 211: Wasserwesen – Begriffe, Berlin, Wien, Zürich, 1996.
- NILSON, CARAMBIA, KRAHE, LARINA, BELZ, PROMNY (2012): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. In diesem Band.

## **Seite 28 Empfehlung 5**

### **Empfehlung 5: Bereich des Wattenmeeres**

Die Strandaufschüttungen entlang der Nordseeküste können dazu führen, dass sich das Wattenmeer an den Anstieg des Meeresspiegels anpasst. Das Bestehen des Wattenmeeres wie wir es zurzeit kennen ist jedoch keineswegs sicher und hängt vom tatsächlichen Anstieg des Meeresspiegels in den kommenden 50 bis 100 Jahren ab. Die Entwicklungen werden im internationalen Rahmen überwacht und analysiert werden müssen.

Der Schutz der Inselpolder und von Nordholland muss sichergestellt bleiben.

## Auszüge aus „Wasserstandsmeldung zum Klimawandel“ (Bezug 2)

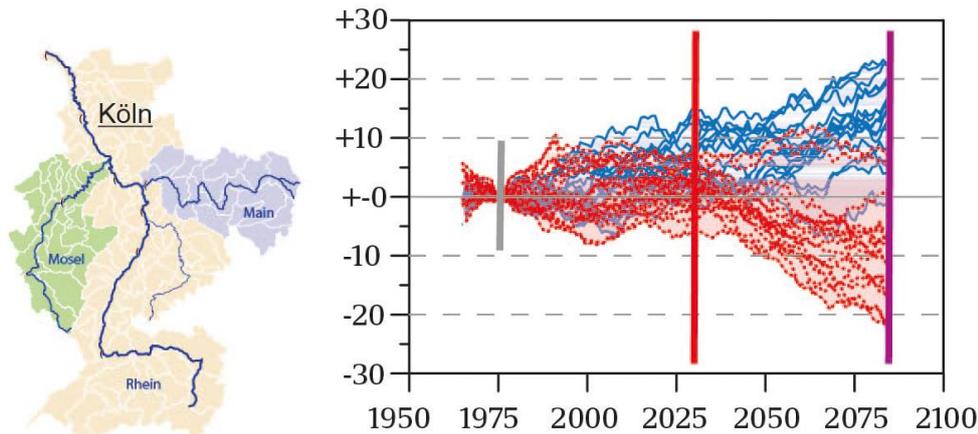
### Seite 4 Grafik

Nur die Darstellung der vollen Bandbreite der möglichen Klimaprojektionen ermöglicht eine wissenschaftlich fundierte Entscheidung über Anpassungsoptionen durch die Politik.

#### Beispiel Rhein:

Änderung des Gebietsniederschlags bis zum Pegel Köln [ % ] im Vergleich zu 1961 – 1990.

Grundlage: Regionale Klimasimulationen, 21 Projektionen



### Seite 7

#### Ergebnisse Rhein



**Die KLIWAS-Ergebnisse zum Rhein zeigen: Veränderungen der Abflussverhältnisse bleiben in den nächsten Jahrzehnten moderat. Es besteht genügend Zeit, sich fundiert und angemessen auf veränderte Abflussverhältnisse einzustellen.**

- Die Abflüsse des Rheins werden künftig stärker durch Regen und weniger durch Schneeschmelze beeinflusst werden, so dass aufgrund der fehlenden Speicherwirkung durch den Schnee die winterlichen Abflüsse deutlich zunehmen werden.
- Für die sommerlichen Abflüsse zeichnet sich für die nahe Zukunft (bis 2050) kein klarer Trend ab, die unterschiedlichen Modellberechnungen reichen von moderaten Zunahmen bis zu moderaten Abnahmen (+ / – 10 Prozent). Für die ferne Zukunft (bis 2100) sind

Abflussabnahmen um bis zu 30 Prozent möglich.

- Das veränderte Abflussregime wird in den nächsten Jahrzehnten voraussichtlich noch zu keinen deutlich veränderten Prozessen im Flussbett führen, bis 2100 muss jedoch mit einer geänderten Dynamik der Flusssohle gerechnet werden.
- Ein zunehmender Feinsedimenteintrag aus den Alpen in den Rhein ist wahrscheinlich. Für die Nebenflüsse Main, Mosel und Neckar ist derzeit keine klimabedingte Änderung der Feinsedimentfrachten erkennbar.
- Welchen Einfluss veränderte Abflüsse und veränderte Wassertemperaturen auf die Schadstofffracht, die Gewässergüte und auf die Algenentwicklung im Rhein haben werden, wird in KLIWAS bis Ende 2013 untersucht werden.
- KLIWAS befasst sich vorsorglich bereits mit ersten Überlegungen, welche Anpassungsmaßnahmen den absehbaren Betroffenheiten wirksam entgegenwirken können. Dabei werden derzeit modellhaft betriebliche Steuerungsmethoden (z. B. Einsatz bevorzugter Schiffsgrößen, Modifikationen in der Logistikkette, optimierte Ausnutzung von Fahrrinnen) weiter entwickelt, um mögliche verkehrliche Beeinträchtigungen durch vermehrte klimabedingte Niedrigwasserperioden auch ohne aufwändige bauliche oder wasserwirtschaftliche Maßnahmen vermeiden zu können.

Seite 10/11

## Ergebnisse Küste

### **KLIWAS schafft neue wissenschaftliche Grundlagen zur Schließung von Kenntnislücken für die Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels an Nord- und Ostsee.**

- Die Aufarbeitung des verfügbaren wissenschaftlichen Klima- und Klimafolgenwissens mit KLIWAS im Küstenbereich zeigt auf, dass derzeit noch bedeutende Kenntnislücken zum Meeresspiegelanstieg in der Nord- und Ostsee durch die Grundlagenforschung zu schließen sind. Dazu gehört die Modellierung des Verhaltens der großen Eisschilde, ebenso die Verbesserung der regionalen Klimaprojektionen durch Ozean-Atmosphären-Kopplung.
- Im Forschungsprogramm KLIWAS werden daher zurzeit globale und regionale Ozean- und Atmosphären-Modelle gekoppelt, um den zukünftigen Einfluss der Atmosphäre und des Nordatlantiks auf die Dynamik und den Wasserstand in Nord- und Ostsee besser abschätzen zu können.
- Für den beobachteten Meeresspiegelanstieg an der deutschen Küste (1 – 3 mm pro Jahr) kann anhand der Datenlage bislang keine Beschleunigung nachgewiesen werden. KLIWAS-Auswertungen von langjährigen Pegelaufzeichnungen zeigen an, dass eine Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs an der deutschen Küste bislang statistisch nicht nachweisbar ist. Aktuellste Simulationen mit den neuen Modellwerkzeugen geben einen ersten Hinweis darauf, dass zukünftig jedoch eine Beschleunigung möglich ist.
- Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Küstengewässer und deren Infrastruktur zuverlässig erkennen zu können, ist es

dringend erforderlich, die hydrographischen Langzeitbeobachtungen weiterhin qualitätsgesichert fortzusetzen und der Langzeitarchivierung zuzuführen.

- Die Auswertung von Wellenhöhen an küstennahen Messstationen der Nordsee ergibt Hinweise, dass derzeitige Formeln zur Bemessung von Seebauwerken auf Seegang bezüglich der bemessungsrelevanten Wellenhöhe überprüft werden müssen.
- Mit KLIWAS wurde ein permanentes geodätisches Höhenmonitoring der wichtigsten Pegel im Nordseeraum eingerichtet, das Vertikalbewegungen der Erdoberfläche /des Meeresbodens erfasst.
- Durch KLIWAS liegen nun erstmals Kenntnisse vor, die systematische geodätische Einflüsse an den Pegeln aufzeigen (Landsenkungen /hebungen) und somit bei den Beobachtungen und Projektionen des Meeresspiegels berücksichtigt werden können (Korrektur von scheinbaren Veränderungen). Demnach beträgt z. B. der mittlere Anstieg des mittleren Tidehalbwassers ohne den Einfluss von Landsenkungen über die vergangenen 100 Jahre an den Mündungspegeln der Ästuarie Ems, Weser und Elbe  $(1,5 \pm 0,4)$  mm /a, mit dem Einfluss von Landsenkungen  $(2,3 \pm 0,7)$  mm /a.
- Weiterhin wurden Sensitivitätsstudien durchgeführt, die zu einem besseren Verständnis für die Variationsbreite der Sturmflutscheitelwasserstände unter heutigen und möglichen zukünftigen Randbedingungen führen und Betroffenheiten entlang der Wasserstraßen in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems identifizieren werden. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Ästuarie können nun besser analysiert und geeignete Anpassungsmaßnahmen auch im Sinne des Küstenschutzes entwickelt werden (z. B. für Ufervegetation, Uferbefestigung und Vorlandschutz).
- Für die Beurteilung klimabedingter Veränderungen der Morphologie, Sauerstoffverhältnisse, Gewässergüte und Ökologie (Vegetation) sind neue Modelle und Datengrundlagen für die Ästuarie geschaffen worden, die den möglichen Klima bedingten Einfluss auf das Ökosystem besser aufzeigen und damit als wichtige Werkzeuge für die Bewirtschaftung der Ästuarie dienen werden.

**Wolfgang Hurtienne (Geschäftsführer Hamburg Port Authority - HPA):**

*„Die Häfen benötigen langlebige Investitionen. Wir müssen insofern sehr genau darauf achten, für welche zeitlichen Perspektiven wir sie auslegen. Insofern ist es ausgesprochen hilfreich, in Zusammenhang mit KLIWAS den Bereich von Befürchtungen zu verlassen und zu konkreten Ansagen zu kommen, mit welchen Veränderungen man in welchen Zeitperspektiven vielleicht rechnen müsste.“*

