



Europäisches Entwicklungszentrum  
für Binnen- und Küstenschiffahrt

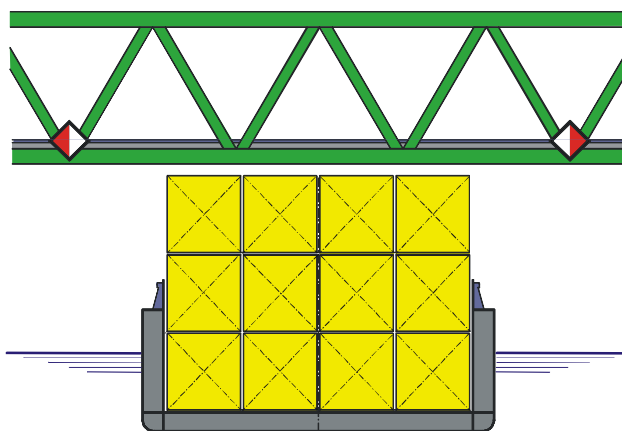
**Kurzfassung des  
Untersuchungsberichtes**

im Auftrag des

**Bayerischen Staatsministeriums für  
Wirtschaft, Verkehr und Technologie**

und

**Port of Rotterdam  
Rotterdam Municipal Port Management**



Auftrags-Nr.: 2273

Berichts-Nr.: 1697

Titel: **„Entwicklung eines technisch-  
wirtschaftlichen Konzeptes für den  
dreilagigen Containertransport mit dem  
Binnenschiff zwischen Koblenz und  
Regensburg“**

Oktober 2003

Die WSD-Süd, Würzburg hat wichtige  
Informationen für diesen Bericht zur  
Verfügung gestellt.

Hierfür möchten wir unseren Dank aussprechen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Einflußfaktoren für das Passieren niedriger Brücken</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>Schiffsspezifische Rahmenbedingungen</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>Ladungsabhängige Rahmenbedingungen</b>	<b>13</b>
<b>7.</b>	<b>Ermittlung der Fixpunkthöhen und Tiefgänge</b>	<b>15</b>
<b>7.1</b>	<b>Fixpunkthöhen und Tiefgänge ohne Ballast</b>	<b>16</b>
<b>7.2</b>	<b>Fixpunkthöhen und Tiefgänge unter Berücksichtigung von Ballast</b>	<b>18</b>
<b>7.2.1</b>	<b>GMS-110 m</b>	<b>18</b>
<b>7.2.2</b>	<b>JW<sub>verl.</sub></b>	<b>19</b>
<b>8.</b>	<b>Zeit- und Kostenanalyse</b>	<b>20</b>
<b>8.1</b>	<b>Zeitanalyse</b>	<b>20</b>
<b>8.2</b>	<b>Schiffstransportkosten</b>	<b>21</b>
<b>8.3</b>	<b>Vergleich der Transportkosten mit den Transportpreisen des direkten LKW-Verkehrs</b>	<b>24</b>
<b>9.</b>	<b>Fazit und Handlungsempfehlungen</b>	<b>27</b>

## 1. Ausgangslage und Problemstellung

Entwicklungen im Containeraufkommen der Binnenschifffahrt zeigen, daß das Binnenschiff im Hinterland der ARA-Häfen besonders erfolgreich ist. Die guten Infrastrukturbedingungen, die der Rhein bietet, waren Voraussetzung für die dynamische Entwicklung dieser Verkehre, die bereits heute im Rheinstromgebiet zu einem jährlichen Transportvolumen der Binnenschifffahrt von mehr als 1,4 Mio. TEU<sup>1</sup> geführt haben.

Jedoch ergeben sich technisch-wirtschaftliche Schwierigkeiten, wenn es darum geht, Container auch außerhalb der Haupttrouten, z.B. in Bereichen mit niedrigen Brückendurchfahrtshöhen, mit dem Binnenschiff zu transportieren. So findet der Containerverkehr auch auf der zu untersuchenden Strecke zwischen Koblenz und Regensburg nur in einem beschränkten Umfang statt, wobei aufgrund der Brückenproblematik fast ausnahmslos nur zwei Container übereinander gestapelt werden (Abb. 1).



Abb. 1: Zweilagiger Container-Koppelverband, Main, oberhalb Würzburg, Talfahrt, Mai 2002 (Foto VBD)

<sup>1</sup> TEU, Twenty Feet equivalent Unit

## 2. Zielsetzung

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, für unterschiedliche Schiffstypen die Möglichkeiten des dreilagigen Containertransportes zwischen Koblenz und Regensburg zu untersuchen. Diese Möglichkeit wird im wesentlichen beeinflusst durch die Brückendurchfahrtshöhen. Darüber hinaus ist die zur Verfügung stehende Fahrwassertiefe ebenfalls für den Containerverkehr von großer Bedeutung.

## 3. Einflußfaktoren für das Passieren niedriger Brücken

Ob ein Schiff eine Brücke passieren kann, hängt wesentlich von der Brückendurchfahrtshöhe über Wasserspiegel und der Fixpunkthöhe des Schiffes ab. Die Fixpunkthöhe wird allgemein als die Höhe beschrieben, die sich zwischen dem Wasserspiegel und dem höchsten „festen“ Punkt des Schiffes ergibt, nachdem „nicht feste“ Bauteile, wie z.B. Masten, Radar, Geländer, Steuerhaus, usw., umgeklappt bzw. abgesenkt wurden. Brückendurchfahrts- und Fixpunkthöhe sind abhängig von einer Vielzahl verschiedener, sich ändernder Einflußfaktoren. In Abb. 2 wird versucht, diese Abhängigkeiten beim Transport von Containern deutlich zu machen.

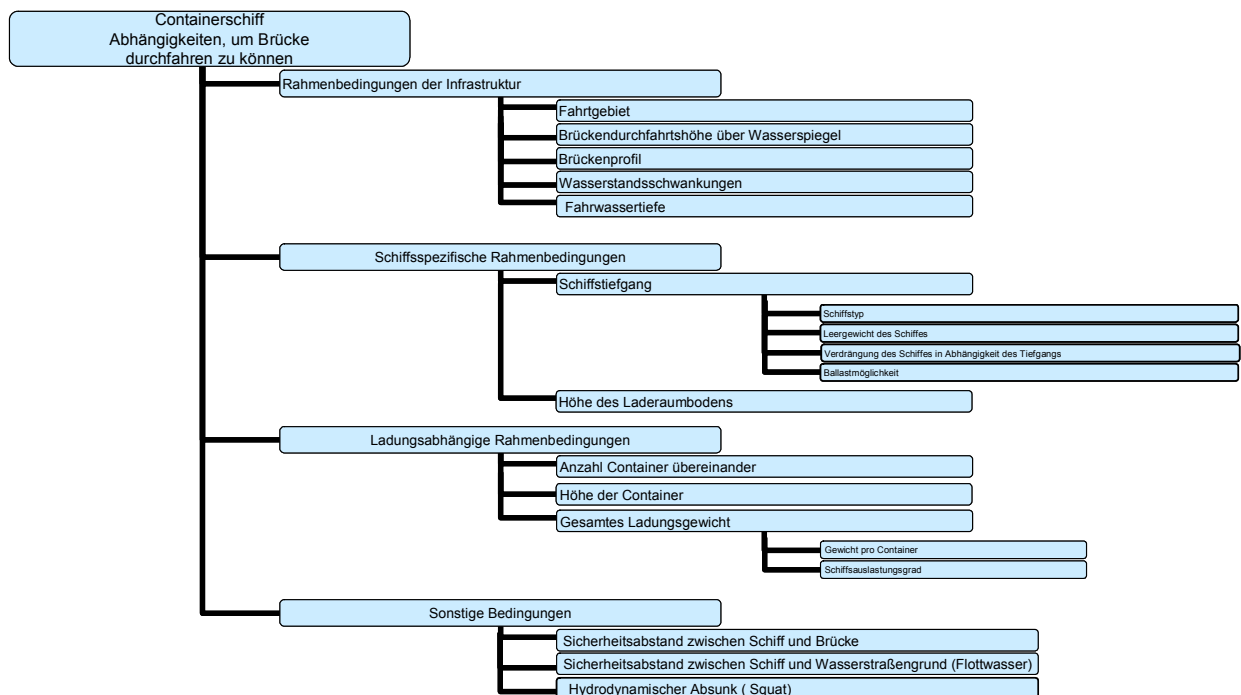


Abb. 2: Containerschiff, Abhängigkeiten, eine Brücke durchfahren zu können

#### 4. Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur

Die insgesamt 690 km lange Strecke zwischen Koblenz und Regensburg wurde zunächst in die vier Wasserstraßenabschnitte

- Rhein
- Main
- Main-Donau-Kanal (MDK)
- Donau

unterteilt. Auf der ca. 384 km langen Main-Strecke befindet sich die niedrigste Brücke in Auheim mit einer Durchfahrtshöhe von 4,39 m über HSW (höchster schiffbarer Wasserstand). Darüber hinaus sind vereinzelt Brücken als Steinbogenbrücken gebaut, z.B. die Alte Mainbrücke in Würzburg. Bei diesen Brücken ist neben dem vertikalen auch der horizontale Abstand von Bedeutung (Abb. 3).

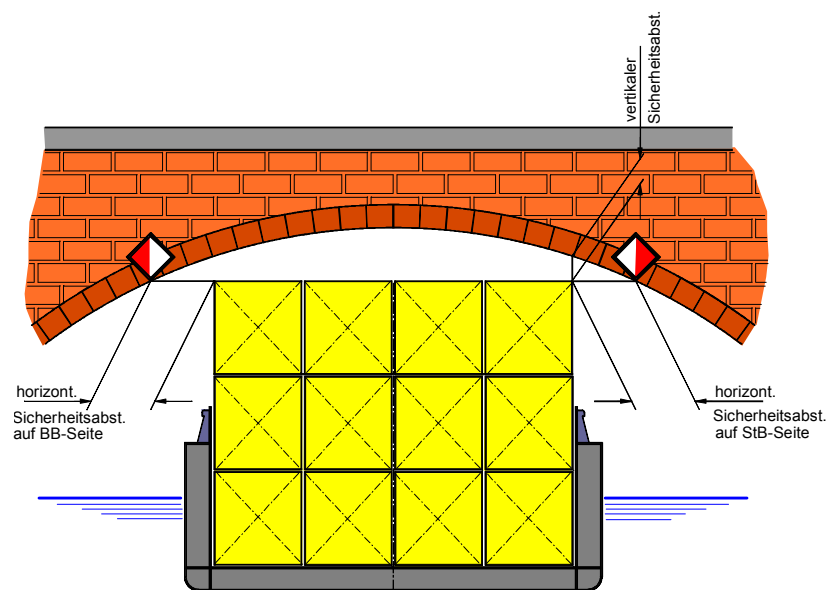


Abb. 3: Horizontaler und vertikaler Sicherheitsabstand bei Brücken mit bogenförmigem Profil

Bei der Ermittlung der Brückendurchfahrtshöhe auf dem Main ist der Einfluß der Wasserstandsschwankungen zu berücksichtigen. Um diesen Einfluß deutlich zu machen, erfolgte für die Brücken mit einer Brückendurchfahrtshöhe von weniger als 6,30 m eine Auswertung der täglichen Pegelwerte für den 10-jährigen Zeitraum zwischen 1992-2001. Am Beispiel der Straßenbrücke Auheim wird deutlich, daß insbesondere in den ersten drei Monaten und zum Ende des Jahres der Wasserstand nicht selten 1,0 m und vereinzelt auch 2,5 bis 4,0 m über dem Normalwasserstand

lag. Dagegen überschreiten in den Sommer- und Herbstmonaten die Schwankungen selten 0,5 m.

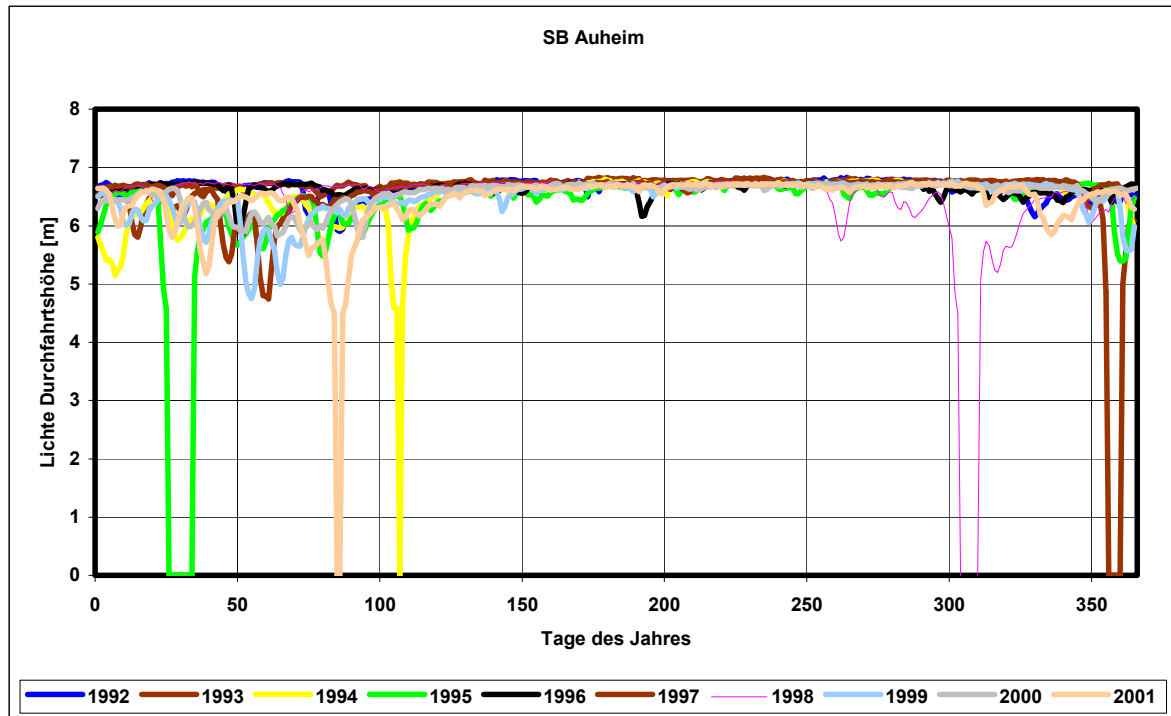


Abb. 4: Durchfahrtshöhe der Mainbrücke Auheim

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

Eine Brückendurchfahrtshöhe von 6,0 m stand auf der gesamten Mainstrecke zwischen 1992-2001 überwiegend zur Verfügung. Beschränkungen durch Überschreitung des HSW traten besonders in 1995, vereinzelt auch in den Jahren 1993, 1994, 1998 und 2001 auf. Aus der Auswertung ergab sich, daß die Brückendurchfahrtshöhe an der niedrigsten Brücke bei Auheim mindestens an 320 Tagen pro Jahr (Abb. 5, ungünstiges Jahr 1995) und in der Zeitspanne zwischen 1992-2001 durchschnittlich an 340 Tagen pro Jahr zur Verfügung stand.

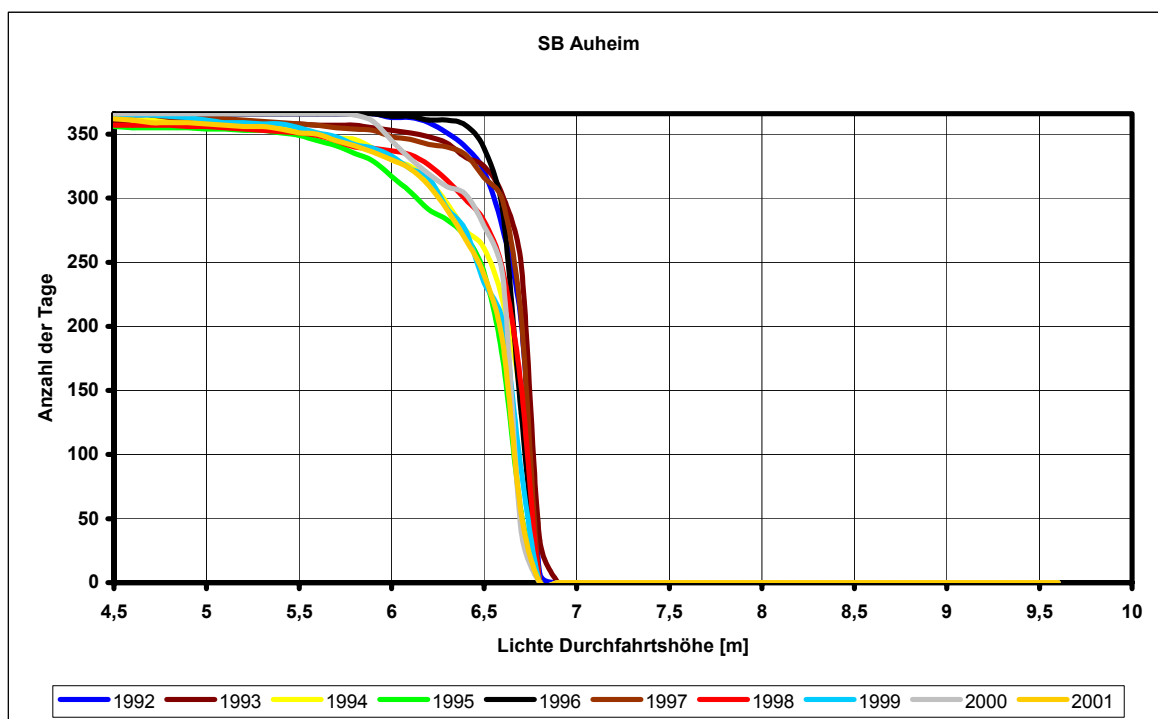


Abb. 5: Anzahl der Tage pro Jahr, an denen im langfristigen Durchschnitt an der Mainbrücke Auheim eine bestimmte Durchfahrthöhe zur Verfügung stand

Von der Tendenz her etwas günstiger ist die Durchfahrthöhe an der Alten Mainbrücke in Würzburg mit mindestens 335 Tagen pro Jahr zu bewerten, wobei es sich allerdings bei dieser Brücke um eine Steinbogenbrücke handelt.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Wasserstandsuntersuchungen wurde entschieden, den weiteren Betrachtungen eine zur Verfügung stehende Brückendurchfahrthöhe auf dem Main von 6,0 m zugrunde zu legen.

Die Brückendurchfahrthöhen auf dem MDK liegen bei mindestens 6,00 m. Aufgrund der Schleusenentleerungen entstehen zusätzlich Schwallwellen, die die Durchfahrthöhen zumindest zeitweise verringern. Unter Berücksichtigung, daß der MDK gelegentlich von Fahrtgastschiffen mit einer Fixpunkthöhe von ca. 6,00 m durchfahren wird, wurde den Berechnungen auch für den MDK eine Brückendurchfahrthöhe von 6,00 m zugrunde gelegt. Nachfolgende Tab. 1 und Abb. 7 geben eine Übersicht über die „kritischen“ Brücken.

Neben der Brückendurchfahrthöhe ist für den Containerverkehr auch der maximal zulässige Tiefgang von Bedeutung. Der maximal zulässige Tiefgang ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Fahrwassertiefe des betrachteten Wasserstraßenab-

schnittes. Die Zusammenhänge sind am Beispiel einer Brückendurchfahrtshöhe von 6,0 m und einer Fahrwassertiefe von 2,70 m in Abb. 6 dargestellt.

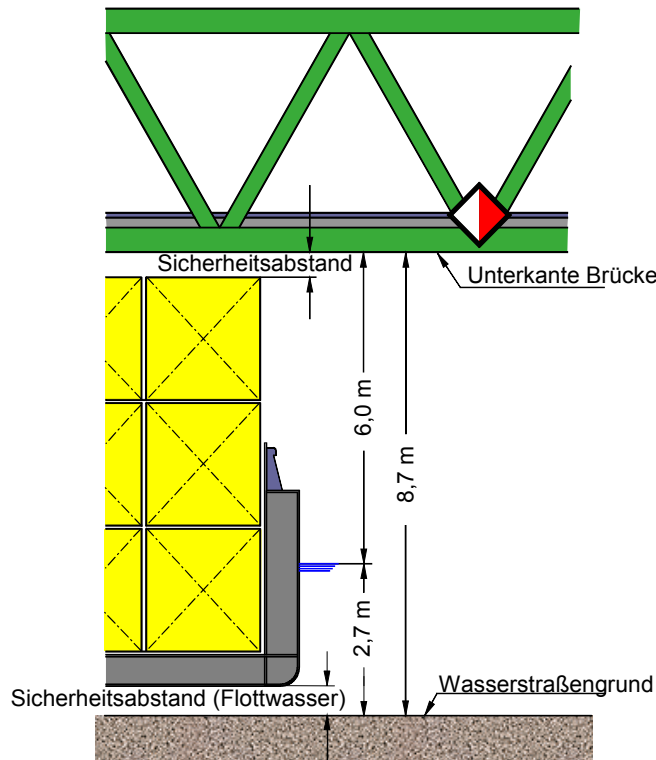


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Brückendurchfahrtshöhe und maximalem Tiefgang

Hiernach steht zwischen Wasserstraßengrund und Brückenunterkante insgesamt eine Höhe von 8,7 m zur Verfügung.

Der für den durchgehenden Verkehr auf der Main/MDK-Strecke maximal zulässige Tiefgang beträgt gegenwärtig 2,50 m. Dies kann bedeuten, daß im Falle einer schweren Containerladung oder bei einer Verminderung der Fixpunkthöhe des Schiffes durch Ballastierung die Brückendurchfahrtshöhe für eine Passage zwar ausreicht, jedoch aufgrund einer Überschreitung des maximal zulässigen Tiefgangs die Durchfahrt nicht möglich ist.

Allerdings wurde durch den Ausbau des Mains die Fahrrinntiefe zwischen der Mainmündung und Würzburg auf 2,90 m erhöht und der Abschnitt zwischen der Mainmündung und Lengfurt (Main-km 174,50) inzwischen für einen Tiefgang von 2,70 m freigegeben. Abb. 7 gibt einen Überblick über die heute maximal zulässigen Tiefgänge.

Es ist geplant, den maximalen Tiefgang nach Fertigstellung der gegenwärtig laufenden Ausbaumaßnahmen auf der gesamten Main/MDK-Strecke auf 2,70 m zu erhöhen, womit sich die Möglichkeiten des dreilagigen Containertransportes deutlich erhöhen würden.

Ab-schnitt	Nr.	Brückenname	km	Höhe über HSW Bergfahrt/Talfahrt	Anzahl der Tage/Jahr mit einer Durch-fahrtshöhe größer 6,00 m <sup>1)</sup>	Bemerkungen Typ
1 (Rhein)		alle Brücken		> 9, 10		Gerade Brücke
2 (Main)	①	Obermainbrücke	36,00	6,40/6,50	365	Stahlbogenbrücke
	②	Eisenbahnbrücke Hanau	56,37	5,93/6,15	360	Gerade Brücke
	③	Straßenbrücke Auheim	59,56	4,39 <sup>2)</sup>	340	Gerade Brücke
	④	Ludwigsbrücke Marktheidenfeld	179,79	6,24/6,04	360	Steinbogenbrücke
	⑤	Straßenbrücke Lohr	197,94	6,61	365	Steinbogenbrücke
	⑥	Friedensbrücke Würzburg	251,64	7,71/7,26	365	Steinbogenbrücke
	⑦	Alte Mainbrücke Würzburg	252,32	5,31	350	Steinbogenbrücke
	⑧	Ludwigsbrücke Würzburg	253,06	6,55	365	Steinbogenbrücke
3 (MDK)	⑨	Löwenbrücke Bamberg	4,82	5,49	355	Gerade Brücke
	⑩	Kettenbrücke Bamberg	5,15	5,53	355	Gerade Brücke
4 (Donau)		Potzenweiherbrücke	2379,56	5,94		Gerade Brücke

1) Durchschnittswert bei 10jähriger Betrachtung (1992-2001)

2) niedrigste Brücke auf dem Main

Tab. 1: Informationen über die „kritischen“ Brücken auf der Rhein, Main/MDK-Strecke

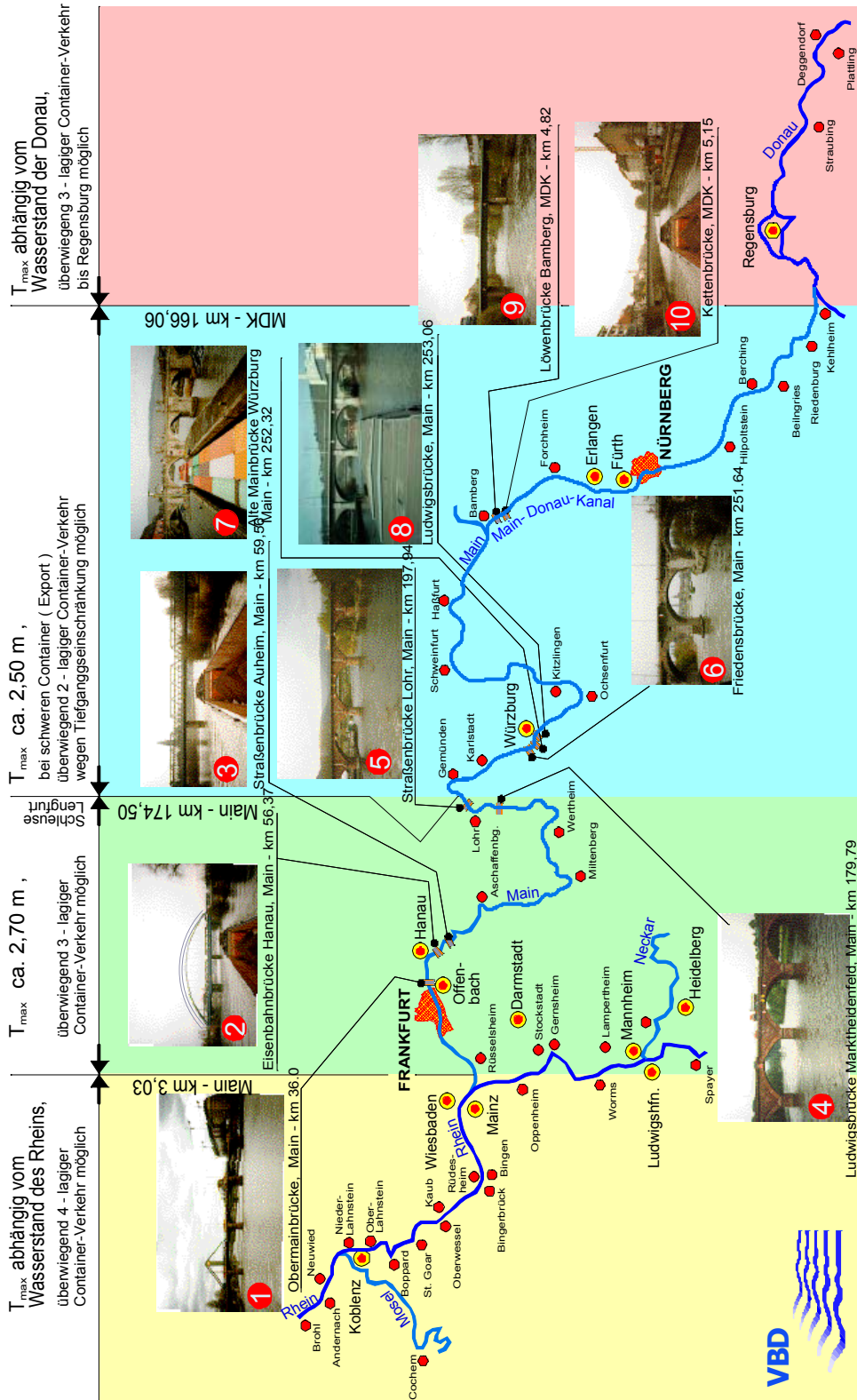


Abb. 7: Übersicht über die „kritischen“ Brücken, maximalen Tiefgänge und die Möglichkeiten des dreilagigen Containerverkehrs auf der Strecke zwischen Koblenz und Regensburg

## 5. Schiffsspezifische Rahmenbedingungen

Den Betrachtungen wurden zunächst die Schiffstypen

- Großmotorschiff, Länge 110 m (GMS-110 m) und
- Johann Welker, Länge 85 m (JW<sub>verl.</sub>)

zugrunde gelegt. Darüber hinaus erschien es sinnvoll, auch das

- Großmotorschiff, Länge 135 m (GMS-135 m)

in die Betrachtung einzubeziehen, da dieser Schiffstyp inzwischen vergleichsweise häufig als Neubau oder als verlängertes GMS-110 m im Rhein-Containerdienst eingesetzt wird. Die wesentlichen technischen Daten dieser Schiffe sind in Tab. 2 dargestellt.

Technische Daten		Schiffstypen		
		JW <sub>verl.</sub>	GMS-110m	GMS-135
Länge [m]		85,00	110,00	135,00
Breite [m]		9,50	11,40 (11,45)	11,45
Tiefgang max. [m]		2,70	3,50	3,50
Seitenhöhe [m]		2,85	4,00	4,00
Doppelboden-/Strauhöhe [m]		0,40	0,60	0,60
Laderaumlänge [m]		59,00	80,00	105,00
Laderaumbreite [m]		7,50	10,00	10,00
Laderaumhöhe [m]		3,25	4,05	4,05
Tragfähigkeit max. [t]		1.500	3.000	3.700
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander	3	4	4
	voreinander	9	13	17
	gesamt bei drei Lagen übereinander	81	156	204

Tab. 2: Technische Daten der untersuchten Schiffstypen

Immer dann, wenn es sich um das Passieren kritischer Brücken handelt, stellt sich die Frage, ob und in welcher Weise die Fixpunkthöhe durch Ballastierung verringert werden kann. Bei der Ballastierung wird unterschieden zwischen

- Ballastwasser in Ballasttanks und
- festem Ballast.

Ein modernes GMS verfügt über ein vergleichsweise großes Ballasttankvolumen, während beim hier zugrunde gelegten älteren Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> nur im Vor- und Hin-

terschiffsbereich ein beschränktes Volumen zur Verfügung steht. Aus diesem Grund erfolgt beim GMS das Ballasten mit Wasser, beim  $JW_{verl.}$  mit festem Ballast.

Unter festem Ballast werden Gewichtseinheiten verstanden, wie z.B. Stahlplatten, die im Laderaum gelagert werden. Beim kleineren Schiffstyp  $JW_{verl.}$  ergibt sich unterhalb des Gangbordes ein zusätzlicher Freiraum, der sich ebenfalls für die Stauung von festem Ballast eignet.

## 6. Ladungsabhängige Rahmenbedingungen

Weiterhin von Bedeutung für die Fixpunkthöhe der Schiffe sind die Höhe und das Gewicht der Container.

In Tab. 3 werden die Abmessungen und das zulässige Gesamtgewicht der heute am häufigsten eingesetzten 20'- und 40' ISO-1 Container dargestellt.

lfd. Nr.	Behältertyp	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	zul. Gesamtgewicht [t]
1	20' ISO-1 Container	6.058 (20')	2.438 (8')	2.438 (8') 2.591 (8½') 2.743 (9') 2.896 (9½')	24,00
2	40' ISO-1 Container	12.192 (40')	2.438 (8')	2.438 (8') 2.591 (8½') 2.743 (9') 2.896 (9½')	30,48

Tab. 3: Außenmaße und zulässiges Gesamtgewicht der 20' und 40' ISO-1 Container

Bezüglich der Containerlänge werden von der Binnenschifffahrt neben den 20' Containern heute im großen Maß 40' Container transportiert (Abb. 8).



Abb. 8: Container-GMS-110 m auf dem Rhein, Fahrt zu Tal [Foto VBD]

Bezüglich der Containerhöhe kommt heute bei den 20' wie auch bei den 40' Containern überwiegend die 8 ½' Ausführung zum Einsatz, während die 8' Version nur noch selten anzutreffen ist. Darüber hinaus ist bei den 40' Containern eine steigende Tendenz zu 9 ½' zu erkennen. Um den Einfluß der unterschiedlich hohen Container auf die Brückendurchfahrtsmöglichkeiten darzustellen, wurde zwischen den vier Beladungsfällen „A“ bis „D“ unterschieden.

Die sich für eine dreilagige Stauung ergebenden Ladungshöhen sind in Tab. 4 dargestellt.

Beladungsfall	Containerhöhe [ft]	Containerhöhe [mm]	Ladungshöhen HL [mm]
A	3 x 8	3 x 2.438	7.314
B	3 x 8 ½	3 x 2.591	7.773
C	1 x 8	1 x 2.438	7.925
	1 x 8 ½	1 x 2.591	
	1 x 9 ½	1 x 2.896	
D	2 x 8 ½	2 x 2.591	8.078
	1 x 9 ½	1 x 2.896	

Tab. 4: Containerhöhen und sich ergebende Ladungshöhe HL bei unterschiedlichen Beladungsfällen

Bezüglich der Containergewichte war zu unterscheiden zwischen Importcontainern (Strecke Koblenz-Regensburg) mit einem Durchschnittsgewicht von 8,5 t/TEU und Exportcontainern (Strecke Regensburg-Koblenz) mit 13,0 t/TEU. Für Leercontainer wurde ein Gewicht von 2,0 t/TEU berücksichtigt.

Zu berücksichtigen waren weiterhin die Doppelbodenhöhe der Schiffe von 0,60 m, 0,50 m und 0,40 m, der Auslastungsgrad sowie der vertikale Sicherheitsabstand zwischen Schiff und Brücke.

Bei der Festlegung der Auslastungsgrade wurde davon ausgegangen, daß die oberste dritte Containerlage nicht immer komplett beladen ist. Somit beziehen sich die zugrunde gelegten Auslastungsgrade von 100 %, 50 % und 20 % auf die volumen- und gewichtsbezogene Auslastung dieser dritten Containerlage.

Bezüglich des vertikalen Sicherheitsabstandes wurden 0,10 m zugrunde gelegt, wobei dieser Abstand als Minimum anzusehen ist, ein möglicher hydrodynamischer Absenk (Squat) nicht berücksichtigt wurde, und exakte Kenntnisse über

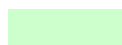
- A)** den aktuellen Abstand zwischen Brückenunterkante und dem Wasserspiegel (Durchfahrtshöhe) sowie
- B)** die Fixpunkthöhe des Schiffes

vorliegen müssen. Zur Ermittlung dieser Größen wie auch zur Einhaltung des horizontalen Sicherheitsabstandes an den Bogenbrücken, der von vielen Rahmenbedingungen abhängig ist und daher im Rahmen vorliegender Untersuchung nicht festgelegt werden konnte, wurden verschiedene Vorschläge gemacht (siehe Kap. 9).

## **7. Ermittlung der Fixpunkthöhen und Tiefgänge**

Bei der Ermittlung der Fixpunkthöhen wurde die Vergrößerung der Fixpunkthöhen, die sich bei nicht optimierter Beladung durch Krängung und Vertrimmung ergibt, nicht berücksichtigt.

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse werden die Datenfelder farblich unterlegt, und zwar:



Fixpunkthöhe kleiner/gleich 5,90 m bzw.  
Tiefgang kleiner/gleich 2,50 m



Fixpunkthöhe 5,90 m überschritten



Tiefgang 2,50 m überschritten

### 7.1 Fixpunkthöhen und Tiefgänge ohne Ballast

Die Ermittlung der Fixpunkthöhen ergab, daß sowohl beim GMS-110 m (Tab. 5) als auch beim JW<sub>verl.</sub> (Tab. 6) ein Passieren der Brücken ohne Ballastierung nur in wenigen Ausnahmefällen, und zwar ausschließlich beim Transport der schweren Exportcontainer möglich ist.

Beladungsfall	Ladungshöhe [m]	Auslastungsgrad 3. Lage [%]	Tiefgang [m]		Fixpunkthöhe [m]	
			Cont. Gew. 8,5 t/TEU (Import)	Cont. Gew. 13 t/TEU (Export)	Cont. Gew. 8,5 t/TEU (Import)	Cont. Gew. 13 t/TEU (Export)
A (3 x 8')	7,32	100	2,10	2,69	5,82	5,23
		50	1,92	2,41	6,00	5,51
		20	1,81	2,24	6,11	5,68
B (3 x 8 1/2')	7,77	100	2,10	2,69	6,27	5,68
		50	1,92	2,41	6,45	5,96
		20	1,81	2,24	6,56	6,13
C (1 x 8' 1 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	7,93	100	2,10	2,69	6,43	5,84
		50	1,92	2,41	6,61	6,12
		20	1,81	2,24	6,72	6,29
D (2 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	8,08	100	2,10	2,69	6,58	5,99
		50	1,92	2,41	6,76	6,27
		20	1,81	2,24	6,87	6,44

Tab. 5: GMS-110 m, Tiefgänge und Fixpunkthöhen in Abhängigkeit des Beladungsfalls, Auslastungsgrades in der dritten Lage und für unterschiedliche Containergewichte, Doppelbodenhöhe 0,60 m, ohne Ballast

Für das GMS-110 m ergibt sich zwar die Möglichkeit, durch eine Verringerung der Standard-Doppelbodenhöhe von 0,60 m auf 0,50 m bzw. 0,40 m die Fixpunkthöhe zu verringern und damit die Durchfahrtsmöglichkeiten zu verbessern, jedoch verbleiben deutliche Einschränkungen, wenn es um den Transport der leichteren Importcontainer geht.

Beladungsfall	Ladungshöhe [m]	Auslastungsgrad 3. Lage [%]	Tiefgang [m]		Fixpunkthöhe [m]	
			Cont. Gew. 8,5 t/TEU (Import)	Cont. Gew. 13 t/TEU (Export)	Cont. Gew. 8,5 t/TEU (Import)	Cont. Gew. 13 t/TEU (Export)
A (3 x 8')	7,32	100	1,65	2,12	6,07	5,60
		50	1,50	1,89	6,22	5,83
		20	1,41	1,75	6,31	5,97
B (3 x 8 1/2')	7,77	100	1,65	2,12	6,52	6,05
		50	1,50	1,89	6,67	6,28
		20	1,41	1,75	6,76	6,42
C (1 x 8' 1 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	7,93	100	1,65	2,12	6,68	6,21
		50	1,50	1,89	6,83	6,44
		20	1,41	1,75	6,92	6,58
D (2 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	8,08	100	1,65	2,12	6,83	6,36
		50	1,50	1,89	6,98	6,59
		20	1,41	1,75	7,07	6,73

Tab. 6: JW<sub>verl.</sub>, Tiefgänge und Fixpunkthöhen in Abhängigkeit des Beladungsfalls, Auslastungsgrades und für unterschiedliche Containergewichte, Laderaumbodenhöhe 0,40 m, ohne Ballast

Vergleicht man die für das GMS-110 m (Tab. 5) ermittelten Fixpunkthöhen mit denen des Typs JW<sub>verl.</sub> (Tab. 6), so ergeben sich für Letztgenannten grundsätzlich größere Werte. Berücksichtigt man weiterhin, daß dieser kleinere Schiffstyp nur bei den neueren Schiffen über eine angemessene Wasserballastkapazität verfügt und zum Passieren der Brücken fast ausschließlich auf festen Ballast zurückgegriffen werden muß, kann schon an dieser Stelle festgehalten werden, daß dieser Schiffstyp für den dreilagigen Containertransport weniger gut geeignet ist als das GMS-110 m.

Bezüglich der Tiefgänge ist festzustellen, daß beim GMS-110 m, daß im Falle der 100 %-igen Auslastung mit Exportcontainern (13 t/TEU) der gegenwärtig zulässige Tiefgang von 2,50 m bereits um ca. 0,19 m überschritten wird (gelbe Felder). Dies würde bedeuten, daß die Brückendurchfahrt bei den Beladungsfällen „A“, „B“ und „C“ zwar möglich ist, ein durchgehendes Befahren der Wasserstraße aufgrund der Tiefgangsüberschreitung zum gegenwärtigen Zeitpunkt auszuschließen wäre.

Beim Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> liegt der sich beim Transport der Exportcontainer ergebende größte Tiefgang mit 2,12 m deutlich unter 2,50 m.

## 7.2 Fixpunkthöhen und Tiefgänge unter Berücksichtigung von Ballast

### 7.2.1 GMS-110 m

Durch Ballastwasser läßt sich beim GMS-110 m, bis auf wenige Ausnahmen, die Fixpunkthöhe auf 5,90 m reduzieren, so daß die Brückendurchfahrt weitestgehend gewährleistet ist (Tab. 7).

Beladungsfall	Auslastungsgrad 3. Lage [%]	Containergewicht 8,5 t/TEU (Import)				Containergewicht 13 t/TEU (Export)			
		Fixpunkthöhe ohne Ballast [m]	erforderliche Tiefertauchung [m]	erforderliche Ballastierung [t]	sich ergebender Tiefgang [m]	Fixpunkthöhe ohne Ballast [m]	erforderliche Tiefertauchung [m]	erforderliche Ballastierung [t]	sich ergebender Tiefgang [m]
A (3 x 8')	100	5,82	0	0	2,10	5,23	0	0	2,69
	50	6,00	0,10	120	2,02	5,51	0	0	2,41
	20	6,11	0,21	252		5,68	0	0	2,24
B (3 x 8 1/2')	100	6,27	0,37	444	2,47	5,68	0	0	2,69
	50	6,45	0,55	660		5,96	0,06	72	2,47
	20	6,56	0,66	792		6,13	0,23	276	
C (1 x 8' 1 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	100	6,43	0,53	636	2,63	5,84	0	0	2,69
	50	6,61	0,71	852		6,12	0,22	264	2,63
	20	6,72	0,82	984		6,29	0,39	468	
D (2 x 8 1/2' 1 x 9 1/2')	100	6,58	0,68	816	2,78	5,99	0,09	108	2,78
	50	6,76	0,86	1032		6,27	0,37	444	
	20	6,87	0,97	1164		6,44	0,54	648	

Tab. 7: GMS-110 m, erforderliche Wasserballastmengen und sich ergebende Tiefgänge bei unterschiedlichen Beladungsfällen, Auslastungsgraden und Containergewichten, Doppelbodenhöhe 0,60 m

Probleme ergeben sich allerdings bei den Ladungsvarianten „C“ und „D“, wenn es um den Transport der leichteren Importcontainer geht und die dritte Lage nicht voll ausgelastet ist (orange Felder). In diesen Fällen reicht die Wasserballastmenge nicht aus, die Fixpunkthöhe auf 5,90 m zu reduzieren.

Hinzuweisen ist weiterhin auf die sich ergebenden Tiefgänge, die vielfach den für den durchgehenden Verkehr gegenwärtig zulässigen Tiefgang von 2,50 m übersteigen (gelbe Felder) und die bei der Ladungsvariante „D“ sogar 2,78 m erreichen, und damit selbst den nach Ausbau der Wasserstraße zur Verfügung stehenden maximalen Tiefgang von 2,70 m übersteigen.

Als Fazit für das GMS-110 m ergibt sich, daß, bis auf wenige Fälle, die Fixpunkthöhe durch Ballastwasser auf 5,90 m reduziert werden kann. Berücksichtigt man zunächst, daß diese Fälle vergleichsweise selten auftreten und auch bei der niedrigsten Brücke Auheim eine lichte Durchfahrtshöhe von beispielsweise 6,20 m im 10-jährigen Durchschnitt an ca. 330 Tagen zur Verfügung steht (Abb. 5), ist die Wahrscheinlich-

keit, die Brücke nicht passieren zu können, als gering einzuschätzen. Hieraus ergibt sich, daß es auch wenig Sinn macht, das GMS-110 m mit zusätzlichem festen Ballast auszurüsten, zumal in einem solchen Fall die sich bereits durch die Überschreitung des Tiefgangs von 2,50 m zeigende Problematik noch vergrößern würde. Hieraus wird die Bedeutung eines durchgängig zulässigen Tiefgangs von 2,70 m für den dreilagigen Containertransport deutlich.

Bezüglich der Einsatzmöglichkeiten des GMS-135 m ergeben sich aufgrund des größeren Verhältnisses zwischen Laderaumlänge (Ballasttankbereich) und Schiffslänge günstigere Ballastmöglichkeiten als beim GMS-110 m. Dieser Trend wird noch verstärkt durch die bei Neubauten häufig anzutreffende größere Seitenhöhe als beim GMS-110 m. Hieraus resultiert, daß die Reduzierung der Fixpunkthöhe durch Ballastwasser eher günstiger ist als beim GMS-110 m, so daß auch dieser Schiffstyp für den Containertransport zwischen Koblenz und Regensburg in Frage kommt.

### **7.2.2 JW<sub>verl.</sub>**

Die Möglichkeiten der Ballastierung mit Wasser sind beim Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> häufig sehr eingeschränkt, so daß mit Festballast gearbeitet werden muß. Hinzu kommt, daß die Einschränkungen beim Durchfahren der niedrigen Brücken bei diesem Schiffstyp ausgeprägter sind als beim GMS-110 m, d.h., im Vergleich zum GMS-110 m (siehe Tab. 5 und Tab. 6) muß verhältnismäßig mehr Ballast aufgenommen werden. Der wesentliche Nachteil von festem Ballast gegenüber Ballastwasser besteht darin, daß die für das Erreichen der maximalen Fixpunkthöhe erforderlichen Ballastgewichte dauernd im Schiff verbleiben. Dies führt beim Transport der schweren Exportcontainer zu einer Überschreitung des maximal zulässigen Tiefgangs. Durch Reduzierung des Ballastgewichtes auf das für das Erreichen des maximalen Schiffstiefgangs von 2,70 m erforderliche Gewicht von ca. 450 t wird dieser Nachteil ausgeglichen, womit allerdings gleichzeitig die Möglichkeiten zur Reduzierung der Fixpunkthöhe und damit des dreilagigen Containertransportes deutlich eingeschränkt werden (Tab. 8).

Beladungsfall	Auslastungs- grad 3. Lage [%]	Containergewicht 8,5 t/TEU (Import)				Containergewicht 13 t/TEU (Export)			
		Fixpunkthöhe ohne Ballast [m]	Tiefgang ohne Ballast [m]	Fixpunkthöhe mit Ballast [m]	Tiefgang mit Ballast [m]	Fixpunkthöhe ohne Ballast [m]	Tiefgang ohne Ballast [m]	Fixpunkthöhe mit Ballast [m]	Tiefgang mit Ballast [m]
A (3 x 8')	100	6,07	1,65	5,62	2,23	5,60	2,12	5,15	2,70
	50	6,22	1,50	5,77	2,08	5,83	1,89	5,38	2,47
	20	6,31	1,41	5,86	1,99	5,97	1,75	5,52	2,33
B (3 x 8 ½')	100	6,52	1,65	6,07	2,23	6,05	2,12	5,60	2,70
	50	6,67	1,50	6,22	2,08	6,28	1,89	5,83	2,47
	20	6,76	1,41	6,31	1,99	6,42	1,75	5,97	2,33
C (1 x 8' 1 x 8 ½' 1 x 9 ½')	100	6,68	1,65	6,23	2,23	6,21	2,12	5,76	2,70
	50	6,83	1,50	6,38	2,08	6,44	1,89	5,99	2,47
	20	6,92	1,41	6,47	1,99	6,58	1,75	6,13	2,33
D (2 x 8 ½' 1 x 9 ½')	100	6,83	1,65	6,38	2,23	6,36	2,12	5,91	2,70
	50	6,98	1,50	6,53	2,08	6,59	1,89	6,14	2,47
	20	7,07	1,41	6,62	1,99	6,73	1,75	6,28	2,33

Tab. 8: JW<sub>verl.</sub>, Fixpunkthöhen und Tiefgänge bei einem Stahlplatten-Ballastgewicht von ca. 450 t

Als Fazit für den JW<sub>verl.</sub> ist festzustellen, daß nur für den Fall eines Neubaus dieses Schiffstyps mit Ballasttanks im Doppelboden und in den Wallgängen sich vergleichbare Einsatzmöglichkeiten wie beim GMS erzielen lassen.

## 8. Zeit- und Kostenanalyse

### 8.1 Zeitanalyse

Basis der Transportkostenanalyse war die Ermittlung der Transportzeiten. Die sich ergebenden Zeitblöcke sind in Tab. 9 dargestellt und zeigen, daß sich die Schiffe gut in einen wöchentlichen Rhythmus pro Fahrstrecke einbinden lassen.

lfd. Nr.			GMS-135 m	GMS-110 m	JW <sub>verl.</sub>	
1	Fahrzeit für eine Strecke [h]		122			
2	Fahrzeit in Häfen und Wartezeiten [h]		10			
3	Umschlagzeit [h]	zweilagig	10	7	4	
		dreilagig	14	11	6	
4	gesamte Transportzeit [h]	zweilagig	142	139	136	
		dreilagig	146	143	138	
5	wöchentliche Zeit [h]		168			
6	Restzeit	[h]	zweilagig	26	29	32
		[h]	dreilagig	22	25	30
	[in % von 5]	zweilagig	18	21	24	
		dreilagig	15	17	22	

Tab. 9: Zusammenstellung der Zeitblöcke und sich ergebende Restzeit bei Einbindung in einen wöchentlichen Rhythmus pro Fahrstrecke

Hierbei ergibt sich zwar eine Reservezeit zwischen 15 % bis 24 %, die allerdings für Container-Liniendienste als angemessen zu beurteilen ist, zumal hierdurch die Möglichkeit besteht, neben den beiden Endhäfen auch weitere Zwischenhäfen anzulaufen und damit den Auslastungsgrad zu erhöhen.

Nicht unerwähnt bleiben soll auch die Möglichkeit eines durchgehenden Containerverkehrs zwischen den ARA-Häfen und Regensburg. Da die vorherigen technischen Betrachtungen gezeigt haben, daß sich die modernen GMS aufgrund der vorhandenen Ballasttanks besonders gut für eine Strecke Koblenz-Regensburg eignen, wäre ein vierlagiger Transport auf dem Rhein denkbar, wobei in Koblenz die vierte Lage zu- bzw. abgeladen werden könnte. In diesem Fall würde sich die Umschlagdauer in Koblenz in Abhängigkeit des Auslastungsgrades deutlich reduzieren, in Regensburg wären allerdings die in Tab. 9 enthaltenen Zeiten beizubehalten. Unabhängig von dieser Transportalternative wird nachfolgenden Kostenberechnungen eine Transportzeit pro Strecke von einer Woche zugrunde gelegt.

## 8.2 Schiffstransportkosten

Bei der Ermittlung der Schiffstransportkosten wurden die täglichen Schiffskosten gemäß Tab. 10 zugrunde gelegt sowie die beim Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> für Festballast zusätz-

lich anfallenden Kosten und die auf dem Main und MDK im Containerverkehr zu entrichtenden Schiffahrtsabgaben berücksichtigt.

	Schiffstyp		
	GMS-135 m	GMS-110 m	JW <sub>verl.</sub>
Tägliche Schiffskosten [€ / Tag]	1.860	1.650	1.120
Schiffskosten pro Strecke [€ / Strecke]	13.020	11.550	7.840

Tab. 10: Tägliche Schiffskosten und Schiffskosten pro Strecke

Die sich ergebenden Schiffstransportkosten pro TEU für die verschiedenen Schiffstypen sind in Abhängigkeit des Auslastungsgrades in der dritten Lage in Tab. 11 und Abb. 9 und dargestellt.

Schiffstyp	Lagen übereinander	Auslastungsgrad dritte Lage [%]	Anzahl Container [TEU]	Schiffstransportkosten [€/TEU]	Transportkosten inkl. Schiffahrtsabgaben [€/TEU]	auf den zweilagigen Transport mit Typ JW <sub>verl.</sub> indizierte Transportkosten [%]
GMS-135 m	dreilagig	100	204	63,80	77,60	48
		50	170	76,60	90,40	56
		20	150	86,80	100,60	62
	zweilagig	0	136	95,70	109,50	68
GMS-110 m	dreilagig	100	156	74,00	87,80	54
		50	130	88,80	102,60	64
		20	114	101,30	115,10	71
	zweilagig	0	104	111,10	124,90	77
JW <sub>verl.</sub>	dreilagig	100	81	98,30	112,10	70
		50	67	118,80	132,60	82
		20	59	134,90	148,70	92
	zweilagig	0	54	147,40	161,20	100

Tab. 11: Transportkosten pro TEU für die verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit des Auslastungsgrades in der dritten Lage

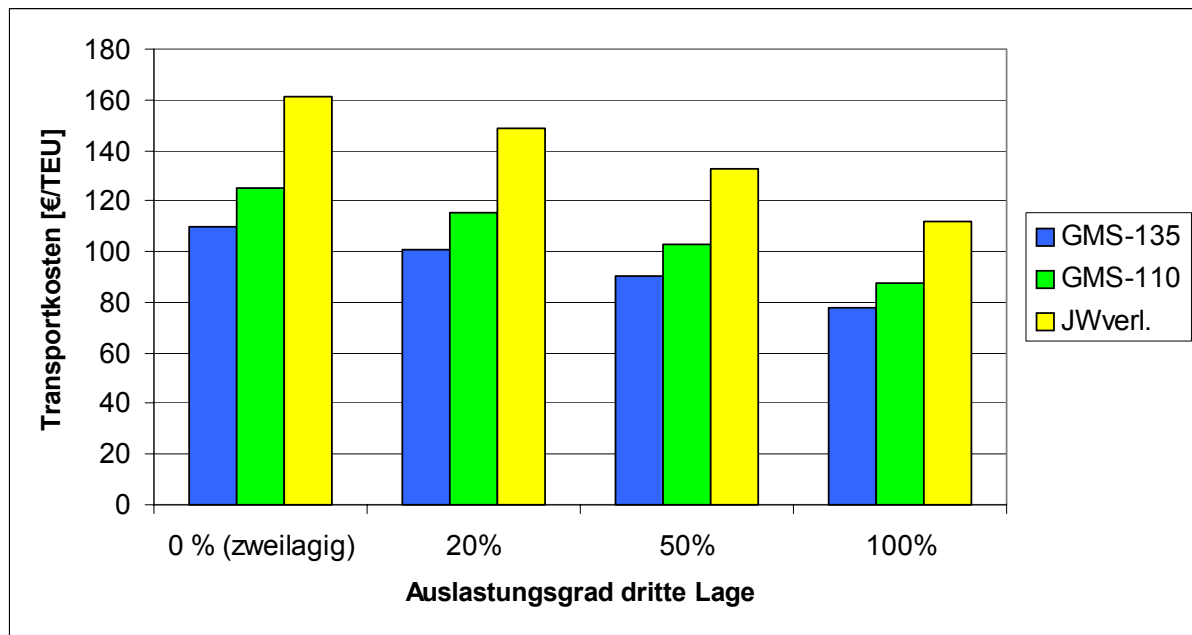


Abb. 9: Gegenüberstellung der Transportkosten pro TEU für die verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit des Auslastungsgrades in der dritten Lage

Beim Vergleich der Transportkosten des dreilagigen Containertransportes mit denjenigen des zweilagigen Transportes ergeben sich zunächst, und zwar unabhängig vom Schiffstyp, Kosteneinsparungen von ca. 30 % zugunsten des dreilagigen Transportes. Allerdings lassen sich diese Kostenvorteile zum gegenwärtigen Zeitpunkt aufgrund der Wasserstraßen-Tiefgangseinschränkungen auf 2,50 m nur bei den Ladungsvarianten „A“ und „B“ nutzen, wobei die Ladungsvariante „A“ aufgrund des zunehmenden Einsatzes höherer Container heute nur noch selten anzutreffen ist. Mit einer Erhöhung des Tiefgangs auf 2,70 m wäre zusätzlich die Ladungsvariante „C“ praktikabel, die im Gegensatz zur Variante „A“ immer mehr an Bedeutung gewinnt.

Darüber hinaus liegen die Kosten beim GMS-110 m ca. 23 % und beim GMS-135 m ca. 32 % unter denen des Typs JW<sub>verl.</sub>. Damit verfügen die größeren GMS gegenüber dem JW<sub>verl.</sub> nicht nur über große Vorteile in bezug auf die Möglichkeit, niedrige Brücken passieren zu können, sondern auch über beträchtliche Kostenvorteile.

Weiterhin von Interesse könnte eine Mischung aus beladenen und leeren Containern sein. Aufgrund der bei Leercontainern nicht zu entrichtenden Schiffsabgaben lassen sich die Transportkosten mit steigendem Leercontaineranteil zwischen 3-4 % noch weiter verringern.

### 8.3 Vergleich der Transportkosten mit den Transportpreisen des direkten LKW-Verkehrs

Bei der Ermittlung der gesamten Transportkosten des kombinierten Verkehrs unter Einbindung des Binnenschiffes ist zu berücksichtigen, daß im Bereich des Terminals Regensburg gegenüber dem direkten LKW-Transport zusätzliche Verlade- sowie LKW Vor- bzw. Nachlaufkosten entstehen. Die jeweiligen Kostenanteile und Gesamtkosten sind in Tab. 12 und Abb. 10 dargestellt und zeigen, daß trotz der nur an einem Ende der Transportkette zu berücksichtigenden zusätzlichen Kosten die eigentlichen Schiffstransportkosten im Bereich zwischen 35 % ( $JW_{\text{verl.}}$ ) bis 52 % (GMS-135 m) der Gesamtkosten liegen.

Schiffstyp	Lagen übereinander	Auslastungsgrad dritte Lage [%]	Transportkosten inkl. Schiffsabgaben [€/TEU]	Umschlagkosten Regensburg [€/TEU]	Vor-/Nachlaufkosten Regensburg [€/TEU]	Gesamtkosten [€/TEU]
GMS-135 m	dreilagig	100	77,60	24,70	60,00	162,30
		50	90,40			175,10
		20	100,60			185,30
	zweilagig	0	109,50			194,20
GMS-110 m	dreilagig	100	87,80			172,50
		50	102,60			187,30
		20	115,10			199,80
	zweilagig	0	124,90			209,60
$JW_{\text{verl.}}$	dreilagig	100	112,10			196,80
		50	132,60			217,30
		20	148,70			233,40
	zweilagig	0	161,20			245,90

Tab. 12: Gesamttransportkosten pro TEU für die verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit des Auslastungsgrades in der dritten Lage

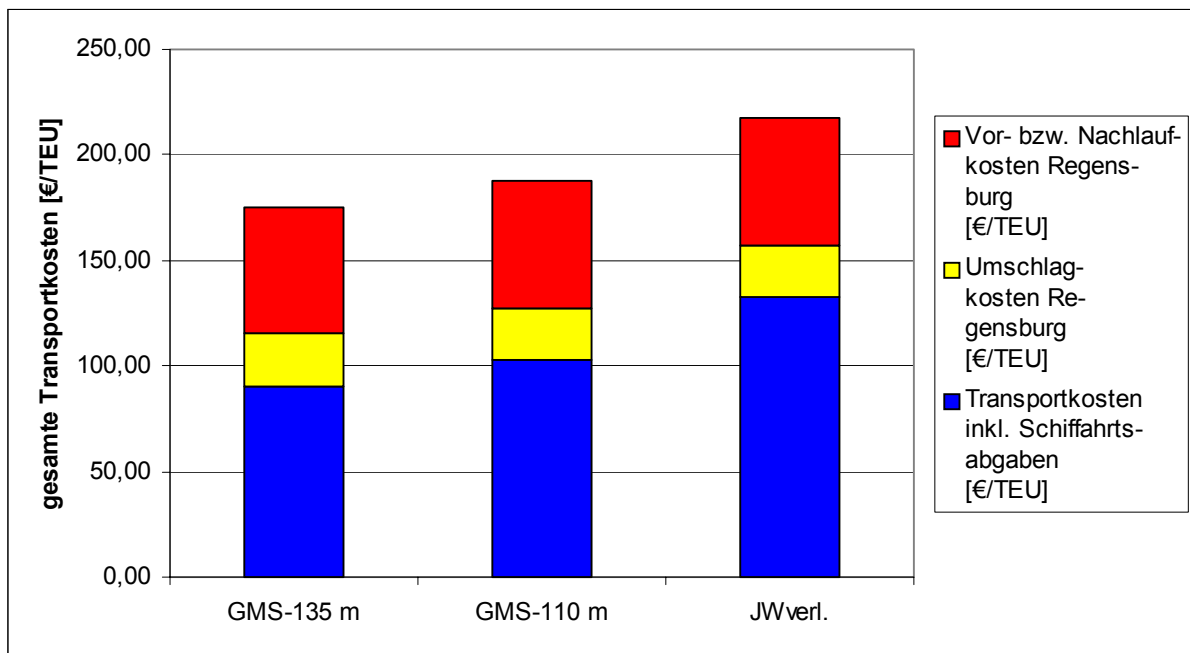


Abb. 10: Gesamtkosten und Kostenanteile des Containertransportes unter Einbindung des Binnenschiffes, Auslastungsgrad 50 % in der dritten Lage

Werden diese Gesamtkosten mit den Transportpreisen des direkten LKW-Transportes verglichen (Tab. 13), wird deutlich, daß die Kosten für den Transport der Container unter Einbindung des Binnenschiffes, und zwar unabhängig vom Schiffstyp, bei einer kompletten dreilagigen Beladung (Auslastungsgrad der dritten Lage 100 %) deutlich niedriger sind als die Preise des direkten LKW-Transportes. Die größten Kostenvorteile liegen mit ca. 28 % beim GMS-135 m, gefolgt mit ca. 23 % beim GMS-110 m und ca. 13 % beim JW<sub>verl.</sub>.

LKW [€/TEU]	Schiffstyp	Lagen über- einander	Auslastungs- grad dritte Lage [%]	Gesamt- kosten [€/TEU]	auf den LKW- Preis indi- zierte Gesamt- kosten [%]
225,00	GMS-135 m	dreilagig	100	162,30	72
			50	175,10	78
			20	185,30	82
		zweilagig	0	194,20	86
	GMS-110 m	dreilagig	100	172,50	77
			50	187,30	83
			20	199,80	89
		zweilagig	0	209,60	93
	JW <sub>verl.</sub>	dreilagig	100	196,80	87
			50	217,30	96
			20	233,40	104
		zweilagig	0	245,90	109

Tab. 13: Vergleich der gesamten Transportkosten pro Fahrtrichtung unter Einbindung des Binnenschiffes mit den Transportpreisen des direkten LKW-Verkehrs

Anders sieht es beim zweilagigen Containerverkehr aus (Auslastungsgrad 0 % in der dritten Lage). Hier bestehen beim GMS-135 m noch Kostenvorteile in Höhe von ca. 14 % gegenüber dem direkten LKW-Transport. Diese reduzieren sich beim GMS-110 m auf ca. 7 %, während die Kosten beim JW<sub>verl.</sub> ca. 9 % höher liegen als beim direkten LKW-Transport. Hieraus ergibt sich, daß, neben den eingeschränkten Möglichkeiten, niedrige Brücken durchfahren zu können, der Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> selbst bei einer vollständigen dreilagigen Containerstapelung im Hinblick auf die festgestellten Transportkosten nur wenig attraktiv ist.

Von wesentlicher Bedeutung kann allerdings auch die deutlich längere Transportzeit sein, die beim Binnenschiff ca. sieben Tage und beim direkten LKW ca. einen Tag beträgt. Nur mit deutlich günstigeren Transportpreisen kann dieser Nachteil kompensiert werden.

## **9. Fazit und Handlungsempfehlungen**

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, für unterschiedliche Schiffstypen die Möglichkeiten des dreilagigen Containertransportes zwischen Koblenz und Regensburg zu untersuchen. Diese Möglichkeit wird im wesentlichen beeinflusst durch die Brückendurchfahrtshöhen. Darüber hinaus ist die zur Verfügung stehende Fahrwassertiefe und der sich hieraus ergebende maximale Tiefgang ebenfalls für den Containerverkehr von großer Bedeutung.

Die Analyse der Brückendurchfahrtshöhen hat gezeigt, daß auf der gesamten Main/MDK-Strecke eine Durchfahrtshöhe von 6,00 m überwiegend zur Verfügung steht und nur an wenigen Tagen pro Jahr diese Höhe unterschritten wird. So stand beispielsweise an der niedrigsten Brücke in Auheim die Durchfahrtshöhe von 6,00 m in der untersuchten Zeitspanne zwischen 1992-2001 durchschnittlich an 340 Tagen pro Jahr zur Verfügung. Allerdings ist auf der MDK-Strecke mit kurzfristigen Verringerungen der Brückendurchfahrtshöhen zu rechnen. Diese Verringerungen werden durch Schwallwellen verursacht, die bei der Entleerung der Schleusen entstehen.

Der für den durchgehenden Verkehr auf der Main/MDK-Strecke maximal zulässige Tiefgang beträgt gegenwärtig 2,50 m. Dies kann bedeuten, daß im Falle einer schweren Containerladung oder bei einer Verminderung der Fixpunkthöhe des Schiffes durch Ballastierung die Brückendurchfahrtshöhe für eine Passage zwar ausreicht, jedoch aufgrund einer Überschreitung des maximal zulässigen Tiefgangs die Durchfahrt nicht möglich ist.

Allerdings wurde durch den Ausbau des Mains die Fahrrinntiefe zwischen der Mainmündung und Würzburg auf 2,90 m erhöht und der Abschnitt zwischen der Mainmündung und Lengfurt (Main-km 174,50) inzwischen für einen Tiefgang von 2,70 m freigegeben.

Es ist geplant, den maximalen Tiefgang nach Fertigstellung der gegenwärtig laufenden Ausbaumaßnahmen auf der gesamten Main/MDK-Strecke auf 2,70 m zu erhöhen, womit sich die Möglichkeiten des dreilagigen Containertransportes deutlich erhöhen würden.

Ob die Brückendurchfahrtshöhe von 6,00 m und der gegenwärtig maximal zulässige Tiefgang von 2,50 m dazu ausreichen, die Brücken passieren zu können, wurde für verschiedene Schiffstypen und Ladungsvarianten mit unterschiedlichen Container-

höhen und –gewichte sowie unter Berücksichtigung von Ballastwasser oder Festballast untersucht.

Grundsätzlich geeignet für den dreilagigen Containertransport sind die modernen Großmotorschiffe (GMS), die aufgrund ihrer Bauweise (Doppelhülle) über eine beträchtliche Ballastkapazität verfügen. Der kleinere und ältere Schiffstyp Johann Welker (JW<sub>verl.</sub>) verfügt nur über eine geringe Ballastwasserkapazität und ist deshalb auf festen Ballast angewiesen. Fester Ballast hat sich jedoch als nicht geeignet herausgestellt, weil er im Schiff verbleibt und bei der Beladung der Schiffe mit schweren Exportcontainern zu einer deutlichen Einschränkung der Ladefähigkeit dieses Schiffstyps führt. Damit ist dieser Schiffstyp für den dreilagigen Containerverkehr auf dieser Strecke kaum geeignet.

Aber auch bei den modernen GMS kommt es zu Überschreitungen der Brückendurchfahrtshöhe, wenn es sich um leichte (z.B. leere Container) und gleichzeitig hohe Container (z.B. 9 ½' hoch) handelt. In diesen Fällen reicht die Ballastkapazität nicht aus, das Schiff auf die erforderliche maximale Fixpunkthöhe abzusenken. Auf der anderen Seite können sich beim Transport der schweren Exportcontainer Tiefgangsprobleme einstellen, die aber durch eine verringerte Anzahl Container in der dritten Lage kompensiert werden können.

Neben der Brückendurchfahrtshöhe hat auch das Brückenprofil (z.B. alte Steinbogenbrücken) einen Einfluß auf die Brückendurchfahrtsmöglichkeit. Während bei den überwiegend anzutreffenden Brücken mit geraden Unterkanten sichergestellt sein muß, daß zwischen Schiff und Brücke ein ausreichender vertikaler Sicherheitsabstand besteht, ist bei der vergleichsweise geringen Anzahl bogenförmiger Brücken zusätzlich ein ausreichender horizontaler Sicherheitsabstand zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der Datenanalyse machen zunächst deutlich, da sich – und zwar unabhängig vom Schiffstyp – beim dreilagigen Containertransport Kosteneinsparungen in Höhen von ca. 30 % gegenüber dem zweilagigen Transport erzielen lassen. Darüber hinaus liegen die Kosten bei den modernen GMS zwischen 23-32 % unter denen des kleineren Typs JW<sub>verl.</sub>.

Werden die gesamten Transportkosten unter Berücksichtigung zusätzlicher Verlade- sowie LKW Zu- und Ablaufkosten des kombinierten Verkehrs unter Einbindung des Binnenschiffes mit den direkten LKW-Transportpreisen verglichen, ergeben sich bei einer dreilagigen Containerstapelung deutliche Kostenvorteile zugunsten des kombi-

nierten Verkehrs. Allerdings verringert sich dieser Kostenvorteil mit abnehmender Schiffsauslastung und führt bei einer zweilagigen Containerstapelung beim Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> sogar zu höheren Transportkosten als beim direkten LKW-Transport. Dies macht die Notwendigkeit des dreilagigen Containerverkehrs deutlich, denn nur mit bedeutend günstigeren Transportpreisen gegenüber dem direkten LKW-Transport kann die beträchtlich längere Transportzeit des Binnenschiffes kompensiert werden.

Um die bereits heute bestehenden Möglichkeiten des dreilagigen Containertransporte in bezug auf leichte und hohe sowie schwere Container zu erweitern und besonders, um den Transport sicherer zu machen, werden in der Untersuchung verschiedene Handlungsempfehlungen unterbreitet. Hierbei handelt es sich um

- den zügigen Wasserstraßenausbau auf einen Tiefgang von 2,70 m, um auch schwere Container ohne Einschränkung transportieren zu können;
- die Entwicklung eines Beladungsprogramms zur Minimierung der Fixpunkthöhe bei der Beladung der Schiffe;
- die Entwicklung und Installation von Durchfahrtshöhenanzeiger an den kritischen Brücken zur Erfassung und Darstellung der augenblicklichen Durchfahrtshöhe;
- die Entwicklung und Installation von Horizontal-Scannern an den kritischen Brücken zur Kontrolle der Schiffs-Fixpunkthöhe;
- die Entwicklung eines Handmeßgerätes zur Kontrolle der tatsächlichen Fixpunkthöhe nach der Schiffsbeladung;
- die Entwicklung und Installation von Leitvorrichtungen an den kritischen Steinbogenbrücken zur Sicherung des erforderlichen horizontalen Brückenabstandes (z.B. mechanisch durch Leitdalben oder elektronisch durch Leitstrahl).

Duisburg, Oktober 2003  
Fachbereich Verkehrstechnik



Dipl.-Ing. V. Renner  
Fachbereichsleiter



Dr.-Ing. W. Bialowski  
Projektleiter



Prof. Dr. P. Engelkamp  
Institutsdirektor