

**Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschifffahrt**  
**Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg**

**Technische und wirtschaftliche Konzepte  
für flußangepaßte Binnenschiffe**

**Auftrag 2317  
Bericht 1701  
Schlußbericht**

**Juli 2004**

Im Auftrag des  
Bundesministers für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen

Forschungsbericht FE-Nummer: 30.0328/2003

Technische und wirtschaftliche Konzepte  
für flußangepaßte Binnenschiffe

Projektleiter:  
Dipl.-Ing. Volker Renner

Mitarbeiter:  
Dr.-Ing. Wolfgang Bialonski

Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg

Institutsleiter:  
Prof. Dr. Paul Engelkamp

Juli 2004

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Methodik des Vorgehens</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur und schiffstechnische Zusammenhänge</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>12</b>
<b>4.2</b>	<b>Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur</b>	<b>12</b>
4.2.1	Allgemeines	12
4.2.2	Maximal zulässige Abmessungen	13
4.2.3	Zusammenhang zwischen Fahrwassertiefe, Fahrwasserbreite und Tiefgang	14
4.2.4	Brückendurchfahrtshöhen	19
<b>4.3</b>	<b>Schiffstechnische Zusammenhänge</b>	<b>22</b>
4.3.1	Allgemeines	22
4.3.2	Einfluß der Schiffsabmessungen auf die Tragfähigkeit	24
4.3.2.1	Einfluß der Schiffslänge und der Schiffsbreite auf den Leertiefgang	24
4.3.2.2	Einfluß der Schiffslänge auf die Tragfähigkeit	26
4.3.2.3	Einfluß der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit	27
4.3.2.4	Einfluß der Schiffslänge und der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit	28
4.3.2.5	Einfluß des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit	29
4.3.3	Einfluß der Schiffsgröße auf den Antriebsleistungsbedarf	30
4.3.4	Einfluß der Wassertiefe auf den Antriebsleistungsbedarf bzw. die Schiffsgeschwindigkeit	34
4.3.5	Einfluß von Wasserstandsvorhersagen auf den Tiefgang	37
<b>5.</b>	<b>Überblick über die technischen Möglichkeiten</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Umgesetzte Entwicklungen in den letzten 15 Jahren</b>	<b>40</b>
5.1.1	Gegenwärtiger Trend	40
5.1.2	Einzelentwicklungen	46
5.1.2.1	Beispiel für ein im Einsatz befindliches innovatives System	47
5.1.2.2	Drei-Hüllen-Tankschiffe	51
5.1.2.3	Zweischraubenschiffe	51
5.1.2.4	Optimierung der Schiffslinien	52
5.1.2.5	Schiffsverlängerungen	53
5.1.2.6	Schiffsverbreiterung	53
5.1.2.7	Hubhöhe der Steuerhäuser	54
5.1.2.8	Verlegung des Radarscanners vom Hinterschiff in den Vorschiffsbereich	55
5.1.2.9	Gelenkverband	56
5.1.2.10	Koppelstelle	57
5.1.2.11	Schneller laufende Motoren	58
5.1.2.12	Überwachungselemente	58

5.1.2.13	Krängungsmesser	58
5.1.2.14	Black Box	59
5.1.2.15	Lukendach	59
5.1.2.16	Bugstrahlanlagen	60
5.1.2.17	Werkstoffe	61
5.1.2.18	Empfehlungen für Standard-Motorgüterschiffe (Binnenschiff der Zukunft)	63
5.1.2.19	Palettentransport	65
5.1.2.20	Propellerentwicklungen	65
5.1.2.21	Telematiksysteme	66
<b>5.2</b>	<b>Gegenwärtig laufende Entwicklungen</b>	<b>67</b>
5.2.1	Verbesserung der Hinterschiffsform hochbelasteter Mehrschrauben- Tunnelschiffe durch Neuorientierung der Entwurfs- und Optimierungsmethoden	67
5.2.2	Flachgehendes Binnenschiff (FLABI)	68
5.2.3	Entwicklung von Gangbordalternativen zur Vergrößerung der Laderaumbreite	68
5.2.4	Erhöhung der zulässigen Breite von Binnenschiffen beim Befahren kanalisierter Binnenwasserstraßen	69
5.2.5	Numerische und experimentelle Untersuchungen der Umströmung flachgehender, getunnelter Binnenschiffe unter Einbeziehung der Propellerwirkung	69
5.2.6	Erhöhung der Staukapazität und der Stausicherheit beim Transport von unterschiedlichen Transportbehältern mit dem Binnenschiff	70
5.2.7	Gemischter Transport von Transportbehältern und Massengut	70
5.2.8	Alternative Antriebsenergie	71
5.2.9	Whale Tail	71
5.2.10	Entwicklung extrem flachgehender Schubverbände (INBAT)	71
5.2.11	Der Semikatamaran als Grundlage eines neuen Transportsystems für Binnenwasserstraßen	72
5.2.12	Futura-Carrier	72
5.2.13	Entwicklung innovativer Containerschiffe für Binnenwasserstraßen zur Bewältigung wachsender Aufkommensmengen im Seehafen- Hinterlandverkehr	72
5.2.14	New Opportunities for Inland Waterways Transport (INBISHIP)	73
5.2.15	Zukunftsorientierte Technologien zur Modernisierung der Binnenschiffsflotte	73
5.2.16	Schubboot mit Heckschaufelantrieb	74
<b>5.3</b>	<b>Zukunftsideen</b>	<b>74</b>
5.3.1	Größenentwicklung (Interaktion zwischen Schiff und Wasserstraße)	74
5.3.2	Automatische Kohle-Entladeeinrichtung auf Binnenschiffen	75
5.3.3	Verbesserung der Flachwassereigenschaften durch zusätzliche Auftriebskörper	75
5.3.4	Split Ship	76
5.3.5	RiverSnake	76
5.3.6	Bordkran	77
5.3.7	Großpalette	77

<b>6.</b>	<b>Wirtschaftliche Bewertung</b>	<b>78</b>
<b>6.1</b>	<b>Generelle Anmerkung</b>	<b>78</b>
<b>6.2</b>	<b>Relevante technische und betriebswirtschaftliche Daten der zu berücksichtigenden Schiffstypen</b>	<b>79</b>
6.2.1	Existierende Schiffstypen	80
6.2.1.1	Schiffstyp 1: Gustav Koenigs (verl.)	80
6.2.1.2	Schiffstyp 2: Johann Welker (verl.)	90
6.2.1.3	Schiffstyp 3: Großmotorschiff, L = 110 m (GMS-110 m)	93
6.2.1.4	Schiffstyp 4a): Elbe-Schubverband	98
6.2.1.5	Schiffstyp 4b): Schubverband-Kanal	101
6.2.2	Innovative Schiffstypen	106
6.2.2.1	Allgemeines	106
6.2.2.2	Schiffstyp 5: Innovatives Motorschiff	107
6.2.2.3	Schiffstyp 6: Innovativer Schubverband	113
<b>6.3</b>	<b>Wirtschaftliche Bewertung unter Zugrundelegung unterschiedlicher Fahrwassertiefen</b>	<b>118</b>
6.3.1	Allgemeines	118
6.3.2	Zusätzlich zu berücksichtigende Rahmenbedingungen	118
6.3.3	Transportleistung	120
6.3.4	Transportkosten	123
6.3.5	Kostendeckende Frachtraten und Vergleich mit den gegenwärtigen Transportpreisen	125
6.3.6	Berücksichtigung besonderer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bei den innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe II)	131
6.3.7	Wirtschaftliche Vorteile durch die Anwendung der innovativen Maßnahmen bei Neubauten	132
6.3.8	Zwischenergebnis aus den bisherigen wirtschaftlichen Bewertungen	134
<b>6.4</b>	<b>Wirtschaftliche Bewertung unter Berücksichtigung realistischer Wasserstandsentwicklungen auf ausgewählten Relationen</b>	<b>137</b>
6.4.1	Beschreibung der Wasserstraßeninfrastruktur der ausgewählten Relationen	138
6.4.1.1	Relation I: Elbe zwischen Hamburg und Dresden	138
6.4.1.2	Relation II: Elbe/Märkische Wasserstraßen zwischen Hamburg und Berlin	146
6.4.2	Zusätzlich zu berücksichtigende Rahmenbedingungen	147
6.4.3	Relation I, Hamburg – Dresden	148
6.4.3.1	Transportmengen	150
6.4.3.2	Transportkosten	151
6.4.4	Relation II, Hamburg – Berlin	155
6.4.4.1	Transportmengen	155
6.4.4.2	Transportkosten	157
6.4.4.3	Zwischenergebnis aus der relationsbezogenen wirtschaftlichen Bewertung	160
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>162</b>

<b>7.1</b>	<b>Technische Bewertung</b>	<b>162</b>
<b>7.2</b>	<b>Wirtschaftliche Bewertung</b>	<b>165</b>
<b>7.3</b>	<b>Fazit</b>	<b>168</b>

## **LITERATUR**

## **1. Ausgangslage und Problemstellung**

Nach den Hochwasserereignissen im August 2002 und den Niedrigwasserperioden Mitte 2003 wird verstärkt über die Möglichkeiten des Einsatzes fluß- oder wasserstraßenangepaßter Binnenschiffe diskutiert. Aus Sicht des Schiffbauers wie auch der Schifffahrtstreibenden ist es seit jeher das Bestreben, die Möglichkeiten, die eine vorhandene Wasserstraße bietet, weitestgehend zu nutzen. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt, daß sich die Infrastruktur der Wasserstraßen, wenn überhaupt, nur längerfristig verändert, orientiert sich der Entwurf eines Schiffes immer an den gegenwärtig gültigen gesetzlichen Vorgaben, und nur in wenigen Fällen fließen im Hinblick auf mögliche Veränderungen der Wasserstraßen-Infrastruktur entsprechende Maßnahmen bereits in den Schiffsentwurf ein. So führte beispielsweise die langfristig zu erwartende Zulassung von einzeln fahrenden Binnenschiffen bis zu einer Länge von 135 m in Einzelfällen zu einer verstärkten Längsfestigkeit der 110 m Schiffe, um zu gegebener Zeit die Schiffe mit vergleichsweise geringen Kosten verlängern zu können.

Da das Niveau der Wasserstraßeninfrastruktur sehr unterschiedlich ist, richtet sich der Schiffsentwurf nach dem vorrangig zu befahrenden Wasserstraßenbereich und dort nach den Gegebenheiten mit den größten Einschränkungen. Beispielsweise sind die Einschränkungen auf dem Rhein vergleichsweise gering, so daß hier einzeln fahrende Schiffe mit einer Länge bis 135 m und einer Breite bis ca. 22,80 m zugelassen sind und mit einem Tiefgang zwischen 2,50 m bis 4 m verkehren können. Die Brückendurchfahrtshöhen sind zwischen Rotterdam und Karlsruhe mit ca. 9,10 m über HSW<sup>1</sup> so groß, daß hier ganzjährig mindesten 4 Containerlagen übereinander gestapelt werden können.

Grundsätzlich anders sieht es z.B. auf Elbe, Weser, Donau und im kanalisierten Wasserstraßennetz aus. Aufgrund der beschränkten Fahrwassertiefen und –breiten, der Brückendurchfahrtshöhen sowie der Schleusenabmessungen sind hier die maximalen Schiffsabmessungen gegenüber dem Rhein deutlich eingeschränkt. So beträgt beispielsweise für ein einzeln fahrendes Schiff auf den Märkischen Wasserstraßen gegenwärtig die maximale Schiffslänge 86 m, die Schiffsbreite 9,50 m, der Tiefgang 2,00 m und die Brückendurchfahrtshöhe ca. 4,30 m. Sollen Güter mit dem Binnenschiff von und nach Berlin transportiert werden, hat sich das Schiff diesen Rahmenbedingungen zu unterwerfen.

---

<sup>1</sup> Höchster schiffbarer Wasserstand

Ein weiterer wesentlicher Aspekt sind die in den frei fließenden Teilen der Flüsse besonders ausgeprägten Wasserstandsschwankungen. Diese überwiegend durch Niederschlag, im Frühjahr auch zum Teil durch Schneeschmelzen verursachten Schwankungen können z.B. im Rheinbereich bis zu 10 m betragen. Sie beeinflussen damit bei hohem Wasserstand die Brückendurchfahrtsmöglichkeiten, insbesondere im Containertransport, und bei niedrigen Wasserständen den Tiefgang und damit die Tragfähigkeit der Schiffe.

Vorgenannte Ausführungen bedeuten jedoch nicht, daß es sich beim Entwurf und dem Bau der Schiffe um einen abgeschlossenen Vorgang handelt, sondern um einen kontinuierlichen Prozeß. Auch wenn man sich dabei den Grenzen nähert, bestehen selbst in bezug auf die Schiffsabmessungen noch immer Möglichkeiten einer Optimierung. Daneben bestehen noch weitere Möglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit und Einsatzbereiche auch kleinerer Einheiten positiv zu beeinflussen.



## 2. Zielsetzung

Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Bewertung von innovativen Schiffen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit gegenüber bereits existierenden Schiffen. Zu diesem Zweck werden technische Konzepte, speziell für die Flachwasserschifffahrt, vorgestellt, erörtert und einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung unterworfen.

Auf der Grundlage der Wirtschaftlichkeitsanalysen sind die Chancen für den Bau und den wirtschaftlichen Einsatz dieser Schiffe zu beurteilen. Aufgrund dieser Beurteilung sind zugleich Aussagen zur Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den konkurrierenden Verkehrsträgern möglich. Allerdings liegt die Entscheidung über den Bau der innovativen Schiffe bei den Reedern oder Partikulieren, deren wirtschaftlich begründete Anforderungen nach einem flexiblen Einsatz der Schiffe in bezug auf die verschiedenen Ladungsgüter und unterschiedlichen Wasserstraßenbereiche zu beachten sind. Nur dann, wenn mit optimierten Schiffseinheiten, die den Gesamtbelangen der Reeder oder Partikuliere Rechnung tragen, insgesamt Vorteile gegenüber den heute im Einsatz befindlichen älteren Schiffen erreicht werden können, kann mit einer Verbesserung der Wettbewerbsposition gerechnet werden. Ansonsten ist bei gegebenen Wasserstraßenbedingungen längerfristig aufgrund der zunehmenden Überalterung der vorhandenen Flotte mit einer Verschlechterung der Situation zu rechnen.

### **3. Methodik des Vorgehens**

Bei der Analyse wird unterschieden zwischen den Schwerpunktsbereichen

- A)** Rahmenbedingungen der Wasserstraßen-Infrastruktur und schiffstechnische Zusammenhänge (Kap. 4)
- B)** Überblick über die technischen Möglichkeiten (Kap. 5)
- C)** Wirtschaftliche Bewertung (Kap. 6)

#### **zu A): Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur und schiffstechnische Zusammenhänge**

Um nachfolgende Ausführungen über die technischen Möglichkeiten und die wirtschaftliche Bewertung flußangepaßter Binnenschiffe verständlich zu machen, wird zunächst auf die Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur eingegangen. Hierauf aufbauend erfolgt die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Schiffslänge, Breite, Tiefgang, Tragfähigkeit, Schiffsgeschwindigkeit und Antriebsleistung auf tiefgangs- und seitlich beschränkten Wasserstraßen.

#### **zu B): Überblick über die technischen Möglichkeiten**

Bei der Darstellung der technischen Möglichkeiten des Einsatzes flußangepaßter Binnenschiffe wird unterschieden zwischen

- umgesetzten Entwicklungen in den letzten 15 Jahren
- gegenwärtig laufenden Entwicklungen
- Zukunftsideen.

Der Überblick über die technischen Möglichkeiten bildet die Basis für die wirtschaftliche Analyse, die letztlich über die Umsetzung entscheidet.

#### **zu C): Wirtschaftliche Bewertung**

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird am Beispiel des Transportes von trockenem Massengut durchgeführt und kann, ohne Berücksichtigung der speziellen Rahmenbedingungen, nicht auf andere Transportgüter, z.B. Container, übertragen werden.

Um die Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Fahrzeuge beurteilen zu können, werden die unter realistischen Bedingungen zu erwartenden jährlichen Transportmengen, jährlichen Transportkosten sowie die sich hieraus ergebenden kostendeckenden Frachtraten pro Strecke ermittelt und den marktüblichen Frachtraten gegenübergestellt.

---

Die Bewertung erfolgt für fünf existierende Typschiffe (3 Motorschiffe, 2 Schubverbände) und zwei innovative Schiffstypen (1 Motorschiff, 1 Schubverband) zunächst generell am Beispiel unterschiedlicher Fahrwassertiefen zwischen 1,30 m bis 7,50 m und anschließend unter Berücksichtigung konkreter Wasserstandsverläufe auf den zwei Relationen Hamburg – Dresden und Hamburg – Berlin.

## **4. Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur und schiffstechnische Zusammenhänge**

### **4.1 Allgemeines**

Die Wirtschaftlichkeit eines Güterschiffes wird unter anderem maßgeblich beeinflusst durch die schiffsbezogenen Parameter Länge, Breite, Tiefgang, Tragfähigkeit, Antriebsleistung und Geschwindigkeit, die wiederum in starkem Maße abhängig sind von der Wasserstraßeninfrastruktur.

Um nachfolgende Ausführungen über die technischen Möglichkeiten und die wirtschaftliche Bewertung flußangepaßter Binnenschiffe verständlich zu machen, werden zunächst die Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur behandelt, um anschließend auf die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den schiffsbezogenen Parametern auf tiefgangs- und seitlich beschränktem Fahrwasser einzugehen.

### **4.2 Rahmenbedingungen der Wasserstraßeninfrastruktur**

#### **4.2.1 Allgemeines**

Die wesentlichen Einflußfaktoren dafür, ob und unter welchen Bedingungen ein Schiff einen bestimmten Wasserstraßenabschnitt passieren kann, sind:

- maximal zulässige Abmessungen der Schiffseinheit (Länge, Breite)
- zur Verfügung stehende Wassertiefen (Tiefgang)
- zur Verfügung stehende Brückendurchfahrtshöhen (Fixpunkthöhe, wesentlich für die Containerschiffahrt).

Daneben existieren noch weitere Rahmenbedingungen und Vorschriften, die das Befahren bestimmter Bereiche einschränken oder auch verbieten, wie beispielsweise:

- Brückendurchfahrtsbreiten (verengtes Fahrwasser mit zum Teil größeren Strömungsgeschwindigkeiten und größerem Absunk)
- Maximalgeschwindigkeit (z.B. kanalisierter Wasserstraßenbereich)
- Sonderausrüstungen für einzeln fahrende Schiffe länger als 110 m (Doppelschrauber, Kofferdamm im Mittelschiffsbereich, leistungsstarke Bugstrahlanlage, usw.)
- enge Kurvenradien (erforderlich sind leistungsstarke Manövrieanlagen, Bugstrahlanlagen)
- wasserstraßenspezifische technische und sicherheitsrelevante Vorschriften (z.B. Rheinschiffs- oder Binnenschiffs-Untersuchungsordnung oder Rhein-

- schiffs- und Binnenschiffs-Polizeiverordnung), erforderlich zum Befahren spezieller Wasserstraßenbereiche
- Schifffahrtssperren durch Hochwasser, Havarien, Bauarbeiten an Schleusen usw.

Zu den wasserstraßenspezifischen technischen und sicherheitsrelevanten Vorschriften ist anzumerken, daß die für den Rhein gültigen Vorschriften (Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) oder Rheinschiffs-Polizeiverordnung (RheinSchPV)) von der Tendenz her hohe Anforderungen an Schiff und Besatzung stellen. Um den wirtschaftlichen Anforderungen an das System Binnenschiff gerecht zu werden und um die Schiffe flexibel einsetzen zu können, verfügt der weitaus überwiegende Teil der deutschen Binnenschiffsflotte über eine Rheinzulassung. Nur in wenigen Fällen, in denen für Reeder oder Partikuliere feststeht, daß sich der Einsatz der Schiffe auf einen bestimmten Wasserstraßenbereich beschränkt (siehe Beispiel Abschnitt 5.1.2.1), müssen nur die für diesen Bereich gültigen Vorschriften erfüllt werden.

Um in nachfolgenden Betrachtungen eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird davon ausgegangen, daß alle der Untersuchung zugrunde liegenden unterschiedlichen Schiffe flexibel in den verschiedenen Wasserstraßenbereichen eingesetzt werden können und damit auch die Sicherheits- und Besatzungsvorschriften des Rheins erfüllen. Für die Möglichkeit des flexiblen Einsatzes spricht die in der Schifffahrt gebräuchliche Praxis, in langen Trockenperioden mit geringen Fahrwassertiefen das Einsatzgebiet zu verlagern (z.B. 2003 von der Elbe in den Rhein- und Kanalbereich).

#### **4.2.2 Maximal zulässige Abmessungen**

Die maximal zulässigen Abmessungen der einzeln fahrenden Motorschiffe sind in der dem jeweiligen Wasserstraßenbereich zuzuordnenden Polizeiverordnung (PV) festgelegt.

Die maximal zulässigen Hauptabmessungen beziehen sich größtenteils auf die Schiffslänge und –breite. Sie werden im wesentlichen von den Schleusenabmessungen, der Fahrwasserbreite, den Kurvenradien und der Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst. Anders sieht es beim maximal zulässigen Tiefgang und den Brückendurchfahrtshöhen aus, die von den jeweiligen Wasserständen maßgeblich beeinflusst werden.

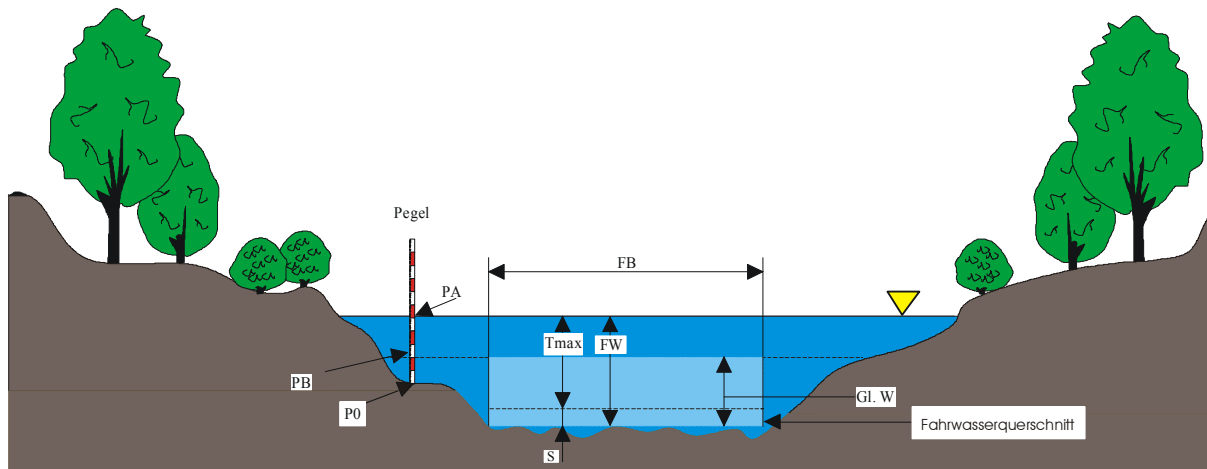
### **4.2.3 Zusammenhang zwischen Fahrwassertiefe, Fahrwasserbreite und Tiefgang**

Beim maximal zulässigen Tiefgang ist zu unterscheiden, ob es sich um einen frei fließenden Flußbereich mit zum Teil stark schwankenden Wasserständen oder um einen kanalisierten Wasserstraßenbereich mit geringen Wasserstandsschwankungen handelt.

Bei den frei fließenden Flüssen, z.B. dem Rhein zwischen Iffezheim und Rotterdam, der Elbe zwischen Schöna und Hamburg oder der deutschen Donau zwischen Straubing und Vilshofen, gibt es bezüglich des Tiefgangs keine verwaltungsrechtlichen Vorgaben. Der Tiefgang richtet sich nach den Fahrwassertiefen unter Berücksichtigung des bei fahrendem Schiff auftretenden dynamischen Absunks (squat) und einem der Wasserstraße und der Schiffsgröße angepaßten Sicherheitsabstandes (Flottwasser) zwischen Gewässergrund und Schiffsboden. Schiffsabsunk plus Flottwasser ergeben die Kielfreiheit, d.h. den Abstand zwischen Gewässergrund und Schiffsboden bei stehendem Schiff.

Auf den staugeregelten Flüssen und auf den Kanälen ist entweder die zur Verfügung stehende Fahrwassertiefe oder der maximal zulässige Tiefgang amtlich festgelegt. Für den Fall, daß die zur Verfügung stehende Fahrwassertiefe angegeben ist, kann der Schiffsführer den maximalen Tiefgang eigenverantwortlich festlegen. Zwecks Vermeidung von Grundberührungen während der Fahrt hat dies unter Berücksichtigung des dynamischen Absunks und eines der Sohlenbeschaffenheit (z.B. Sand, Kies, Fels) sowie der Ladung (z.B. allgemeines Massengut, wie Kies, Erz usw. oder Gefahrgut) angemessenen Flottwassers zu erfolgen.

Basis bei der Ermittlung des maximalen Tiefgangs in den frei fließenden Flüssen ist der Fahrwasserquerschnitt, der sich aus der Fahrwasserbreite und der wasserstandsabhängigen Fahrwassertiefe ergibt. Dies bedeutet, daß die Fahrwasserbreite bei natürlichen Flüssen keinesfalls mit der Flußbreite und die Fahrwassertiefe ebenfalls nicht mit der Flußtiefe gleichzusetzen sind. In Abb. 1 sind die Zusammenhänge dargestellt.



Hierin bedeuten:

- FW = Fahrwassertiefe
- FB = Fahrwasserbreite
- Gl.W = Gleichwertiger Wasserstand
- PA = Pegelanzeige
- PB = Pegelbezugswert zum Gl.W
- PO = Pegelnull
- T<sub>max</sub> = maximaler Schiffstiefgang
- S = Abstand zwischen Schiffsboden und Fahrinnenboden

Abb. 1 Zusammenhang zwischen Gl.W, Pegelanzeige, Fahrwassertiefe und Schiffstiefgang

Bei der Festlegung des Fahrwasserquerschnittes wird von einem „minimalen“ Querschnitt ausgegangen, für dessen Größe die „engsten Stellen“ innerhalb eines festgelegten Flußabschnittes bei Niedrigwasser herangezogen werden. Die Fahrwassertiefe, die sich aus diesem „minimalen“ Fahrwasserquerschnitt ergibt, bezieht sich beispielsweise im Falle des Rheins oder der Elbe auf den amtlich festgelegten „Gleichwertigen Wasserstand“ (Gl.W), einen Wasserstand, der langfristig durchschnittlich an nur zwanzig Tagen pro Jahr unterschritten, und im Falle des frei fließenden Teils der deutschen Donau auf den „Regulierungs-Niedrigwasserstand“ (RNW), der durchschnittlich an 343 Tagen pro Jahr erreicht oder überschritten wurde.

Die tatsächliche Fahrwassertiefe und der hiervon abhängige maximale Schiffstiefgang innerhalb des betrachteten Flußabschnittes ergibt sich aus dem jeweiligen Wasserstand, dargestellt durch den sich am zugehörigen Pegelort einstellenden Pegelmeßwert unter Berücksichtigung des sich auf den Gl.W beziehenden und am Pegelort geltenden Pegelbezugswertes (Abb. 1).

$$FW = PA - PB + Gl.W$$

Aus vorstehenden Ausführungen läßt sich ableiten, daß ober- oder unterhalb der engsten Stellen, die zur Festlegung des Fahrwasserquerschnittes herangezogen werden, zum Teil größere Fahrwasserquerschnitte und damit auch größere Fahrwassertiefen zur Verfügung stehen. Aber auch im Bereich der Engstelle selbst ergibt sich häufig die Möglichkeit einer Unterschreitung der Fahrwassertiefe. Diese Überschreitungsmöglichkeit steigt mit größer werdender Fahrwasserbreite, was nachfolgend am Beispiel des Rheins bei Kaub (Fahrwasserbreite 120 m) und der Donau zwischen Straubing und Vilshofen (Fahrwasserbreite 70 m, vergleichbar den Fahrwasserverhältnissen auf der Elbe vor dem Hochwasser in 2002) deutlich gemacht wird. Abb. 2 zeigt auf Basis einer Beobachtung am 25.10.1997 zwei sich überholende unterschiedlich große zu Berg fahrende Motorgüterschiffe im Bereich des Pegels Kaub, während gleichzeitig das rechtsrheinisch zu Tal fahrende Fahrgastschiff die beiden Motorgüterschiffe passiert. Die jeweiligen Abstände, Schiffsbreiten und Tiefgänge der drei nebeneinander fahrenden Fahrzeuge wurden abgeschätzt und unter Berücksichtigung eines Absunks von ca. 0,30 m im Wasserstraßenquerschnitt gemäß Abb. 3 dargestellt.



Abb. 2 Begegnungs- und Überholvorgang im Bereich Kaub (Rhein-km 545,6) bergwärts am 25.10.97, Pegel Kaub 1,23 m (Fahrwassertiefe: 2,28 m), [Foto VBD]



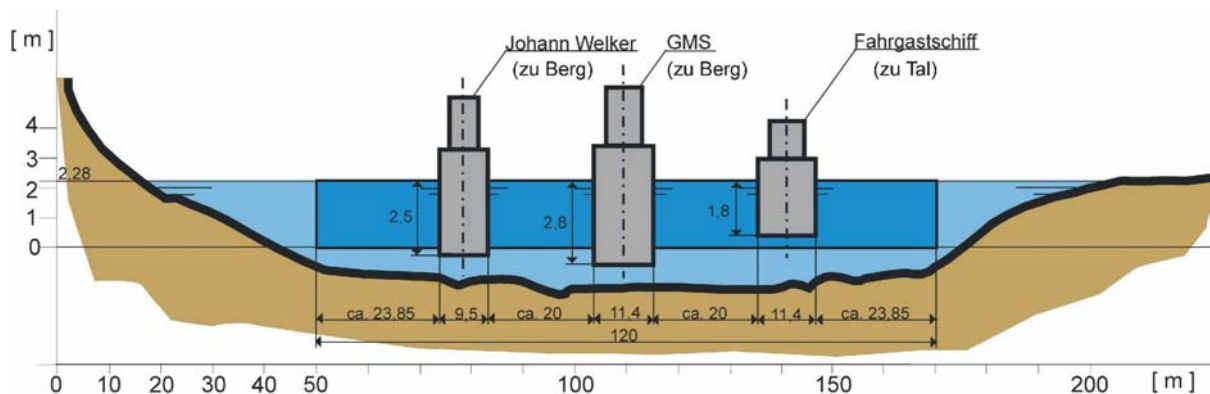


Abb. 3 Darstellung des Rheinquerchnitts aus Abb. 2 (talwärts), bei Kaub (Rhein-km 545,6), Fahrwasserbreite 120 m, Fahrwassertiefe 2,28 m

Abb. 3 macht deutlich, daß eine Unterschreitung der Fahrwassertiefe im Bereich Kaub von der Schifffahrt auch teilweise genutzt wird. Überträgt man die in Kaub festgestellte Situation mit gleicher Fahrwassertiefe von 2,28 m auf eine kleinere Wasserstraße, z.B. die Donau im Bereich Straubing/Vilshofen (Neßlbach, Donau-km 2263,5) oder die Elbe, bei der im Bereich zwischen Dresden und Niegripp die Fahrwasserbreite sogar nur zwischen 40 m bis 50 m beträgt, ergibt sich eine Situation gemäß Abb. 4.

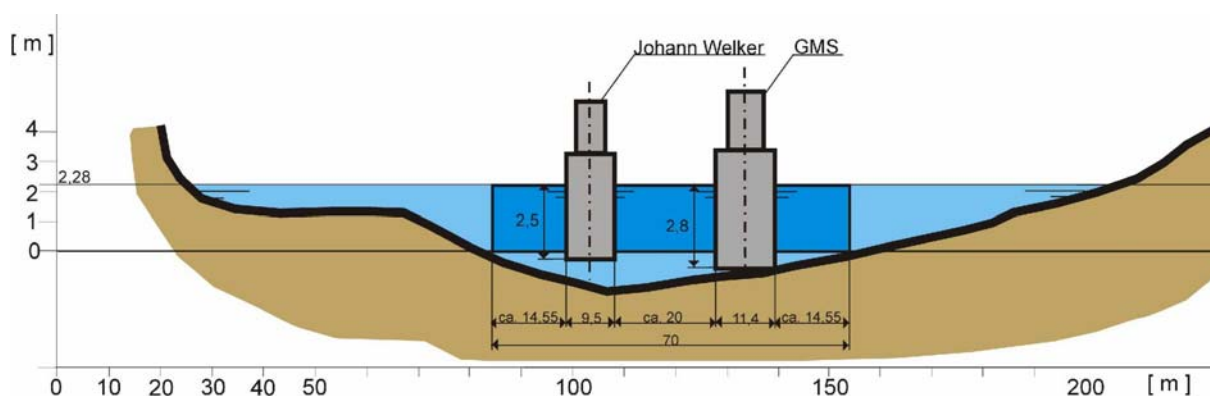


Abb. 4 Darstellung der beiden Motorgüterschiffe aus Abb. 3 im Donauquerschnitt bei Donau-km 2263,5 (Neßlbach), Fahrwasserbreite 70 m, Fahrwassertiefe 2,28 m

Abb. 4 macht anschaulich deutlich, daß trotz gleicher Fahrwassertiefe von 2,28 m beträchtliche Unterschiede zwischen den von der Schifffahrt zu nutzenden Wassertiefen zwischen dem Bereich Kaub sowie dem Donauabschnitt oder der Elbe bestehen. Während im Bereich Kaub Unterschreitungen der Fahrwassertiefe gefahrlos erfolgen können, führen bereits geringfügige Unterschreitungen der Fahrwassertiefe im Bereich der Donau oder der Elbe zu Grundberührungen.

An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß sich vorstehende Ausführungen bezüglich der Elbe auf die Zeit vor dem Hochwasserereignis im August 2002 beziehen. Nach dem Hochwasser haben sich die Fahrwassertiefen der Elbe aufgrund von Sedimentablagerungen innerhalb des Fahrwasserquerschnittes deutlich verringert.

Wie bereits zuvor erwähnt, ergibt sich der maximale Schiffstiefgang aus der Fahrwassertiefe, wobei der dynamische Schiffsabsenk (squat) sowie ein angemessener Sicherheitsabstand (Flottwasser) berücksichtigt werden müssen. Vereinfachend dargestellt ist die Entstehung des Schiffsabsunks wie folgt zu erklären:

Bei der Fahrt auf Binnenwasserstraßen handelt es sich um Fahrten auf „beschränktem“ Fahrwasser. Durch die seitliche und die tiefenmäßige Begrenzung entsteht neben und unter dem Schiff eine „Rückströmung“ des Wassers, und zwar vom Vorschiffsbereich in den Hinterschiffsbereich. Diese Rückströmung bewirkt eine Absenkung des Wasserspiegels und damit gleichzeitig eine Absenkung des Schiffes.

Die Zusammenhänge von Fahrwassertiefe, Absenk und Flottwasser sind in Abb. 5 dargestellt.

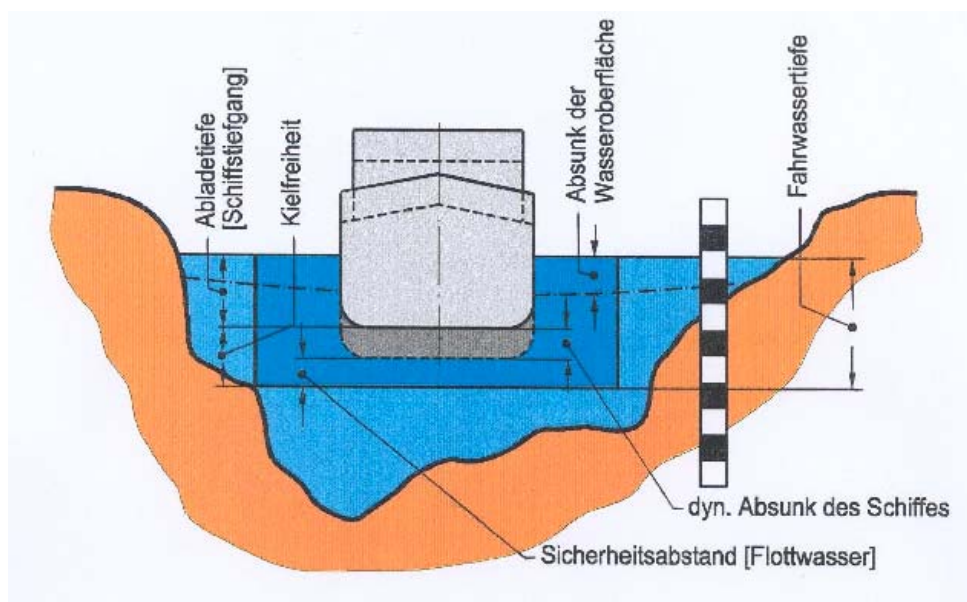


Abb. 5 Darstellung der Absenkung des Wasserspiegels, der dynamischen Schiffsabsenkung und des Flottwassers im beschränkten Fahrwasser

Der dynamische Schiffsabsenk liegt bei einem beladenen Schiff grob im Bereich zwischen 20 bis 40 cm. Da sich der Absenk mit den sich dauernd ändernden Wasser-

straßenquerschnitten und Schiffsgeschwindigkeiten ebenfalls kontinuierlich verändert, erscheint es sinnvoll, bei der Ermittlung des zur Verfügung stehenden Tiefgangs den beim fahrenden Schiff einzuhaltenen Sicherheitsabstand zwischen dem Wasserstraßengrund und dem Schiffsboden (Flottwasser) zwecks Verminderung von Festfahrungen, und damit letztendlich auch zum Schutze von Natur und Umwelt nicht zu knapp zu bemessen. Auf diese Weise wird es möglich, die durch natürliche Strömungen oder den Schiffsbetrieb verursachten Sedimentverlagerungen und die damit einhergehende örtliche Erhöhung der Flußsohle zu einem gewissen Grad zu kompensieren, wobei größere Verlagerungen jedoch durch laufende Baggerarbeiten abgebaut werden müssen. Des weiteren sollen durch einen angemessenen Sicherheitsabstand mögliche Vergrößerungen des zuvor beschriebenen Absunks, beispielsweise bei sich verändernden Flußquerschnitten oder bei Begegnungs- und Überholvorgängen, kompensiert werden. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß sich bei fahrenden Schiffen im Normalfall eine Vertrimmung (Schräglage des Schiffes in Längsrichtung) bzw. in engen Kurven eine Krängung (Schräglage in Querrichtung) einstellt, die den Tiefgang gegenüber einem stehenden Schiff zusätzlich erhöht.

#### **4.2.4 Brückendurchfahrtshöhen**

Ob ein Schiff eine Brücke passieren kann, hängt von der Brückenhöhe 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 – beim Containerschiff handelt es sich um den höchsten Punkt der übereinander gestapelten Container - 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 vielfach ändernder Einflußfaktoren. In Abb. 6 wird versucht, diese Abhängigkeiten beim Transport von Containern deutlich zu machen.

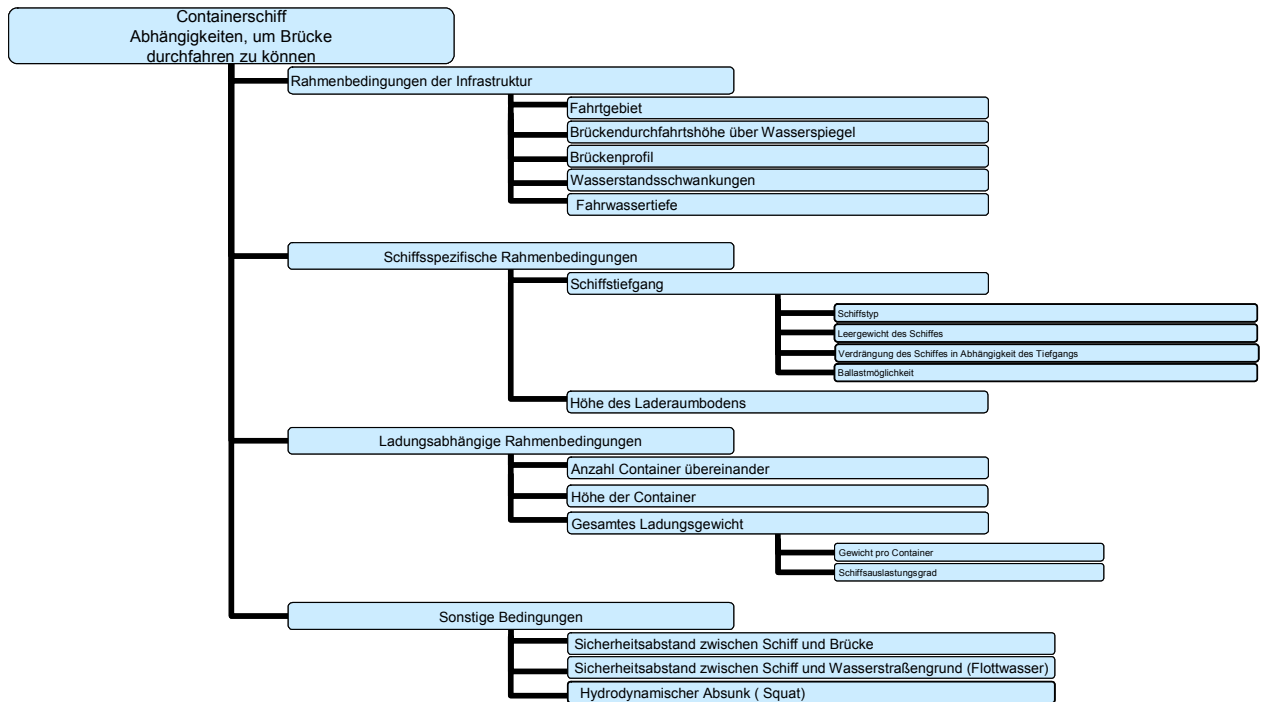


Abb. 6 Containerschiff, Abhängigkeiten, eine Brücke durchfahren zu können

Die Brückendurchfahrtshöhe ist immer im Zusammenhang mit der zur Verfügung stehenden Fahrwassertiefe und dem sich hieraus ergebenden Tiefgang zu sehen. Dieser Zusammenhang ist am Beispiel einer Brückendurchfahrtshöhe von 6,00 m und einer Fahrwassertiefe von 2,70 m in Abb. 7 dargestellt.

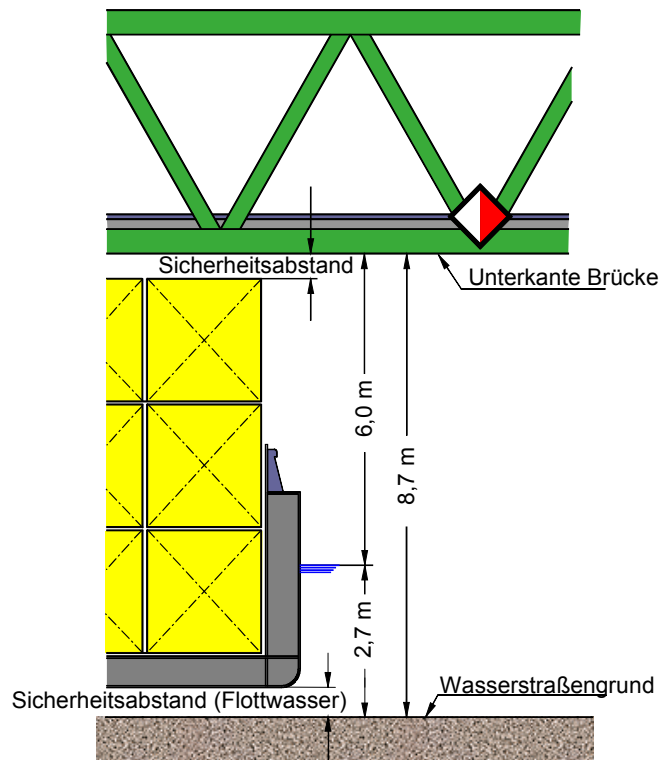


Abb. 7 Zusammenhang zwischen Brückendurchfahrtshöhe und Fahrwassertiefe

Hiernach steht zwischen Unterseite Brücke und Wasserstraßengrund insgesamt eine Höhe von 8,70 m zur Verfügung.

Dies kann bedeuten, daß im Falle einer schweren Containerladung (z.B. bei Exportcontainern) die Brückenhöhe für eine Passage zwar ausreicht, jedoch aufgrund des großen Tiefgangs ein ausreichender Sicherheitsabstand (Flottwasser) nicht mehr gewährleistet werden kann und damit die Gefahr einer Grundberührung besteht. In Abb. 8 ist beispielsweise ein auf dem Rhein zu Tal fahrendes Containerschiff zu sehen. Das Schiff ist mit drei Lagen Exportcontainern übereinander, d.h. ca. 150 TEU, beladen und hat hierbei einen Tiefgang von ca. 2,80 m.



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

Aufgrund der sich verändernden Wasserstände im Bereich der Binnenwasserstraßen haben nicht nur die Fahrwassertiefen, sondern auch die Brückendurchfahrtshöhen keine feststehende Größe, und sind gewissen Schwankungen unterworfen. So sind im Bereich des frei fließenden Teils des Rheins, der Elbe und der Donau diese überwiegend durch Niederschläge und Schneeschmelzen verursachten Schwankungen beträchtlich und können bis zu 10 m betragen. Aber auch im kanalisiertem Bereich des Wasserstraßennetzes treten zum Teil deutliche Schwankungen auf. Während auf den staugeregelten Flüssen die Wasserstandsschwankungen maßgeblich durch Niederschlagsmengen und in vermindelter Form durch Schleusenfüllungen (Sunkwellen) und -entleerungen (Schwallwellen) verursacht werden, sind auf den Kanälen die Schleusenvorgänge ausschlaggebend. Darüber hinaus können im kanalisiertem Bereich Wasserstandsschwankungen durch Windstau entstehen.

### 4.3 Schiffstechnische Zusammenhänge

#### 4.3.1 Allgemeines

Wie bereits zuvor dargestellt, sind die maximal zulässigen Schiffsabmessungen durch die jeweiligen gesetzlichen Vorgaben limitiert. Da das Niveau der Wasserstraßeninfrastruktur sehr unterschiedlich ist, richten sich die Hauptabmessungen der Schiffe nach dem zu befahrenden Wasserstraßenbereich und dort nach den Gegebenheiten mit den größten Einschränkungen. Dies führt dazu, daß im Hinblick auf die

Festlegung der Hauptabmessungen vielfach ein Kompromiß gewählt werden muß, um das gewünschte Fahrtgebiet bedienen zu können. Werden größere Hauptabmessungen gewählt, ist hiermit häufig eine Einschränkung des Fahrtgebietes verbunden.

Vorgenannte Ausführungen bedeuten jedoch nicht, daß es sich bei der amtlichen Festlegung der maximalen Hauptabmessungen um einen abgeschlossenen Vorgang handelt, sondern um einen kontinuierlichen Prozeß. Allerdings setzt die Zulassung von Schiffsabmessungen, die über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehen, neue Erkenntnisse und zusätzliche Informationen über die Interaktion zwischen Wasserstraße und Schiff voraus, die durch umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie durch Großversuche gewonnen werden können (siehe beispielsweise Abschnitt 5.2.4).

Da jeder Reeder bzw. jeder Partikulier bestrebt ist, seine Schiffe optimal an das von ihm bediente Fahrtgebiet anzupassen, kann vorausgesetzt werden, daß die Schifffahrt – soweit es wirtschaftlich vertretbar ist – unter Berücksichtigung des zu befahrenden Wasserstraßenbereiches die maximal zulässigen Schiffsabmessungen nutzt. Aus diesem Grund kann die Variation der Schiffsabmessungen als „Standardmethode“ eingestuft werden und wird deshalb in nachfolgendem Abschnitt 6.2.2 nicht zu den „innovativen“ Möglichkeiten gezählt. Statt dessen wird der Einfluß der Wasserstraßeninfrastruktur auf die Schiffshauptabmessungen (Länge, Breite, Tiefgang) und hieraus folgend auf die Tragfähigkeit, Antriebsleistung und Schiffsgeschwindigkeit und damit auch auf die Wirtschaftlichkeit der Schiffe nachfolgend am Beispiel verschiedener existierender Schiffstypen deutlich gemacht.

Bei den fünf existierenden Schiffen, die auch nachfolgend den wirtschaftlichen Betrachtungen zugrunde gelegt werden, handelt es sich um die Fahrzeugtypen:

Schiffstypen		Abkürzg.	Hauptabmessungen			
			L [m]	B [m]	T <sub>max</sub> [m]	Tragf. <sub>max</sub> [t]
Typ 1	Gustav Koenigs (verl.)	GK <sub>verl.</sub>	80,00	8,20	2,50	1100
Typ 2	Johann Welker (verl.)	JW <sub>verl.</sub>	85,00	9,50	2,70	1500
Typ 3	Großmotorschiff	GMS-110 m	110,00	11,45	3,50	3000
Typ 4 a)	Schubverband Elbe <sup>1)</sup>	SV-Elbe	ca. 120,00	8,20	2,32	1450
Typ 4 b)	Schubverband Kanal <sup>2)</sup>	SV-Kanal	ca. 185,00	11,40	2,80	3700

1) Bestehend aus Elbe-Schubboot, 1 Leichter 65,0 m, 1 Leichter 32,5 m

2) Bestehend aus Kanal-Schubboot, 2 Leichter 76,5 m (Typ Europa II)

Tab. 1 Ausgewählte existierende Schiffstypen und Hauptabmessungen

Die ausführlichen technischen und betriebswirtschaftlichen Daten der Schiffe sind in den Tabellen des Kap. 6 dargestellt.

### 4.3.2 Einfluß der Schiffsabmessungen auf die Tragfähigkeit

#### 4.3.2.1 Einfluß der Schiffslänge und der Schiffsbreite auf den Leertiefgang

Grundsätzlich gilt, daß mit der Vergrößerung der Schiffsabmessungen „Länge“, „Breite“ und „Tiefgang“ die Tragfähigkeit steigt. Hieraus resultiert die vielfach vorgetragene Forderung, speziell für den Einsatz in Bereichen mit niedrigen Wassertiefen, in denen die Schiffe nur mit kleinen Tiefgängen operieren können, die Länge und besonders die Breite entsprechend zu erhöhen. Mit der durch diese Maßnahmen erzielten Vergrößerung der Verdrängung ließe sich der Leertiefgang verringern und auf diese Weise eine entsprechend größere Tragfähigkeit auch bei sehr geringen Tiefgängen erzielen.

Werden die tatsächlichen Leertiefgänge der kleineren Schiffe mit denen der größeren Schiffe verglichen, so ergibt sich ein entgegengesetzter Trend; die Leertiefgänge der kleineren Schiffe sind kleiner als die der größeren Schiffe (siehe Abschnitt 4.3.2.5, Abb. 9).

Diese, insbesondere für die Fahrt im Niedrigwasserbereich, wichtige Feststellung kann vereinfachend wie folgt erklärt werden:

Zur Erzielung einer ausreichenden Festigkeit erfolgt die Dimensionierung der Schiffbaukonstruktion unter Berücksichtigung der Maximalbelastung des Schiffes. Die Maximalbelastung tritt auf bei dem für das Schiff festgelegten maximalen Konstruktions-tiefgang und der dazugehörigen maximalen Beladung.



Wie bereits zuvor festgestellt, werden die Schiffe – bis auf wenige spezielle Ausnahmen – so konzipiert, daß sie flexibel in den verschiedenen Wasserstraßenbereichen eingesetzt werden können. Die jeweilige Infrastruktur der verschiedenen Wasserstraßenbereiche ist sehr unterschiedlich.

Im Bereich der frei fließenden Flüsse, wie Rhein, Elbe usw., treten – wie bereits erwähnt - starke Wasserstandsschwankungen auf, so daß in Zeiten mit „moderaten“ und „guten“ Wasserständen die Schiffe auch große Gütermengen transportieren, während sie in Niedrigwasserperioden mit kleinen Wassertiefen auch nur mit entsprechend geringeren Gütermengen beladen werden können.

In den staugestützten Bereichen des Wasserstraßensystems treten überwiegend geringere Wasserstandsschwankungen auf, wobei die Fahrwassertiefe im Normalfall ein bestimmtes Mindestmaß nicht unterschreitet.

Um die Zeiten mit moderaten und guten Wasserständen in den frei fließenden Flüssen wie auch die vergleichsweise guten Wassertiefen im staugestützten Wasserstraßenbereich – nicht zuletzt zum Ausgleich wirtschaftlicher Einbußen während der Niedrigwasserperioden – durch eine große Ladefähigkeit auch nutzen zu können, muß das Schiff über einen entsprechend großen Konstruktionstiefgang verfügen. Dies gilt sowohl für die kleinen wie auch in besonderem Maß für die „teureren“ großen Schiffe.

Die Festlegung eines entsprechend großen Konstruktionstiefgangs hat zur Folge, daß sich die statische Belastung des größeren Schiffes gegenüber der kleineren Einheit deutlich erhöht, und zwar durch:

- größeres Belastungsmoment aufgrund einer größeren Ladungsmenge
- weitere Erhöhung des Belastungsmomentes im Quadrat der Schiffsvergrößerung; z.B. ist bei einer Verdoppelung der Schiffsbreite mit einer ca. vierfach höheren Belastung (Belastungsmoment) zu rechnen.

Um auch beim größeren Schiff die erforderliche Festigkeit zu erzielen, ist das Widerstandsmoment der Schiffskonstruktion entsprechend des höheren Belastungsmomentes zu erhöhen. Die Erhöhung des Widerstandsmomentes erfolgt durch den Einbau einer stärkeren und damit schwereren Schiffskonstruktion. Dies führt zu einer Kompensation der beim leeren vergrößerten Schiff auftretenden Verdrängungserhö-

hung, so daß sich der Leertiefgang beim größeren Schiff nicht verringert, sondern erhöht.

Eine Verminderung des Leertiefgangs des größeren Schiffes gegenüber der kleineren Einheit ist nur durch eine Verminderung der Maximalbelastung, d.h. durch einen geringeren Konstruktionstiefgang und der damit einhergehenden Verringerung der maximalen Ladefähigkeit zu erzielen. Jedoch entstehen beim Einsatz eines solchen Schiffes in Bereichen mit moderaten und guten Wassertiefen beträchtliche wirtschaftliche Nachteile gegenüber einem Schiff mit größerem Konstruktionstiefgang. Hieraus ergibt sich, daß die Vergrößerung der Schiffslänge oder der Schiffsbreite – mit Ausnahme ganz spezieller Fälle, wie beispielsweise dem ausschließlichen Transport großvolumiger und leichter Transportgütern (z.B. Leercontainer, Großsektionen des Aisbus A380 usw.) oder dem kontinuierlichen Einsatz in Niedrigwassergebieten – kein geeignetes Mittel ist, den Leertiefgang der Schiffe zu verringern und damit die negativen wirtschaftlichen Auswirkungen geringer Fahrwassertiefen zu kompensieren.

Aus diesem Grund wird bei der nachfolgenden Darstellung des Einflusses der Schiffslänge, der Schiffsbreite und des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit von einem unveränderten bzw. einem größeren Konstruktionstiefgang der „vergrößerten“ Schiffe gegenüber den kleineren Einheiten ausgegangen. Dies bedeutet, daß sich – wie auch in der Realität (siehe Abb. 9) – die Leertiefgänge der größeren Schiffe gegenüber den kleineren Schiffen vergrößern.

#### **4.3.2.2 Einfluß der Schiffslänge auf die Tragfähigkeit**

Der Einfluß der Schiffslänge auf die Tragfähigkeit kann nicht losgelöst vom Tiefgang gesehen werden. Grundsätzlich gilt, daß mit wachsender Schiffslänge die Tragfähigkeit etwa in gleichem Maße ansteigt. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß bei geringen Tiefgängen die Zunahme der Tragfähigkeit abnimmt und beim Leertiefgang zu null wird.

Beispiel:

Verlängerung des Schiffstyps 2,  $JW_{\text{vert.}}$ , von gegenwärtig 85 m auf 110 m, d.h. um ca. 30 %. Es ergibt sich bei einem Tiefgang von 2,50 m eine Tragfähigkeitserhöhung von ca. 400 t, d.h. ebenfalls um ca. 30 %, und zwar von ca. 1.350 t auf 1.750 t.

Wird der Vergleich auf einen geringeren Tiefgang, z.B. auf 1,50 m, bezogen, erhöht sich die Tragfähigkeit um ca. 17 %. Damit steigt die Tragfähigkeit um ca. 100 t, und zwar von ca. 570 t auf ca. 670 t.

An diesem Beispiel wird deutlich, daß eine Schiffsverlängerung bezüglich der Tragfähigkeitserhöhung nur dann voll zur Geltung kommt, wenn die Schiffe mit einem angemessenen Tiefgang, d.h. bei guten Fahrwassertiefen, eingesetzt werden können.

#### **4.3.2.3 Einfluß der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit**

Bei einer Schiffsverbreiterung liegt die Tragfähigkeitssteigerung bei etwa 70 % der Verbreiterungsrate, wobei sich dieser Wert auf die größeren Tiefgänge bezieht. Bei kleineren Tiefgängen nimmt der Wert, aus gleichem Grund wie zuvor beschrieben, deutlich ab und führt in einem noch stärkeren Maße als eine Schiffsverlängerung zu einer Erhöhung des Leertiefgangs. Damit kann eine Schiffsverbreiterung auch nur dann voll genutzt werden kann, wenn die Schiffe mit einem angemessenen Tiefgang eingesetzt werden können.

Beispiel:

Verbreiterung des Schiffstyps 2,  $JW_{\text{verl.}}$ , von gegenwärtig 9,50 m auf 11,40 m (Breite des Schiffstyps 3, GMS-110 m), d.h. um ca. 20 %. Es ergibt sich bei einem Tiefgang von 2,50 m eine Tragfähigkeitserhöhung von ca.  $0,7 \times 20 \% = 14 \%$ , d.h. um ca. 190 t. Damit erhöht sich die Tragfähigkeit von ca. 1.350 t auf 1.540 t.

Wird der Vergleich auf einen geringeren Tiefgang, z.B. auf 1,50 m, bezogen, verringert sich die Tragfähigkeitssteigerung auf etwa 50 % der Verbreiterungsrate, d.h. auf  $0,5 \times 20 \% = 10 \%$ . Damit steigt die Tragfähigkeit um ca. 60 t, und zwar von ca. 570 t auf ca. 630 t.

Darüber hinaus handelt es sich bei der nachträglichen Verbreiterung eines existierenden Schiffes im Vergleich zur Schiffsverlängerung um einen komplizierten und arbeitsaufwendigen Vorgang, der zu entsprechend großen Kosten führt. Hieraus resultiert, daß nachträgliche Schiffsverlängerungen als „normal“ anzusehen sind, während Schiffsverbreiterungen – wenn überhaupt – nur in Einzelfällen und nur bei sehr einfachen Schiffsförmern (z.B. Pontons, Leichtern mit Pontonbug) realisiert werden.

#### **4.3.2.4 Einfluß der Schiffslänge und der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit**

Werden beide Maßnahmen, nämlich eine Schiffsverlängerung und –verbreiterung, durchgeführt, ist aufgrund der zuvor beschriebenen erforderlichen schwereren Bauweise und der damit einhergehenden Gewichtszunahme des Schiffes beim größeren Tiefgang von  $T = 2,50$  m mit einer Reduzierung der jeweiligen Breiten- und Längeneffekte um ca. 10 % zu rechnen.

Des weiteren erhöht sich der Leertiefgang aufgrund der Gewichtszunahme deutlich gegenüber dem „kleineren“ Schiff (siehe Abb. 9).

Beispiel:

Verlängerung des Schiffstyps 2,  $JW_{\text{verl.}}$ , von gegenwärtig 85 m auf 110 m, d.h. um 30 %, und Verbreiterung von gegenwärtig 9,50 m auf 11,40 m, d.h. um 20 %. Damit entsprechen die Abmessungen denen des Schiffstyps 3, GMS-110 m, welches bei einem Tiefgang von  $T = 2,50$  m über eine Tragfähigkeit von ca. 1.800 t verfügt (Abb. 9).

Legt man bei einem Tiefgang von  $T = 2,50$  m die zuvor dargestellten Faktoren für die Tragfähigkeit zugrunde, d.h. etwa gleiche Tragfähigkeitserhöhung mit wachsender Schiffslänge und etwa 70 % mit wachsender Schiffsbreite, ergibt sich ein gemeinsamer Faktor von  $1,30 \times 1,14 = 1,48$ , der aufgrund der Durchführung beider Maßnahmen um ca. 10 % auf ca. 1,33 zu reduzieren ist. Damit erhöht sich die Tragfähigkeit von ursprünglich 1.350 t um ca. 33 % auf ca. 1.795 t und entspricht damit in etwa derjenigen des Schiffstyps 3, GMS-110 m, mit 1.800 t.

Bei einem Tiefgang von 1,50 m verfügt gemäß Abb. 9 der nicht verlängerte und verbreiterte Schiffstyp 2,  $JW_{\text{verl.}}$  über eine Tragfähigkeit von ca. 570 t während das Typschiff 3, GMS-110 m bei diesem Tiefgang über eine Tragfähigkeit von 600 t verfügt. Damit erhöht sich die Tragfähigkeit bei einem Tiefgang von 1,50 m nur um 30 t, d.h. um ca. 3,5 %.

Dieser Vergleich macht deutlich, daß der Einsatz größerer Schiffe bei kleineren Tiefgängen in bezug auf die Tragfähigkeit keine Vorteile bringt und daß im Umkehrschluß zum wirtschaftlichen Betrieb der größeren Schiffe auch entsprechend größere Tiefgänge erforderlich sind.

#### 4.3.2.5 Einfluß des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit

Der Zusammenhang zwischen Tragfähigkeit und Tiefgang ist nachfolgend am Beispiel der fünf in Tab. 1 zugrunde gelegten existierenden Schiffe in Abb. 9 dargestellt.

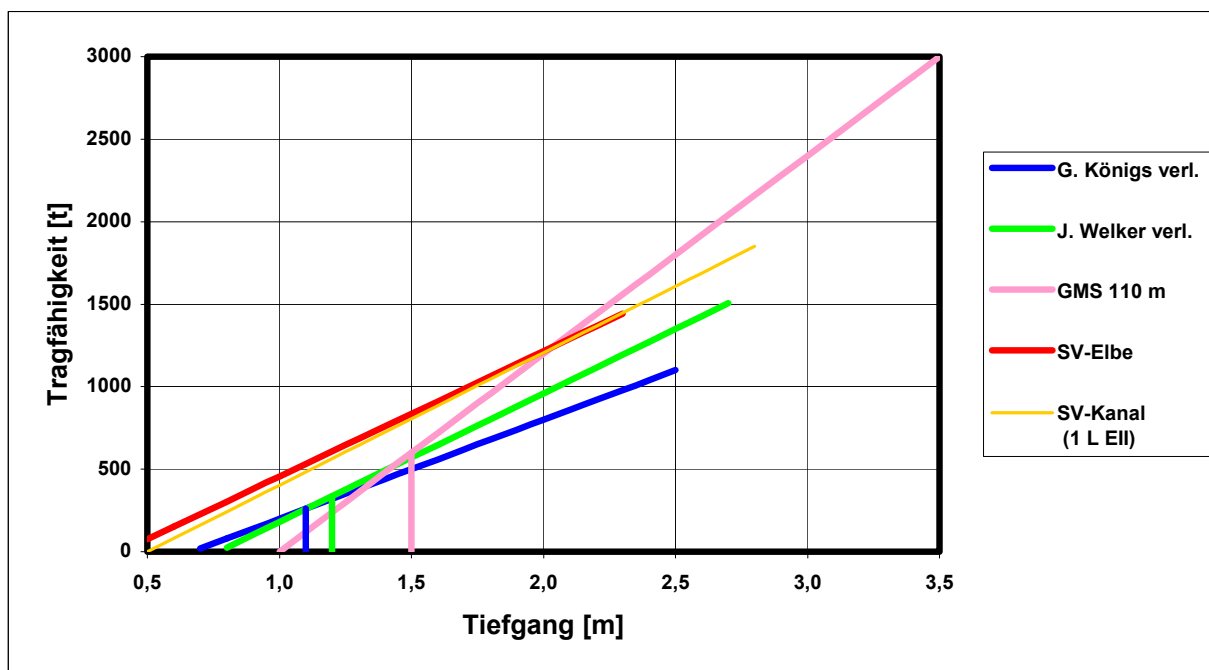


Abb. 9 Tragfähigkeit der ausgewählten existierenden Schiffstypen in Abhängigkeit des Tiefgangs

Aus Abb. 9 wird zunächst deutlich, daß die Tragfähigkeitskurven etwa linear zum Tiefgang verlaufen. Dies ist – im Gegensatz zu Seeschiffen – typisch für Binnenschiffe, die über ein vergleichsweise langes paralleles Mittelschiff verfügen. Diese Linearität erlaubt es, die Abhängigkeit der Tragfähigkeit vom Tiefgang in Form einer vereinfachten „Tragfähigkeitsformel“ (siehe ausführliche technische Daten in Kap. 6) darzustellen.

Des weiteren ergibt sich der „mittlere Leertiefgang“ der Schiffe. Beim mittleren Leertiefgang handelt es sich um den Mittelwert zwischen dem vorderen und hinteren Tiefgang der im leeren Zustand vertrimmten Schiffe. Der Grund für die achterliche Vertrimmung der Motorschiffe (Typ 1, 2 und 3, Abb. 10) ist in der ungleichen Gewichtsverteilung (schweres Hinterschiff durch Antriebsanlage, Maschinenraum, Wohnung) zu sehen.

Der mittlere Leertiefgang ist die Basis bei der Berechnung der Leerverdrängung, d.h. der Gewichtsermittlung des leeren Schiffes. Er eignet sich jedoch nicht zur Klärung der Frage, welche minimale Wassertiefe vorhanden sein muß, bevor ein Schiff Ladung aufnehmen kann. Hierfür ist der „maximale Leertiefgang“ herauszuziehen, der

sich, wie aus Abb. 10 deutlich wird, beim leeren Motorschiff im Hinterschiffsbereich ergibt, während beim leeren Leichter mit schräger Bugform und geradem Hinterschiff eine nur leichte vorlastige Vertrimmung auftritt und sich damit der geringfügig größere maximale Leertiefgang im Vorschiffsbereich einstellt.

So führt beispielsweise beim Typ 1,  $GK_{verl.}$  die achterliche Vertrimmung von ca. 0,80 m zu einem hinteren maximalen Leertiefgang von ca. 1,10 m, während der vordere Leertiefgang ca. 0,30 m und der mittlere Leertiefgang ca. 0,70 m beträgt. Der maximale Leertiefgang der Motorschiffe (Typ 1, 2 und 3) ist in Abb. 9 durch eine senkrechte Markierung deutlich gemacht. Weitere Einzelheiten zu den jeweiligen Leertiefgängen der verschiedenen Schiffstypen sind nachfolgend in Kap. 6 dargestellt.

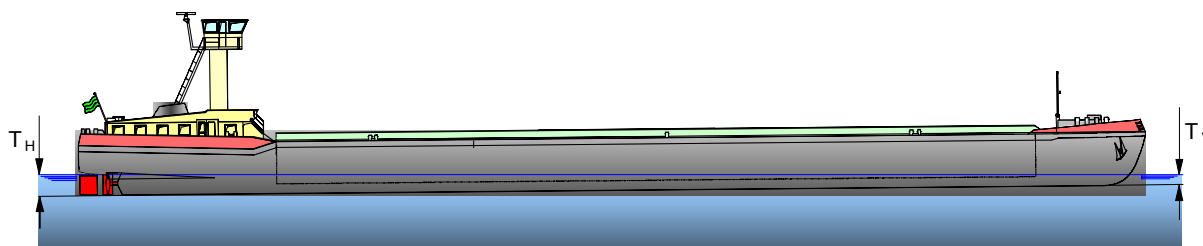


Abb. 10 Schiff in „leerem“ Zustand mit achterlicher Vertrimmung

Aus Abb. 9 wird weiterhin deutlich, daß das größere GMS die Tragfähigkeit des  $GK_{verl.}$  erst bei einem Tiefgang von  $T = 1,35$  m, des  $JW_{verl.}$  bei  $T = 1,45$  m und die des Elbe-Schubverbandes bei ca.  $T = 2,05$  m erreicht. Wird weiterhin berücksichtigt, daß die Betriebskosten des GMS-110 m deutlich über denen der kleineren Motorschiffe liegen, wird es verständlich, daß der wirtschaftliche Einsatz größerer Schiffe nur dann zu gewährleisten ist, wenn sich aufgrund der Fahrwassertiefe entsprechend große Tiefgänge realisieren lassen.

#### 4.3.3 Einfluß der Schiffsgröße auf den Antriebsleistungsbedarf

Die Darstellung des Einflusses der Schiffsgröße auf den Antriebs-Leistungsbedarf und damit auf den Brennstoffverbrauch und die hieraus resultierenden brennstoffspezifischen Emissionen erfolgt am Beispiel der Motorschiffstypen 1, 2 und 3 sowie der Schubverbandstypen 4a) und 4b) bei einem Tiefgang von 2,50 m, einer Wassertiefe von 5,00 m in seitlich unbeschränktem Fahrwasser (breiter Fluß) gemäß Abb. 11, rechte Hälfte. Darüber hinaus erfolgt die Darstellung für alle genannten Schiffstypen bei einem Tiefgang von 2,00 m und einer Wassertiefe von 2,50 m (Abb. 11, linke Hälfte).

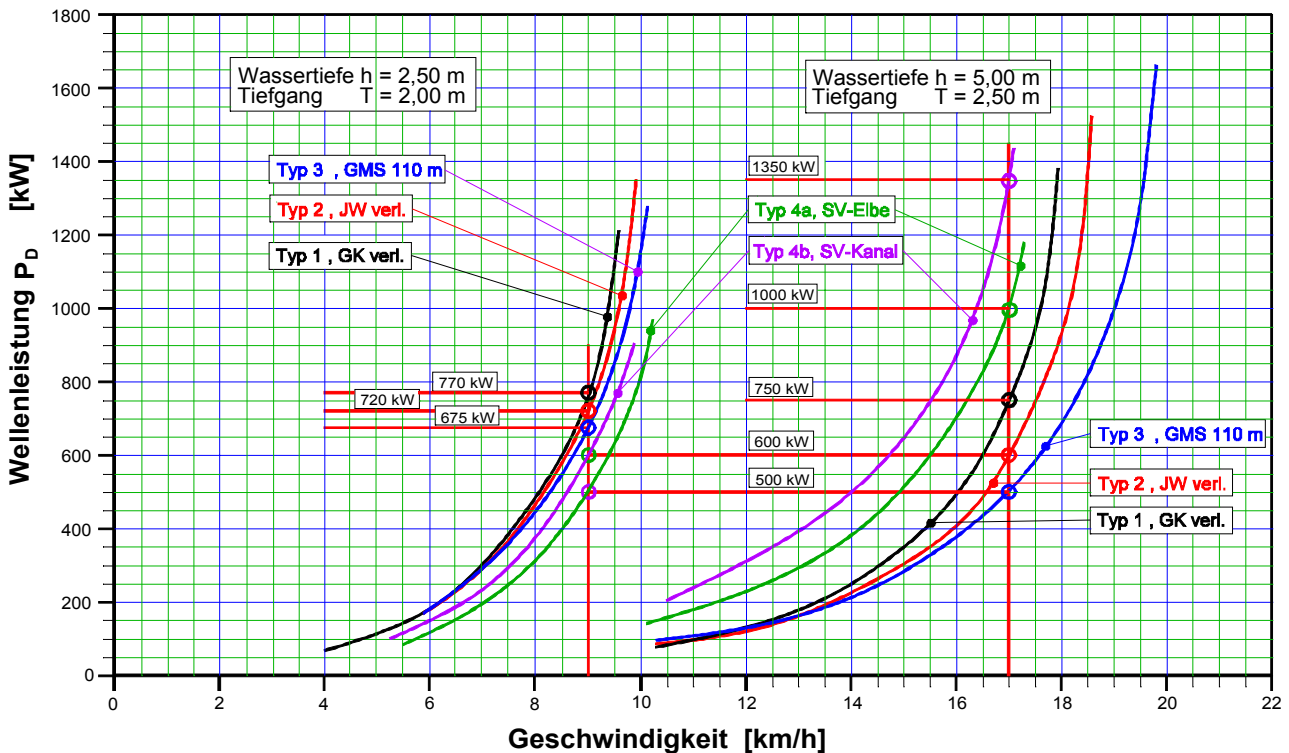


Abb. 11 Leistungs-Geschwindigkeitsverhalten verschiedener Motorschiffe, Tiefgang  $T = 2,50$  m, Wassertiefe 5,00 m bzw. Tiefgang 2,00 m, Wassertiefe 2,50 m, seitlich unbeschränktes Fahrwasser

Aus Abb. 11 wird deutlich:

Im Falle des Tiefgangs von 2,50 m und der Wassertiefe von 5,00 m liegt der Leistungsbedarf der kleineren Schiffe und der Schubverbände über derjenigen der größeren Schiffe. Nur bei geringen Schiffsgeschwindigkeiten (kleiner 13 km/h) ist der Leistungsbedarf der kleineren Motorschiffe geringer als bei den größeren Motorschiffen. So ergibt sich beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von 17 km/h folgender Leistungsbedarf:

Schiffstyp	Leistung [kW]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	750
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	600
Typ 3, GMS-110 m	500
Typ 4a), SV-Elbe	1000
Typ 4b), SV-Kanal	1350

Tab. 2 Leistungsbedarf der verschiedenen Motorschiffstypen, Schiffsgeschwindigkeit  $v = 17 \text{ km/h}$ , Tiefgang 2,50 m, Wassertiefe  $h = 5,00 \text{ m}$ , seitlich unbeschränktes Fahrwasser

Der größere Leistungsbedarf der kleineren Schiffe ist damit zu begründen, daß die kleineren Schiffe bei den höheren Geschwindigkeiten bereits in den Bereich ihrer „Grenzgeschwindigkeit“ kommen. Bei der Grenzgeschwindigkeit handelt es sich um die Geschwindigkeit, die aufgrund der hydro-physikalischen Rahmenbedingungen bei „Verdränger“-Schiffen auch bei einer deutlichen Erhöhung der Antriebsleistung nicht überschritten werden kann.

Der sich ergebende Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß für die verschiedenen Schiffstypen wird unter Berücksichtigung der jeweiligen Tragfähigkeit bei einem Tiefgang von 2,50 m, einer Geschwindigkeit von 17 km/h, den Antriebsleistungen gemäß Tab. 2 sowie einem spezifischen Brennstoffverbrauch von 0,2 kg/kWh in Tab. 3 dargestellt.



Schiffstyp	Tragfähigkeit bei $T_{\max} = 2,50$ [t]	Transportleistung bei $v = 17$ km/h [tkm/h]	Antriebsleistung aus Tab. 2 [kW]	Brennstoffverbrauch bei $be = 0,2$ kg/kWh [kg/h]	spez. Brennstoffverbrauch [g/tkm]	spez. CO <sub>2</sub> -Ausstoß [g/tkm]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	1100	18700	750	150	8,0	25,2
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	1350	22950	600	120	5,2	16,4
Typ 3, GMS-110 m	1800	30600	500	100	3,3	10,4
Typ 4a), SV-Elbe	1450 <sup>1)</sup>	24650	1000	200	8,1	25,6
Typ 4b), SV-Kanal	3200	48000	1350	270	5,6	17,7

1) Der Tiefgang ist auf 2,32 m begrenzt.

Tab. 3 Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der verschiedenen Schiffstypen, Schiffsgeschwindigkeit  $v = 17$  km/h, Tiefgang 2,50 m, Wassertiefe  $h = 5,00$  m, seitlich unbeschränktes Fahrwasser

Tab. 3 zeigt sehr anschaulich den auf die Transportleistung bezogenen Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der beim Typ 1, GK<sub>verl.</sub>, mit ca. 8,0 g Br./tkm bzw. 25,2 g CO<sub>2</sub>/tkm wesentlich höher ist als beim Typ 3, GMS-110 m, mit ca. 3,3 g Br./tkm bzw. 10,4 g CO<sub>2</sub>/tkm. Ein gleicher Effekt ergibt sich beim Vergleich des kleinen (Typ 4a), SV-Elbe) mit dem großen Schubverband (Typ 4b), SV-Kanal). Hieraus läßt sich ableiten, daß unter Umweltgesichtspunkten der Einsatz großer Schiffe bei der zugrunde gelegten Wassertiefe von 5,00 m zu bedeutenden Brennstoffeinsparungen und damit zu einer entsprechenden Verminderung der brennstoffspezifischen Emissionen führt.

Steht jedoch nicht die Antriebsleistung zur Diskussion, sondern ist aus Termingründen eine höhere Geschwindigkeit gefragt, läßt sich diese bei den größeren Schiffen leichter verwirklichen. Legt man beispielsweise eine Antriebsleistung von 800 kW zugrunde, ergeben sich für die verschiedenen Schiffstypen folgende Geschwindigkeiten:

Schiffstyp	Geschwindigkeit [km/h]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	17,2
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	17,7
Typ 3, GMS-110 m	18,5
Typ 4a), SV-Elbe	16,4
Typ 4b), SV-Kanal	15,7

Tab. 4 Geschwindigkeiten der verschiedenen Schiffstypen, Antriebsleistung  $P_D = 800 \text{ kW}$ , Tiefgang 2,50 m, Wassertiefe  $h = 5,00 \text{ m}$ , seitlich unbeschränktes Fahrwasser

#### 4.3.4 Einfluß der Wassertiefe auf den Antriebsleistungsbedarf bzw. die Schiffsgeschwindigkeit

Die Darstellung des Einflusses der Wassertiefe auf den Antriebsleistungsbedarf bzw. die Schiffsgeschwindigkeit der verschiedenen Schiffstypen erfolgt ebenfalls in Abb. 11.

Hier werden die Werte für eine Wassertiefe von 5,00 m und einen Tiefgang von 2,50 m (rechter Teil von Abb. 11) den Werten für eine Wassertiefe von 2,50 m und einen Tiefgang von 2,00 m (linker Teil der Abb. 11) gegenübergestellt.

Zunächst fällt auf, daß – und zwar unabhängig vom Schiffstyp - mit geringer werdender Wassertiefe der Leistungsbedarf deutlich ansteigt bzw. die Geschwindigkeit abnimmt. So ergibt sich beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von 9 km/h folgender Leistungsbedarf für die verschiedenen Schiffstypen:

Schiffstyp	Leistung [kW]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	770
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	720
Typ 3, GMS-110 m	675
Typ 4a), SV-Elbe	500
Typ 4b), SV-Kanal	600

Tab. 5 Leistungsbedarf der verschiedenen Schiffstypen, Schiffsgeschwindigkeit  $v = 9 \text{ km/h}$ , Tiefgang 2,00 m, Wassertiefe  $h = 2,50 \text{ m}$ , seitlich unbeschränktes Fahrwasser

Der sich ergebende Brennstoffverbrauch und  $\text{CO}_2$ -Ausstoß wird unter Berücksichtigung der jeweiligen Tragfähigkeit bei einem Tiefgang von 2,00 m und einer Wassertiefe von 2,50 m nachfolgend dargestellt.

Schiffstyp	Tragfähigkeit bei $T_{\max} = 2,00$ [t]	Transportleistung bei $v = 9$ km/h [tkm/h]	Antriebsleistung aus Tab. 5 [kW]	Brennstoffverbrauch bei $b_e = 0,2$ kg/kWh [kg/h]	spez. Brennstoffverbrauch [g/tkm]	spez. CO <sub>2</sub> -Ausstoß [g/tkm]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	800	7200	770	154	21,4	67,4
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	950	8550	720	144	16,8	53,1
Typ 3, GMS-110 m	1200	10800	675	135	12,5	39,4
Typ 4a), SV-Elbe	1200	10800	500	100	9,3	29,2
Typ 4b), SV-Kanal	2400	21600	600	120	5,6	17,5

Tab. 6 Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der verschiedenen Schiffstypen, Schiffsgeschwindigkeit  $v = 9$  km/h, Tiefgang 2,00 m, Wassertiefe  $h = 2,50$  m, seitlich unbeschränktes Fahrwasser

Werden die sich aus Tab. 6 für eine Wassertiefe von 2,50 m ergebenden Werte für den Brennstoffverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit den Werten aus Tab. 3 für eine Wassertiefe von 5,00 m verglichen (Tab. 7), wird der Einfluß der Wassertiefe nochmals deutlich.

	spezifischer Brennstoffverbrauch [g/tkm]		spezifischer CO <sub>2</sub> -Ausstoß [g/tkm]	
	$h = 2,50$ m (aus Tab. 6)	$h = 5,00$ m (aus Tab. 3)	$h = 2,50$ m (aus Tab. 6)	$h = 5,00$ m (aus Tab. 3)
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	21,4	8,0	67,4	25,2
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	16,8	5,2	53,1	16,4
Typ 3, GMS-110 m	12,5	3,3	39,4	10,4
Typ 4a), SV-Elbe	9,3	8,1	29,2	25,6
Typ 4b), SV-Kanal	5,6	5,6	17,5	17,7

Tab. 7 Gegenüberstellung von Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der verschiedenen Schiffstypen, Wassertiefe  $h = 2,50$  m und 5,00 m

Bei den Motorschiffen, und hier besonders bei den größeren Einheiten, ist ein deutlicher Einfluß zugunsten der größeren Wassertiefe festzustellen. So liegt beispielsweise der Brennstoffverbrauch beim Typ 3, GMS-110 m im Falle der Wassertiefe 2,50 m

bei 12,5 g/tkm und reduziert sich bei der Wassertiefe 5,00 m auf ca. 3,3 g/tkm, d.h. auf ca. 26 %.

Anders sieht es bei den Schubverbänden aus. Aus Abb. 11 wird bereits deutlich, daß der Leistungsbedarf der Schubverbände bei größerer Wassertiefe über den Werten der Motorschiffe liegt, während bei geringerer Wassertiefe der Leistungsbedarf gegenüber den Motorschiffen geringer ist. Dieser Effekt kann damit begründet werden, daß sich bei geringer Wassertiefe ein vergleichsweise kleiner Abstand zwischen Schiffsboden und Wasserstraßengrund einstellt (im vorliegenden Fall 0,50 m, der sich während der Fahrt aufgrund des hydrodynamischen Absunks noch weiter verringert). In dieser Situation erfolgt die Wasserzuströmung zum Propeller überwiegend über die Seiten und nicht, wie bei größerer Wassertiefe, überwiegend von unten. Damit erfährt der auf „Mitte Schiff“ angeordnete Propeller der Einschrauben-Motorschiffe eine deutlich stärkere Einschränkung der Propellerzuströmung als die weiter außen liegenden Propeller der Zweischrauben-Schubboote. Mit der verstärkten Einschränkung der Propellerzuströmung ist eine entsprechende Reduzierung des Propellerwirkungsgrades verbunden. Hieraus läßt sich ableiten, daß der Zweischrauben-Antrieb bei geringen Wassertiefen aus hydrodynamischer Sicht deutliche Vorteile gegenüber dem Einschrauber hat.

Steht andererseits die Geschwindigkeit zur Diskussion, ergeben sich bei geringer Wassertiefe deutliche Geschwindigkeitsverminderungen. In Tab. 8 sind die sich bei einer zugrunde gelegten Antriebsleistung von 800 kW und einer Wassertiefe von 2,50 m ergebenden Geschwindigkeiten den Werten für eine Wassertiefe von 5,00 m aus Tab. 4 gegenübergestellt.

Neben der Fahrwassertiefe hat auch eine größere Gewässerbreite einen positiven Einfluß auf die erforderliche Antriebsleistung und damit auf den Brennstoffverbrauch. So liegt der Leistungsbedarf eines Schiffes im seitlich beschränkten Kanalbereich und bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen deutlich höher als beispielsweise bei der Fahrt auf einem vergleichsweise breiten Fluß.

	Geschwindigkeit [km/h]	
	h = 2,50 m	h = 5,00 m
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	9,1	17,2
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	9,2	17,7
Typ 3, GMS-110 m	9,4	18,5
Typ 4a), SV-Elbe	9,7	16,4
Typ 4b), SV-Kanal	10,0	15,7

Tab. 8 Gegenüberstellung der Geschwindigkeiten der verschiedenen Schiffstypen, Antriebsleistung 800 kW, Wassertiefe 2,50 m und 5,00 m

Mit zunehmender Wassertiefe steigt die Schiffsgeschwindigkeit deutlich an und liegt im Falle der Wassertiefe 5,00 m bei den Motorschiffen ca. 90 % und den Schubverbänden zwischen 50 bis 70 % über den Geschwindigkeiten bei einer Wassertiefe von 2,50 m. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß bei der Wassertiefe 5,00 m der Tiefgang 2,50 m und der Wassertiefe 2,50 m nur 2,00 m beträgt, d.h. bei der größeren Wassertiefe auch noch eine größere Gütermenge transportiert wird.

#### 4.3.5 Einfluß von Wasserstandsvorhersagen auf den Tiefgang

Wasserstandsvorhersagen wurden in der Vergangenheit vor allem im Hochwasserfall berechnet und veröffentlicht. Mit diesen Vorhersagen können im Vorgriff auf das zu erwartende Hochwasser Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Außerdem ist die Schifffahrt in der Lage, mit möglicherweise auftretende Überschreitungen der relevanten Hochwassermarken und den damit verbundenen Beeinträchtigungen in Form von Geschwindigkeitsverminderungen oder der Einstellung der Schifffahrt frühzeitig zu disponieren.

Unter dem Gesichtspunkt einer möglichst optimalen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Wassertiefen kommt der Weiterentwicklung des Vorhersagesystems, besonders bei Mittel- und Niedrigwasser, eine besondere ökonomische aber auch ökologische Bedeutung zu.

Bei der Beladung der Schiffe stellt sich grundsätzlich die Frage, mit welchem maximalen Tiefgang und dem damit verbundenen Zuladungsgewicht die vorgesehene Fahrstrecke ohne Gefahr einer Grundberührung oder einer kostenverursachenden Leichterung befahren werden kann.

Entsprechend der Zeitspanne bis zum Erreichen der für den Tiefgang maßgeblichen Flachstelle, die wiederum abhängig ist von der Länge der Fahrstrecke und der Schiffsgeschwindigkeit, sind unterschiedlich lange Vorhersagezeiten erforderlich.

Seit jeher werden Einschätzungen der voraussichtlich zur Verfügung stehenden Fahrwassertiefe von den Schiffsführern oder Disponenten auf der Basis langjähriger Erfahrungen und den Wasserstandsentwicklungen der vorhergehenden Tage festgelegt. Durch laufende Veränderungen des Abflußverhaltens der Haupt- und Nebenflüsse sowie durch Verlagerungen der Flußsohlen beinhaltet dieses System allerdings gewisse Ungenauigkeiten.

Einen weiteren wesentlichen Einfluß auf die Genauigkeit der Wasserstandsentwicklung haben die unterschiedlich langen „Anreisezeiten“ bis zum Passieren des jeweiligen Engpaßabschnittes.

Beispielsweise benötigt ein in Rotterdam beladenes Motorschiff ca. 200 Stunden und ein Schubverband sogar ca. 300 Stunden, d.h. ca. 8 bzw. 12 Tage bei kontinuierlicher Fahrt, bis es die Engstelle im Bereich der deutschen Donau passiert hat. In dieser Zeit können sich die Wasserstände drastisch verändert haben, was nicht selten dazu führt, daß die Schiffe den Engstellenbereich nicht passieren können oder kostspielige Leichterungen durchzuführen sind.

Im Gegensatz hierzu ist der Engstellenbereich des Rheins bei Bingen/Oestrich aus Richtung Rotterdam in 2 – 3 Tagen zu erreichen.

Für den Rhein und die Elbe wurden in den letzten Jahren Wasserstandsvorhersagesysteme entwickelt. Neben der aktuellen hydrologischen Situation und der Wasserstandsentwicklung der vergangenen Tage werden bei diesen Systemen die Zuflußentwicklungen der Nebenflüsse, Regulierungsmaßnahmen der Kraftwerke, Niederschläge im Einflußbereich der Flüsse, usw. berücksichtigt. Alle diese Einflußfaktoren schränken die Prognosegenauigkeit mit wachsender Vorhersagezeit ein, d.h. von einer absoluten Genauigkeit kann auch bei diesen Systemen nicht ausgegangen werden.

Inwieweit ein Wasserstandsvorhersagesystem dazu führt, auch kurzfristig auftretende Wasserstandsveränderungen zukünftig besser ausnutzen zu können, kann im Detail nicht festgelegt werden. Jedoch trägt ein solches System dazu bei, die durch kurzfristige und intensive Niederschläge, besonders in den Mittel- und Niedrigwasserzeiten, wirksam werdenden länger andauernden Abflußwellen besser einzuschätzen und nutzen zu können. Beispielsweise würden rechtzeitig erhaltene Informationen, die eine Tiefgangsvergrößerung von 10 cm zulassen – gleicher Sicherheitsabstand gegen Grundberührung vorausgesetzt – bei den verschiedenen Schiffstypen zu einer Erhöhung des Zuladungsgewichtes gemäß Tab. 9 führen.

Schiffstyp	ca. Zuladungsdifferenz bei 10 cm Tiefgangsveränderung [t]
Typ 1, GK <sub>verl.</sub>	60
Typ 2, JW <sub>verl.</sub>	80
Typ 3, GMS-110 m	120
Typ 4a), SV-Elbe	75
Typ 4b), SV-Kanal	170

Tab. 9 Zuladungsdifferenz bei 10 cm Tiefgangsveränderung

Tab. 9 macht deutlich, daß bei den großen Schiffen die durch das Wasserstandsvorhersagesystem erzielten Zuladungsgewinne deutlich stärker ausgeprägt sind als bei den kleineren Einheiten und damit die Vorteile des Vorhersagesystems sehr stark von der Flottenstruktur im betrachteten Wasserstraßenabschnitt abhängen.

## **5. Überblick über die technischen Möglichkeiten**

Bei der Darstellung der technischen Möglichkeiten ist zu unterscheiden zwischen Entwicklungen, die einen unmittelbaren Bezug zur Wirtschaftlichkeit des Schiffes haben, und solchen, die indirekt der Wirtschaftlichkeit dienen. So wird beispielsweise bei der Reduzierung des Schiffsgewichtes durch „Leichtbauweise“ und der damit einhergehenden Erhöhung der Tragfähigkeit der wirtschaftliche Bezug sofort sichtbar. Anders sieht es beispielsweise bei Maßnahmen aus, die der Transportsicherheit dienen.

Die häufig nicht quantifizierbaren positiven Effekte, wie z.B. die Reduzierung der Havarien aufgrund verbesserter Manövriereigenschaften, haben durch die Verminderung der Ausfalltage oder Reparaturkosten ebenso einen positiven Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Schiffe.

Darüber hinaus ist festzustellen, daß technische Entwicklungen nicht immer isoliert gesehen werden dürfen, sondern vielfach im Zusammenhang mit neuen Transportkonzepten stehen. So führt z.B. die in Abschnitt 5.1.2.15 beschriebene Ausrüstung von zwei Neubauten mit „tragfähigen“ Lukendächern zunächst zu erhöhten Investitionskosten und einer Verringerung der Tragfähigkeit. Diese wirtschaftlichen Nachteile werden allerdings bei dem verfolgten Transportkonzept, neben Massengut im Laderaum zusätzlich hochwertige Stückgüter und Transportbehälter auf dem Deck transportieren zu können, in Kauf genommen.

### **5.1 Umgesetzte Entwicklungen in den letzten 15 Jahren**

#### **5.1.1 Gegenwärtiger Trend**

Seit dem 1. Oktober 1995 ist auf dem Rhein der Einsatz von Schiffen (Einzelfahrern) mit einer Länge von bis zu 135 m unter Berücksichtigung zusätzlicher Sicherheitsauflagen erlaubt. Hier kann die Binnenschifffahrt mit Erträgen aus Größenvorteilen, vor allem bei den Bau-, Energie- und Personalkosten, rechnen. Dies gilt nicht nur für die Massengutschifffahrt (trockene und flüssige Güter), sondern auch für die Containerschifffahrt.

Daneben gilt es zu berücksichtigen, daß die Nebenflüsse des Rheins und ein Teil des staugestützten Wasserstraßennetzes bereits heute und vermehrt in Zukunft ebenfalls für Schiffe dieser Größenordnung zugelassen werden. Hierfür spricht, daß



auf diesen Strecken gegenwärtig Koppel- und Schubverbände verkehren dürfen, deren Länge deutlich größer ist als 135 m.

Mit diesen Vorteilen sind aber auch Nachteile verbunden, weil bestimmte Rahmenbedingungen einem unbegrenzten Wachstum entgegenstehen, wie z.B.:

- die bestehende Infrastruktur, vor allem in bezug auf das Fahrwasser und die hafenbaulichen Einrichtungen,
- die Höhe des Gesamtladungsaufkommens, differenziert nach seiner räumlichen sowie zeitlichen Verteilung,
- die qualitativen Mindestanforderungen der Verlager an die Häufigkeit der Abfahrten und Beförderungszeiten,
- die Leistungsfähigkeit der komplementären Einrichtungen, im wesentlichen der Umschlag-, Lager- und Fördereinrichtungen in den Terminals.

Die zu erwartenden Größenvorteile kommen also nur dann in vollem Umfang zum Tragen, wenn die dem Schiffe komplementären Einrichtungen Kapazitätsreserven haben. Andernfalls müssen Maßnahmen zur Anpassung der Effektivität dieser Einrichtungen an das gestiegene Leistungsvermögen der Schiffe eingeleitet werden.

Bei der Darstellung des gegenwärtigen Trends ist zu unterscheiden zwischen dem Fahrtgebiet Rhein sowie den angrenzenden Nebenflüssen und Kanälen sowie den übrigen Wasserstraßenbereichen. Neben der bisher nur auf dem Rhein, der Mosel und dem Untermain zulässigen Länge eines Einzelfahrers von 135 m ist die maximale Schiffsbreite außerhalb des Rheins aufgrund der häufig anzutreffenden Schleusenbreite von 12,00 m auf 11,45 m und zum Teil auch darunter beschränkt. Im Gegensatz hierzu kann die maximale Schiffsbreite eines Einzelfahrers auf dem Rhein bis zu 22,80 m betragen.

Von großer Bedeutung ist nach wie vor die Schiffsgröße 110,00 m x 11,45 m (Typ 3, GMS-110 m). Von dieser Schiffsgröße kam in der Vergangenheit eine große Anzahl auf den Markt, überwiegend unter niederländischer und belgischer Flagge. Nachfragen im Gewerbe machen deutlich, daß in naher Zukunft etwa 20 weitere Neubauten dieser Größenordnung zu erwarten sind, so daß bereits heute und auch in Zukunft das Transportgeschehen von diesem Schiffstyp wesentlich beeinflusst wird.

Mit seiner Breite von 11,45 m wird dieses Schiff auch außerhalb des Rheins im kanalisiertem Wasserstraßennetz eingesetzt. Mit einem maximalen Tiefgang  $T = 3,50$  m

beträgt die Tragfähigkeit ca. 3000 t. Die Laderaumgröße von 80,00 m x 10,00 m erlaubt die Beladung mit dreizehn TEU in Längs- und vier TEU in Querrichtung. Mit der Möglichkeit, vier Container übereinander zu stapeln, ergibt sich eine maximale Containerkapazität von 208 TEU. Dieser Schiffstyp ist zu den neueren Schiffen zu zählen und wird fast ausnahmslos als Doppelhüllenschiff gebaut. Er verfügt über Ballasttanks im Doppelboden, in den Seitenzellen sowie im Vor- und Hinterschiff. Das Schiff wird überwiegend als Einschrauber, im Einzelfall auch als Zweischauber eingesetzt. Die Antriebsleistung liegt im Bereich zwischen 1000-1500 kW.

Daneben zeigen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und eigene Marktbeobachtungen eine deutliche Zunahme bei den Schiffen der Größe 135,00 m x 11,45 m (GMS-135 m). Der Einsatz dieses Schiffstyps, anfänglich als um 25 m verlängertes GMS-110 m, später jedoch überwiegend als Neubau, erfolgt sowohl im Massengut als auch im Containertransport. Mit dieser Schiffsgröße wird zum einen die heute maximal zulässige Länge des Rheins genutzt, zum anderen wird mit der Schiffsbreite von 11,45 m die Option offengehalten, mit diesem Schiffstyp auch Wasserstraßenbereiche außerhalb des Rheingebietes befahren zu können. Mit einem Tiefgang  $T = 3,50$  m beträgt die Tragfähigkeit ca. 3700 t. Die Laderaumgröße von ca. 105,00 m x 10,00 m erlaubt die Beladung mit siebzehn TEU in Längs- und vier TEU in Querrichtung. Mit der Möglichkeit, vier Container übereinander zu stapeln, ergibt sich eine maximale Containerkapazität von 272 TEU.

Dieser Schiffstyp ist vor dem Hintergrund der Zulassung von 135 m Schiffen auf dem Rhein seit 1995 zu den neuen Schiffen in Doppelhüllenbauweise zu zählen. Er verfügt wie das GMS-110 m über Ballasttanks im Doppelboden, in den Seitenzellen sowie im Vor- und Hinterschiff. Das Schiff wird entsprechend den Vorschriften der RheinSchUO für Schiffe größer als 110 m als Zweischauber gebaut. Die Antriebsleistung liegt im Bereich zwischen 1500-2500 kW.

Darüber hinaus wurden in der Vergangenheit mindestens 7 Neubauten der Größe 135,00 m x 14,20 m bzw. 15,00 m (340 TEU Klasse) gebaut und auf dem Rhein überwiegend in der Containerschifffahrt eingesetzt. Aufgrund der Schiffsbreite von 14,20 m beschränkt sich das Einsatzgebiet auf den Rhein; die Nebenwasserstraßen können – bis auf wenige Bereiche - aufgrund der Schleusenbreiten nicht mehr befahren werden. Auch dieser Schiffstyp ist in Doppelhüllenbauweise gefertigt und verfügt über eine 2-Schrauben-Antriebsanlage. Die Antriebsleistung liegt im Bereich zwischen 2000-2500 kW.

Weiterhin von Interesse ist die Entwicklung bei den Containerschiffen der JOWI-Klasse (135,00 m x 16,80 m, 400 TEU in vier Lagen, 500 TEU in fünf Lagen). Nach der Indienststellung der beiden Containerschiffe „JOWI“ und „AMISTADE“ in 1998 kommen nach ca. fünf Jahren drei weitere Schiffe dieser Größenordnung hinzu.

Bei diesen Schiffen handelt es sich gegenwärtig um die größten im Rheinbereich eingesetzten Containerschiffe. Aufgrund der Schiffsbreite von 16,80 m bzw. 17,35 m beschränkt sich das Einsatzgebiet auf das Rheingebiet. Die Tragfähigkeit liegt bei einem Tiefgang von 3,50 m im Bereich von ca. 5000 t. Die Laderaumgröße von ca. 105,00 m x 15,30 m erlaubt die Beladung mit siebzehn TEU in Längs- und sechs TEU in Querrichtung. Aus Sicht einer ausreichenden Stabilität können bis zu fünf Container übereinander gestaut werden. Jedoch kann der fünfflagige Betrieb nicht ganzjährig gefahren werden, weil im Falle hoher Wasserstände Einschränkungen bei den Brückendurchfahrten und im Falle von geringen Fahrwassertiefen verstärkt Tiefgangseinschränkungen auftreten.

Die Größe dieses Schiffstyps erfordert bereits höchste Anforderungen an die Manövrierfähigkeit und stößt vereinzelt bereits an die Grenzen der Infrastruktur des Rheins, z.B. bei der Ein- und Ausfahrt an verschiedenen Terminals. Auch das Aufdrehen (Wenden des zu Tal fahrenden Schiffes) ist nicht uneingeschränkt möglich, so daß eine regelmäßige Bedienung einzelner kleinerer Terminals, insbesondere bei Niedrigwasser, nicht ganzjährig gewährleistet werden kann.

Von etwa gleicher Größe wie die JOWI-Klasse ist der Ende 2002 in Dienst gestellte Doppelhüllentanker „COMPROMIS“. Mit einem maximalen Tiefgang von 4,0 m beträgt die Tragfähigkeit ca. 6000 t. Es ist zu erwarten, daß in Zukunft weitere Tanker dieser Größenordnung, möglicherweise sogar mit einer noch größeren Breite, eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang ist auf den im Bereich zwischen Rotterdam und Antwerpen zur Betankung der Seeschiffe eingesetzten Binnentanker mit einer Breite von 21,60 m zu verweisen. Mehr noch als der „JOWI“-Typ stoßen Schiffe dieser Größenordnung an die Grenzen der Infrastruktur des Rheins mit seinen schwankenden und für ein solches Schiff zum Teil auch niedrigen Wasserständen. Demzufolge wird empfohlen, vor der Entscheidung zum Bau solch großer Schiffe in ausführlichen Untersuchungen und Berechnungen den Nachweis für einen sicheren, zuverlässigen und wirtschaftlichen Einsatz zu erbringen.

Neben den zuvor beschriebenen „großen“ Neubauten ist nach wie vor eine Vielzahl kleinerer Einheiten im Einsatz. Diese Schiffe werden bevorzugt in Wasserstraßenbereichen mit zum Teil deutlich stärkeren Infrastruktureinschränkungen gegenüber dem Rhein eingesetzt. Schiffe dieser Größenordnung wurden in der Vergangenheit vergleichsweise selten oder nur für den Einsatz in einem eingeschränkten Fahrtgebiet, z.B. dem niederländischen Wasserstraßennetz, neu gebaut.

Eine Ausnahme ist die „Neokemp“-Klasse (ca. 63,00 m x 7,00 m). Die Tragfähigkeit liegt bei einem Tiefgang  $T = 3,00$  m im Bereich von 850 t, die Containerkapazität beträgt in 2 Lagen übereinander 28 TEU.

Allerdings hat sich dieser in der Containerschifffahrt im Rheinbereich eingesetzte Schiffstyp dort nicht bewährt. Als wesentliche Gründe werden vom Gewerbe die hohen Schiffstransportkosten und die Tatsache, daß diese Schiffe nicht für die Continuefahrt (24 Stunden pro Tag) konzipiert sind, genannt. Die Schiffe ließen sich deshalb nur mit erhöhtem Aufwand und einem dauernden Besatzungswechsel an den unterschiedlichsten Einsatzorten in den Container-Liniendienst integrieren.

In Frage kommt für dieses Schiff der Einsatz auf besonders begrenzten Nebenwasserstraßen mit einem vergleichsweise geringen Containeraufkommen. Weiterhin denkbar wäre auch der Einsatz als Container-Zubringerfahrzeug zwischen kleinen und großen Terminals (Hub and Spoke System), wobei die bisherigen Erfahrungen aus dem Rheinbereich berücksichtigt werden müßten. Um jedoch das sich als besonders gravierend herausgestellte Personalproblem zu umgehen, ist es notwendig, das Schiff ständig mit einer für die Continue-Fahrt ausreichend großen Mannschaft zu bemannen. Dies führt zum einen zu einer Erhöhung der Personalkosten, zum anderen sind an Bord ausreichend große Wohnbereiche vorzuhalten. Durch die Vergrößerung des Wohnbereichs reduziert sich bei diesem kleinen Schiffstyp die Laderaumlänge, so daß neben den erhöhten Personalkosten deutliche Einbußen bei der Laderaumgröße hinzunehmen wären.

Neben den Entwicklungen bei den Motorschiffen ist bei den Koppelverbänden eine interessante Entwicklung festzustellen. Statt eines als „Standard“-Koppelverband anzusehenden schiebenden Motorschiffes GMS-110 m und eines geschobenen Europa-Leichters kommen heute bereits Koppelverbände zum Einsatz, die aus zwei etwa gleich langen Einheiten bestehen. Hierbei ist die vordere Einheit mit einem klassischen Vorschiff und die hintere Einheit mit einem klassischen Hinterschiff aus-

gestattet. Die beiden Einheiten werden stumpf gegeneinander gekoppelt und bilden damit während der Fahrt „eine“ Schiffseinheit mit einer Länge von etwa 170-186 m.



Abb. 12 Koppelverband mit „stumpfer“ Verbindung [Foto VBD]

Auf die von der VBD wesentlich mit beeinflussten Entwicklungen, die Einheiten stumpf miteinander zu verbinden, wird nochmals ausführlicher in Abschnitt 5.1.2.10 eingegangen. Die Breite dieser im Massengut- wie auch im Containertransport eingesetzten Koppelverbände beträgt überwiegend 11,45 m, vereinzelt ist auch die Schiffsbreite von 14,20 m im Einsatz. Damit verfügt der 14,20 m breite Koppelverband bei einem Tiefgang von  $T = 3,50$  m über eine Tragfähigkeit von etwa 6300 t.

Die Laderaumgröße des 14,20 m breiten Koppelverbandes beträgt zwei mal ca. 67,00 m x 12,60 m und erlaubt damit die Beladung mit zwei mal siebzehn TEU in der Längs- und fünf TEU in der Querrichtung. Aus Stabilitätsgründen wird die Stauung auf vier Lagen übereinander begrenzt, so daß sich eine maximale Containerkapazität von 440 TEU ergibt. Damit liegt die Kapazität in Bezug auf den Massengut- wie auch den Containertransport über derjenigen der JOWI-Klasse.

Der vordere Teil dieses Koppelverbandes ist mit eigenen Hilfsantriebsanlagen ausgerüstet, so daß beide Einheiten in den Terminals (z.B. Antwerpen) getrennt werden und unabhängig verschiedene Terminals anlaufen können. Auf diese Weise lassen

sich die Be- und Entladezeiten in den Terminals deutlich verkürzen. Allerdings ist für diese Verfahrensweise ein zusätzlicher organisatorischer und personeller Aufwand erforderlich. Weiterhin zu berücksichtigen ist, daß die vordere Einheit die für das selbständige Fahren auf dem Rhein erforderlichen Vorschriften gemäß RheinSchUO nicht erfüllt, so daß die Vorteile eines getrennten Operierens im Rheinbereich zumindest gegenwärtig nicht genutzt werden können. Allerdings können bei schwierigen Manövern im Rheinbereich durch die Trennung der Spargelformation und die seitliche Kupplung der beiden Einheiten (Päckchen) Vorteile entstehen, z.B. beim Aufdrehen oder bei der Talfahrt. Hierbei wird der durch das stumpfe Vorschiff des hinteren Teils der Einheit hervorgerufene zusätzliche Leistungsbedarf in Kauf genommen.

Dieser Schiffstyp ist zu den Neuentwicklungen zu zählen. Beide Einheiten werden als Doppelhülle gebaut, so daß Ballastzellen im Doppelboden, in den Seiten sowie in den jeweiligen Vor- und Hinterschiffsbereichen zur Verfügung stehen. Neben der „normalen“ Funktion der Ballastzellen zur Verminderung der Fixpunkthöhe dienen sie bei diesem Schiffstyp dazu, zwecks Reduzierung des Schiffswiderstandes bei ungleicher Beladung der vorderen und hinteren Einheit, einen „glatten“ Bodenübergang an der stumpfen Stoßstelle zu gewährleisten.

Spezielle Entwicklungen für den ausschließlichen Einsatz der Schiffe außerhalb des Rheinbereiches sind nur in wenigen Ausnahmefällen durchgeführt worden. Ein Beispiel ist der auf der Oberweser für den Kiestransport eingesetzte Schubverband, der in ein höchst innovatives Transportsystem eingebunden ist, und nachfolgend in Abschnitt 5.1.2.1 ausführlich dargestellt wird.

Neben den Entwicklungen im Güterschiffsbereich sind z.B. im Bereich der Schifffahrtsverwaltung, im Bagger- und Bugsierbereich wie auch in der Fahrgastschifffahrt weitere interessante Entwicklungen festzustellen, die jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind.

### **5.1.2 Einzelentwicklungen**

Da nicht alle Einzelentwicklungen veröffentlicht werden, ist es nicht möglich, sämtliche Entwicklungen aufzuführen. Die Darstellung beinhaltet allerdings einen umfassenden Überblick über die wesentlichen Einzelentwicklungen.

### 5.1.2.1 Beispiel für ein im Einsatz befindliches innovatives System

Bei der Beschreibung des Systems wird unter anderem auf Daten aus [1] zurückgegriffen. Seit Mitte der neunziger Jahre ist im Bereich der Oberweser ein höchst innovatives Schubverbandsystem im Einsatz. Höchst innovativ, weil es sich um einen wassergebundenen Verkehr auf der als sehr eingeschränkt einzuschätzenden Oberweser handelt und innerhalb des Transportsystems eine Vielzahl neuer und kostensparender Ideen in die Praxis umgesetzt wurden. Nachfolgend geht es darum, diese Ideen aufzuzeigen, aber auch auf die Rahmenbedingungen hinzuweisen, die zum Erfolg eines solchen Transportsystems führen.

Das gesamte System besteht aus

- einem Schubboot
- drei Schubleichtern
- einem Eimerkettenbagger

und wird für den „werksinternen“ Transport von Kies auf einer ca. 5 km langen Strecke zwischen der Kiesbaggerstelle Hohenrode und dem Verarbeitungsbetrieb in Egern eingesetzt.

Der Kiestransport erfolgt talwärts, in der Bergfahrt ist der Verband leer.

#### **Technische Daten und Besonderheiten**

Die technischen Daten (es handelt sich zum Teil um ca. Maße) und die Besonderheiten des Systems werden – soweit vorhanden – nachfolgend dargestellt.

##### **A) Schubboot**

- Länge 15,50 m
- Breite 11,00 m
- Tiefgang<sub>max.</sub> 0,85 m
- Fixpunkthöhe 6,00 m
- Besatzung 2 Personen
- Leistung 2 x 150 kW
- Antriebssystem 2 Ruderpropeller

##### **Besonderheiten**

- Die Breite ist mit 11,00 m im Vergleich zur Länge mit ca. 15,50 m besonders groß. Dies führt beim allein fahrenden Schubboot zwar zu einer vorlastigen Vertrimmung, d.h. die Geschwindigkeit in der Alleinfahrt muß deutlich reduziert

- werden. Im Verband tritt dieser Effekt – wenn überhaupt – nur in geringem Umfang auf.
- Die Unterwasserform des Bootes wurde in Abstimmung mit der VBD für extreme Flachwasserfahrt optimiert.
  - Die zwei um 360° schwenkbaren Ruderpropeller gewährleisten eine hohe Manövrierfähigkeit, die im engen und kurvenreichen Bereich der Oberweser, aber auch für die mehrfach am Tag stattfindenden Koppel- und Anlegemanöver unerlässlich ist.
  - Anders als bei den Motorgüterschiffen ist es beim Schubboot durch die große Breite möglich, einen mit ca. 0,85 m vergleichsweise geringen Tiefgang zu erzielen.
  - Weiterhin gewichts- und damit tiefgangsbestimmend sind:
    - Materialstärken, die, mit Ausnahme des Ruderpropellerbereiches, zwischen 5-6 mm stark sind.
    - Vergleichsweise geringe Kapazität der Brennstoff- und Trinkwassertanks. Dies muß im vorliegenden Fall nicht als Nachteil angesehen werden, weil aufgrund der sehr kurzen Transportdistanz von ca. 5 km mehrfach pro Tag der Entladeort angelaufen und dort ohne großen Aufwand nachgetankt werden kann.
    - Aufgrund der kurzen Transportentfernung und des immer gleichen Be- und Entladeortes ist es nicht erforderlich, Übernachtungsmöglichkeiten an Bord vorzusehen. Demzufolge ergeben sich Gewichtseinsparungen bei den Aufbauten und deren Einrichtung.
  - Die vergleichsweise große Fixpunkthöhe von ca. 6,0 m ist nicht relevant, weil auf der kurzen Transportstrecke keine niedrigen Brücken zu passieren sind.
  - Das Boot verfügt über eine vom Steuerhaus aus bedienbare Koppelvorrichtung, d.h. beim An- und Abkoppeln der Leichter ist keine Besatzung an Deck erforderlich.

## **B) Schubleichter**

- Länge 50,00 m
- Breite 11,00 m
- Tiefgang<sub>leer</sub> 0,50 m
- Tiefgang<sub>max.</sub> 1,70 m
- Tragfähigkeit<sub>max.</sub> 640 t



**Besonderheiten**

- Die Breite entspricht exakt derjenigen des Schubbootes, so daß Schubboot und Leichter eine Einheit bilden.
- Die Leichter sind mit einem 16-teiligen Trichtersilo ausgerüstet. Im unteren Trichterbereich der Silos befinden sich elektrisch betriebene Entleerungsschieber, über die bei der Entladung der Kies auf ein längsschiff angeordnetes Transportband fällt. Über das im Vorschiffsbereich schräg nach oben führende Transportband wird der Kies über den Bug in einen an Land stehenden Sammeltrichter befördert. Vor dort gelangt der Kies über Transportbänder in die Sortieranlage des Verarbeitungsbetriebes.

- Die Entladung läuft automatisch nach folgendem Schema ab:

Das Schubboot legt mit dem Leichter am Entladekai an. Nachdem der Leichter mit den entlang des Kais verfahrbaren Greifzangen befestigt ist, löst sich das Schubboot vom Leichter, manövriert zum Ende des Kais, um dort den ebenfalls über Greifzangen angekoppelten zweiten Leichter aufzunehmen. Sämtliche Koppel- und Entkopplungsvorgänge erfolgen auf Knopfdruck vom Steuerhaus aus.

Die Entladung des beladenen Leichters erfolgt vollautomatisch. Zunächst wird der Leichter mittels der verfahrbaren Greifzangen in die Entladeposition gefahren. Danach werden die Entladebänder in Betrieb gesetzt und die Siloschieber geöffnet. Über Kontrollelemente am Verladeband werden die Siloschieber so gesteuert, daß eine Überladung des Transportbandes verhindert wird. Des weiteren erfolgt die Schiebersteuerung so, daß der Leichter immer eine leichte Vertrimmung aufweist. Auf diese Weise läuft das beim Kiestransport zum Teil in großen Mengen anfallende Wasser in einen Sumpf und wird dort mittels Tauchpumpe automatisch abgepumpt.

Nach der Entleerung des Leichters wird dieser in die Warteposition am Ende des Kais gefahren.

- Die Beladung der Leichter am Eimerkettenbagger erfolgt ebenfalls automatisch. Das Schubboot legt den leeren Leichter am Bagger an. Auch hier wird der Leichter über verfahrbare Greifzangen gefaßt. Das Schubboot löst sich und übernimmt den zwischenzeitlich beladenen dritten Leichter. Auch dieser Vorgang wird nur vom Steuerhaus des Schubbootes gesteuert. Die Beladung des Leichters erfolgt über ein reversierbares quer im Bagger liegendes Förderband. Voraussetzung für die maximale Beladung ist ein Pegelmeßwertgeber am Entladeort. Hiermit wird es möglich, bei der Beladung der Leichter den maximal möglichen Tiefgang dem augenblicklichen Wasserstand anzupassen. Über zu-

sätzliche Meßinstrumente wird die Vertrimmung und Krängung der Leichter überwacht und über das reversierbare Querförderband wie auch über die verfahrenbaren Greifzangen sichergestellt, daß der Leichter nach der Beladung mit maximalem Tiefgang auf „geradem“ Kiel liegt.

### **C) Eimerkettenbagger**

- Länge 65,00 m
- Breite 10,50 m
- Förderleistung<sub>max.</sub> 350 t/h
- Fördertiefe<sub>max.</sub> 13,00 m

### **Besonderheiten**

- Von wesentlicher Bedeutung sind die Schallschutzmaßnahmen. Um die Umweltschutzaufgaben von max. 55 dB(A) im Abstand von 50 m zu erfüllen, wurde der Bagger voll eingekapselt.
- Der Bagger ist mit einem eigenen Stromaggregat von ca. 500 KVA ausgerüstet, d.h. er ist unabhängig von einer Land-Stromversorgung.
- Auch der Bagger arbeitet weitgehend automatisch und wird von einer Person überwacht und gesteuert.

### **D) Sonstige Rahmenbedingungen**

Basis des Systems ist ein zentraler Rechner mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Diese Steuerung in Verbindung mit einer Vielzahl von Überwachungs- und Kontrollinstrumenten gewährleistet den automatisch ablaufenden Be- und Entladevorgang. Hiermit wird es möglich, das gesamte System mit drei Personen zu betreiben.

Daneben gibt es noch weitere Rahmenbedingungen, die das System positiv beeinflussen:

- Der Kiestransport verläuft talwärts, d.h. mit der Weserströmung und ist damit im Hinblick auf die Transportzeit und den Brennstoffverbrauch kostengünstig.
- Alternative Transportmöglichkeiten scheiden aus oder sind nur sehr beschränkt nutzbar:
  - Eisenbahn, eine erforderliche Trasse ist nicht vorhanden,
  - LKW, aus Umweltschutzgründen (Lärm, Schmutz) wurde nicht zugelassen,

- Transportbänder, aus Umweltschutzgründen (Lärm, Schmutz) nur sehr eingeschränkt nutzbar, über längere Entfernungen kostenintensiv, während der Frostperioden sehr störungsanfällig, Genehmigung zur Nutzung insbesondere privater Grundstücke wird häufig nicht erteilt.
- Es handelt sich um einen werksinternen Verkehr, d.h. bei der Entscheidung zum Bau eines solchen Systems ist von einer langfristigen gesicherten Nutzung auszugehen.
- Produktions- (Bagger) und Verarbeitungsbetrieb (Betonwerk) liegen unmittelbar an der Wasserstraße.
- Zusätzliche Verladungen auf andere Verkehrsträger sowie Vor- und Nachläufe treten nicht auf.

Insbesondere aufgrund der letztgenannten günstigen Rahmenbedingungen, die bei der überwiegenden Zahl anderer Transportaufgaben nicht eintreffen, kann dieses System nicht ohne Abstriche auf andere Bereiche übertragen werden. Des weiteren ist das System so spezialisiert, daß der Einsatz des Schubverbandes für andere Transportaufgaben nur in Ausnahmefällen möglich ist.

Jedoch beinhaltet das System eine große Anzahl innovativer Einzelkomponenten, die möglicherweise in anderen Bereichen der Binnenschifffahrt ebenfalls erfolgreich eingesetzt werden können.

#### **5.1.2.2 Drei-Hüllen-Tankschiffe**

Beim Transport von unter Druck beförderter flüssiger Gase, z.B. Propan, Propylen, wird ein Trend zum Drei-Hüllen-Schiff sichtbar. Während in der Vergangenheit die speziellen Druckbehälter in ein normales Einhüllenschiff integriert wurden, handelt es sich bei dem Mitte 2003 in Dienst gegangenen Gastanker „LRG Gas 85“ um ein Doppelhüllenschiff der Größe GMS-110 m. Dieses Konzept gewährleistet ein Höchstmaß an Sicherheit, so daß auch bei extremen Grundberührungen, Anfahrungen an festen und schwimmenden Bauwerken sowie bei Schiffskollisionen nicht mit einer Beschädigung des innen liegenden Drucktanks zu rechnen ist.

#### **5.1.2.3 Zweischraubenschiffe**

Deutlich häufiger als in der Vergangenheit wird bei den Neubauten der Motorschiffsgröße GMS-110 m und größer eine Zweischrauben-Antriebsanlage eingebaut. Die Herstellkosten einer solchen Anlage liegen deutlich über den Kosten der herkömmlichen Einschraubenanlage. Jedoch beinhaltet das System eine erheblich Steigerung

des Sicherheitsniveaus für den Fall, daß eine Antriebsanlage ausfällt. Auch bei Ausfall einer Antriebsanlage bleibt das Schiff voll manövrierfähig und einsatzbereit. Dieser Vorteil ist besonders beim Transport flüssiger Gefahrgüter in Tankern hoch einzuschätzen.

Ein weiterer Vorteil der Zweischraubenanlage besteht in der Möglichkeit, eine insgesamt größere Antriebsleistung einsetzen zu können. Aufgrund der eingeschränkten Fahrwasserbedingungen auf den Binnenwasserstraßen ist die Größe der Propeller und damit auch die Antriebsleistung, die vom Propeller effektiv in einen Vortriebschub umgewandelt wird, beschränkt. Demzufolge wird es mit einer Mehrschraubenanlage möglich, eine entsprechend größere Leistung zu nutzen und damit - zumindest bei größeren Wassertiefen – die Schiffsgeschwindigkeit zu steigern. Aber auch bei geringen Wassertiefen beinhaltet die größere Antriebsleistung eine Geschwindigkeitsreserve, die besonders bei terminierten Frachten von wirtschaftlichem Vorteil sein kann. Außerdem ergibt sich bei Zweischraubenschiffen – wie zuvor in Abschnitt 4.3.7 dargestellt – insbesondere bei geringen Wassertiefen eine bessere Propellerzuströmung im Vergleich zum Einschrauber. Dies führt zu einem günstigeren Propellerwirkungsgrad und damit zu einem verbesserten Leistungs-Geschwindigkeitsverhalten. Damit eignen sich Zweischrauber besonders gut als Einzelfahrer oder als schiebende Einheit innerhalb eines Koppelverbandes auf geringer Wassertiefe.

#### **5.1.2.4 Optimierung der Schiffslinien**

Immer dann, wenn es sich beim Bau eines neuen Schiffes aufgrund neuer Erkenntnisse oder spezieller Transportaufgaben nicht um den Nachbau eines bereits gebauten Schiffes handelt, wird eine Optimierung der Schiffslinien durchgeführt. Hierbei geht es darum, für eine möglichst große Tragfähigkeit die optimale Form des Unterwasserschiffes im Hinblick auf ein bestmögliches Leistungs-Geschwindigkeits- und Manövrierverhalten zu entwickeln.

Die nach wie vor zuverlässigste Methode ist der Modellversuch, heute mehr und mehr begleitet von numerischen Berechnungsmethoden. Ein Beispiel hierfür ist der zuvor erwähnte Zweischrauben-Gastanker „LRG Gas 85“, welcher bei der VBD getestet und optimiert wurde.

Diese Tests gewinnen um so mehr an Bedeutung, wenn sich die Schiffe aufgrund der Größenentwicklung (siehe Entwicklung auf dem Rhein, Abschnitt 5.1.1) immer häufiger im „hydrodynamischen Grenzgebiet“ befinden.

### **5.1.2.5 Schiffsverlängerungen**

In Abschnitt 4.3.2.2 war bereits festgestellt worden, daß bei einer Schiffsverlängerung die Tragfähigkeit etwa im gleichen Maße ansteigt wie der Grad der Schiffsverlängerung. Allerdings ist mit einer – zwar geringfügigen – Vergrößerung des Leertiefgangs zu rechnen. Weiterhin sind die technischen Anforderungen an eine nachträgliche Verlängerung – soweit bereits beim Bau des zu verlängernden Schiffes eine ausreichende Festigkeit für die längere Version berücksichtigt wurde – an das Einfügen eines parallelen Mittelteils als vergleichsweise einfach zu bezeichnen. Aus diesem Grund ist eine nachträgliche Schiffsverlängerung als die kostengünstigste Alternative bei der Erhöhung der Tragfähigkeit anzusehen.

Des weiteren steigen die Anforderungen an die Antriebsleistung – gleiche Geschwindigkeit vorausgesetzt – nur in einem vergleichsweise geringen Maße („Länge läuft“). Aus diesen Gründen ist die Schiffsverlängerung die bevorzugte Maßnahme zur nachträglichen Vergrößerung der Tragfähigkeit und des Laderaumvolumens.

Während in der Vergangenheit der Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> vielfach von 80,00 m auf 85,00 m und vereinzelt auch bis auf 110,00 m verlängert wurde, erfolgte nach der Zulassung von 135 m Schiffen auf dem Rhein im Oktober 1995 die Verlängerung einer Reihe des Schiffstyps GMS-110 m auf 135 m. Voraussetzung für die Verlängerung dieser Schiffe war allerdings eine ausreichende Längsfestigkeit, Doppelpropelleranlage sowie die Einhaltung zusätzlicher in [2], formulierter Sicherheitsanforderungen für Schiffe mit einer Länge größer als 110 m.

### **5.1.2.6 Schiffsverbreiterung**

Wie bereits in Abschnitt 4.3.2.3 deutlich gemacht, gehört eine nachträgliche Schiffsverbreiterung zu den technisch sehr anspruchsvollen und kostspieligen Möglichkeiten der Tragfähigkeitserhöhung. Darüber hinaus beträgt das Maß der Tragfähigkeitserhöhung nur etwa 70 % der Breitenvergrößerung. Zusätzlich zu berücksichtigen ist die mit der Verbreiterung einhergehende Erhöhung des Schiffswiderstandes. Die Anforderungen an die Antriebsleistung steigen – gleiche Geschwindigkeit vorausgesetzt – mindestens im gleichen Maß wie der Grad der Verbreiterung. Des weiteren ist, wie in Abschnitt 4.3.2 dargestellt, mit einer Vergrößerung des Leertiefgangs zu rechnen.

Aus diesen Gründen werden Schiffsverbreiterungen nur in sehr wenigen Ausnahmen, z.B. bei Spezialschiffen zur Vergrößerung der Stabilität durch das Ansetzen zusätzlicher seitlicher Schwimmkörper, durchgeführt.

Als eine weitere Ausnahme muß die Verbreiterung der Elbe-Leichter von ca. 8,20 m auf 9,50 m gesehen werden. Bei dieser Verbreiterung ging es weniger um eine Tragfähigkeitserhöhung als um die Verbesserung der Staumöglichkeit von Containern. Mit der vergleichsweise geringen Verbreiterung von ca. 1,30 m wurde die Laderaumbreite um das gleiche Maß vergrößert. Auf diese Weise war es möglich, die Anzahl der nebeneinander stehenden Container von zwei auf drei zu erhöhen, d.h. die Ladefähigkeit um 50 % zu erhöhen. Des weiteren verfügen die Leichter nach der Verbreiterung über eine größere Stabilität, so daß es möglich wird, auch eine dritte Containerlage übereinander zu stauen. Voraussetzung für den Betrieb einer dreilagigen Containerstauung ist neben den Stabilitätskriterien vor allem, daß ausreichende Brückendurchfahrtshöhen vorhanden sind. Im kanalisiertem und staugestütztem Wasserstraßennetz ist dies allerdings überwiegend nicht der Fall, so daß hier nur zweilagig gestaut und damit die Kapazität der Leichter nur zu 66 % genutzt werden kann.

#### **5.1.2.7 Hubhöhe der Steuerhäuser**

Die Mehrzahl der Trockenfrachtschiffe und große Teile der Tanker- und Passagierschiffsflotte verfügen über Hubsteuerhäuser. Durch die Höhenverstellung wird zum einen gewährleistet, daß auch bei über das Laderaumsüll herausragenden Ladungen (z.B. Holz oder Container) oder bei achterlich vertrimmtem leeren Schiff eine ausreichende Sicht auf die Wasseroberfläche vor dem Schiff besteht (RheinSchUO § 7.02, Nr. 2: Sichtschatten vor dem Bug kleiner 250 m). Zum anderen müssen die Schiffe, um einen möglichst großen Teil der Binnenwasserstraßen befahren zu können, in der Lage sein, auch niedrige Brücken im Kanalsystem zu passieren. Zu diesem Zweck werden die Steuerhäuser abgesenkt.

Das Prinzip der Höhenveränderung beschränkte sich zunächst auf die Demontage oder das Herunterklappen des oberen Steuerhausteils, gefolgt von zunächst handbetätigten, später mit Elektromotor betriebenen Zahnstangen- oder Spindel-Hubvorrichtungen mit geringer Hubhöhe. Inzwischen sind diese einfachen und den heutigen Ansprüchen nicht mehr gerecht werdenden Anlagen größtenteils durch hydraulisch betriebene Hubsysteme verdrängt worden.

Beeinflusst durch den wachsenden Containerverkehr und die Möglichkeit, mehrere Container übereinander zu stapeln, stiegen die Anforderungen an die Hubhöhe. Nachdem die Stapelung von vier Containern übereinander in Rheinbereich als Standard anzusehen ist und bei den breiteren Schiffen sogar fünf Lagen übereinander gestapelte werden können, waren Hubhöhen zwischen 6-8 m erforderlich. Mit der Weiterentwicklung der Hubschächte in Verbindung mit innen liegenden Teleskopzy-

lindern ist es möglich, diese großen Hubhöhen zu realisieren. Wesentlich hierbei ist, daß die Hubschächte auch im ausgefahrenen Zustand und ohne zusätzliche Abspannungen einen sicheren und vibrationsfreien Stand des Steuerhauses – und zwar auch für den Fall von Havarien, beim Anlegen, in Schleusen usw. – gewährleisten.

Im Elbebereich war der dreilagige Containerverkehr durch die nicht höhenverstellbaren Steuerhäuser auf den Schubbooten gefährdet. Inzwischen sind auch die im Containerverkehr eingesetzten Schubboote größtenteils mit Hubsteuerhäusern ausgerüstet.

#### **5.1.2.8 Verlegung des Radarscanners vom Hinterschiff in den Vorschiffsbereich**

Insbesondere dann, wenn es darum geht, niedrige Brücken zu passieren, sind die Steuerhäuser abzusenken. Damit geht weitgehend die Sicht nach vorne verloren. Auch der Radarscanner, welcher auf dem Steuerhausdach oder auf einem eigenen Podest neben dem Steuerhaus installiert ist, wird während der Brückendurchfahrt abgesenkt, so daß Einschränkungen und Störungen bei der Darstellung des Radarbildes nicht auszuschließen sind.

Die Weiterentwicklung der Abschirmung des Übertragungskabels zwischen Radarscanner und Monitor im Steuerhaus ermöglicht es heute, den Abstand zwischen Scanner und Monitor deutlich zu vergrößern. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, den Radarscanner im Bereich des Vorschiffes zu montieren, d.h. vor der Ladung (Abb. 13), so daß auch während der Brückendurchfahrt ein ungestörtes Radarbild zu empfangen ist.

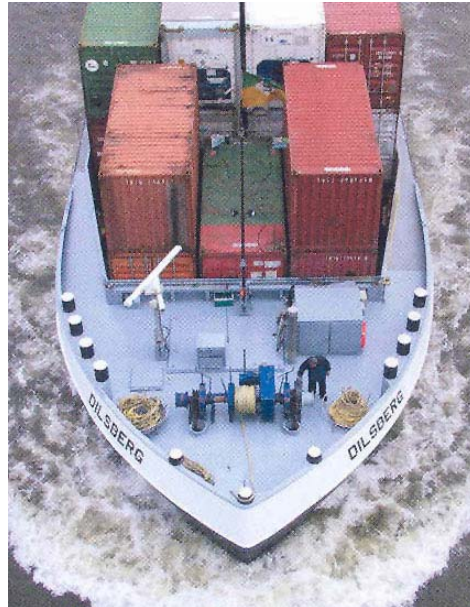


Abb. 13 Radarscanner im Vorschiffsbereich [aus [3]]

Ein weiterer Vorteil des im Vorschiffsbereich installierten Radarscanners ergibt sich in engen, kurvenreichen Bereichen. Das Radar erfährt deutlich früher entgegenkommende Fahrzeuge oder Hindernisse als aus der Steuerhaus-Sichtposition. Dies ist besonders bei langen Koppel- und Schubverbänden von Bedeutung, bei denen der Radarscanner etwa 150 m vor dem Steuerhaus als zweites Auge installiert wird. Diese Maßnahme kann als ein wesentlicher Beitrag zur Anhebung des Sicherheitsniveaus auf engen, kurvenreichen Wasserstraßen mit niedrigen Brückendurchfahrts Höhen angesehen werden.

#### 5.1.2.9 Gelenkverband

Die Verbindung von Koppel- und Schubverbänden erfolgt nach wie vor überwiegend mit Koppeldrähten, die über spezielle Koppelwinden gespannt werden. Nur in wenigen Fällen wurden bisher bei den Koppelverbänden mechanische Kupplungen eingebaut. Damit sind die Verbände als „starr“ miteinander verbundene Einheiten anzusehen.

Eine Alternative für die Verbindung von Koppelverbänden ist die Verbindung über Hydraulikzylinder, die es ermöglichen, den Verband während der Fahrt an der Koppelstelle zu knicken. Bereits bei einem kleinen Knickwinkel wird die große Steuerwirkung des wie ein überdimensional wirkendes Ruder deutlich. Durch diese Maßnahme



reduzieren sich das besonders in engen Kurven auftretende „Driften“ und die sich vor allem bei langen Verbänden hieraus ergebende große Fahrbahnbreite beträchtlich.

Auf dem Main wurden diese Verbände bereits vereinzelt eingesetzt und führten damit auf diesem engen und kurvenreichen Wasserstraßenabschnitt zu einer nicht zu unterschätzenden Erhöhung des Sicherheitsniveaus. Allerdings ist der Einsatz dieser Fahrzeuge – vermutlich aus Kostengründen – gegenwärtig deutlich zurückgegangen.

#### **5.1.2.10 Koppelstelle**

Bei einem Standard-Koppelverband treten an der Koppelstelle zwischen dem schiebenden Motorschiff und dem davor gespannten Leichter starke Verwirbelungen auf, die zu einer Erhöhung des Widerstandes und damit des Antriebsleistungsbedarfs führen. Zur Verminderung der Wirbelbildung an der Koppelstelle bietet es sich an, den Bug des schiebenden Fahrzeuges stumpf auszuführen und die beiden Einheiten gegeneinander zu koppeln (siehe Abb. 12).

In einem Großversuch und durch ergänzende Modellversuche konnte der leistungsmindernde Einfluß der stumpfen Koppelstelle durch die VBD nachgewiesen werden.



Abb. 14 Großversuch mit Hartschaumkeil im Vorschiffsbereich [Foto VBD]

Der Einbau des Hartschaumkeils im Modell erbrachte eine Minderung der Antriebsleistung bei gleicher Geschwindigkeit von ca. 16 %, im Großversuch wurden ca. 15 % erzielt.

#### **5.1.2.11 Schneller laufende Motoren**

Während in der Vergangenheit die Drehzahlen der als „Mittelschnellläufer“ bezeichneten Hauptmotoren im Bereich zwischen 800-1200 Umdrehungen pro Minute lagen, ist heute ein Trend zu höheren Drehzahlen zwischen 1500-1800 Umdrehungen, in Einzelfällen sogar bis etwa 2500 Umdrehungen festzustellen. Höher drehende Motoren sind kompakter und damit deutlich leichter als Mittelschnellläufer, so daß sich Gewichtseinsparungen ergeben. Da sich jedoch die Gewichte der übrigen Komponenten der Antriebsanlage, wie Getriebe, Wellenleitung, Propeller, Pumpen usw., durch den Einbau der schneller laufenden Motoren nicht ändern und das Gewicht der Hauptmaschine nur einen vergleichsweise geringen Anteil am Gesamtgewicht ausmacht, beschränken sich die Gewichtseinsparungen auf 5-10 Tonnen pro Schiff.

#### **5.1.2.12 Überwachungselemente**

Im Zusammenhang mit der im vorherigen Kapitel dargestellten Entwicklung zu schneller laufenden Hauptmotoren und dem Bestreben, Fehlfunktionen der Maschinenanlagen und sonstiger betriebswichtiger Einrichtungen rechtzeitig zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur Vermeidung größerer Schäden einzuleiten, ist eine Entwicklung zu umfangreicheren Überwachungsanlagen zu sehen. Auch diese Maßnahme ist unter dem Gesichtspunkt einer Erhöhung des Sicherheitsniveaus wie aber auch der Vermeidung größerer Schäden an den betriebswichtigen Anlagenteilen und damit einer Senkung der Betriebskosten zu bewerten.

#### **5.1.2.13 Krängungsmesser**

Auf die Tiefgangsproblematik im Bereich der Binnenwasserstraßen wurde bereits ausführlich eingegangen. Um die eingeschränkten Fahrwassertiefen weitestgehend nutzen zu können, ist es erforderlich, eine unnötige Tiefgangsvergrößerung z.B. durch Krängung und/oder Vertrimmung zu vermeiden. Dies bedeutet, daß bei der Beladung die Ladung so zu verteilen ist, daß das Schiff auf „geradem Kiel“ liegt.

Durch die Entwicklung eines weithin sichtbaren Krängungs- und Trimm-Anzeigergerätes, welches dem Schiffsführer wie auch dem Kranführer eine mögliche Krängung oder Vertrimmung des Schiffes anzeigt, wird es möglich, während der Be-

ladung die Ladung so zu verteilen, daß die Krängung und/oder Vertrimmung aufgehoben und die zur Verfügung stehenden Abladetiefen optimal genutzt werden können.

#### **5.1.2.14 Black Box**

Nicht grundsätzlich aber immer häufiger werden Tonaufnahmegeräte installiert, mit denen für eine bestimmte Zeitspanne der Funkverkehr zwischen den Schiffen sowie zwischen Schiff und Land aufgezeichnet werden kann. Auf diese Weise wird es möglich, beispielsweise erforderliche und vorgeschriebene Absprachen zwischen den Schiffen vor dem Passieren unübersichtlicher Engstellen aufzuzeichnen und im Falle einer Havarie zur Klärung der Schuldfrage heranzuziehen.

#### **5.1.2.15 Lukendach**

Bei einer Vielzahl von Gütern kommt es darauf an, daß die Ladung absolut trocken bleibt. Dies ist nur mit hochwertigen Lukendächern zu gewährleisten. Während in der Vergangenheit die Lukendächer überwiegend aus Holz gefertigt und in mühevoller Arbeit von der Besatzung geöffnet und geschlossen wurden, wird heute dünnwandiges profiliertes Aluminiumblech verwendet. Das Abdecken und Stapeln erfolgt mechanisch, wobei verschiedene Methoden zur Anwendung kommen.

Die am weitesten verbreitete Methode ist der Einsatz eines von Bord zu Bord reichenden elektrisch betriebenen Lukendachwagens, mit dem die einzelnen Lukenabdeckungen aufgenommen, transportiert und gestapelt werden.

Diese Methode, die sich auch zur Nachrüstung bei älteren Schiffen eignet, führte zu einer bemerkenswerten körperlichen Entlastung der Bordbesatzung. Darüber hinaus ist die Besatzung in der Lage, das Lukendach in einer vergleichsweise kurzen Zeitspanne zu öffnen und zu schließen.



Abb. 15 Alu-Lukendach und Lukentransportwagen auf einem Binnenschiff [Foto VBD]

Die Lukendächer müssen begehbar sein und eine Flächenbelastung von mindestens  $150 \text{ kg/m}^2$  erlauben. Allerdings eignen sie sich nicht für die Aufnahme von Deckslast. Eine Ausnahme sind zwei Neubauten des Typs GMS-110 m mit „tragfähigen“ Lukendächern. Die Lukendächer sind, in Anlehnung an die Lukendächer auf Seeschiffen, aus Stahl gefertigt und haben ein Gewicht von ca. 70-90 Tonnen. Der große Vorteil eines tragfähigen Lukendachs besteht in der Möglichkeit, beispielsweise Massengut im Laderaum und gleichzeitig Transportbehälter (Container, Wechselbehälter), Fahrzeuge und sonstige großvolumige Stückgüter auf dem Lukendach zu transportieren. Nachteilig sind die zusätzlichen Kosten und das Zusatzgewicht, um das die Tragfähigkeit vermindert wird.

#### 5.1.2.16 Bugstrahlanlagen

Um die Manövriereigenschaften der im begrenzten Fahrwasser operierenden Schiffe zu erhöhen, wurde ein großer Teil der älteren Schiffe nachträglich und alle Neubauten in den vergangenen Jahren mit Bugstrahlanlagen ausgerüstet. Die Anlagen entsprachen im Prinzip zunächst denen, wie sie heute überwiegend auf Seeschiffen eingebaut werden. Sie bestehen aus einem quer im Vorschiff eingebauten Stahlrohr und einem im Stahlrohr etwa auf Mitte Schiff angeordneten Propeller. Nachteil dieser Querstrahlanlagen ist der mit zunehmender Schiffsgeschwindigkeit stark abnehmende Querschub. In der Seeschifffahrt ist dieser Effekt weniger von Bedeutung, weil die

Anlage bei hoher Geschwindigkeit auf See nicht benötigt wird, sondern nur bei geringen Geschwindigkeiten oder stehendem Schiff während des Manövrierens, z.B. im Hafengebiete. Im Gegensatz hierzu wird die Bugstrahlanlage in den engen und kurvenreichen Bereichen der Binnenwasserstraßen auch während der Fahrt als zusätzliche Manövrierhilfe eingesetzt. In einigen Bereichen, z.B. auf dem Main, wird sie mit bestimmten Leistungsparametern für große Fahrzeuge sogar behördlich vorgeschrieben.

Die Forderung, auch bei Fahrt des Schiffes eine möglichst große Wirkung der Bugstrahlanlage zu gewährleisten, führten in den vergangenen Jahren zu einem neuen Funktionsprinzip: das Wasser wird über einen horizontal im Vorschiff liegenden Propeller von unten angesaugt und über ein drehbares Gehäuse, mit dem es möglich ist, das Wasser über einen quer im Schiff liegenden Kanal an Backbord- oder Steuerbordseite (Zweikanalsystem) austreten zu lassen. Neuere Anlage verfügen über einen weiteren in Schiffslängsrichtung angeordneten Kanal (Vierkanalsystem), der es erlaubt, das Wasser zusätzlich nach vorne (zusätzliche Bremswirkung) oder nach hinten (zusätzlicher Vortrieb) austreten zu lassen. Große, moderne Schiffe verfügen mehr und mehr über diese leistungsfähigen Vierkanalanlagen, die es ermöglichen, bei Ausfall der Hauptantriebsanlage das Schiff allein durch die Bugstrahlanlage zu manövrieren und mit geringer Geschwindigkeit zu bewegen.

Auch mit dieser Entwicklung wird eine Erhöhung des Sicherheitsniveaus erzielt.

#### **5.1.2.17 Werkstoffe**

Wie bei allen Bauwerken richtet sich auch beim Schiffbau die Wahl des zu verwendenden Materials nach dem Verwendungszweck des Bauwerks und nach einem kostengünstigen Herstellungsverfahren.

So werden beispielsweise im allgemeinen Stahl- und Hochbau sogenannte „allgemeine Baustähle“, im Kesselbau entsprechend der Verwendung hitzebeständiger oder korrosionsfester „Kesselbaustahl“, zur Herstellung von Schrauben „Schraubestahl“ und im Schiffbau „Schiffbaustahl“ verwendet.

Die Anforderungen an Schiffbaustähle in bezug auf die chemische Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Kerbschlagzähigkeit, Verformbarkeit und nicht zuletzt die Schweißbarkeit wird von den Klassifikationsgesellschaften vorgegeben.

Die Festigkeitseigenschaften eines Schiffes konzentrieren sich auf zwei wesentliche Merkmale: zum einen auf die Gesamtfestigkeit, d.h. die Längs- und Querfestigkeit,

die auch für den Fall einer Grundberührung, einer ungleichen Beladung usw. ausreichend bemessen sein muß. Zum anderen handelt es sich um die örtliche Festigkeit, d.h. ausreichende Festigkeit bei extrem schwerer Ladung wie Stahlcoils, Großgeneratoren usw. auf kleiner Grundfläche.

Die Zugfestigkeit der Schiffbaustähle liegt im Bereich zwischen 41-50 kp/mm<sup>2</sup> und entspricht damit der Festigkeit der Baustähle mittlerer Festigkeit. Durch die hohe Dehnfähigkeit des Materials wird sichergestellt, daß sich bei Grundberührungen, Kollisionen beim Anlegen oder Schleusenfahrten aber auch bei leichteren Schiffshavarien das Material verformt und nicht reißt. Dies bedeutet, daß die sehr große Bewegungsenergie des fahrenden Schiffes in Verformungsenergie umgewandelt wird (vergleichbar der Knautschzone am Auto). Höherfeste Stähle verfügen im allgemeinen nicht über eine ausgeprägte Dehnfestigkeit, so daß bei der Verwendung dieser Materialien häufiger mit dem Zerreißen des Materials zu rechnen ist.

An die Schweißbarkeit und die Verformbarkeit des Schiffbaumaterials, welche wesentlich von der chemischen Zusammensetzung (z.B. Kohlenstoff-, Mangan, Siliziumanteil usw.) aber auch von der „Nachbehandlung“ während der Stahlherstellung (z.B. Desoxidation, Wärmebehandlung usw.) beeinflusst werden, werden ebenfalls hohe Ansprüche gestellt. Die Verschweißung des Schiffbaumaterials wird in der Regel bis -10°C ohne Zusatzmaßnahmen und ohne Qualitätsverlust gewährleistet. Hochfeste Stähle lassen sich bei niedrigen Temperaturen nur dann sachgerecht verarbeiten, wenn die Materialien vorgewärmt werden, was aufgrund der häufig im Freien, insbesondere bei Reparaturen, durchgeführten Verarbeitung nicht möglich ist.

Selbstverständlich gibt es auch Bereiche, in denen die Verwendung höherfester Stähle, z.B. im Bereich hoch belasteter Lukenecken von Einraumschiffen, sinnvoll ist. Jedoch sind die Vorteile immer mit den sich einstellenden Nachteilen abzuwägen. Hierbei sind allerdings Interessenkonflikte zwischen Werft und zukünftigem Eigner nicht auszuschließen. Während die Werft vor allem an einer kostengünstigen Lösung interessiert ist, legt der Eigner besonderen Wert auf eine langfristige, weit über die Garantiezeit hinausgehende schadensfreie Konstruktion. Um dies zu erreichen, ist er sogar vielfach bereit, auf „einige Tonnen“ Tragfähigkeit zu verzichten.

Hingegen ist eine immer häufigere Verwendung alternativer Materialien, z.B. Aluminium, Kunststoff, in Bereichen, die nicht in die Festigkeit des Schiffes einbezogen werden, festzustellen. Hierzu gehören die Steuerhäuser, Lukendächer, sonstige Ab-

deckungen und Ausrüstungen wie Landstege, Leitern, Lampen- und Antennenträger usw.. Die Gewichtseinsparungen sind allerdings begrenzt, weil diese Bauteile nur einen Anteil von weniger als 5 % des gesamten Schiffsgewichtes ausmachen.

Wünschenswert wäre die Entwicklung kostengünstiger höherfester und klassifizierter Schiffbaustähle, deren sonstige Eigenschaften mindestens denen des heute verwendeten Schiffbaustahls entsprechen müßten. Darüber hinaus könnten Weiterentwicklungen von Kompositwerkstoffen (z.B. Stahl-Kunststoff-Kombinationen) oder auch die optimale Nutzung der Materialien durch die Weiterentwicklung der konstruktiven Gestaltung des Schiffskörpers mit Unterstützung moderner Rechenmethoden (siehe auch Projekt INBAT, Abschnitt 5.2.10) zu einer Gewichtsverminderung des Schiffes und damit zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit kommen. Allerdings ist auch hierbei mit Nachteilen zu rechnen: die Verarbeitung dünnerer Materialien beinhaltet einen höheren Arbeitsaufwand, der keineswegs durch die geringeren Materialkosten kompensiert werden kann. Dies bedeutet, daß die Schiffe in der Herstellung teurer werden. Weiterhin treten bei den leichten Konstruktionen schneller Schäden durch Korrosion auf, während bei den schwereren Konstruktionen aufgrund des „Korrosionszuschlages“ mit geringeren Schäden zu rechnen ist. Um bei den leichteren Konstruktionen häufigere Werftaufenthalte und Kosten zu vermeiden, ist es erforderlich, bereits bei der Konstruktion, beim Bau wie auch im Betrieb höhere Anforderungen an den Korrosionsschutz zu stellen.

#### **5.1.2.18 Empfehlungen für Standard-Motorgüterschiffe (Binnenschiff der Zukunft)**

Stellvertretend für eine Vielzahl von Modelluntersuchungen sollen nachfolgend die sich aus dem Forschungsprogramm [4] ergebenden Entwurfsempfehlungen für die Praxis zusammengefaßt dargestellt werden:

Für künftige Neubauten von großen Binnenfrachtschiffen stehen nunmehr Definitionen der erarbeiteten Optimalformen mit der Standardbreite von 11,40 m, Längen zwischen 80 m und 135 m und dem Antrieb durch 1 oder 2 Propeller zur Verfügung. Gleichzeitig werden nachfolgende Empfehlungen gegeben:

1. Verwendung von Propellerdüsen

Alle Neubauten der genannten Größenordnung sind grundsätzlich und ohne Ausnahme mit Propellerdüsen moderner Bauart auszurüsten. Deren bisher genannte Nachteile, wie verstärktes Ansaugen von Fremdkörpern, besondere Empfindlichkeit gegen Beschädigungen, schlechte Stopp- und Rückwärtsfahreigenschaften, dürfen bei modernen Ausführungen als abgeschwächt gelten.

## 2. Propellerdurchmesser

Die Propellerdurchmesser für Einschrauber und Zweischauber der Größenordnung GMS-110 m sollen im Bereich

$$D = 1,75 \text{ m}$$

liegen.

## 3. Propellerdrehsinn

Dieser sollte bei den Zweischauben-Entwürfen „über oben nach innen“ gewählt werden.

## 4. Tunnelführung, Endschürzen

Die Tunnelführung hinter den Propellern ist mit horizontalem Verlauf des Scheitels (ca. 1,85 m über Basis für die Schiffsgröße GMS-110 m) bis zum Spiegel zu gestalten.

## 5. Hauptruderanlagen

Aus Gründen der Energieeinsparung sind Einflächenruderanlagen dicht hinter dem Propeller eindeutig zu bevorzugen.

Einflächen-Flossenruder ergaben für das Manövrieren in der normalen Streckenfahrt, d.h. für reaktionsschnelles Ausweichen und Überholen, klare Vorteile gegenüber Zweiflächen-Hochleistungsrunder.

Mit Rücksicht auf die hier nicht geprüften Eigenschaften beim Wendemanöver oder bei kleinen Geschwindigkeiten (z.B. Schleusenmanöver, Bewegungen im Hafen oder auf Reede, eventuell auch Rückwärtsmanöver) kann im Einzelfall dennoch eine Entscheidung zugunsten des Zweiflächen-Hochleistungsruders richtig sein. In solchen Fällen ist jedoch ein erhöhter Bedarf an Vortriebsleistung zu akzeptieren.

Bei der Konzipierung, Planung und Ausführung des bei der Ruhrorter Schiffswerft gebauten und 1993 in Betrieb gegangenen Chemikalien-Tankers „Alchimist Lausanne“ wurden die Empfehlungen weitestgehend in die Praxis umgesetzt. Die während der Probefahrten wie auch während des Betriebs durchgeführten Messungen bestätigten das günstige Leistungs-Geschwindigkeitsverhalten sowie die sehr guten Manövriereigenschaften dieses Schiffsentwurfs.



### **5.1.2.19 Palettentransport**

Seit Herbst 2002 wird in den Niederlanden mit zwei speziell für den Palettentransport entwickelten und mit Regalsystemen ausgerüsteten Spezialschiffen (Kapazität rund 700 Euro-Paletten je Schiff) das vergleichsweise dichte Wasserstraßennetz der Niederlande befahren, wobei überwiegend verschiedene Supermarktketten und Großmärkte beliefert werden. Das System für die Beförderung der Paletten an Bord stammt aus der Luftfracht und ermöglicht es, die Paletten während der Fahrt zu sortieren und auf jede Palette einzeln zurückzugreifen. Die Zeit des Transports kann so für Serviceleistungen wie zum Beispiel Kommissionierung oder Etikettierung genützt werden. Außerdem kann das Schiff als schwimmendes Lager eingesetzt werden. Damit erfüllt das Schiff in dieser Konzeption nicht nur eine Transportfunktion, sondern es kann gleichzeitig auch Dispositionsaufgaben, Lagerfunktion u.ä. übernehmen.

### **5.1.2.20 Propellerentwicklungen**

Bei den Propellern hat es in den vergangenen Jahren weitere Entwicklungen zur Effizienzsteigerung gegeben:

– High-scew Propeller

Durch die Vergrößerung des Propeller-scews (verstärkte Sichelform) konnte neben einer Wirkungsgradverbesserung das durch die Propeller verursachte Vibrationsverhalten vermindert werden. Aus diesem Grund ist die Anwendung verstärkt im Bereich der Fahrgastschifffahrt anzutreffen. Nachteil des High-scew Propellers ist der gegenüber dem konventionellen Propeller festzustellende schlechtere Wirkungsgrad bei rückwärts drehendem Propeller. Der Einsatz erfolgt daher bevorzugt bei nicht rückwärts drehenden Antrieben, wie beim Ruderpropeller oder beim POT-Antrieb. Ein weiterer Nachteil ist die erhöhte Beschädigungsgefahr bei Grundberührung oder bei der Eisfahrt.

– Contra-rotating Propeller

Hierbei handelt es sich um zwei gegenläufige Propeller auf einer Propellerachse, mit denen ebenfalls eine beachtliche Wirkungsgradverbesserung gegenüber dem Single-Propeller zu erzielen ist. In der Binnenschifffahrt erfolgt die Anwendung dieser Antriebstechnik bei Ruderpropellern oder POT-Antrieben.

– Propellerdüsen

Auf die Empfehlung, heute bei Standard-Motorgüterschiffen ausnahmslos Propellerdüsen einzubauen, war bereits zuvor in Abschnitt 5.1.2.18 eingegangen

worden. Die Profilierung der Düsen, deren Einbindung in die Tunnel-Hinterschiffsform sowie die Auswahl eines optimalen Düsenpropellers wurde weiterentwickelt, so daß Wirkungsgradverbesserungen des Antriebssystems im Bereich von 20 % zu erzielen sind. Gleichzeitig sind die Nachteile, wie beispielsweise auch ein erhöhter Verschleiß von Düse und Propeller, in den Hintergrund getreten.

– **Material**

Während in der Vergangenheit überwiegend Propellerbronzen eingesetzt wurden, werden heute verschleißfeste Cu-Legierungen (z.B. CuNiAl) verwendet.

#### **5.1.2.21 Telematiksysteme**

Auch im Bereich der Telematiksysteme wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Projekten umgesetzt. Nachfolgende Ausführungen geben einen Überblick über die in Deutschland durchgeführten wichtigsten Projekte. Daneben gibt es eine Reihe weiterer vor allem in den Niederlanden und in Österreich durchgeführter Projekte, deren detaillierte Darstellung allerdings den Rahmen dieser Untersuchung sprengen würde.

**ARGO** – Fahrinneninformationssystem mit überlagerter Anzeige von Radarbild und elektronischer Karte. Das System befindet sich noch immer in der Test-Phase. Inland ECDIS oder Inland ENC (Inland Electronic Navigational Chart) wurden bisher für den Rhein von Iffezheim bis zur niederländischen Grenze, für den gesamten deutschen Streckenabschnitt der Donau und für 60 km des Mains hergestellt. Die Integration der Tiefeninformationen ist bisher nur im Bereich der Gebirgsstrecke des Rheins realisiert.

**ELWIS** – Bereitstellung und Übermittlung von nautischen Informationen. Mit ELWIS stellt die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes den Nutzern der Wasserstraßen seit dem 1. März 1999 nautische Informationen aller Art im Internet zur Verfügung. ELWIS ergänzt die vorhandenen Nachrichtenwege über Papier, Telefax, Telefon, Nautischen Informationsfunk (NIF), ersetzt sie aber nicht. Für ELWIS ist ein zentraler Server bei der Bundesanstalt für Wasserbau eingerichtet ([www.elwis.de](http://www.elwis.de)).

**NIF** – Nautischer Informationsfunk im Binnenschiffahrtfunk dient der Übermittlung von Nachrichten, die sich auf den Schutz von Personen oder die Fahrt und die Sicherheit von Schiffen beziehen. Der NIF ist seit 1. Januar 1995 im Einsatz.

**MIB** – Melde-Informationssystem für die Binnenschifffahrt wurde für den Rhein, den unteren Main und die westdeutschen Kanäle südlich des Mittellandkanals am 01.01.1995 eingeführt. Ziel von MIB ist die Steigerung der Sicherheit im Schiffstransport.

**MOVES** – Mosel-Verkehrserfassungssystem hat als Ziel die Verbesserung des Verkehrsablaufs an der Mosel. Das MOVES ist seit dem 1. Februar 2001 in Kraft.

**COPIT** – Computer in der Partikulierschifffahrt in integrierten Transportketten, umfaßt die Realisierung der Positionsbestimmungs-, Datenübertragungs- und Informationssysteme für einen Partikulier-Verbund im Hinblick auf die Einbindung in den kombinierten Verkehr ([www.copit.de/copit/](http://www.copit.de/copit/)).

**WABIS** – Wasserstraßen Betriebs- und Informationssystem befindet sich derzeit im Aufbau. Es soll, in Kombination mit einer GPS-Ortung, wichtige Verkehrsinformationen, wie z.B. die Schiffpositionen, auf elektronischen ECDIS-Karten für Reedereien und Schiffsführer verfügbar machen. Durch mögliche Echtzeit-Simulationen lassen sich auch bessere Prognosen des Schiffsverkehrs erstellen.

## **5.2 Gegenwärtig laufende Entwicklungen**

Die Darstellung der laufenden Entwicklungen bezieht sich auf Forschungsvorhaben und Entwicklungen, die als abgeschlossen gelten, jedoch in der Praxis noch nicht umgesetzt wurden und solche, die sich gegenwärtig noch in der Bearbeitungsphase befinden.

Da über einen großen Teil dieser Entwicklungen keine Veröffentlichungen vorliegen und auch abgeschlossene Vorhaben nicht grundsätzlich veröffentlicht werden, ist nachfolgende Darstellung nicht vollständig. Sie gibt jedoch einen Überblick über die gegenwärtig laufenden Entwicklungen.

### **5.2.1 Verbesserung der Hinterschiffsform hochbelasteter Mehrschraubentunnelschiffe durch Neuorientierung der Entwurfs- und Optimierungsmethoden**

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Antriebs schiebender Flachwasserschiffe ist die richtige Ausbildung ihrer komplizierten getunnelten Heckform. Deren Entwicklung und Optimierung stand bisher unter dem Handicap besonders schwieriger hy-

drodynamischer Verhältnisse und vor allem dem Problem, die Tunnelform zahlenmäßig zu definieren und systematisch zu variieren.

Demgegenüber wurden mit einer neuen Systematik erhebliche Verbesserungen erzielt. Neue Formbegriffe und Tunnelkennwerte erlauben erstmalig eine systematische Formvariation. Ein erweitertes Meßverfahren liefert den neu definierten Nutzschiebungsgütegrad anstelle des auf Flachwasser unzuverlässigen Propulsionsgütegrades.

Die neue Methodik erbrachte nicht nur Optimierungserfolge, sondern auch grundsätzliche neue Erkenntnisse zur Tunnelformgebung, die aber noch ungenutzt sind.

Die Substanz dieser Fortschritte und Erfahrungen wird durch ergänzende rechnerische und experimentelle Untersuchungen für die Praxis unmittelbar anwendbar gemacht.

### **5.2.2 Flachgehendes Binnenschiff (FLABI)**

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen des in Abschnitt 5.1.2.18 beschriebenen Projektes wurde von einem Forschungskonsortium ein Motorgüterschiff entwickelt, das aufgrund seiner Abmessungen und seiner Flachwassereigenschaften die Elbe befahren kann. Der von der Roßlauer Schiffswerft konzipierte Schiffsentwurf berücksichtigt speziell den Container- und RoRo-Transport, ist allerdings auch für den Massenguttransport einsetzbar. Kennzeichnend für diesen Schiffsentwurf ist die Anordnung der Wohnung und des Steuerhauses im Vorschiffsbereich. Der Antrieb erfolgt über Ruderpropeller, die über an Deck aufgestellte Dieselmotoren betrieben werden. Eine Umsetzung dieses Konzeptes in die Praxis hat bisher nicht stattgefunden.

### **5.2.3 Entwicklung von Gangbordalternativen zur Vergrößerung der Laderaubbreite**

Aufgrund der Schleusenbreite im kanalisiertem Binnenwasserstraßennetz von ca. 12 m beträgt die maximale Schiffsbreite für dieses Fahrtgebiet 11,45 m. Mit der sich hieraus ergebenden Laderaubbreite von ca. 10 m lassen sich zwar 4 ISO-1-Container nebeneinander, jedoch aufgrund ihrer größeren Abmessungen keine Wechselbehälter, Binnen- oder ISO-2-Container stauen.

Mit einer alternativen Gestaltung der Gangborde ließe sich gegebenenfalls die Laderaubbreite erhöhen und damit die Staumöglichkeiten der Transportbehälter deutlich verbessern.

Zu diesem Zweck wurden, unter Berücksichtigung der heute gültigen gesetzlichen Vorgaben für Durchgangsbreiten, Alternativen für die Gestaltung und Anordnung von Gangborden entwickelt und dargestellt.

Neben den technischen Möglichkeiten wurde darüber hinaus auch der Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Schiffstransports dargestellt.

#### **5.2.4 Erhöhung der zulässigen Breite von Binnenschiffen beim Befahren kanalisierter Binnenwasserstraßen**

Aufgrund der Schleusenbreiten im kanalisiertem Binnenwasserstraßennetz von ca. 12 m beträgt die maximale Schiffsbreite für dieses Fahrtgebiet 11,45 m. Mit der sich hieraus ergebenden Laderaumbreite von ca. 10 m lassen sich zwar 4 ISO-1-Container nebeneinander, jedoch aufgrund ihrer größeren Abmessungen keine Wechselbehälter, Binnen- oder ISO-2-Container optimal stauen.

Mit einer Schiffsverbreiterung könnte die Laderaumbreite vergrößert und damit die Staumöglichkeiten dieser Transportbehälter deutlich verbessert werden. Darüber hinaus würden sich der Anstieg der Tragfähigkeit und das größere Laderaumvolumen beim Transport von Massengütern ebenfalls positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.

Ob und unter welchen Rahmenbedingungen die heute maximal zulässige Schiffsbreite noch weiter erhöht werden kann, wurde in diesem Vorhaben untersucht. Hierbei spielten vor allem technisch-sicherheitsrelevante Fragen bei der Ein- und Ausfahrt von Schleusen wie auch die wirtschaftlichen Auswirkungen eine wesentliche Rolle. Die Ergebnisse können sowohl im Hinblick auf die Sicherheit beim Ein- und Ausfahren der Schleusen als auch auf die wirtschaftlichen Auswirkungen als grundsätzlich positiv bewertet werden.

#### **5.2.5 Numerische und experimentelle Untersuchungen der Umströmung flachgehender, getunnelter Binnenschiffe unter Einbeziehung der Propellerwirkung**

Bei Fahrt auf flachem Wasser ist die Wechselwirkung zwischen Rumpf und Propeller bisher noch nicht ausreichend untersucht. Insbesondere bei Binnenschiffen bestehen Schwierigkeiten bei der Gestaltung des komplizierten Hinterschiffs mit Tunnel.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde die effektive Nachstromverteilung an Binnenschiffen unter dem Einfluß flachen Wassers und unter Einbeziehung der Propellerwirkung numerisch und experimentell ermittelt.

Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen eine Verbesserung der Achterschiffsform und besonders der Tunnelgestaltung und damit letztlich eine Erhöhung der Effektivität des Antriebs. Dadurch sind vor allem wirtschaftliche Vorteile zu erwarten.

### **5.2.6 Erhöhung der Staukapazität und der Stausicherheit beim Transport von unterschiedlichen Transportbehältern mit dem Binnenschiff**

Entwicklungen im Containeraufkommen der Binnenschifffahrt zeigen, daß das Binnenschiff im Hinterland der Seehäfen eingesetzt wird.

Jedoch ergeben sich technisch-wirtschaftliche Probleme, wenn es darum geht, den Transport von Wechselbehältern, wie sie heute in einer sehr großen Stückzahl im Landtransport oder im kombinierten Transport mit LKW und Bahn eingesetzt werden, mit dem Binnenschiff durchzuführen. Für die Zukunft wird jedoch angestrebt, daß sich die Binnenschifffahrt einen Anteil am Transport von Wechselbehältern sichert und hiermit einen wesentlichen Beitrag zum umweltfreundlichen kombinierten Verkehr leistet.

In diesem Forschungsvorhaben ging es neben der Entwicklung geeigneter Stau-Systeme für den sicheren Stand unterschiedlicher Transportbehälter auch um die Darstellung der Wirtschaftlichkeit solcher Systeme.

### **5.2.7 Gemischter Transport von Transportbehältern und Massengut**

Das Ziel der Untersuchung war die verstärkte Einbindung der Binnenschifffahrt in kombinierte Transportketten. Zu diesem Zweck liefern die Ergebnisse der Untersuchung den an der Binnenschifffahrt Beteiligten Informationen über die technischen Möglichkeiten und Grenzen des "gemischten" Transports von Transportbehältern und Massengut. Weiterhin ist es mit Hilfe der für verschiedene Relationen durchgeführten Kostenanalysen möglich, die Frage zu klären, wann und unter welchen Randbedingungen ein solcher Transport aus wirtschaftlicher Sicht von Interesse ist. Hiermit werden die Möglichkeiten und Chancen, den Behältertransport mit dem Binnenschiff auch in Bereichen mit relativ geringem Behälteraufkommen oder mit einer ungünstigen Wasserstraßen-Infrastruktur (zum Beispiel niedrige Brücken-Durchfahrtshöhen in Kanälen und daher nur im zweilagigen Transport abzuwickeln) dargestellt.

### **5.2.8 Alternative Antriebsenergie**

#### – Solarzellen

Im Zusammenhang mit der Solarzellenentwicklung wurden eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt und bereits kleine Boote, die über große Deckflächen verfügen, mit Solarzellen ausgestattet, die eine Antriebsbatterie speisen. Inwieweit auch größer Einheiten mit dieser Technologie betrieben werden, bleibt abzuwarten.

#### – Brennstoffzellen

Die Brennstoffzellenentwicklung im Straßenverkehr führte inzwischen im Seeschiffsbereich – mit dem Schwerpunkt Unterwasserfahrzeuge – zu weiterführenden Forschungsaktivitäten. Im Bereich der Binnenschifffahrt wurde dieser Themenschwerpunkt bisher nur bei kleineren Einheiten behandelt.

In diesem Zusammenhang muß auch die Entwicklung von Stickstoffmotoren gesehen werden, deren Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit im Bereich der Binnenschifffahrt bisher ebenfalls nicht untersucht wurde.

### **5.2.9 Whale Tail**

Der Whale Tail Antrieb verbindet die Antriebssystematik des Heck-Schaufelradantriebes und den Voith-Schneider Antrieb. Er besteht aus im Hinterschiff horizontal angeordneten profilierten Antriebsflossen, die entgegen dem Schaufelradantrieb, komplett unter Wasser liegen.

Der große Vorteil wird in der Größe der Antriebsflossen gesehen, mit denen auch bei flachem Wasser ein großer Antriebsschub erzeugt werden kann.

### **5.2.10 Entwicklung extrem flachgehender Schubverbände (INBAT)**

Schwerpunkt des EU-Projektes, an dessen Durchführung ein europäisches Konsortium beteiligt ist, ist die Entwicklung flachgehender Schubverbände für die Elbe bzw. die Oder.

Zunächst wurden die Entwurfsparameter ermittelt und Konzepte entwickelt. In bezug auf Leichtbaumethoden (Sandwichtechnik) und Propulsionsanlagen wurden innovative Ansätze verfolgt, die unter anderem Konzepte für die Propulsion des Schubverbandes, Untersuchungen zu günstigen Schiffsformen für die Leichter, Untersuchun-

gen zum Manövrierverhalten in eng begrenztem Fahrwasser und die Entwicklung von Berechnungsmethoden für die Nutzen-Kosten-Analyse beinhalten.

Das Projekt befindet sich gegenwärtig in der Bearbeitung.

#### **5.2.11 Der Semikatamaran als Grundlage eines neuen Transportsystems für Binnenwasserstraßen**

Der Semikatamaran gehört zu den Flachwasserfahrzeugen. Wegen seiner großen Breite (hohe Stabilität) ist er besonders für die Beförderung von Containern und anderen Behältern (Trailer, Wechselbehälter) geeignet. Der unabhängig vom Beladungszustand nur wenig veränderliche Tiefgang macht den Katamaran auch als Containertransporter für Kanalstrecken attraktiv, auf denen allerdings der "Leertransport" wegen der geringen Brückendurchfahrtshöhen ein Problem darstellt.

Für den Einsatz auf dem Rhein und für die Kanalfahrt wurden zwei Katamarane mit angepaßter Breite entworfen ( $B = 22,9 \text{ m}; 11,45 \text{ m}$ ) und propulsionstechnisch im Modellversuch untersucht. Ergänzend wurden Wellen- und Bodendruckmessungen/-berechnungen vorgenommen. Hinsichtlich der Formgebung wurde besonderes Augenmerk auf die Gestaltung des verbindenden Mittelrumpfs gerichtet, um die Auswirkungen des bekannten negativen "Belüftungseffekts" auf den Antrieb zu vermeiden.

#### **5.2.12 Futura-Carrier**

Bei diesem Projekt handelt es sich ebenfalls um einen Semikatamaran, der im Containertransport eingesetzt werden soll und dessen Breite aufgrund des geplanten Baukastenprinzips entsprechend dem Transportkonzept variiert werden kann. Durch den in Schiffslängsrichtung wellenförmig gestalteten Verbindungsboden zwischen den Katamaranrümpfen und das Einbringen von Luftperlen wird eine deutliche Reduzierung der erforderlichen Antriebsleistung erwartet. Des weiteren soll durch die Form der Doppelrümpfe ein sehr niedriges Wellenbild erzeugt werden.

Das Projekt wird von einem größeren europäischen Forschungskonsortium bearbeitet und gegenwärtig der Öffentlichkeit vorgestellt.

#### **5.2.13 Entwicklung innovativer Containerschiffe für Binnenwasserstraßen zur Bewältigung wachsender Aufkommensmengen im Seehafen-Hinterlandverkehr**

Der weltweit steigende Containertransport erfordert die Entwicklung innovativer Containerschiffe für Binnenwasserstraßen zur Bewältigung der wachsenden Aufkom-



mensmengen im Seehafen-Hinterlandverkehr. Während in der Seeschifffahrt das Größenwachstum der Fahrzeuge in technischer Hinsicht primär den Hafenzufahrten und den Umschlagfazilitäten Rechnung tragen muß, ist das Größenwachstum der Binnenschiffe stark durch die tiefen- und seitenmäßigen Beschränkungen des Fahrwegs beschränkt. Hier müssen vor allem Interaktionsphänomene zwischen Schiff und Wasserstraße wie auch beim Begegnungs- und Überholvorgang berücksichtigt werden. Hinzu kommen Beschränkungen aufgrund der Brückendurchfahrthöhen und –breiten sowie der Hafenzufahrten.

Um Entwürfe geeigneter Containerbinnenschiffe für die zukünftige Flottenstruktur in Abhängigkeit vom Einsatzort rechtzeitig bereitstellen zu können, werden im Rahmen des Vorhabens sowohl hydrodynamische Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit und Umweltverträglichkeit als auch verkehrlich-logistische Leistungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit untersucht.

#### **5.2.14 New Opportunities for Inland Waterways Transport (INBISHIP)**

Bei diesem Projekt, welches von der EU unterstützt und von einem großen europäischen Konsortium durchgeführt wurde, stand die Weiterentwicklung des aus der Seeschifffahrt stammenden Azipod-Antriebs (Azimuthing Electric Propulsion Drive) und dessen Anwendung in der Binnenschifffahrt im Vordergrund. Verbesserungen werden erwartet unter anderem durch eine effizientere Antriebspropulsion, größeren Laderaum, geringeren Leertiefgang, usw..

#### **5.2.15 Zukunftsorientierte Technologien zur Modernisierung der Binnenschiffsflotte**

Für die Einführung von Neuerungen in die Schifffahrtspraxis kommen grundsätzlich zwei Wege in Betracht: der Neubau von Binnenschiffen sowie die nachträgliche Umrüstung der vorhandenen Flotte. Vor allem aufgrund der langen Nutzungsdauer der Binnenschiffe – das Durchschnittsalter der deutschen Flotte für den Transport von Trockengütern beträgt rund 50 Jahre -, aber auch aufgrund der angespannten wirtschaftlichen Lage ist die Neubautätigkeit vergleichsweise gering, so daß die Umsetzung der Neuerungen auf diesem Wege nur relativ langsam voranschreitet und damit nur längerfristig wirksam werden kann. Um kurz- bis mittelfristig eine Umsetzung technischer Neuerungen zu forcieren, bietet sich deshalb vorrangig die nachträgliche Umrüstung der vorhandenen Flotte an.

Das Ziel des Forschungsvorhabens besteht darin, die Implementierung technischer Neuerungen in die bestehende Binnenschiffsflotte gegenüber der bisherigen Praxis zu beschleunigen und damit die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit, v.a. der überwiegend mittelständisch geprägten deutschen Binnenschiffahrtsunternehmen, nachhaltig zu stärken.

### **5.2.16 Schubboot mit Heckschaufelantrieb**

Schaufelräder haben im Vergleich zum konventionellen Propellerantrieb einen größeren Wirkungsgrad. Des weiteren eignen sie sich aufgrund der nur gering eintauchenden Schaufelradblätter besonders gut für den Einsatz auf extrem flachen Gewässern. Die Nachteile dieses Systems sind der vergleichsweise große mechanische Aufwand und die erhöhte Beschädigungsgefahr bei Grundberührung oder einer Kollision mit schwerem Treibgut.

Der Einsatz dieses Antriebssystems beschränkt sich überwiegend auf Fahrgastschiffe, wobei es sich um historische Schiffe oder entsprechende Nachbauten handelt. Fahrgastschiffe unterscheiden sich gegenüber Güterschiffen durch einen geringeren Tiefgang und überwiegend auch durch eine größere Geschwindigkeit.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob und unter welchen Voraussetzungen der Heckschaufelantrieb eine geeignete Alternative für ein Schubboot auf extrem flachen Gewässern sein kann. Bei dem gegenwärtig noch laufenden Projekt spielt neben den technischen Anforderungen an das Schaufelradsystem selbst und an das Schubverbandssystem (z.B. Manövrierfähigkeit) die Wirtschaftlichkeit eine wesentliche Rolle.

## **5.3 Zukunftsideen**

Auch bei der Darstellung der Zukunftsideen ist davon auszugehen, daß nachfolgende Auflistung nicht alle Zukunftsideen erfaßt, jedoch einen Überblick über mögliche zukünftige Entwicklungen liefert.

### **5.3.1 Größenentwicklung (Interaktion zwischen Schiff und Wasserstraße)**

Der Einfluß der Schiffsabmessungen und des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit, den Leistungsbedarf und die Geschwindigkeit, wurde zuvor in Abschnitt 4.3 ausführlich dargestellt. Die Vergrößerung der Schiffe führt – angemessene Tiefgänge vorausgesetzt – insgesamt zu günstigen Kostenstrukturen.

Dafür ergeben sich bei einer Schiffsvergrößerung allerdings eine zunehmende Versperrung des Wasserstroms zum Propeller und eine weitere Annäherung des Schiffskörpers an die Wasserstraßenbegrenzung. Dies führt aus hydrodynamischer Sicht zu einer Erhöhung des Antriebsleistungsbedarfs und bei der Wasserstraße zu einer erhöhten Sohlen- und Böschungsbelastung. Aus diesem Grund dürfte zukünftig die Behandlung des Themas „Interaktion zwischen Schiff und Wasserstraße“ – nicht zuletzt auch aus Gründen der Verkehrssicherheit - ein zentrales Forschungsthema sein, wobei die Anforderungen an elektronische Wasserstraßen-Informationssysteme mit größer werdenden Schiffen zunehmen.

### **5.3.2 Automatische Kohle-Entladeeinrichtung auf Binnenschiffen**

Die Entwicklung auf dem deutschen Kohlemarkt verlagert sich weg von der heimischen Kohle hin zur Importkohle, die in den großen Seehäfen angelandet wird. Da der bisherige Bahntransport überwiegend mit speziellen Kohlewagen durchgeführt wurde, verfügen viele Kraftwerke nur zum Teil über leistungsstarke Krananlagen mit Greiferbetrieb. Hierdurch entstehen bei der Entladung der heute im Einsatz befindlichen Binnenschiffe Engpässe, so daß vielfach von einem Transport mit dem Binnenschiff abgesehen wird.

Diese Schwierigkeiten können durch ein in Anlehnung an das in Abschnitt 5.1.2.1 beschriebene Kies-Transportsystem entwickeltes bordeigenes Entladesystem umgangen werden. Allerdings kann davon ausgegangen werden, daß sich der Einsatz eines solchen Systems auf bestimmte Schiffstypen und Einsatzgebiete beschränkt.

### **5.3.3 Verbesserung der Flachwassereigenschaften durch zusätzliche Auftriebskörper**

Niedrige Wasserstände reduzieren die Tiefgänge und damit die Tragfähigkeit der Schiffe und führen im Extremfall zur Einstellung des Schiffsbetriebs (z.B. Elbe, Donau, Sommer 2003). Mit zusätzlichen Auftriebskörpern, die während der Fahrt in sehr flachem Wasser aktiviert werden, kann das Schiff „angehoben“ und damit in die Lage versetzt werden, den Flachstellenbereich zu passieren.

Hierzu gibt es verschiedene Ansätze:

- in die Schiffsseiten integrierte Auftriebskörper, die hydraulisch seitlich herausgeklappt und anschließend mit Luft beaufschlagt werden
- hochfeste Ballons, die in Tragrahmen gehalten, bei Bedarf ebenfalls seitlich ausgebracht und mit Luft beaufschlagt werden

- extrem breites und damit flachgehendes Schwimmdock, welches das Schiff anhebt und gemeinsam den Flachbereich passiert.

Bezüglich der praktischen Umsetzung kann auch im vorliegenden Fall von einer eingeschränkten Einsatzmöglichkeit ausgegangen werden. Des Weiteren ist die Umsetzung wesentlich abhängig vom erzielten Nutzen im Vergleich zu den zusätzlichen Herstell- und Betriebskosten.

Anmerkung:

Vielfach herrscht die Idee vor, unter dem Schiff Luft einzubringen und mit diesem „Luftkissen“ das Schiff anheben und damit den Tiefgang verringern zu können. Allerdings läßt sich mit dieser Methode der Tiefgang gegenüber einem „konventionellen“ Schiff ohne Luftkissen nicht verringern, weil das „archimedische Prinzip“, welches besagt, daß „das Gewicht der vom Schiff verdrängten Wassermenge dem Schiffsgewicht entspricht“, nicht umgangen werden kann.

Anders sieht es bei Mehrumpfschiffen, z.B. beim Katamaran, aus. Hier kann die tiefgangsvergrößernde Wirkung der schlanken Katamaranrümpfe durch ein Luftpolster zwischen den Rümpfen verringert werden.

#### **5.3.4 Split Ship**

Bei der aus England stammenden Idee handelt es sich um ein vergleichsweise breites längsgeteiltes Küstenmotorschiff, welches beim Befahren kleiner Binnenwasserstraßen in zwei Teile geteilt werden kann. Jede der beiden Schiffshälften verfügt über ein eigenes Antriebssystem, Steuerhaus, usw. und ist auf diese Weise unabhängig einsetzbar. Diesem System wird nur eine geringe praktische Umsetzbarkeit eingeräumt.

#### **5.3.5 RiverSnake**

Die RiverSnake ist ein Binnenschiffskonzept, bei dem eine größere Anzahl Leichter (z.B. 6 bis 9) flexibel miteinander verbunden sind und durch ein angekoppeltes Hauptschleppboot und 1 bis 2 Zwischenschleppboote angetrieben werden. Der Vorteil des Systems ist seine sehr große Ladefähigkeit. Gleichzeitig ist das System durch seine Flexibilität in der Lage, auch enge Flußkrümmungen durchfahren zu können. Durch mehrere Antriebsboote innerhalb des Systems kann das System in verschiedene Elemente geteilt werden, die dann jeweils unterschiedliche Häfen oder Verladestationen anlaufen können. Diesem System wie auch Modifikationen dieses

Systems können vor dem Hintergrund sich ändernder Rahmenbedingungen (z.B. größere Verkehrsdichte auf den Wasserstraßen) in Zukunft eine interessante Alternative sein. Allerdings sind bis zur praktischen Einführung umfangreiche Forschungsaktivitäten erforderlich, die sich schwerpunktmäßig auf die Kuppeltechnik, das Leistungs-Geschwindigkeitsverhalten und vor allem auf das Manövrierverhalten des Systems konzentrieren.

### **5.3.6 Bordkran**

Im heutigen Binnenschiffsverkehr erfolgt die Be- und Entladung der Schiffe in der Regel über stationäre in den Häfen befindliche Umschlaganlagen. Damit sind die Häfen die maßgeblichen Knotenpunkte, an denen der Umschlag erfolgt. Vor allem kleinere Häfen, insbesondere abseits des Rheinkorridors, wie z.B. Kanalhäfen, verfügen häufig nicht über die notwendige Infrastruktur für den Containerumschlag.

Vor diesem Hintergrund ist es möglicherweise sinnvoll, Containerschiffe mit einer bordeigenen Verladeeinrichtung auszurüsten. Damit können auch solche Häfen bzw. Regionen von Containerschiffen bedient und somit für den Schiffstransport von Transportbehältern besser erschlossen werden, in denen dies bislang nur in geringem Umfang möglich war.

In den Niederlanden wurde für eine bestimmte Relation ein existierendes kleines Schiff versuchsweise mit einem Bordkran ausgerüstet. Über den wirtschaftlichen Erfolg liegen allerdings keine Informationen vor.

### **5.3.7 Großpalette**

Bei dieser Idee geht es darum, mehrere Container neben- und übereinander auf einem Tragrahmen (Großpalette) zu stapeln und als ganze Einheit in das Binnenschiff zu verladen. Auch diesem System wird gegenwärtig nur eine geringe praktische Umsetzbarkeit eingeräumt.

## **6. Wirtschaftliche Bewertung**

### **6.1 Generelle Anmerkung**

Bei der wirtschaftlichen Bewertung kommt es nicht darauf an, die Wirtschaftlichkeit der Binnenschifffahrt grundsätzlich zu bewerten, sondern auf der Grundlage der Wirtschaftlichkeitsanalyse die Chancen für den Bau und den wirtschaftlichen Einsatz von innovativen Schiffstypen zu beurteilen.

Zu diesem Zweck werden unter realistischen Bedingungen die jährlichen Transportmengen, jährlichen Transportkosten sowie die sich hieraus ergebenden kostendeckenden Frachtraten für fünf existierende und zwei innovative Schiffstypen ermittelt und den marktüblichen Transportpreisen gegenübergestellt.

Dabei erfolgen die Berechnungen für den Transport von Massengut, wobei vorausgesetzt wird, daß genügend Massengut zur Verfügung steht, um die Schiffe entsprechend dem wasserstandsabhängigen Tiefgang vollständig, d.h. zu 100 %, zu beladen

Die Bewertung erfolgt zunächst allgemein anhand unterschiedlicher Fahrwassertiefen zwischen 1,30 bis 7,50 m (Abschnitt 6.3) und anschließend unter Berücksichtigung konkreter Wasserstandsverläufe auf den Relationen Hamburg-Dresden und Hamburg-Berlin (Abschnitt 6.4).

Sowohl bezüglich der existierenden als auch der innovativen Schiffstypen kann im Hinblick auf die Kostenermittlung jeweils zwischen zwei Fällen unterschieden werden:

#### **A Existierende Schiffstypen (Standardschiffe)**

1. bereits im Einsatz befindliche Schiffseinheiten mit niedrigem Wiederbeschaffungswert und entsprechend geringen Abschreibungen und Zinskosten, aber höheren Reparatur- und Instandhaltungskosten
2. Neubauten mit entsprechend höheren Abschreibungen und Zinskosten, aber geringeren Reparatur- und Instandhaltungskosten

#### **B Innovative Schiffstypen**

1. Neubauten nach heutigem Kenntnisstand (Innovationsstufe I)
2. Neubauten unter Annahme erfolgreicher Weiterentwicklungen durch zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (Innovationsstufe II)

Aufgrund der Langlebigkeit der Schiffe ist davon auszugehen, daß neu in Dienst gestellte innovative Schiffseinheiten (Innovationsstufe I) sich zumindest auf mittlere Sicht gegenüber den bereits heute im Einsatz befindlichen älteren Schiffen behaupten müssen. Von daher wird diese Konstellation bei der allgemeinen Analyse in Abschnitt 6.3 in dem Mittelpunkt gestellt. Ergänzend wird zum einen untersucht, welche Änderungen bei einer erfolgreichen Weiterentwicklung der innovativen Schiffstypen zu erwarten sind (Innovationsstufe II); zum anderen wird die Frage gestellt, ob bei der Entscheidung für einen Neubau die herkömmlichen Standardschiffe oder die innovativen Schiffstypen wirtschaftliche Vorteile aufweisen.

Sämtliche Berechnungen der Transportkosten beziehen sich – unabhängig von der jeweils unterstellten Konstellation - auf einen Partikulierbetrieb. Da gerade bei den Partikulierbetrieben die Kostenstrukturen sehr unterschiedlich sind und sich auch verändern, liegen nachfolgenden Berechnungen „realitätsnahe Mittelwerte“ zugrunde. Hierbei werden - neben eigenen Berechnungen - auch Dateninformationen aus [5] und [6] verwertet.

## **6.2 Relevante technische und betriebswirtschaftliche Daten der zu berücksichtigenden Schiffstypen**

Bei den existierenden Schiffen wurden folgende Fahrzeugtypen berücksichtigt:

- Typ 1: Gustav Koenigs (verl.)
- Typ 2: Johann Welker (verl.)
- Typ 3: Großmotorschiff
- Typ 4a): Elbe-Schubverband bestehend aus Elbe-Schubboot und 2 Elbe-Leichtern
- Typ 4b): Kanal-Schubverband, bestehend aus Kanal-Schubboot und 2 Leichtern, Typ Europa II

Bei den innovativen Schiffstypen handelt es sich um:

- Typ 5: Innovatives Motorschiff (Basisschiff Typ 2)
- Typ 6: Innovativer Schubverband (Basisschiff Typ 4a))

## **6.2.1 Existierende Schiffstypen**

### **6.2.1.1 Schiffstyp 1: Gustav Koenigs (verl.)**

#### **A) Allgemeine Beschreibung**

Dieser Schiffstyp wurde nach dem 2. Weltkrieg als Selbstfahrer aus dem Dortmund-Ems-Kanalschiff entwickelt. Seine Länge betrug 67 m. Im Zusammenhang mit dem Ausbau des europäischen Wasserstraßennetzes muß auch die häufig vorgenommene Verlängerung dieses Schiffstyps auf 80 m gesehen werden. Die Breite beträgt 8,20 m und der Tiefgang ist überwiegend auf 2,50 m beschränkt. Nachfolgend wird die Version „Gustav Koenigs (verl.)“ (GK<sub>verl.</sub>) zugrunde gelegt.

Der Schiffstyp GK<sub>verl</sub> ist ein Einhüllenschiff und verfügt nur über eine begrenzte Ballastkapazität. Er ist als Einschrauber konzipiert und eignet sich nicht als schiebendes Motorschiff im Koppelverband.

In nachfolgenden Tabellen sind für diesen Schiffstyp die für die wirtschaftlichen Betrachtungen wichtigen technischen (Tab. 10) und betriebswirtschaftlichen Daten (Tab. 11) zusammengefaßt.



## B) Technische Daten

Technische Daten			
Länge [m]		80,00	
Breite [m]		8,20	
Tiefgang max. [m]		2,50 <sup>1)</sup>	
Leertiefgang [m] <sup>2)</sup>	vorne	0,30	
	hinten	1,10	
	mittel	0,70	
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]		dw=0,6T-400 <sup>3)</sup>	
Tragfähigkeit max. [t]		1100	
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander	2	
	voreinander	9 <sup>4)</sup>	
	übereinander	2 <sup>5)</sup>	
	gesamt	36 <sup>4)</sup>	
Fixpunkthöhe leeres Schiff [m]		4,30 <sup>6)</sup>	
Fixpunkthöhe, Beladung mit Containern [m]	einlagig	3,30 <sup>7)</sup>	
	zweilagig	4,25 <sup>7)</sup>	
Installierte Antriebsleistung [kW]		750 <sup>8)</sup>	
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>	
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	18
		voll	16
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12
		voll	12
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11
		voll	11
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70
		voll	80
	stauger. Fluß	leer	20
		voll	40
	Kanal	leer	20
		voll	40
Brennstoffverbrauch <sup>12)</sup> [kg/h]	Fluß	leer	105
		voll	120
	stauger. Fluß	leer	30
		voll	60
	Kanal	leer	30
		voll	60

Tab. 10 Technische Daten des Typschiffs1, GK<sub>vert.</sub>

Anmerkungen zu Tab. 10:

- 1) Mit  $T_{\max} = 2,50$  m handelt es sich um einen „üblichen“ maximalen Tiefgang, der in Einzelfällen unterschritten (z.B. bei sehr alten Schiffen 2,0 m) aber auch überschritten (z.B. bei neueren Schiffen 2,70 m) werden kann.
- 2) Es handelt sich um den zwischen Vor- und Hinterschiff gemittelten Leertiefgang. In der Realität liegt das leere Schiff achterlich vertrimmt (siehe Abb. 10). Hierbei beträgt der vordere Tiefgang ca. 0,2 – 0,4 m, während der hintere Tiefgang ca. 1,0 m – 1,2 m beträgt. Leertiefgang und Vertrimmung können durch Ballastwasser beeinflusst werden, jedoch stehen beim Typ GK<sub>verl.</sub> aufgrund der Einhüllenbauweise Ballasttanks nur in einem beschränkten Umfang zur Verfügung.

Bezüglich der den nachfolgenden Berechnungen zugrunde zu legenden minimalen Tiefgänge muß berücksichtigt werden, daß durch Zuladung im vorderen Teil des Laderaums die Vertrimmung und damit auch der hintere Tiefgang vermindert werden kann. Hierdurch wächst allerdings die Gefahr, daß der Propeller austaucht und dies zu einer drastischen Verschlechterung des Propellerwirkungsgrades und der Manövrierfähigkeit führt. Somit ist aus hydrodynamischen wie auch aus manövriertechnischen Gründen ein Mindesttiefgang erforderlich, der beim Schiffstyp GK<sub>verl.</sub> auf 1,10 m festgelegt wird.

- 3) Die Tragfähigkeit (deadweight)  $dw$  kann mit geringen Abweichungen nach der Formel

$$dw = 0,6 T - 400$$

ermittelt werden.

Hierin bedeutet:

$$\begin{array}{ll} dw \text{ (Tragfähigkeit)} & \text{in [t]} \\ T \text{ (Tiefgang)} & \text{in [mm]} \end{array}$$

Die durch die Linearapproximation auftretenden Abweichungen sind mit maximal 3 % sehr gering, so daß sich die Formel für die Berechnung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs eignet.

- 4) Nur unter der Voraussetzung, daß die Laderaumlänge mehr als 54,5 m beträgt, lassen sich 9 TEU voreinander stauen. Liegt die Laderaumlänge, wie bei vielen Schiffen im Massenguttransport üblich, unter 54,5 m, lassen sich nur 8 TEU voreinander stauen. Damit läge die Gesamtzahl bei 32 TEU.

- 5) Aus Stabilitätsgründen aber besonders aufgrund einer sicheren Standfestigkeit der übereinander gestapelten Container werden nur 2 Lagen übereinander zugrunde gelegt.
  
- 6) Die Fixpunkthöhe des leeren Schiffes von ca. 4,30 m ergibt sich unter Berücksichtigung eines achterlichen Leertiefgangs von ca. 1,10 m (siehe Punkt 2) und eines maximalen Tiefgangs von 2,50 m. Die Fixpunkthöhe kann in beschränktem Maß durch Ballastwasser verringert werden. Bei Schiffen mit einem geringeren maximalen Tiefgang, z.B. statt 2,50 m 2,00 m, verringert sich die Seitenhöhe des Schiffes dementsprechend, so daß sich die Fixpunkthöhe ebenfalls um ca. 0,50 auf etwa 3,80 m verringern läßt. Bei einer Vergrößerung des maximalen Tiefgangs erhöht sich die Fixpunkthöhe des leeren Schiffes entsprechend.
  
- 7) Die Fixpunkthöhe eines mit Containern beladenen Schiffes ist abhängig von einer Vielzahl schiffsspezifischer und ladungsabhängiger Rahmenbedingungen, wie sie ausführlich in Abb. 6 dargestellt werden. Demzufolge handelt es sich bei den in den nachfolgenden Tabellen der technischen Daten dargestellten Fixpunkthöhen um Richtwerte, die sich bei der Berücksichtigung von „Durchschnittswerten“ oder „üblichen“ Bauarten einstellen. Somit müssen bei exakter Ermittlung der Fixpunkthöhe das konkrete Schiff wie auch die tatsächliche Containerbeladung, z.B. Leercontainer oder „schwere“ Exportcontainer, zugrunde gelegt werden.

Für die Ermittlung der Fixpunkthöhe wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Höhe des Laderaumbodens 0,40 m
- Höhe der Container 8 ½'
- Durchschnittsgewicht der Container 11 t/TEU
- Schiffsauslastung betr. Stellplätze 100 %
- keine Berücksichtigung von Ballast
- Fixpunkterhöhungen durch Vertrimmung und Krängung aufgrund ungleicher Ladungsverteilung vernachlässigt.

Im Falle des einlagigen Containertransportes ist die Fixpunkthöhe nicht von der Containerhöhe, sondern von der Fixpunkthöhe des mit einer Containerlage beladenen Schiffes abhängig.

- 8) Bei 750 kW handelt es sich um einen groben Mittelwert. Die Spanne liegt im Bereich zwischen ca. 450-850 kW. Die höheren Leistungswerte resultieren vielfach aus den Anforderungen für die Rheinschifffahrt, für die eine Mindestgeschwindigkeit von 13 km/h bei beladenem Schiff nachgewiesen werden muß.
- 9) Bei neuen Motoren kann mit einem spezifischen Brennstoffverbrauch von 0,18-0,19 kg/kWh gerechnet werden. Bei älteren Motoren liegt der Verbrauch im Bereich zwischen 0,2-0,22 kg/kWh, so daß die Zugrundelegung von 0,2 kg/kWh als realitätsnaher Durchschnittswert angesehen werden kann.
- 10) Zugrunde gelegt werden Daten aus [7] für einen frei fließenden Fluß mit großer Breite und einer Fahrwassertiefe von 5,0 m. Mit größer werdender Wassertiefe ist bei gleicher Antriebsleistung eine Geschwindigkeitserhöhung verbunden, bei abnehmender Wassertiefe eine Geschwindigkeitsverminderung (siehe Abb. 11). Bei der Geschwindigkeit handelt es sich um die „Schiffsgeschwindigkeit durch das Wasser“ ( $V_{\text{Wasser}}$ ). Diese Darstellung wird gewählt, weil die bei der Darstellung der „Geschwindigkeit gegenüber Land“ ( $V_{\text{Land}}$ ) geografisch sehr unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten ( $V_{\text{Ström}}$ ) zu berücksichtigen wären. Darüber hinaus wird die Strömungsgeschwindigkeit in sehr starkem Maße vom Wasserstand beeinflusst; mit zunehmendem Wasserstand ist eine Geschwindigkeitszunahme, mit abnehmendem Wasserstand eine Geschwindigkeitsreduzierung verbunden.

Die Geschwindigkeit  $V_{\text{Land}}$  ergibt sich in der Bergfahrt aus

$$V_{\text{Land}} = V_{\text{Wasser}} - V_{\text{Ström}}$$

und in der Talfahrt

$$V_{\text{Land}} = V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Ström}}$$

Beispiel:

Setzt man beispielsweise eine Strömungsgeschwindigkeit von 6 km/h (diese Geschwindigkeit ist z.B. bei normalen Wasserständen in weiten Bereich des Rheins anzutreffen) und eine Schiffsgeschwindigkeit gegenüber Wasser von 15 km/h voraus, ergibt sich für das beladene Schiff in der

Bergfahrt:  $V_{\text{Land Berg}} = 15 \text{ km/h} - 6 \text{ km/h} = 9 \text{ km/h}$

Talfahrt:  $V_{\text{Land Tal}} = 15 \text{ km/h} + 6 \text{ km/h} = 21 \text{ km/h}$

- 11) Im staugeregelten Fluß wie auch im Kanalbereich ist die maximal zulässige Geschwindigkeit im Normalfall durch die Ordnungsbehörden vorgegeben. Zu begründen ist diese Geschwindigkeitseinschränkung damit, daß in extrem seiten- und tiefenbeschränktem Fahrwasser die Strömungsverhältnisse um das Schiff und die Wellenbewegungen besonders stark ausgeprägt sind und mit steigender Geschwindigkeit überproportional zunehmen. Dies kann zu einer Zunahme der Bodenerosionen und Böschungsbeschädigungen aber auch zu einer verstärkten Sogwirkung der Schiffe zueinander bei Begegnungs- und Überholvorgängen führen, was durch die Vorgabe einer maximalen Schiffsgeschwindigkeit eingeschränkt wird. Bei den vorstehenden Geschwindigkeiten handelt es sich um Richtwerte, die im Einzelfall über- oder unterschritten werden können.
  
- 12) Es handelt sich um grobe Richtwerte, die im Zusammenhang mit den zuvor dargestellten Schiffsgeschwindigkeiten gesehen werden müssen. Die Umrechnung in Liter pro Stunde [l/h] ergibt sich durch Division mit ca. 0,835.

### C) Betriebswirtschaftliche Daten

Betriebswirtschaftliche Daten				
	lfd. Nr.	Bereich	Mio. €	%
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa)	1	Kasko <sup>1)</sup>	1,05	55
	2	Antriebsanlage <sup>2)</sup>	0,47	25
	3	sonst. Maschinenanlagen <sup>3)</sup>	0,19	10
	4	Ausrüstung u. Einrichtung <sup>4)</sup>	0,19	10
	5	gesamt	1,9 <sup>5)</sup>	100
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	1	Kasko	50	
	2	Antriebsanlage	20	
	3	sonst. Maschinenanlagen	15	
	4	Ausrüstung u. Einrichtung	15	
Zinssatz auf den halben Wert des Schiffes			5% <sup>6)</sup>	
Reparatur- und Instandhaltungskosten			25 €/tragf. Tonne <sup>7)</sup>	
Versicherung			12 €/tragf. Tonne <sup>8)</sup>	
sonstige Kosten			siehe Anmerkung <sup>9)</sup>	
Betriebsform			A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>	
Personal			2 Schiffsführer <sup>11)</sup> 1 Leichtmatrose	
Einsatztage pro Jahr			340 <sup>12)</sup>	
Brennstoffkosten [€/l]			0,225 <sup>13)</sup>	

Tab. 11 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 1, GK<sub>verl.</sub>

#### Anmerkungen zu Tab. 11:

- 1) Bei den in Tab. 11 auf Basis der Ergebnisse in [8] dargestellten Kaskokosten handelt es sich um Durchschnittswerte für die Fertigung in Westeuropa, die in jedem Einzelfall durch die speziellen Wünsche des Eigners oder der Schiffahrtsgesellschaft über- oder auch unterschritten werden können. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß gegenwärtig in Westeuropa nur sehr vereinzelt Binnenschiffe komplett gebaut werden. Das Kasko wird überwiegend in Osteuropa (Polen, Weißrußland, Rumänien usw.) oder auch in China gebaut und nur die Endausrüstung findet noch in Westeuropa statt.

Bezüglich der In Osteuropa gefertigten Kaskos kann festgestellt werden, daß die Qualität inzwischen derjenigen der westeuropäischen Werften entspricht. Durch den Einbau von Produkten mit westeuropäischer Qualität im Bereich der

Antriebsanlage sowie der Ausrüstung und Einrichtung ist gewährleistet, daß die Schiffe die hohen Anforderungen der westeuropäischen Binnenschifffahrt erfüllen. Aus diesen Gründen wird nachfolgenden Kostenrechnungen die Kaskofertigung außerhalb Westeuropas zugrunde gelegt.

Der seinerzeit in [8] festgestellte Kostenvorteil für Motorschiffe betrug – bezogen auf das Kasko – ca. 25 %. Dieser Kostenvorteil hat sich zwischenzeitlich verringert, so daß unter Berücksichtigung zusätzlicher Transportkosten nachfolgenden Rechnungen ein auf das Kasko bezogener Kostenvorteil von 20 % zugrunde gelegt wird. Bezogen auf den gesamten Neubaupreis reduziert sich damit der Kostenvorteil auf etwa 11 %.

- 2) Die hier dargestellten Kosten für die Antriebsanlage beinhaltet neben dem Motor das Getriebe, Wellenlager und den Propeller.
- 3) Bei den sonstigen Maschinenanlagen handelt es sich um Manövrieranlagen (Ruder, Ruderantrieb), Pumpen, Kompressoren, Heiz- und Lüftungssysteme usw..
- 4) Ausrüstung und Einrichtung beinhaltet die nautische Ausrüstung (Radar, Wendeanzeiger, Selbststeueranlage usw.) Überwachungssysteme, Verkabelungen wie auch die Ausrüstung und Einrichtung der Wohn- und Aufenthaltsräume.
- 5) Bei den existierenden Schiffen stellt sich die Frage nach dem Restwert, der in nachfolgenden Rechnungen mit 20 % des heutigen Neubaupreises (Wiederbeschaffungswert, Kaskofertigung außerhalb Westeuropas) zugrunde gelegt wird.

Der Restwert eines älteren Schiffes ist zunächst in starkem Maße von seinem „Erhaltungszustand“ abhängig. Wertvergrößernd sind beispielsweise die Erneuerung der Antriebsanlage, stark beanspruchter Konstruktionsteile wie des Schiffsbodens sowie der Ausrüstung und Einrichtung. Einen weiteren Einfluß haben regelmäßige Wartungsarbeiten und die konsequente Durchführung von Reparaturarbeiten. Des weiteren ist der Restwert unter anderem davon abhängig, ob in der Vergangenheit verstärkt größere und leistungsfähigere Schiffe in den Markt gekommen sind. Dies trifft zumindest im Bereich des Rheins zu, bei dem die Zulassung von einzeln fahrenden Fahrzeugen bis zu einer Länge von 135 m zu einer merklichen Zunahme der - überwiegend unter niederländischer

und belgischer Flagge fahrenden – 135 m aber auch 110 m langen Großmotorschiffe führte (siehe Abschnitt 5.1.1).

Unter diesem Gesichtspunkt ist die Festlegung des Restwertes auf 20 % des Wiederbeschaffungswertes möglicherweise zu hoch und führt damit zu überhöhten Betriebskosten. Da es jedoch in vorliegender Untersuchung um den wirtschaftlichen Vergleich zwischen existierenden Schiffen und innovativen Neubauten geht und zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei allen existierenden Schiffen der gleiche Restwertanteil zu berücksichtigen ist, erscheint die Zugrundelegung von 20 % als angemessen.

Bezüglich der Lebensdauer der im Einsatz befindlichen Schiffe wurde eine weitere Restnutzungsdauer und damit ein Abschreibungszeitraum von 15 Jahren zugrunde gelegt.

- 6) Der Zinssatz wurde vor dem Hintergrund des gegenwärtigen niedrigen Zinsniveaus auf 5 % festgelegt.
- 7) Gerade bei den älteren Fahrzeugen können die Reparatur- und Instandhaltungskosten deutlich schwanken. Der eingesetzte Wert von 25 €/Tragf. Tonne ist demnach ein grober Richtwert, der sich für ältere Schiffe aus Kalkulationsrichtlinien aus [5] ergibt und in vorliegender Untersuchung auch für die Schubverbände eingesetzt wird. Für Neubauten wird der Wert auf 12 €/Tragf. Tonne halbiert.
- 8) Auch bei den Versicherungsgebühren von 12 €/Tragf. Tonne handelt es sich um einen Richtwert, der sich aus den Kalkulationsrichtlinien aus [5] ergibt und auch für die Schubverbände eingesetzt wird.
- 9) Die sonstigen Kosten beinhalten bei den wegeabhängigen Kosten einen Pauschalbetrag von ca. 2.500 €/a zur Abdeckung von Befahrungsgebühren (z.B. Kanal-, Hafen-, Liegegebühren) und einen zusätzlichen Zuschlag von 2,5 % auf die gesamten Einsatzkosten zur Abdeckung von Steuern, Verwaltung usw.. Mögliche Gewinne werden nicht berücksichtigt.
- 10) Zunächst wird davon ausgegangen, daß der Schiffstyp GK<sub>verl.</sub> nicht nur die Elbe und die Märkischen Wasserstraßen, sondern auch das übrige Wasserstraßen-



netz wie auch den Rhein befährt. Aus diesem Grunde wird bei der Festlegung der Besatzung die Rheinschiffs-Untersuchungsordnung (RheinSchUO) zugrunde gelegt.

Die Betriebsform A2, d.h. bis zu 18 Betriebsstunden pro Tag, wird gewählt, weil diese Betriebsform in der Praxis für diesen Schiffstyp häufig vorkommt. Darüber hinaus macht diese Betriebsform auch Sinn im Hinblick auf die beschränkten Platzverhältnisse an Bord, d.h. die für die Betriebsform B (Continue-Fahrt) erforderliche Besatzungszahl lässt sich nur unter Schwierigkeiten unterbringen.

Zwar beinhaltet die Betriebsform A1, d.h. bis zu 14 Betriebsstunden pro Tag, Einsparungen bei den Personalkosten, jedoch würden sich die Transportzeiten entsprechend der kürzeren täglichen Betriebszeit erhöhen und damit die Transportkosten wieder ansteigen.

- 11) Bei den Personalkosten erfolgt eine Anlehnung an die in [6] dargestellte Einkommensstruktur in der deutschen Binnenschifffahrt (Tab. 12), wobei zur Abdeckung von Urlaubsgeld, Springermannschaft, Sozialabgaben usw. in den nachfolgenden Rechnungen ein Zuschlag von 40 % berücksichtigt wurde.

<b>Funktion</b>	<b>Jahreseinkommen</b>
Leichtmatrose	€ 12.000
Bootsmann/Matrose	€ 21.000
Steuermann	€ 23.000
Schiffsführer	€ 29.000

Tab. 12 Einkommen für verschiedene Funktionsebenen in Binnenschifffahrtsunternehmen in Deutschland [6]

- 12) 340 Einsatztage pro Jahr beinhalten einen ca. dreiwöchigen Werftaufenthalt und 5 Ausfalltage für besondere Feiertage, Hochwasser usw..

- 13) Bei den Brennstoffkosten wird ein gemittelter Brennstoffpreis von  
 ca. 25,00 €/100 l

aus [9] zugrunde gelegt. Wird dieser Wert nicht auf „Liter“, sondern auf kg bezogen, ergeben sich

ca. 30,00 €/100 kg.

### **6.2.1.2 Schiffstyp 2: Johann Welker (verl.)**

#### **A) Allgemeine Beschreibung**

Von diesem Schiffstyp, der nach dem 2. Weltkrieg als Einzelfahrer aus dem Rhein-Herne-Kanalkahn entwickelt wurde, leitete sich später das Europaschiff ab. Das Schiff verfügte zunächst über eine Länge von 80 m und war überwiegend auf einen Tiefgang von 2,50 m limitiert. Mit zunehmender Erweiterung der Wasserstraßeninfrastruktur wurde der Schiffstyp in den 70er-Jahren vielfach auf 85 m, in Einzelfällen auch bis zu 110 m, verlängert und im Falle des Neubaus mit einem Tiefgang von 2,70 m gebaut. Die Breite beträgt 9,50 m.

Auch der Schiffstyp JW<sub>verl.</sub> ist überwiegend als Einhüllenschiff gebaut und verfügt als solches demzufolge nur über eine begrenzte Ballasttankkapazität.

Er ist als Einschrauber konzipiert und eignet sich – bei entsprechender Motorleistung – auch als schiebendes Motorschiff im Koppelverband.

In nachfolgenden Tabellen sind für diesen Schiffstyp die technischen (Tab. 13) und betriebswirtschaftlichen Daten (Tab. 14) zusammengefaßt. Hierbei wird auf die jeweiligen Anmerkungen zu den Tabellen – soweit sie inhaltlich identisch sind mit den Anmerkungen zum Schiffstyp GK<sub>verl.</sub> – weitgehend verzichtet.

## B) Technische Daten

Technische Daten			
Länge [m]		85,00	
Breite [m]		9,50	
Tiefgang max. [m]		2,70 <sup>1)</sup>	
Leertiefgang [m] <sup>2)</sup>	vorne	0,40	
	hinten	1,20	
	mittel	0,80	
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]		dw=0,78 T-600 <sup>3)</sup>	
Tragfähigkeit max. [t]		1500	
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander	3	
	voreinander	9 <sup>4)</sup>	
	übereinander	3 <sup>5)</sup>	
	gesamt	81 <sup>5)</sup>	
Fixpunkthöhe leeres Schiff [m]		4,40 <sup>6)</sup>	
Fixpunkthöhe, Beladung mit Containern [m]	einlagig	3,25 <sup>7)</sup>	
	zweilagig	4,05 <sup>7)</sup>	
	dreilagig	6,25 <sup>7)</sup>	
Installierte Antriebsleistung [kW]		900 <sup>8)</sup>	
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>	
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	20
		voll	17
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12
		voll	12
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11
		voll	11
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70
		voll	80
	stauger. Fluß	leer	20
		voll	40
	Kanal	leer	20
		voll	40
Brennstoffverbrauch [kg/h] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	126
		voll	144
	stauger. Fluß	leer	36
		voll	72
	Kanal	leer	36
		voll	72

Tab. 13 Technische Daten des Typschiffs 2, JW<sub>verl.</sub>

Anmerkungen zu Tab. 13:

- 1) Mit  $T_{\max} = 2,70$  m handelt es sich um den Tiefgang bei neueren Schiffen dieses Typs. Bei älteren Schiffen ist der Tiefgang vielfach auf 2,50 m beschränkt.
- 2) Mit 0,80 m handelt es sich um den gemittelten Leertiefgang. Durch die achterliche Vertrimmung des leeren Schiffes ergibt sich hinten ein Leertiefgang von ca. 1,20 m, der auch aus hydrodynamischen und manövriertechnischen Gründen erforderlich ist.
- 3) siehe Typschiff 1,  $GK_{\text{verl}}$ .
- 4) als heutiger Neubau 10 TEU
- 5) Eine Stapelung von 3 Containern übereinander ist im kanalisiertem Wasserstraßennetz aufgrund der niedrigen Brückendurchfahrtshöhen überwiegend nicht möglich, so daß zweilagig gestapelt wird und sich in diesem Fall die Gesamtzahl der Container auf 54 TEU reduziert.
- 6) 4,40 m gelten für ein Schiff mit einem Tiefgang von 2,70 m. Verringert sich der Schiffstiefgang auf z.B. 2,50 m, reduziert sich die Fixpunkthöhe auf ca. 4,20 m.
- 7) zugrunde gelegte Daten siehe Typschiff 1,  $GK_{\text{verl}}$ .
- 8) Die Spanne liegt zwischen 700-1200 kW.
- 9) bis 12) siehe Typschiff 1,  $GK_{\text{verl}}$ . (Tab. 10)

### C) Betriebswirtschaftliche Daten

Betriebswirtschaftliche Daten				
	lfd. Nr.	Bereich	Mio. €	%
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa)	1	Kasko <sup>1)</sup>	1,1	55
	2	Antriebsanlage	0,5	25
	3	sonst. Maschinenanlagen <sup>3)</sup>	0,2	10
	4	Ausrüstung u. Einrichtung <sup>4)</sup>	0,2	10
	5	gesamt	2,0 <sup>5)</sup>	100
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	1	Kasko	50	
	2	Antriebsanlage	20	
	3	sonst. Maschinenanlagen	15	
	4	Ausrüstung u. Einrichtung	15	
Zinssatz auf den halben Wert des Schiffes			5% <sup>6)</sup>	
Reparatur- und Instandhaltungskosten			25 €/tragf. Tonne <sup>7)</sup>	
Versicherung			12 €/tragf. Tonne <sup>8)</sup>	
sonstige Kosten			siehe Anmerkung <sup>9)</sup>	
Betriebsform			A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>	
Personal			2 Schiffsführer <sup>11)</sup> 1 Leichtmatrose	
Einsatztage pro Jahr			340 <sup>12)</sup>	
Brennstoffkosten [€/l]			0,225 <sup>13)</sup>	

Tab. 14 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 2, JW<sub>verl.</sub>

Anmerkungen zu Tab. 14:

1) bis 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 11)

#### 6.2.1.3 Schiffstyp 3: Großmotorschiff, L = 110 m (GMS-110 m)

##### A) Allgemeine Beschreibung

Die maximale Schiffslänge einzeln fahrender Fahrzeuge auf dem Rhein war bis Oktober 1995 auf 110 m beschränkt, so daß der überwiegende Teil der in den vergangenen ca. 30 Jahren gebauten Schiffe über diese Länge verfügt. Seit diesem Zeitpunkt besteht die Möglichkeit, die Schiffslänge von 110 m auf 135 m zu erhöhen. Die Breite dieses Schiffstyps beträgt in den meisten Fällen 11,40 m, so daß auch Fahrtgebiete außerhalb des Rheins, z.B. die staugestützten Nebenflüsse des Rheins wie Mosel, Main usw., sowie die gut ausgebauten Kanalsysteme, befahren werden können. Soll allerdings der Neckar befahren werden, ist die Schiffslänge auf 105 m zu begrenzen.

Dieser Schiffstyp wird überwiegend als Einschrauber gebaut. Er eignet sich besonders gut als schiebendes Motorschiff im Koppelverband, wobei er dann allerdings häufig als Zweischauber eingesetzt wird. Das GMS-110 m wird im Normalfall als Doppelhüllenschiff gebaut und verfügt aus diesem Grund über eine große Ballastwasserkapazität. Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Containeraufkommens im Rheinbereich müssen die konstruktiven Veränderungen im Gangbordbereich gesehen werden, die zu einer Laderaumbreite von ca. 10 m geführt haben. Mit dieser Laderaumbreite ist es möglich, 4 ISO-1 Container nebeneinander zu stauen.

Dieser Schiffstyp hat sich im Rheinbereich und in den benachbarten Wasserstraßen als „ökonomischer“ Schiffstyp bewährt.

In nachfolgenden Tabellen sind für diesen Schiffstyp die technischen (Tab. 15) und betriebswirtschaftlichen Daten (Tab. 16) zusammengefaßt.

## B) Technische Daten

Technische Daten			
Länge [m]		110,00	
Breite [m]		11,40 (11,45) <sup>1)</sup>	
Tiefgang max. [m]		3,50 <sup>1)</sup>	
Leertiefgang [m] <sup>2)</sup>	vorne	0,50	
	hinten	1,50	
	mittel	1,00	
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]		dw=1,2T-1200 <sup>3)</sup>	
Tragfähigkeit max. [t]		3000	
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander	4	
	voreinander	13 <sup>4)</sup>	
	übereinander	4 <sup>5)</sup>	
	gesamt	208 <sup>4)</sup>	
Fixpunkthöhe leeres Schiff [m]		5,10 <sup>6)</sup>	
Fixpunkthöhe, Beladung mit Containern [m]	dreilagig	5,94 <sup>7)</sup>	
	vierlagig	8,06 <sup>7)</sup>	
Installierte Antriebsleistung [kW]		1100 <sup>8)</sup>	
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>	
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	20
		voll	18
	stauger. Fluß	leer	12
		voll	12
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11
		voll	11
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70
		voll	80
	stauger. Fluß	leer	20
		voll	40
	Kanal	leer	20
		voll	40
Brennstoffverbrauch <sup>12)</sup> [kg/h]	Fluß	leer	154
		voll	176
	stauger. Fluß	leer	44
		voll	88
	Kanal	leer	44
		voll	88

Tab. 15 Technische Daten des Typschiffs 3, GMS-110 m

Anmerkungen zu Tab. 15:

- 1) Die heutigen Zulassungsvorschriften lassen eine Breite von 11,45 m zu, so daß die Neubauten dieses Schiffstyps über diese Breite verfügen.
- 2) Mit 1,0 m handelt es sich um den gemittelten Leertiefgang. Durch die achterliche Vertrimmung des leeren Schiffes ergibt sich hinten ein Leertiefgang von ca. 1,50 m, der auch aus hydrodynamischen und manövriertechnischen Gründen erforderlich ist.
- 3) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>
- 4) keine Anmerkung
- 5) Im kanalisierten Wasserstraßennetz ist aufgrund der niedrigen Brückendurchfahrthöhen nur eine zweilagige Stapelung möglich, so daß sich in diesem Fall die Gesamtzahl der Container auf 104 TEU reduziert.
- 6) Die Fixpunkthöhe des leeren Schiffes kann durch Ballastwasser verringert werden. Die maximale Ballastwassermenge beträgt ca. 850 t, was zu einer Tiefer-tauchung von ca. 0,70 m und damit zu einer Fixpunkthöhe von ca. 4,40 m führt.
- 7) Zugrunde gelegte Daten siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>, Doppelbodenhöhe jedoch 0,60 m.  
Bei der ein- und zweilagigen Containerstauung ist die Fixpunkthöhe des Schiffes maßgeblich, d.h. sie liegt unter Berücksichtigung von Ballastwasser bei ca. 4,40 m.

Die sich für die drei- und vierlagige Containerstauung ergebenden Fixpunkthöhen ergeben sich ohne Berücksichtigung von Ballastwasser. Bei der dreilagigen Stauung kann durch Aufnahme der kompletten Ballastmenge die Fixpunkthöhe um ca. 0,70 m auf 5,24 m verringert werden. Bei der vierlagigen Stauung kann nur eine Teilmenge des Ballastwassers aufgenommen werden, weil ansonsten der maximale Schiffstiefgang von 3,50 m überschritten würde. Die durch Ballastwasser erzielbare Tiefer-tauchung beträgt in diesem Fall ca. 0,60 m und die Fixpunkthöhe ca. 7,46 m.



8) Die Spanne liegt zwischen 1000-1500 kW. Bei Doppelschraubern und schiebenden Motorschiffen beträgt die installierte Leistung ca. 2000 kW.

9) bis 12) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 10)

### C) Betriebswirtschaftliche Daten

Betriebswirtschaftliche Daten				
	lfd. Nr.	Bereich	Mio. €	%
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa)	1	Kasko <sup>1)</sup>	1,61	55
	2	Antriebsanlage <sup>2)</sup>	0,74	25
	3	sonst. Maschinenanlagen <sup>3)</sup>	0,29	10
	4	Ausrüstung u. Einrichtung <sup>4)</sup>	0,29	10
	5	gesamt	2,93 <sup>5)</sup>	100
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	1	Kasko	50	
	2	Antriebsanlage	20	
	3	sonst. Maschinenanlagen	15	
	4	Ausrüstung u. Einrichtung	15	
Zinssatz auf den halben Wert des Schiffes			5% <sup>6)</sup>	
Reparatur- und Instandhaltungskosten			25 €/Tragf. Tonne <sup>7)</sup>	
Versicherung			12 €/Tragf. Tonne <sup>8)</sup>	
sonstige Kosten			siehe Anmerkung <sup>9)</sup>	
Betriebsform			A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>	
Personal			2 Schiffsführer <sup>11)</sup> 2 Leichtmatrosen	
Einsatztage pro Jahr			340 <sup>12)</sup>	
Brennstoffkosten [€/l]			0,225 <sup>13)</sup>	

Tab. 16 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 3, GMS-110 m

Anmerkungen zu Tab. 16:

1) bis 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 11)

#### **6.2.1.4 Schiffstyp 4a): Elbe-Schubverband**

##### **A) Allgemeine Beschreibung**

Der Schubverband besteht aus einem in der Elberegion eingesetzten Schubboot und mehreren Leichtern. Entsprechend dem jeweiligen Einsatzgebiet und den dort maximal zulässigen Abmessungen kommen unterschiedliche Leichtergrößen und Verbandsformationen zum Einsatz.

Zugrunde gelegt wird ein Schubverband in Spargelformation, bestehend aus Schubboot, 1 Leichter L = 65,00 m und 1 Leichter L = 32,50 m.

## B) Technische Daten

Technische Daten					
		Schubboot		Leichter	
				groß	klein
Länge [m]		18-22		65,00	32,50
Breite [m]		ca. 8,0		8,20 <sup>4)</sup>	8,20 <sup>4)</sup>
Tiefgang max. [m]		1,40 <sup>1)</sup>		2,32 <sup>1)</sup>	2,32 <sup>1)</sup>
Leertiefgang [m]		1,20 <sup>2)</sup>		0,45 <sup>2)</sup>	0,45 <sup>2)</sup>
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]				dw=0,506 T-212 <sup>3)</sup>	dw=0,253 T-91 <sup>3)</sup>
Tragfähigkeit max. [t]				960	490
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander			2 (3) <sup>4)</sup>	2 (3) <sup>4)</sup>
	voreinander			8	4
	übereinander			2 <sup>5)</sup>	2 <sup>5)</sup>
	gesamt			32 (48) <sup>4)</sup>	16 (24) <sup>4)</sup>
Fixpunkthöhe leeres Schiff [m]		3,20 <sup>6)</sup>		2,82	2,50
Fixpunkthöhe, Beladung mit Containern [m]	einlagig			3,20 <sup>7)</sup>	3,20 <sup>7)</sup>
	zweilagig			4,47 (4,12) <sup>7)</sup>	4,53 (4,18) <sup>7)</sup>
Installierte Antriebsleistung [kW]		2x400 <sup>8)</sup>			
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>			
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	18		
		voll	15		
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12		
		voll	12		
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11		
		voll	11		
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70		
		voll	80		
	stauger. Fluß	leer	20		
		voll	40		
	Kanal	leer	20		
		voll	40		
Brennstoffverbrauch [kg/h] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	112		
		voll	128		
	stauger. Fluß	leer	32		
		voll	64		
	Kanal	leer	32		
		voll	64		

Tab. 17 Technische Daten des Schiffstyps 4a), Elbe-Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 17:

- 1) Beim maximalen Tiefgang des Schubbootes von 1,40 m handelt es sich um einen Tiefgang mit vollen Brennstoff- und Trinkwassertanks.

- 2) Beim Leertiefgang des Schubbootes von 1,20 m handelt es sich um einen Tiefgang mit teilgefüllten Brennstoff- und Trinkwassertanks. Eine weitere Reduzierung ist zwar theoretisch möglich, macht aber aus hydrodynamischen und manövriertechnischen Gründen wenig Sinn. Des weiteren wären bei sehr geringem Brennstoff- und Trinkwasservorrat zusätzliche Zwischenstopps zu berücksichtigen.

Der Leertiefgang der nur geringfügig vertrimmten Leichter ist mit ca. 0,45 m deutlich geringer als der Leertiefgang des Schubbootes, so daß in der Leerfahrt nicht die Leichter, sondern das Schubboot tiefgangsbestimmend ist.

- 3) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>
- 4) Die Laderaumbreite der Elbeleichter läßt nur die Stauung von 2 Containern nebeneinander zu. Allerdings wurden diverse Leichter, die speziell auf der Elbe, dem Elbe-Seitenkanal und dem Mittellandkanal im Containerdienst eingesetzt werden, von 8,20 m auf 9,50 m verbreitert, so daß 3 Container nebeneinander Platz haben.
- 5) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>
- 6) Die Fixpunkthöhe des Schubbootes bezieht sich auf den Leertiefgang von 1,20 m. Sie kann verringert werden durch Füllen der Brennstoff- und Trinkwassertanks. Sie ergibt sich unter der Voraussetzung, daß das Schubboot über ein Hubsteuerhaus verfügt, welches auf das Niveau der übrigen Aufbauten abgesenkt werden kann.
- 7) zugrunde gelegte Daten siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>

Beim einlagigen Containertransport ist die Fixpunkthöhe des Verbandes abhängig von der des Schubbootes.

- 8) Die Spanne liegt zwischen 700-1000 kW.
- 9) bis 12) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 10)

### C) Betriebswirtschaftliche Daten

Betriebswirtschaftliche Daten								
			Schubboot		Elbeleichter			
					groß		klein	
	lfd. Nr.	Bereich	Mio. €	%	Mio. €	%	Mio. €	%
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa)	1	Kasko <sup>1)</sup>	0,56	37	0,32	95	0,14	88
	2	Antriebsanlage <sup>2)</sup>	0,5	33				
	3	sonst. Maschinenanlagen <sup>3)</sup>	0,22	15				
	4	Ausrüstung u. Einrichtung <sup>4)</sup>	0,22	15	0,02	5	0,02	12
	5	gesamt	1,50	100	0,35	100	0,16	100
	6	Summe (Mio. €)	2,00 <sup>5)</sup>					
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	1	Kasko	40					
	2	Antriebsanlage	20					
	3	sonst. Maschinenanlagen	15					
	4	Ausrüstung u. Einrichtung	15					
Zinssatz auf den halben Wert des Verbandes			5% <sup>6)</sup>					
Reparatur- und Instandhaltungskosten			25 €/Tragf. Tonne <sup>7)</sup>					
Versicherung			12 €/Tragf. Tonne <sup>8)</sup>					
sonstige Kosten			siehe Anmerkung <sup>9)</sup>					
Betriebsform			A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>					
Personal			2 Schiffsführer <sup>11)</sup> 1 Bootsmann 2 Leichtmatrosen					
Einsatztage pro Jahr			340 <sup>12)</sup>					
Brennstoffkosten [€/l]			0,225 <sup>13)</sup>					

Tab. 18 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 4a), Elbe-Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 18:

1) bis 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 11)

#### 6.2.1.5 Schiffstyp 4b): Schubverband-Kanal

##### A) Allgemeine Beschreibung

Der Schubverband besteht aus einem Schubboot und zwei Leichtern Typ Europa II und ist speziell auf der Mosel seit langem im Einsatz.

Diese Verbandsgröße ist allerdings auf der Elbe (siehe Abschnitt 6.4.1.1, Tab. 33) zwischen Hamburg und Dresden nicht zulässig. Auf der Strecke zwischen Hamburg und Berlin muß unterschieden werden zwischen dem Elbeabschnitt Hamburg-Magdeburg und den Märkischen Wasserstraßen. Auf dem Elbeabschnitt kann der Verband in der Talfahrt wie auch in der Bergfahrt mit nebeneinander gekoppelten Leichtern eingesetzt werden, wobei in der Bergfahrt bei einer Fahrrinntiefe größer

2,00 m auch die Spargelformation (Leichter voreinander gekoppelt) zulässig ist. Auf den Märkischen Wasserstraßen ist diese Verbandsgröße gegenwärtig nicht zulässig.

Um jedoch auch auf den konkreten Relationen Hamburg-Dresden und Hamburg-Berlin die verschiedenen Schiffstypen miteinander vergleichen zu können, wird diese Verbandsformation – und zwar unabhängig von den gegenwärtigen Zulassungsverordnungen und im Vorgriff auf die Fertigstellung des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit, Projekt 17 (VDE-Projekt 17) - ebenfalls berücksichtigt.

Eine Beballastung der Leichter ist aufgrund der Doppelhüllenbauweise möglich, wird in der Praxis aus Korrosionsgründen jedoch nur sehr selten praktiziert.

In nachfolgenden Tabellen sind die technischen (Tab. 19) und betriebswirtschaftlichen (Tab. 20) Daten zusammengefaßt.

## B) Technische Daten

Technische Daten				
		Schubboot		1 Leichter
Länge [m]		27-30		76,50
Breite [m]		11,4 (11,45) <sup>4)</sup>		11,4 (11,45) <sup>4)</sup>
Tiefgang max. [m]		1,40 <sup>1)</sup>		2,80 <sup>1)</sup>
Leertiefgang [m]		1,20 <sup>2)</sup>		0,50 <sup>2)</sup>
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]				dw=0,804 T-401 <sup>3)</sup>
Tragfähigkeit max. [t]				1850
Anzahl Container [TEU]	nebeneinander			3 (4) <sup>4)</sup>
	voreinander			10 <sup>4)</sup>
	übereinander			3 <sup>5)</sup>
	gesamt			90 (120) <sup>4)5)</sup>
Fixpunkthöhe leeres Schiff [m]		3,30 <sup>6)</sup>		3,50
Fixpunkthöhe, Beladung mit Containern [m]	einlagig			3,50 <sup>7)</sup>
	zweilagig			4,50 (4,20) <sup>7)</sup>
Installierte Antriebsleistung [kW]		2x500 <sup>8)</sup>		
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>		
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	18	
		voll	15	
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12	
		voll	12	
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11	
		voll	11	
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70	
		voll	80	
	stauger. Fluß	leer	20	
		voll	40	
	Kanal	leer	20	
		voll	40	
Brennstoffverbrauch [kg/h] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	140	
		voll	160	
	stauger. Fluß	leer	40	
		voll	80	
	Kanal	leer	40	
		voll	80	

Tab. 19 Technische Daten des Schiffstyps 4b), Kanal-Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 19:

- 1) Beim maximalen Tiefgang des Schubbootes von 1,40 m handelt es sich um einen Tiefgang mit vollen Brennstoff- und Trinkwassertanks.
- 2) Wie zuvor beim Elbe-Schubboot handelt es sich beim Leertiefgang von 1,20 m um einen Tiefgang mit teilgefüllten Brennstoff- und Trinkwassertanks. Der Leertiefgang der nur geringfügig vertrimmten Leichter ist mit ca. 0,50 m deutlich geringer als der Leertiefgang des Schubbootes, so daß in der Leerfahrt nicht die Leichter, sondern das Schubboot tiefgangsbestimmend ist.
- 3) siehe Typschiff GK<sub>verl.</sub>
- 4) Die maximal zulässige Breite beträgt 11,45 m, so daß im Falle eines Neubaus die Schiffe über diese Breite verfügen würden. Die Laderaumbreite der heutigen Leichter beträgt im Normalfall ca. 9 m und läßt damit nur eine Stauung von drei Containern nebeneinander zu. In wenigen Ausnahmefällen, insbesondere bei Leichtern, die für die Containerfahrt konzipiert wurden, beträgt die Laderaumbreite knapp 10 m, so daß vier Container nebeneinander gestaut werden können.

Die Standard-Laderaumlänge beträgt im unteren Teil des Laderaums ca. 65 m, so daß nur zehn 20'-Container hintereinander Platz finden.

- 5) Die Stapelung von drei Containern übereinander ist im kanalisierten Wasserstraßenbereich aufgrund der niedrigen Brückendurchfahrtshöhen überwiegend nicht möglich, so daß zweilagig gestapelt wird und sich damit die Gesamtzahl der Container auf 60 (80) TEU reduziert.
- 6) Die Fixpunkthöhe des Schubbootes bezieht sich auf den Leertiefgang von 1,20 m. Sie kann verringert werden durch Füllen der Brennstoff- und Trinkwassertanks. Sie ergibt sich unter der Voraussetzung, daß das Schubboot über ein Hubsteuerhaus verfügt, welches auf das Niveau der übrigen Aufbauten abgesenkt werden kann.
- 7) Zugrunde gelegte Daten siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub>, Doppelbodenhöhe der Leichter jedoch 0,60 m.



8) Die Spanne liegt zwischen 800-1200 kW.

9) bis 12) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 10)

### C) Betriebswirtschaftliche Daten

Betriebswirtschaftliche Daten						
			Schubboot		1 Leichter Typ E II	
	lfd. Nr.	Bereich	Mio. €	%	Mio. €	%
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa)	1	Kasko <sup>1)</sup>	1,1	49	0,58	96
	2	Antriebsanlage <sup>2)</sup>	0,6	27		
	3	sonst. Maschinenanlagen <sup>3)</sup>	0,3	14		
	4	Ausrüstung u. Einrichtung <sup>4)</sup>	0,25	11	0,03	4
	5	gesamt	2,25	100	0,60	100
	6	Summe (Mio. €)	3,45 <sup>5)</sup> (1 Schubboot, 2 Leichter)			
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	1	Kasko	40			
	2	Antriebsanlage	20			
	3	sonst. Maschinenanlagen	15			
	4	Ausrüstung u. Einrichtung	15			
Zinssatz auf den halben Wert des Verbandes			5% <sup>6)</sup>			
Reparatur- und Instandhaltungskosten			25 €/Tragf. Tonne <sup>7)</sup>			
Versicherung			12 €/Tragf. Tonne <sup>8)</sup>			
sonstige Kosten			siehe Anmerkung <sup>9)</sup>			
Betriebsform			A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>			
Personal			2 Schiffsführer <sup>11)</sup> 1 Bootsmann 2 Leichtmatrosen			
Einsatztage pro Jahr			340 <sup>12)</sup>			
Brennstoffkosten [€/l]			0,225 <sup>13)</sup>			

Tab. 20 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 4b), Kanal-Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 20:

1) bis 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 11)

## **6.2.2 Innovative Schiffstypen**

### **6.2.2.1 Allgemeines**

Bei der Darstellung der technischen und betriebswirtschaftlichen Daten der innovativen Schiffstypen ist zu berücksichtigen, daß die Erarbeitung der exakten technischen Details den Rahmen dieser Untersuchung beträchtlich übersteigen würde. Aus diesem Grund werden realitätsnahe Annahmen getroffen und schiffstechnische Überschlagsrechnungen durchgeführt.

Beim wirtschaftlichen Vergleich der existierenden Schiffstypen mit den innovativen Schiffstypen wird davon ausgegangen, daß es sich bei den innovativen Schiffen nicht um „Spezialschiffe“ im Sinne einer „Spezialisierung“ handelt, sondern daß diese Schiffe beispielsweise die gleichen Güter wie die existierenden Schiffe transportieren und auch das gleiche Wasserstraßennetz befahren können. Selbstverständlich ist es möglich, durch eine Spezialisierung, z.B. auf ein bestimmtes Transportgut, wie beispielsweise die Ausführungen zum Kiestransport auf der Oberweser in Abschnitt 5.1.2.1 belegen, wirtschaftliche Vorteile zu erzielen.

Weiterhin sind durch die Spezialisierung auf ein bestimmtes Fahrtgebiet zusätzliche Einsparpotentiale zu realisieren. So gelten beispielsweise nur die örtlichen Bau- und Bemannungsrichtlinien, so daß Investitions- und Betriebskosten reduziert werden können.

Auf der anderen Seite ist der Einsatz eines solchen Schiffes entsprechend seiner Spezialisierung eingeschränkt und führt nicht selten dazu, daß bestimmte Wasserstraßen nicht befahren oder günstige Wassertiefen nicht genutzt werden können. Damit ist ein Vergleich dieser spezialisierten Schiffe mit den existierenden Schiffen nicht sinnvoll.

Gleiches gilt für den Fall, daß sich die behördlichen Vorgaben im Hinblick auf die maximalen Schiffsabmessungen geändert haben oder noch ändern werden, wie beispielsweise die Vergrößerung der Schiffsabmessungen nach Fertigstellung des Verkehrsprojekts Deutsche Einheit, Projekt 17.

Selbstverständlich wären bei der Konzipierung eines neuen Schiffes oder Schubverbandes die neuen maximal zulässigen Schiffsabmessungen zu berücksichtigen. Aber auch in diesem Fall ist ein Vergleich mit den existierenden kleineren Einheiten nicht sinnvoll. Darüber hinaus ist in Abschnitt 4.3.2 ausführlich der Einfluß der Schiffsabmessungen auf die Tragfähigkeit beschrieben worden.

Aus vorstehenden Gründen und um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden Maßnahmen, die sich aus einer Spezialisierung der Schiffe oder der Änderung der Schiffsabmessungen ergeben, im Sinne dieses Projektes nicht zu den innovativen Maßnahmen gezählt. Demzufolge sind bei der Konzipierung der innovativen Schiffstypen die wesentlichen Parameter, wie Hauptabmessungen, Einsatzgebiet, Massenguttransport usw., des zugrunde gelegten Typschiffs 2, JW<sub>verl.</sub>, sowie des Typschiffs 4a), Elbe-Schubverband unverändert übernommen worden.

### 6.2.2.2 Schiffstyp 5: Innovatives Motorschiff

#### A) Technische Daten

Durch innovative Maßnahmen, die sich nicht aus einer Spezialisierung ergeben, werden die Veränderungen a) bis d) gegenüber dem Typschiff 2, JW<sub>verl.</sub> berücksichtigt:

#### a) Verringerung des Leertiefgangs durch Ausgleich des Leertrimms

Zuvor in Abschnitt 6.2.1 wurde festgehalten, daß der mit einer konventionellen Propeller- und Ruderanlage ausgerüstete Schiffstyp 2, JW<sub>verl.</sub> mit ca. 0,80 m einen vergleichsweise geringen mittleren Tiefgang aufweist. Jedoch beträgt durch die achterliche Vertrimmung des leeren Schiffes sowie aus hydrodynamischen und manövriertechnischen Gründen der achterliche Mindestleertiefgang ca. 1,20 m.

Um eine Ladungsaufnahme auch bei einem geringeren Tiefgang als 1,20 m zu gewährleisten und bei diesem Tiefgang einen angemessenen Vortrieb sicherzustellen, ist

- 1) die achterliche Vertrimmung zu kompensieren und gleichzeitig
- 2) ein anderes Antriebskonzept zu wählen.

Allerdings ist bei der unter 1) genannten Maßnahme zu berücksichtigen, daß damit die Tragfähigkeit des Schiffes nicht erhöht wird, sondern nur die Möglichkeit geschaffen wird, bereits bei einem Tiefgang ab 0,80 m Ladung aufzunehmen.

zu 1)

Die achterliche Vertrimmung wird kompensiert durch

- die Verlegung der Wohnung und des Steuerhauses in den Vorschiffsbereich (siehe Roßlauer-Entwurf, Abschnitt 5.2.2). Der sich ergebende Nachteil besteht in einer schwierigeren Steuerung des Schiffes, der sich besonders in engen kurvenreichen Bereichen auswirken kann. Diese Schwierigkeiten lassen sich

auch durch zusätzliche Hilfsmaßnahmen, wie z.B. Rückspiegel, Kameras im Hinterschiffsbereich, nur teilweise kompensieren, so daß vermehrte Grundberührungen im Hinterschiffsbereich nicht auszuschließen sind und das Befahren navigatorisch anspruchsvoller Bereiche mit sehr langsamer Geschwindigkeit zu erfolgen hat.

- die Verlagerung der Hilfsmaschinen, Trinkwassertanks, einen Teil der Brennstofftanks und sonstiger Ein- und Ausrüstungsgegenstände vom Hinterschiff zum Vorschiff.
- den Einbau leichter, schneller drehender Antriebsmotore.  
 Der sich ergebende Nachteil kann in höheren Wartungs- und Instandhaltungskosten der schneller drehenden Motore gegenüber den konventionellen Schiffsmotoren liegen. In der wirtschaftlichen Betrachtung werden diesbezüglich allerdings keine zusätzlichen Kosten berücksichtigt.

zu 2)

Bei der Veränderung des Antriebskonzeptes besteht die Möglichkeit, den zum Vortrieb erforderlichen Schub auf mehrere Propeller zu verteilen, höhenverstellbare Ruderpropeller einzubauen oder Pumpjet-Antriebe zu verwenden. Andere alternative Antriebskonzepte, wie z.B. Voith-Schneider-, POT- oder Whale-Tail-Antrieb, werden aufgrund ihres hohen Beschädigungsrisikos nicht in Erwägung gezogen.

Die Verteilung des Schubes auf mehrere Propeller macht unter dem Gesichtspunkt, daß der Leertiefgang ca. 0,80 m betragen soll, d.h. die Propeller sehr klein sein müssen und damit eine Vielzahl von Propeller-Antriebsanlagen erforderlich ist, ebenfalls wenig Sinn. Der Einbau von 2 höhenverstellbaren Ruderpropellern, wie häufig bei Kiesfahrzeugen im Baggerbetrieb eingesetzt, wird im vorliegenden Fall ebenfalls nicht in Betracht gezogen, weil hiermit eine angemessene Vortriebskraft mit den bei Niedrigwasser angehobenen Propellern nicht gewährleistet wird.

Aus diesem Grund werden 2 Pumpjet-Antriebe vorgesehen. Ein weiterer Vorteil der Jet-Antriebe ist der Wegfall der Ruder und Ruderantriebsanlage. Nachteil der Jetanlage ist allerdings ein deutlich geringerer Propulsionsgütegrad gegenüber einer konventionellen Propeller-Antriebsanlage, d.h. ein deutlich höherer Leistungsbedarf zwischen 20 bis 40 %. Bei der wirtschaftlichen Betrachtung wird dies unter Berücksichtigung einer erfolgreichen Weiterentwicklung der Jet-Antriebe durch eine ca. 25 % höhere Antriebsleistung berücksichtigt.

Ein weiterer Nachteil des Jetantriebes ist die Verschleißanfälligkeit, speziell bei Flachwasserfahrt in sandigen und kiesigen Wasserstraßenbereichen. Dieser Nachteil kann abgemildert werden, wenn die Kielfreiheit zwischen Schiffsboden und Wasserstraßengrund vergrößert wird. Durch diese Maßnahme wird allerdings der Vorteil der Leertiefgangsverringering von 1,20 m auf 0,80 m vermindert. Nachfolgend wird deshalb von einer Vergrößerung der Kielfreiheit abgesehen und zur Kompensation der Verschleißanfälligkeit werden zwei weitere Ausfalltage pro Jahr für Werftaufenthalt und Reparaturen berücksichtigt.

**b) Erhöhung der Tragfähigkeit durch Gewichtsverminderung des Schiffes**

Wie bereits zuvor in Abschnitt 5.1.2.18 deutlich gemacht wurde, sind die Möglichkeiten einer Gewichtsreduzierung durch die Verwendung höherfester oder leichterer Materialien zum einen beschränkt und führen zum anderen nicht selten zu diversen Nachteilen. Unabhängig davon wird jedoch nachfolgend davon ausgegangen, daß es gelingt, vor allem durch konstruktive Maßnahmen im Kaskobereich wie auch bei der Einrichtung und Ausrüstung des Schiffes, z.B. durch die Verwendung der leichteren und höher drehenden Antriebsmotoren, das Gewicht unter optimistischen Bedingungen um ca. 10 % zu reduzieren, ohne dabei die zuvor dargestellten Nachteile in Kauf nehmen zu müssen.

Damit verringert sich das Leergewicht des Schiffes um ca. 40 t, d.h. von ca. 420 t auf ca. 380 t.

**c) Erhöhung der Tragfähigkeit durch Vergrößerung des Blockkoeffizienten im Hinterschiff**

Im Zusammenhang mit der Anordnung von 2 Jetantrieben im Hinterschiff bietet es sich an, die Schiffsförm im Hinterschiff völliger zu gestalten. Damit entsteht zunächst ein weiterer Effekt zur Verminderung der achterlichen Vertrimmung. Des weiteren wird hiermit der Auftrieb in diesem Bereich vergrößert, was zu einer entsprechenden Vergrößerung der Tragfähigkeit führt. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß durch diese Maßnahme das Widerstandsverhalten des Schiffes nicht negativ beeinflußt werden darf. Aus diesem Grund wird nur eine Erhöhung des Blockkoeffizienten von 2 % zugrund gelegt. Dies führt zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit bei vollem Schiff um ebenfalls ca. 40 t.

Durch die Gewichtsverminderung von ca. 40 t gemäß Punkt b) und durch die Erhöhung der Tragfähigkeit um ca. 40 t aufgrund des um ca. 2 % vergrößerten Blockkoeff-

fizienten gemäß Punkt c) verändert sich die für den Schiffstyp 2,  $JW_{\text{verl.}}$ , dargestellte Tragfähigkeitsformel auf

$$dw = 0,78 T - 530$$

sowie der Leertiefgang von 0,80 m auf

$$T_{\text{leer}} = 0,70 \text{ m.}$$

**d) Verminderung des Leistungsbedarfs durch Optimierung der Schiffsform**

Im Zusammenhang mit der Anordnung der 2 Jetantriebe im Hinterschiff bietet es sich an, die Schiffsform im Hinblick auf eine Widerstandverminderung zu optimieren. In nachfolgenden Ausführungen wird davon ausgegangen, daß es gelingt, hierdurch den Leistungsbedarf bei gleicher Schiffsgeschwindigkeit um ca. 10 % zu reduzieren. Gleichzeitig ist jedoch der unter a) beschriebene höhere Leistungsbedarf der Jetantriebe von ca. 25 % zu berücksichtigen, so daß insgesamt ein höherer Leistungsbedarf von ca. 15 % zugrunde gelegt wird.

Auf Basis vorstehender Ausführungen sind in Tab. 21 die technischen Daten – soweit sie für die wirtschaftliche Betrachtung von Bedeutung sind – dargestellt.

Technische Daten			
Länge [m]		85,00	
Breite [m]		9,50	
Tiefgang max. [m]		2,7 <sup>1)</sup>	
Leertiefgang [m]		0,70	
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]		dw = 0,78T-530	
Tragfähigkeit max. [t]		1580	
Installierte Antriebsleistung [kW]		1150	
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>	
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	20
		voll	17
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12
		voll	12
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11
		voll	11
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70
		voll	80
	stauger. Fluß	leer	20
		voll	40
	Kanal	leer	20
		voll	40
Brennstoffverbrauch <sup>12)</sup> [kg/h]	Fluß	leer	161
		voll	184
	stauger. Fluß	leer	46
		voll	92
	Kanal	leer	46
		voll	92

Tab. 21 Technische Daten des Typschiffs 5, Innovatives Motorschiff

Anmerkungen zu Tab. 21:

1) und 9) - 12) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 10)

## B) Betriebswirtschaftliche Daten

Bei den betriebswirtschaftlichen Daten sind folgende Veränderungen gegenüber dem Typschiff 2, JW<sub>verl.</sub>, zu beachten:

### a) Neubauinvestitionen

Bei den Kostenrechnungen für die innovativen Schiffe, bei denen es sich um Neubauten handelt, wird zunächst der komplette Wiederbeschaffungswert für eine Fertigung in Westeuropa zugrunde gelegt. Jedoch erfolgt später, wie zuvor für Schiffs-

typ 1 unter 1) bemerkt, aufgrund der Kaskofertigung außerhalb Westeuropas eine Reduzierung der Neubaupreise um 11 %.

Des weiteren wird unterstellt, daß sich durch die leichtere Bauweise des Kaskos die Kaskokosten um ca. 15 % erhöhen, d.h. bezogen auf die gesamten Neubaukosten ergibt sich eine Steigerung um ca. 8 %.

Bei den übrigen Bauelementen wird davon ausgegangen, daß trotz einer Gewichtsverminderung keine Kostensteigerungen entstehen (z.B. werden Jet-Antriebe durch den Wegfall des Getriebes, der Wellenanlage und des Propellers kompensiert), so daß sich die Neubauinvestitionen bei Fertigung in Westeuropa auf ca. 2,16 Mio. € belaufen.

#### **b) Nutzungsdauer**

Aufgrund der leichteren Bauweise und der höhertourigen Antriebsmotoren muß mit einer verkürzten Lebensdauer des Schiffes und der Anlagenteile gerechnet werden. Allerdings wird davon ausgegangen, daß durch intensive Instandhaltungsmaßnahmen und durch die Verwendung z.B. hochwertiger Farbanstriche auch beim innovativen Motorschiff mindestens eine 40-jährige Lebensdauer zugrunde gelegt werden kann. Somit wird der Abschreibungszeitraum auf 40 Jahre festgelegt.

#### **c) Einsatztage pro Jahr**

Obwohl bei diesem Schiffstyp mit einem höheren Aufwand für Reparaturen und Instandhaltungen zu rechnen ist, wird davon ausgegangen, daß die hierfür anfallenden Kosten vergleichbar sind mit denen der existierenden Schiffe. Diese waren mit 12 €/Tragf. Tonne für Neubauten festgelegt worden. Allerdings ist mit einer größeren Anzahl von Ausfalltagen zu rechnen, die gemäß a) der technischen Beschreibung auf etwa 2 Tage festgelegt wurden. Damit ändern sich die Einsatztage pro Jahr von 340 auf 338.

In Tab. 22 sind die betriebswirtschaftlichen Daten des Schiffstyps 5, Innovatives Motorschiff, dargestellt.



Betriebswirtschaftliche Daten	
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa) Mio. €	2,16
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	40
Zinssatz auf den halben Wert des Schiffes	5% <sup>6)</sup>
Reparatur- und Instandhaltungskosten	12 €/Tragf. Tonne <sup>7)</sup>
Versicherung	12 €/Tragf. Tonne <sup>8)</sup>
sonstige Kosten	siehe Anmerkung <sup>9)</sup>
Betriebsform	A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>
Personal	2 Schiffsführer 1 Leichtmatrose <sup>11)</sup>
Einsatztage pro Jahr	338
Brennstoffkosten [€/l]	0,225 <sup>13)</sup>

Tab. 22 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 5, Innovatives Motorschiff

Anmerkungen zu Tab. 22:

6), 7) bis 11) und 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>verl.</sub> (Tab. 11)

### 6.2.2.3 Schiffstyp 6: Innovativer Schubverband

Beim innovativen Schubverband ist zu unterscheiden zwischen Maßnahmen am Schubboot und Maßnahmen an den Schubleichtern.

#### A) Innovative Maßnahmen am Schubboot

##### a) Verringerung des Tiefgangs

Bei der Verringerung des Tiefgangs des Schiffstyps 4a), Elbe-Schubboot ist zu beachten, daß mit dieser Maßnahme die Tragfähigkeit des Schubverbandes nicht beeinflußt wird, sondern nur die Möglichkeit geschaffen wird, auch Wasserstraßenbereiche bei sehr geringen Fahrwassertiefen befahren zu können.

In Abschnitt 6.2.1.4 war dargestellt worden, daß der Tiefgang des mit konventionellen Propellerantriebs- und Ruderanlagen ausgerüsteten Schubbootes von 1,20 m eine Teilbefüllung der Brennstoff- und Trinkwassertanks beinhaltet. Eine weitere Reduzierung der Brennstoff- und Trinkwasservorräte macht wenig Sinn, weil in diesem Fall Zwischenstopps zum Nachtanken erforderlich sind. Des weiteren ist der Tiefgang von 1,20 m aus hydrodynamischen und manövriertechnischen Gründen als Mindesttiefgang zu betrachten. Dies bedeutet, daß sich zur Verringerung des Tiefgangs folgende Maßnahmen anbieten:

- 1) Wahl eines anderen Antriebskonzeptes
- 2) Gewichtsverminderung des Schubbootes
- 3) Vergrößerung des Blockkoeffizienten

zu 1):

Aus gleichen Gründen wie zuvor beim innovativen Motorschiff Typ 5 werden 2 Pumpjet-Antriebe vorgesehen. Der wesentliche Vorteil dieser Maßnahme besteht darin, den bei einer konventionellen Propellerantriebsanlage aus hydrodynamischer und manövriertechnischer Sicht erforderlichen Mindesttiefgang von 1,20 m reduzieren zu können. Die hiermit verbundenen weiteren Vor- und Nachteile sind zuvor beim innovativen Motorschiff ausführlich beschrieben worden. Dies bedeutet, daß in der wirtschaftlichen Betrachtung aufgrund höherer Wartungs- und Instandhaltungskosten 2 zusätzliche Ausfalltage und aufgrund des deutlich geringeren Propulsionsgütegrades ein ca. 25 % höherer Leistungsbedarf berücksichtigt wird.

zu 2):

Auch bei der Gewichtsverminderung des Schubbootes kann, wie zuvor für das innovative Motorschiff, eine Gewichtsverminderung des Kaskos durch konstruktive Maßnahmen wie auch bei der Einrichtung und Ausrüstung durch die Verwendung leichter Motoren und Materialien erzielt werden. Es wird bei optimistischen Bedingungen mit einem Potential von maximal 15 % gerechnet.

zu 3):

Auch beim Schubboot besteht, wie zuvor beim innovativen Motorschiff, die Möglichkeit, im Zusammenhang mit der Anordnung von 2 Jetantrieben im Hinterschiff die Form des Unterwasserschiffes völliger zu gestalten. Ein negativer Einfluß auf das Widerstandsverhalten des Schubbootes wird – wenn überhaupt - nur in der Alleinfahrt des Schubbootes erwartet und nicht, wenn das Boot im Verband mit den Leichtern operiert. Allerdings ist eine Erhöhung des Blockkoeffizienten um mehr als 10 % nicht realistisch.

Mit dieser Maßnahme wie auch mit der unter 2) beschriebenen Gewichtsverminderung von maximal 15 % läßt sich der Tiefgang des Schubbootes von ca. 1,20 m auf ca. 0,90 m verringern.

**b) Verminderung des Leistungsbedarfs durch Optimierung der Schiffsform**

Bei der Verminderung des Leistungsbedarfs durch die Optimierung der Schiffsform muß der gesamte Schubverband in die Betrachtung einbezogen werden. Hier geht es zunächst darum, die Widerstände an den Übergängen zwischen den Leichtern selbst (siehe Abb. 12) und zwischen Leichter und Schubboot durch geeignete Formgebung deutlich zu reduzieren. Des weiteren ist die Vorschiffsform der Leichter ebenfalls im Hinblick auf eine Widerstandsverminderung zu verbessern. Es wird erwartet, daß durch weiterführende Entwicklungen auf diesem Gebiet der Leistungsbedarf des Schubverbandes bei optimistischer Beurteilung um bis zu 15 % zu reduzieren ist. Unter Berücksichtigung des unter a) 1) beschriebenen höheren Leistungsbedarfs der Jetantriebe von ca. 25 % ergibt sich damit für den gesamten innovativen Schubverband eine Erhöhung des Leistungsbedarfs um ca. 10 %.

**B) Innovative Maßnahmen an den Schubleichtern****a) Erhöhung der Tragfähigkeit durch Gewichtsverminderung**

Insbesondere bei der Be- und Entladung der Leichter im Greiferbetrieb wie auch bei der Beladung mit Massengut, z.B. Erz, aus großer Höhe ist die örtliche Belastung der Materialien besonders hoch. Dies führt nicht selten dazu, daß besonders gefährdete Bereiche, wie beispielsweise der Laderaumboden, durch die Verwendung dickerer Materialien oder „Dopplungen“ verstärkt werden. Auf die Möglichkeiten und Einschränkungen, höherfeste Stähle oder alternative Werkstoffe zu verwenden, wurde zuvor in Abschnitt 5.1.2.17 ausführlich eingegangen. Somit lassen sich bei den Schubleichtern durch die Verwendung anderer Baumaterialien nur geringfügige Gewichtseinsparungen erzielen. Dagegen besteht die Möglichkeit, durch konstruktive Maßnahmen das Gewicht der Leichter zu reduzieren, wobei eine Reduzierung um 10 % als maximal angesehen wird.

Gewichtsreduzierungen im Bereich der Ausrüstung (Anker, Ketten, Drähte usw.) entfallen, weil in diesem Bereich bereits hochfeste Stähle verwendet werden.

**b) sonstige Maßnahmen**

Sonstige Maßnahmen, wie z.B. die Erhöhung der Tragfähigkeit durch die Vergrößerung des Blockkoeffizienten, der bei Leichtern bereits im Bereich zwischen 0,90 bis 0,94 liegt, lassen sich nicht durchführen, ohne gleichzeitig gravierende Nachteile beim Leistungs-Geschwindigkeitsverhalten zu verursachen.

Die sich auf Basis vorstehender Ausführungen ergebenden technischen Daten für den innovativen Schubverband sind – soweit sie für die wirtschaftliche Betrachtung von Bedeutung sind – nachfolgend in Tab. 23 dargestellt.

Technische Daten					
		Schubboot		Leichter	
				groß	klein
Länge [m]		18-22		65,00	32,50
Breite [m]		ca. 8,0		8,2 <sup>4)</sup>	8,2 <sup>4)</sup>
Tiefgang max. [m]		1,4 <sup>1)</sup>		2,32 <sup>1)</sup>	2,32 <sup>1)</sup>
Leertiefgang [m]		0,90		0,405	0,405
Tragfähigkeit in Abhängigkeit des Tiefgangs [t]				dw=0,506 T-192	dw=0,253 T-83
Tragfähigkeit max. [t]				980	505
Installierte Antriebsleistung [kW]		2x500 <sup>8)</sup>			
spezifischer Brennstoffverbrauch [kg/kWh]		0,2 <sup>9)</sup>			
Schiffsgeschwindigkeit [km/h]	Fluß <sup>10)</sup>	leer	18		
		voll	15		
	stauger. Fluß <sup>11)</sup>	leer	12		
		voll	12		
	Kanal <sup>11)</sup>	leer	11		
		voll	11		
Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	70		
		voll	80		
	stauger. Fluß	leer	20		
		voll	40		
	Kanal	leer	20		
		voll	40		
Brennstoffverbrauch [kg/h] <sup>12)</sup>	Fluß	leer	140		
		voll	160		
	stauger. Fluß	leer	40		
		voll	80		
	Kanal	leer	40		
		voll	80		

Tab. 23 Technische Daten des Schiffstyps 6, Innovativer Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 23:

1), 4) und 8) – 12) siehe Typschiff 4a), Elbe-Schubverband (Tab. 17)

#### D) Betriebswirtschaftliche Daten

Bei den betriebswirtschaftlichen Daten sind folgende Veränderungen gegenüber dem Typschiff 4a), Elbe-Schubverband zu beachten:

##### a) Neubauinvestitionen

Durch die leichtere Bauweise erhöhen sich die auf das Kasko bezogenen Neubaupreise um ca. 15 %, wobei davon ausgegangen wird, daß bei den übrigen Bauelementen keine Kostenveränderungen auftreten. Die sich auf den gesamten Schub-

verband beziehenden Kaskokosten betragen ca. 50 %, so daß sich die gesamten Neubauinvestitionen von 2,00 Mio. € um ca. 8 %, d.h. um ca. 0,16 Mio. €, auf 2,16 Mio. € erhöhen.

**b) Nutzungsdauer**

Es wird, wie beim innovativen Motorschiff, eine Abschreibungsdauer von 40 Jahren berücksichtigt.

**c) Einsatztage pro Jahr**

Auch hier wird wie beim innovativen Motorschiff aufgrund eines höheren Aufwandes für Reparaturen und Instandhaltung mit 2 zusätzlichen Ausfalltagen pro Jahr gerechnet.

In Tab. 24 sind die betriebswirtschaftlichen Daten des Schiffstyps 6, innovativer Schubverband, dargestellt.

Betriebswirtschaftliche Daten	
Investitionskosten (Neubau in Westeuropa) Mio. €	2,16
durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahr)	40
Zinssatz auf den halben Wert des Verbandes	5% <sup>6)</sup>
Reparatur- und Instandhaltungskosten	12 €/Tragf. Tonne <sup>7)</sup>
Versicherung	12 €/Tragf. Tonne <sup>8)</sup>
sonstige Kosten	siehe Anmerkung <sup>9)</sup>
Betriebsform	A2 RheinSchUO <sup>10)</sup>
Personal	2 Schiffsführer 1 Bootsmann <sup>11)</sup> 2 Leichtmatrosen
Einsatztage pro Jahr	338
Brennstoffkosten [€/l]	0,225 <sup>13)</sup>

Tab. 24 Betriebswirtschaftliche Daten des Schiffstyps 6, Innovativer Schubverband

Anmerkungen zu Tab. 24:

6), 7) – 11) und 13) siehe Typschiff 1, GK<sub>vert.</sub> (Tab. 11)

## **6.3 Wirtschaftliche Bewertung unter Zugrundelegung unterschiedlicher Fahrwassertiefen**

### **6.3.1 Allgemeines**

Unabhängig von den tatsächlichen Wasserstandsentwicklungen auf den ausgewählten Relationen und den sich hieraus ergebenden Schiffstiefgängen werden zunächst für die Fahrwassertiefen 1,30 m, 1,50 m, 2,00 m, 2,50 m, 3,00 m, 4,00 m, 5,00 m und 7,50 m die jährlichen Transportmengen und Transportkosten der fünf existierenden und zwei innovativen Schiffstypen ermittelt. Im Anschluß daran erfolgt die Berechnung der kostendeckenden Frachtraten, die mit den gegenwärtigen Transportpreisen verglichen werden.

Im Mittelpunkt der Berechnungen steht der Vergleich zwischen den existierenden Standardschiffen, die bereits längere Zeit im Einsatz sind, und den als Neubauten zugrunde gelegten innovativen Schiffstypen nach heutigem Stand der Technik (Innovationsstufe I). Ergänzend werden in Abschnitt 6.3.6 zukünftige Weiterentwicklungen der innovativen Schiffseinheiten (Innovationsstufe II) sowie in Abschnitt 6.3.7 auch die Standardschiffe als Neubauten in die Betrachtung einbezogen.

### **6.3.2 Zusätzlich zu berücksichtigende Rahmenbedingungen**

Neben den im vorherigen Kapitel dargestellten technischen und betriebswirtschaftlichen Daten der Schiffe werden zusätzlich folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- Wasserstraße:  
Fluß, wobei sich die Ergebnisse auf einen Mittelwert zwischen Berg- und Talfahrt beziehen. Diese Mittelwertbildung hat den Vorteil, die sich ergebenden Frachtraten mit denjenigen der Bahn und des Lkws vergleichen zu können.
- Transportentfernung:  
560 km (in Anlehnung an die im nachfolgenden Kapitel 6.4 zugrunde gelegte Relation Hamburg-Dresden)
- Transportpreise:  
Zwecks Ermittlung der Transportpreise wurden die in [6] und [11] für den Zeitraum zwischen Januar 2002 und März 2003 veröffentlichten Frachttarife für die ca. 560 km lange Distanz zwischen Hamburg und Dresden ausgewertet. Aus den Daten ergab sich für diesen Zeitraum ein grober arithmetischer Mittelwert

zwischen Berg- und Talfahrt von 6,50 €/t und Strecke, der aufgrund der stark schwankenden Frachttarife nur als „Richtwert“ zu bewerten ist.

Ergänzend hierzu werden Kleinwasserzuschläge berücksichtigt. Dies erfolgt in Anlehnung an Regelungen, die sich am Pegel Magdeburg orientieren:

Pegel Magdeburg [m]	Fahrwassertiefe [m]	Zuschlag [%]
1,39-1,35	1,99-1,95	5
jede weitere 5 cm Pegel- bzw. Fahrwassertiefenverringerung		5

Tab. 25 Zugrunde gelegte Kleinwasserzuschläge

- Auslastungsgrad:  
100 % entsprechend den tiefgangsabhängigen Möglichkeiten (Massengut)
- Verladezeit  
Die Verladezeit ergibt sich aus der jeweils in Abhängigkeit des Tiefgangs transportierten Gütermenge und der Leistungsfähigkeit der Verladeeinrichtung, die im Bereich zwischen 200 t/h für alte Anlagen und 800 t/h für neue Hochleistungsanlagen genannt werden. Als Mittelwert wird eine Verladeleistung von 300 t/h zugrunde gelegt.
- Dispositions- und Leerfahrtenanteil:  
Rückfragen im Gewerbe zeigen beträchtliche Unterschiede, wobei die Spanne zwischen 5 % und 50 % der gesamten Betriebszeit liegen kann. Als realitätsnaher Durchschnittsbereich wurden 15-25 % genannt, so daß den Berechnungen ein Anteil von 20 % zugrunde gelegt wird.
- Tiefgänge und Fahrwassertiefen  
In Abhängigkeit der unterschiedlichen minimalen und maximalen Schiffstiefgänge der jeweiligen Schiffstypen und unter Berücksichtigung einer Kielfreiheit von 0,40 m ergeben sich die in Tab. 26 dargestellten erforderlichen Fahrwassertiefen.

Tiefgänge und Fahrwassertiefen	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK <sub>verl.</sub>	Typ 2 JW <sub>verl.</sub>	Typ 3 GMS- 100 m	Typ 4a) Schub- verb.	Typ 4b) Schub- verb.	Typ 5 inn. Mo- tors.	Typ 6 inn. Schubv.
Leertiefgang [m]	1,10 <sup>1)</sup>	1,20 <sup>1)</sup>	1,50 <sup>1)</sup>	1,20 <sup>2)</sup>	1,20 <sup>2)</sup>	0,65	0,90 <sup>2)</sup>
erforderliche Fahrwassertiefe [m]	1,50	1,60	1,90	1,60	1,60	1,05	1,30
maximaler Tiefgang (Konstruktionstiefgang) [m]	2,50	2,70	3,50	2,32 <sup>3)</sup>	2,80 <sup>3)</sup>	2,70	2,32 <sup>3)</sup>
erforderliche Fahrwassertiefe [m]	2,90	3,10	3,90	2,72	3,10	3,10	2,72

Tab. 26 Erforderliche Fahrwassertiefen in Abhängigkeit der Tiefgänge

Anmerkungen zu Tab. 26:

- 1) Bei den Motorschiffen handelt es sich um den durch die achterliche Vertrimmung ergebenden hinteren Leertiefgang.
- 2) Bei leeren Leichtern ist das Schubboot tiefgangsbestimmend.
- 3) Bei beladenen Leichtern sind die Leichter tiefgangsbestimmend.

Aus Tab. 26 ergibt sich, daß die existierenden Schiffstypen 2, 3 und 4a) und 4b) erst ab einer Fahrwassertiefe von 1,60 m bzw. 1,90 m einsetzbar sind. Dagegen ist Typschiff 1 bereits bei 1,50 m und die innovativen Schiffstypen 5 und 6 bereits bei 1,05 m bzw. 1,30 m einsetzbar.

### 6.3.3 Transportleistung

Die sich für die verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Fahrwassertiefen ergebenden jährlichen Transportmengen sind in Tab. 27 und Abb. 16 dargestellt.



Fahrwassertiefe [m]	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS 110 m	Typ 4a SV-Elbe	Typ 4b SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
1,3						18,6	37,9
1,5	23,1					31,1	51,2
2,0	50,6	60,6	69,6	81,7	146,5	66,9	83,5
2,5	79,4	97,8	117,6	112,9	200,7	103,9	114,4
3,0	104,5	135,7	162,2	139,1	249,7	141,3	140,5
4,0	135,7	176,2	245,2	175,5	280,6	182,6	177,1
5,0	145,1	191,4	300,4	186,5	285,7	198,2	188,3
7,5	154,0	197,1	325,7	197,0	295,9	204,1	198,7

Tab. 27 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe [tsd. t/a]

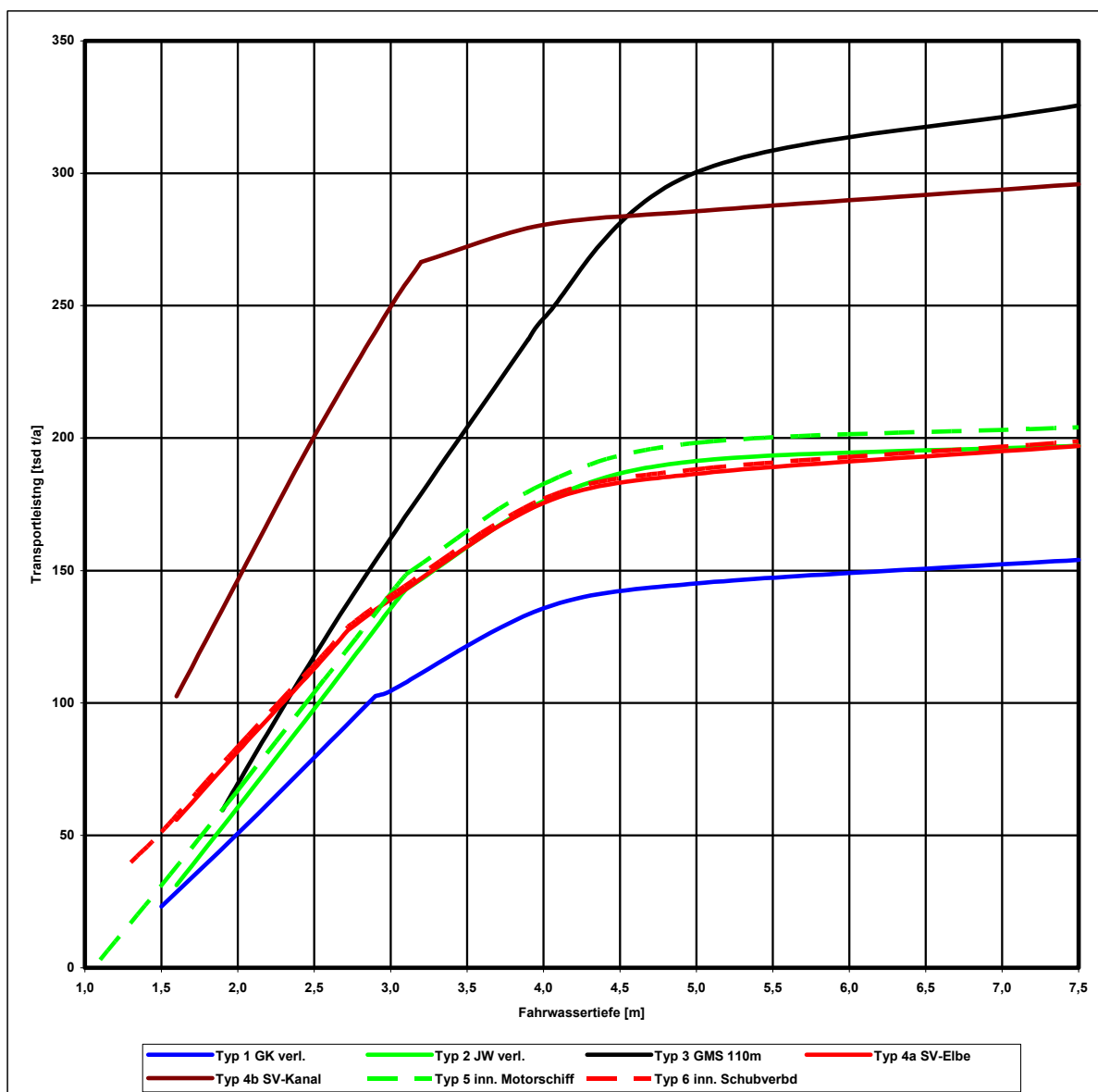


Abb. 16 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe [tsd. t/a]

### **Allgemeine Feststellungen**

Aus Tab. 27 und Abb. 16 wird zunächst deutlich, daß bei der sehr geringen Fahrwassertiefe von 1,30 m (Tiefgang 0,90 m) keines der existierenden Schiffe und erst bei 1,50 m (Tiefgang 1,10 m) nur der Typ 1 in der Lage ist, Güter zu transportieren. Bei den übrigen existierenden Schiffstypen 2, 3 und 4a) und 4b) sind die Leertiefgänge so groß, daß unter Berücksichtigung einer Kielfreiheit von 0,40 m die Fahrwassertiefe von 1,50 m überschritten wird. Bei einer Fahrwassertiefe von 2,00 m (Tiefgang 1,60 m) sind sämtliche Schiffe in der Lage, Güter zu transportieren.

Unabhängig vom Schiffstyp wird der große Einfluß der Fahrwassertiefe auf die jährliche Transportmenge deutlich. Besonders ausgeprägt ist der Anstieg bei den geringeren Wassertiefen, während die Zunahme bei den größeren Fahrwassertiefen abnimmt. So wird z.B. bei den Motorschiffen, Typ 1, 2 und 3 die jährliche Transportmenge beispielsweise bei einer Vergrößerung der Fahrwassertiefe von 2,00 m auf 3,00 m, d.h. um einen Meter, mehr als verdoppelt, und auch bei den Schubverbänden Typ 4a) und 4b) ergibt sich eine Steigerung von ca. 70 %.

Von besonderem Interesse ist festzustellen, daß auch nach Erreichen des maximalen Tiefgangs (Konstruktionstiefgang) der Schiffe eine weitere Steigerung der jährlichen Transportleistung - und zwar durch eine Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit - zu erzielen ist. Während bis zum Erreichen des maximalen Tiefgangs die Steigerung der Transportleistung bei leicht abnehmender Schiffsgeschwindigkeit ausschließlich auf die Zunahme des Tiefgangs zurückzuführen ist, vergrößert sich nach Erreichen des maximalen Tiefgangs der Abstand zwischen Fahrwassergrund und Schiffsboden. Dies führt zu einer Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit, diese zu mehr Umläufen pro Jahr und damit zu einer weiteren Steigerung der jährlichen Transportleistung.

So wird beispielsweise für den Schiffstyp 3, GMS-110 m zwischen der Fahrwassertiefe 3,90 m (Erreichen des maximalen Tiefgangs von 3,50 m) und 7,50 m eine ausschließlich durch die Geschwindigkeitssteigerung erreichte Erhöhung der jährlichen Transportleistung von ca. 240 tsd. t/a auf ca. 326 tsd. t/a, d.h. von ca. 86 tsd. t/a erzielt, während beim Schiffstyp 1, GK<sub>verl.</sub> die zwischen der Fahrwassertiefe 2,90 m (Erreichen des maximalen Tiefgangs von 2,50 m) und 7,50 m liegende Erhöhung von ca. 103 tsd. t/a auf 154 tsd. t/a, d.h. bei ca. 51 tsd. t/a, liegt. An diesen Beispielen wird der ausgeprägte positive Effekt einer über den maximalen Tiefgang der Schiffe hinausgehenden Wassertiefe auf die jährlichen Transportmengen sichtbar.

Des weiteren wird der Einfluß der Schiffsgröße auf die jährliche Transportleistung deutlich. Während bei kleineren Wassertiefen – mit Ausnahme des Schubverbandes Typ 4b) - die Unterschiede nicht sehr ausgeprägt sind, ergeben sich mit zunehmender Wassertiefe deutliche Größenvorteile der größeren Schiffe gegenüber den kleineren Einheiten.

### **Innovative Schiffstypen**

Beide innovativen Schiffstypen sind in der Lage, bereits bei einer Fahrwassertiefe von 1,30 m Ladung aufzunehmen. Allerdings ist bei dieser Fahrwassertiefe die zu erzielende jährliche Transportmenge mit ca. 18,6 tsd. t/a (Typ 5) bzw. ca. 37,9 tsd. t/a (Typ 6) gegenüber den Transportmengen bei größeren Fahrwassertiefen vergleichsweise gering.

Unabhängig von der Fahrwassertiefe verfügen die innovativen Schiffstypen (Typ 5 und 6) über eine etwas größere jährliche Transportmenge gegenüber den jeweiligen Basisschiffen Typen 2 und 4a).

Der Unterschied zwischen dem existierenden Typ 2 und dem innovativen Typ 5 von ca. 6-7 tsd. t/a wird durch die Erhöhung der Tragfähigkeit aufgrund einer 10 %-igen Gewichtsverminderung und einer 2 %-igen Erhöhung des Blockkoeffizienten erzielt. Diese Differenz bleibt über den gesamten Bereich der Fahrwassertiefe in etwa konstant.

Der vergleichsweise geringe Unterschied von ca. 1-2 tsd. t/a zwischen dem existierenden (Typ 4a)) und dem innovativen Schubverband (Typ 6) wird durch die Erhöhung der Tragfähigkeit aufgrund einer 10 %-igen Gewichtsverminderung der Leichter erzielt. Diese Erhöhung bleibt ebenfalls über den gesamten Bereich der Fahrwassertiefe als absolute Größe in etwa konstant.

### **6.3.4 Transportkosten**

Die sich für die verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Fahrwassertiefen ergebenden jährlichen Transportkosten sind in Tab. 28 und Abb. 17 dargestellt. Wie bereits erläutert, wird dabei bei den existierenden Schiffen von bereits seit längerem im Einsatz befindlichen Einheiten ausgegangen, bei den innovativen Schiffstypen handelt es sich um Neubauten, bei denen das Kasko in Osteuropa gebaut wird.

Fahrwassertiefe [m]	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS 110 m	Typ 4a SV-Elbe	Typ 4b SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
1,3						0,527	0,597
1,5	0,367					0,523	0,591
2,0	0,360	0,434	0,572	0,489	0,573	0,510	0,579
2,5	0,353	0,422	0,555	0,478	0,558	0,497	0,566
3,0	0,346	0,410	0,540	0,466	0,544	0,483	0,552
4,0	0,333	0,391	0,509	0,444	0,513	0,461	0,527
5,0	0,329	0,384	0,483	0,437	0,487	0,453	0,519
7,5	0,325	0,381	0,470	0,431	0,474	0,449	0,512

Tab. 28 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe, [Mio. €/a]

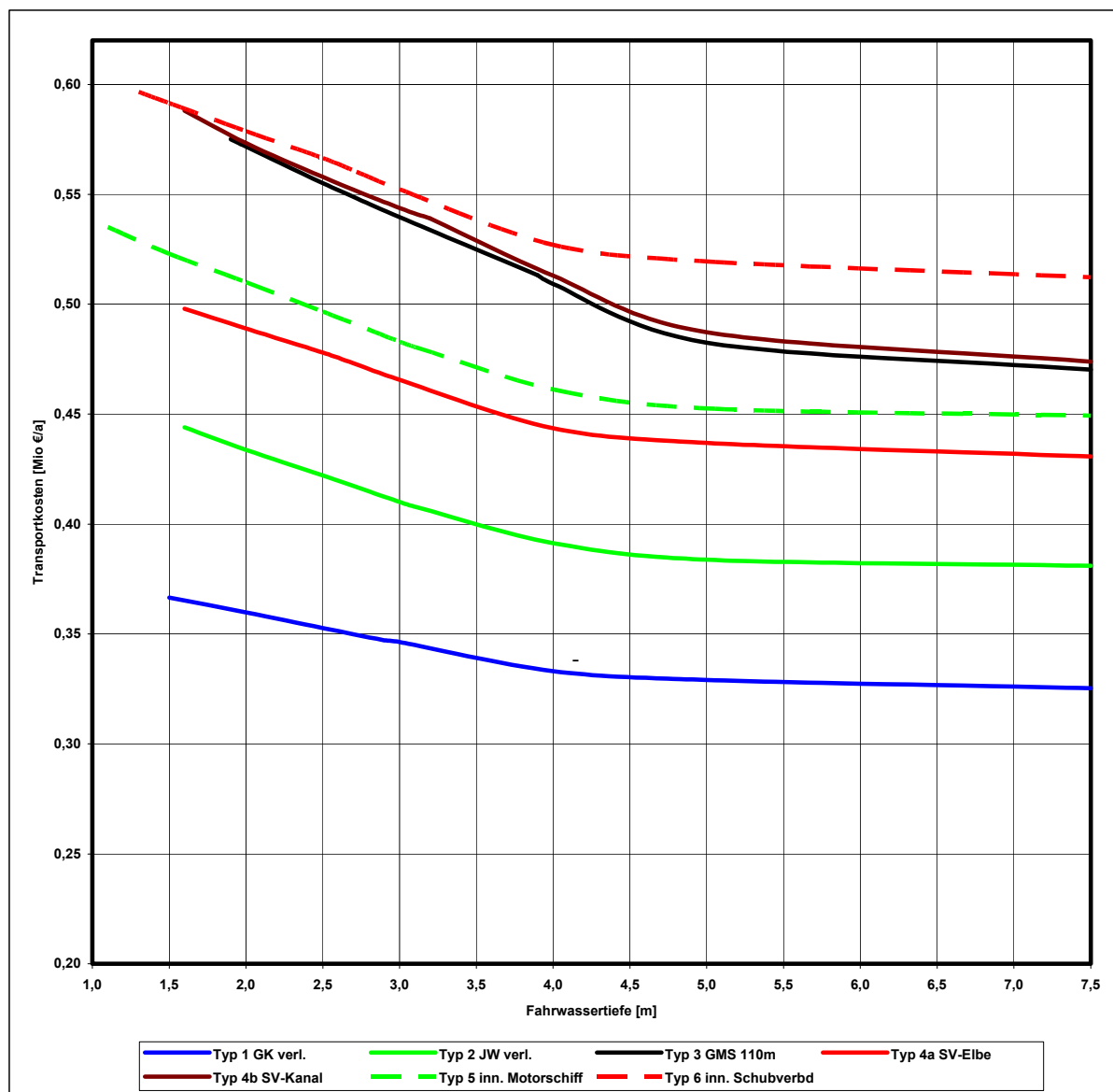


Abb. 17 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe, [Mio. €/a]

### **Allgemeine Feststellungen**

Aus Tab. 28 und Abb. 17 wird zunächst der Einfluß der Fahrwassertiefe auf die jährlichen Transportkosten deutlich. Die jährlichen Transportkosten steigen mit abnehmender Fahrwassertiefe, wobei die Abnahme bei kleineren Fahrwassertiefen stärker ausgeprägt ist als bei den größeren Fahrwassertiefen. Die mit abnehmender Fahrwassertiefe steigenden Transportkosten sind zurückzuführen auf den größeren Antriebs-Leistungsbedarf bei geringerer Wassertiefe (siehe Abschnitt 4.3.7, Abb. 11) gleiche Schiffsgeschwindigkeit vorausgesetzt), d.h. es fallen zusätzliche Brennstoffkosten an.

Weiterhin werden die höheren Kosten der größeren Schiffe gegenüber den kleineren Einheiten deutlich. So liegen beispielsweise bei einer Fahrwassertiefe von 3,00 m die Transportkosten des kleinen Typs 1, GK<sub>verl.</sub> bei ca. 0,346 Mio. €/a, beim großen Typ 3, GMS-110 m bei ca. 0,540 Mio. €/a.

### **Innovative Schiffstypen**

Die Transportkosten der innovativen Schiffe liegen gegenüber den existierenden Schiffstypen 2 und 4 deutlich höher, was im wesentlichen auf die Neubau-Investitionskosten zurückzuführen ist, die bei den innovativen Schiffen zu 100 %, bei den existierenden Schiffen als Restwert von 20 % der heutigen Neubaupreise berücksichtigt wurden. Auch die längere Abschreibungszeit von 40 Jahren gegenüber 15 Jahren bei den existierenden Schiffen sowie die bei den innovativen Schiffen zugrunde gelegten niedrigeren Instandhaltungs- und Reparaturkosten von 12 €/Tragf. Tonne gegenüber 25 €/Tragf. Tonne bei den existierenden Schiffen können diesen Kostenunterschied nicht kompensieren.

#### **6.3.5 Kostendeckende Frachtraten und Vergleich mit den gegenwärtigen Transportpreisen**

Die nachfolgend in Tab. 29 und Abb. 18a, 18b und 18c dargestellten kostendeckenden Frachtraten ergeben sich aus der Division der jährlichen Transportkosten gemäß Tab. 28 durch die jährlichen Transportmengen gemäß Tab. 27.

Fahrwassertiefe [m]	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS 110 m	Typ 4a SV-Elbe	Typ 4b SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
1,30						28,27	15,74
1,50	15,85					16,83	11,55
2,00	7,10	7,16	8,22	5,99	3,91	7,62	6,93
2,50	4,44	4,32	4,72	4,23	2,78	4,78	4,95
3,00	3,31	3,02	3,33	3,35	2,18	3,42	3,93
4,00	2,45	2,22	2,08	2,53	1,83	2,53	2,98
5,00	2,27	2,01	1,61	2,34	1,71	2,28	2,76
7,50	2,11	1,93	1,44	2,19	1,60	2,20	2,58

Tab. 29 Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe [€/t Strecke]

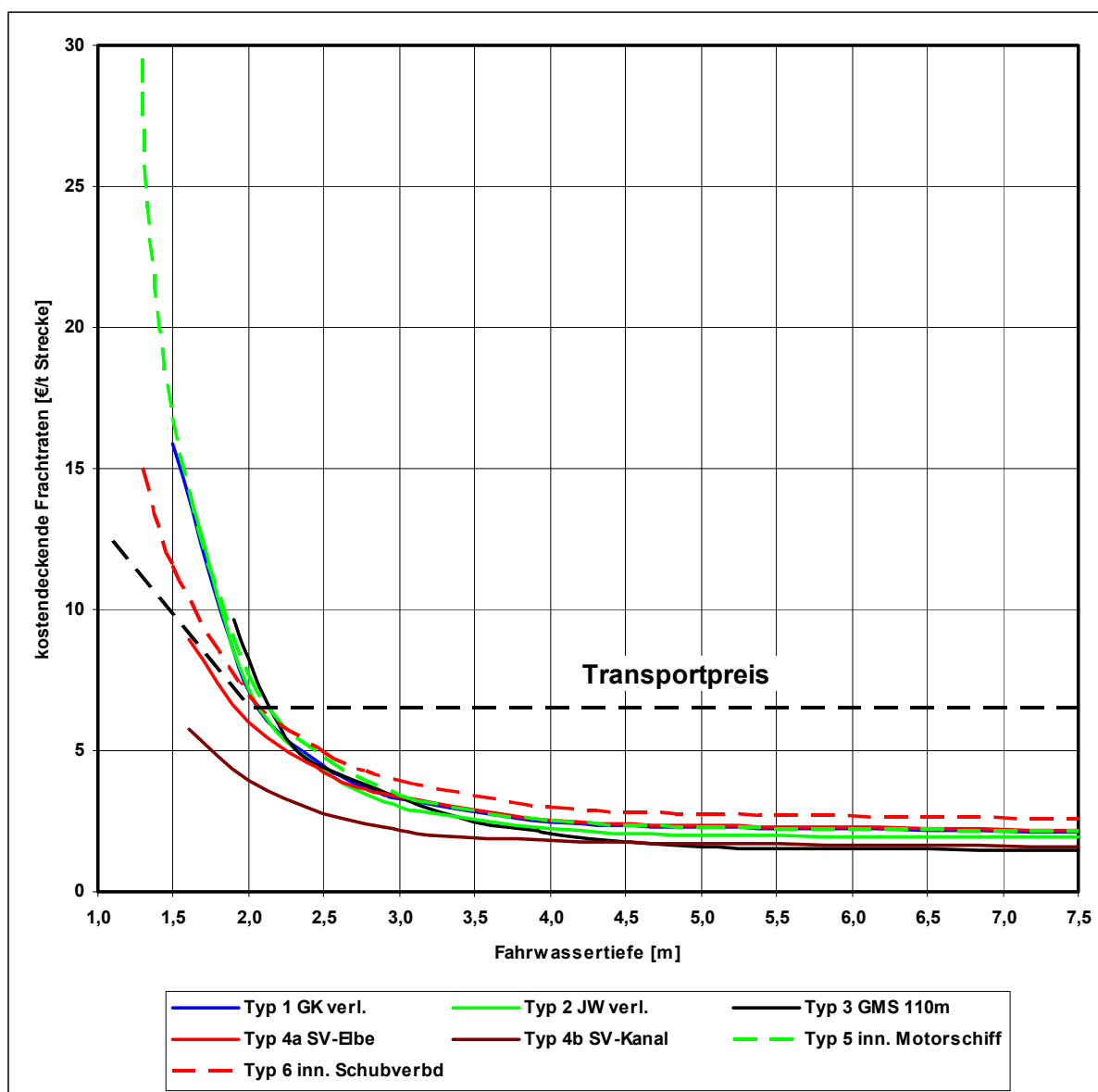


Abb. 18a Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe [€/t Strecke]

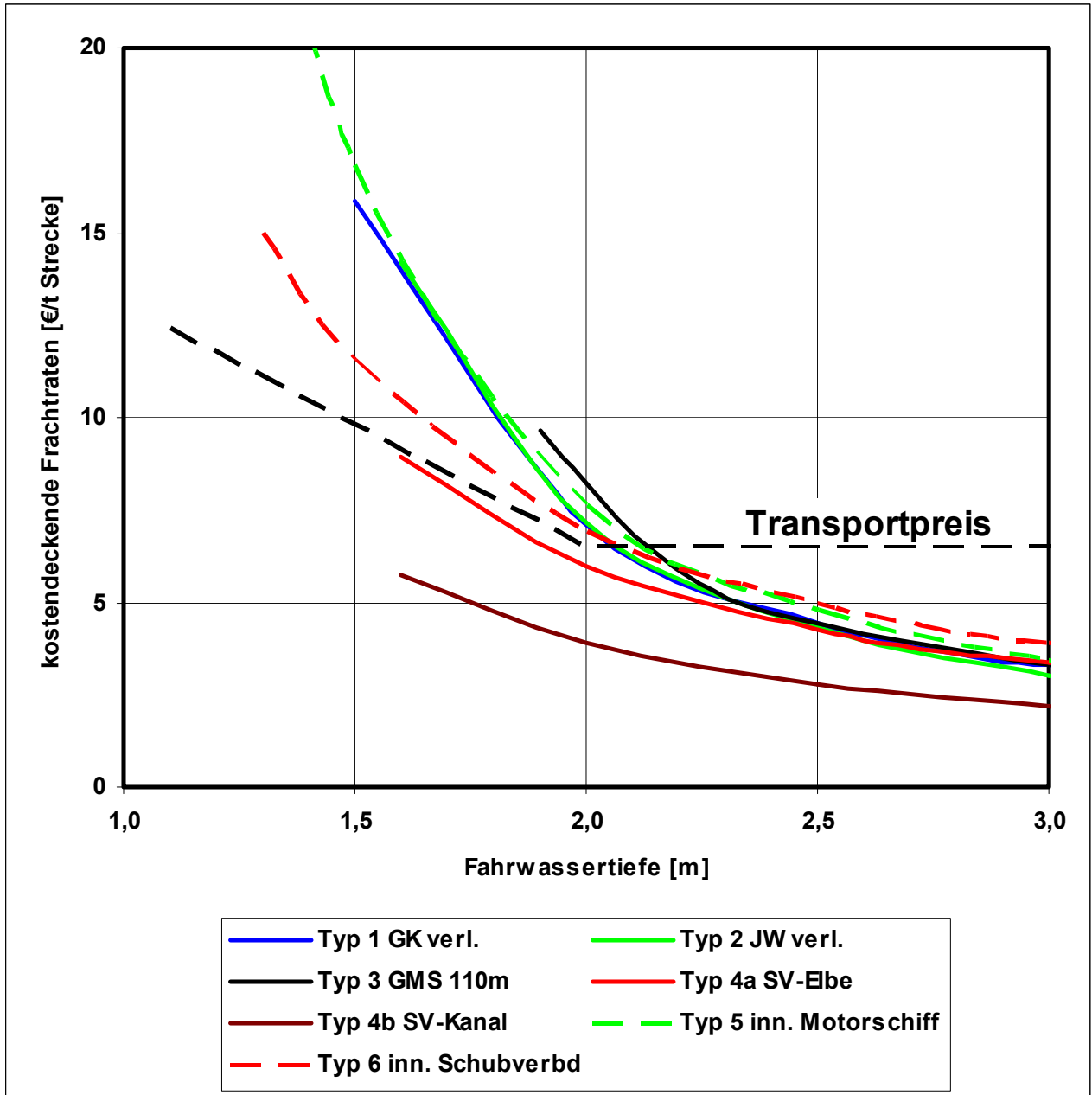


Abb. 18b Auszug aus Abb. 18a

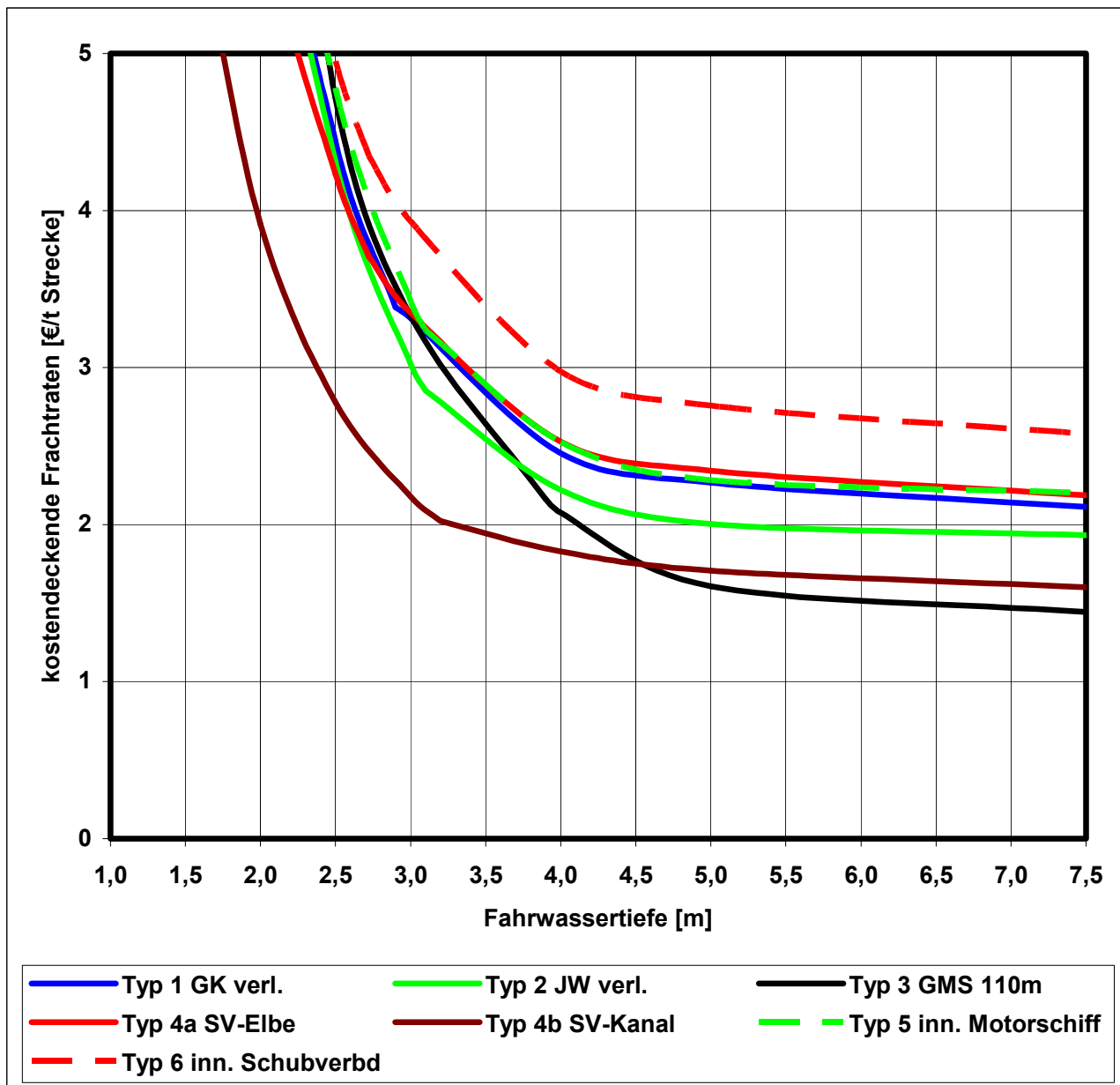


Abb. 18c Auszug aus Abb. 18a

### Allgemeine Feststellungen

Besonders auffallend ist der deutliche Einfluß der Fahrwassertiefe auf die kostendeckenden Frachtraten. Unabhängig vom Schiffstyp nehmen die kostendeckenden Frachtraten mit sinkendem Tiefgang/Fahrwassertiefe deutlich zu, wobei die Zunahme bei den Schubverbänden geringer ist als bei den Motorschiffen.

Werden weiterhin die verschiedenen Motorschiffe und Schubverbände miteinander verglichen, so kann festgestellt werden, daß bei den geringen Fahrwassertiefen die kleineren Schiffstypen 1 und 2 und besonders die Schubverbände Kostenvorteile



gegenüber dem größeren Schiffstyp 3 haben (Abb. 18b). Bei einer Fahrwassertiefe zwischen 2,50 m bis 3,00 m liegen die Frachtraten der Motorschiffe, Typ 1 bis 3 und die des kleinen Schubverbandes, Typ 4a) auf etwa gleichem Niveau und erst bei noch größeren Fahrwassertiefen werden die Kostenvorteile des größeren Schiffstyps 3 sichtbar (Abb. 18c). Des Weiteren nimmt der große Schubverband, Typ 4b) eine Sonderstellung ein und ist bis zur Fahrwassertiefe von ca. 4,50 m allen übrigen Schiffen überlegen. Erst bei einer Fahrwassertiefe größer als 4,50 m ergeben sich beim großen Motorschiff, Typ 3 günstigere Frachtraten gegenüber dem Schubverband, Typ 4b).

Auch wenn der Schiffstyp 1 und die beiden innovativen Schiffstypen 5 und 6 aufgrund ihrer Flachwassereigenschaften in der Lage sind, bereits bei einer Fahrwassertiefe von 1,50 m eine gewisse Ladungsmenge zu transportieren, so liegen die entsprechenden kostendeckenden Frachtraten etwa doppelt so hoch wie bei einer Fahrwassertiefe von 2,00 m und erreichen einen vier- bis sechsfachen Wert gegenüber einer Fahrwassertiefe von 4,00 m. Noch deutlich größere Kosten ergeben sich bei den innovativen Schiffstypen 5 und 6 mit 28,27 bzw. 15,74 €/t und Strecke, wenn sie bei einer Fahrwassertiefe von 1,30 m eingesetzt werden.

Werden weiterhin die sich in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe ergebenden kostendeckenden Frachtraten der Motorschiffe, Typ 1, 2 und 3 mit den sich unter Berücksichtigung des Kleinwasserzuschlags gemäß Tab. 25 ergebenden Transportpreisen verglichen, wird deutlich, daß bis zu einer Fahrwassertiefe von ca. 2,10 m (Typ 1 und 2) bzw. ca. 2,20 m (Typ 3) die Transportkosten von den Transportpreisen gedeckt werden. Bei geringer werdender Fahrwassertiefe liegen die Transportkosten, trotz der Berücksichtigung der Kleinwasserzuschläge, zum Teil deutlich über dem Transportpreis.

Anders sieht es bei den Schubverbänden, Typ 4 und 5, aus. So werden die Transportkosten des Elbe-Schubverbandes bis zur Fahrwassertiefe von ca. 1,60 m von den Transportpreisen gedeckt, während beim Kanal-Schubverband auch bei dieser Fahrwassertiefe die Transportkosten deutlich unter den Transportpreisen liegen.

Ergänzend zu den vorherigen Ausführungen soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den ermittelten Transportpreisen aufgrund der zum Teil stark schwankenden Frachttarife nur um Orientierungswerte handelt.

Des weiteren seien an dieser Stelle grobe Richtwerte für den Gütertransport von Bahn und LKW auf dieser Strecke genannt:

**Bahn:** Unter Berücksichtigung der für die Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen in [12] empfohlenen Vorgehensweise ergeben sich auf der Strecke zwischen Hamburg und Dresden Transportkosten (nicht Transportpreise) der Bahn von

ca. 9,5 €/t Strecke.

**LKW:** Legt man die heute vielfach genannte Orientierungsgröße der LKW-Kosten von ca. 1 €/LKW-km zugrunde ergibt sich bei der Transportdistanz von ca. 520 km und einer LKW-Zuladung von ca. 25 t ein Transportpreis von

ca. 20,8 €/t Strecke.

Allerdings muß beim Vergleich mit dem LKW berücksichtigt werden, daß den Transportkosten des Binnenschiffes wie auch der Bahn angemessene Umschlags- sowie Vor- und Nachlaufkosten zugeschlagen werden müssen.

### **Innovative Schiffstypen**

Die höheren kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen gegenüber den existierenden Schiffen Typ 2 und 4a) sind, wie zuvor bereits erwähnt, mit den hohen Neubau-Investitionskosten zu erklären, die durch die vergleichsweise nur geringfügig größere jährliche Transportmenge von ca. 6,6 tsd. t/a im Falle des Motorschiffs, Typ 5 und 1,8 tsd. t/a im Falle des Schubverbandes, Typ 6 nicht ausgeglichen werden können. Damit haben die innovativen Schiffstypen gegenüber den existierenden Schiffstypen Wettbewerbsnachteile.

Des weiteren ist der Unterschied darauf zurückzuführen, daß die innovativen Maßnahmen nicht nur Vorteile aufweisen, wie beispielsweise eine höhere Tragfähigkeit, sondern auch mit Nachteilen verbunden sind, wie einer um 2 Tage pro Jahr reduzierten Einsatzzeit durch eine höhere Verschleißanfälligkeit, einem trotz Formoptimierung erhöhten Antriebs-Leistungsbedarf von 15 % beim Schiffstyp 5 und 10 % beim Typ 6 durch die Jet-Antriebe sowie einer 8 %-igen Steigerung der Neubaukosten

aufgrund der leichteren Bauweise. Um diese Auswirkungen näher zu analysieren, wird deshalb im nachfolgenden Abschnitt davon ausgegangen, daß es unter sehr optimistischen Voraussetzungen gelingt, diese negativen Einflußfaktoren, z.B. durch weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, aufzuheben bzw. zu kompensieren (Innovationsstufe II).

### **6.3.6 Berücksichtigung besonderer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bei den innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe II)**

Nachfolgend geht es darum aufzuzeigen, inwieweit sich unter sehr optimistischen Voraussetzungen durch zukunftsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die Transportkosten der innovativen Schiffe weiter reduzieren lassen und wie sich dies auf die Wettbewerbsposition auswirkt.

Berücksichtigt werden hierbei folgende Änderungen:

- a) Erhöhung der jährlichen Einsatztage von 338 auf 340 Tage. Hierdurch erhöhen sich die Transportmengen um knapp 1 %.
- b) Kompensierung des höheren Leistungsbedarfs der Jet-Antriebe von 25 %, d.h. es wird nur die Verminderung des Leistungsbedarfs durch die Optimierung der Schiffsform, und zwar
  - 10 % beim Schiffstyp 5 gegenüber Basisschiff, Typ 2 (siehe Abschnitt 6.2.2.1, A) Technische Daten, Abschn. a)) und
  - 15 % beim Schiffstyp 6 gegenüber Basisschiff, Typ 4a) (siehe Abschnitt 6.2.2.2, A) Innovative Maßnahmen am Schubboot; Abschn. a)) berücksichtigt.
- c) Kompensierung der um 8 % höheren Neubaukosten, die durch die leichtere Bauweise entstehen, durch z.B. neue Herstelltechnologien und/oder Serienfertigung.

Die sich unter vorstehenden Voraussetzungen für die innovativen Schiffe Typ 5 und 6 ergebenden kostendeckenden Frachtraten sind in Tab. 30 den Frachtraten der Basisschiffe, Typ 2 und 4a) gegenübergestellt.

Fahrwassertiefe [m]	Existierende Schiffe (aus Tab. 29)		Innovative Schiffe unter Berücksichtigung besonderer F&E-Vorhaben Innovationsstufe II	
	Typ 2 JW verl.	Typ 4a SV-.Elbe	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
1,30			24,49	13,25
1,50			14,59	9,74
2,00	7,16	5,99	6,60	5,86
2,50	4,32	4,23	4,17	4,20
3,00	3,02	3,35	2,99	3,34
4,00	2,22	2,53	2,22	2,84
5,00	2,01	2,34	2,01	2,54
7,50	1,93	2,19	1,94	2,36

Tab. 30 Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe, Berücksichtigung besonderer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bei den innovativen Schiffen (Innovationsstufe II) [€/t Strecke]

Aus Tab. 30 ergibt sich, daß im Falle des innovativen Motorschiffs, Typ 5 die Frachtraten bei Fahrwassertiefen bis ca. 4,0 m unter denen des Basisschiffs, Typ 2 liegen. Bei Wassertiefen ab 4,00 m und mehr sind die Frachtraten etwa gleich. Auch der innovative Schubverband, Typ 6 ist bei kleinen Fahrwassertiefen kostengünstiger als der Basisverband, Typ 4a); allerdings nur bis ca. 2,50 m. Bei größerer Fahrwassertiefe kehren sich die Verhältnisse um.

Dies bedeutet, daß die untersuchten innovativen Schiffe unter vorstehenden optimistischen Bedingungen (Innovationsstufe II) gegenüber den existierenden Schiffen bei geringen bis mittleren Fahrwassertiefen Vorteile aufweisen, jedoch aufgrund der bei niedrigen Fahrwassertiefen nach wie vor sehr hohen Frachtraten keinen Ersatz für Infrastrukturmaßnahmen darstellen.

Allerdings ergibt sich für den Fall, daß ein existierendes Schiff aufgrund seines Alters aus dem Markt genommen werden und durch einen Neubau ersetzt werden soll, die Frage, mit welchen wirtschaftlichen Vorteilen durch die Anwendung der innovativen Maßnahmen beim Neubau zu rechnen ist. Auf diese Frage wird nachfolgend eingegangen.

### 6.3.7 Wirtschaftliche Vorteile durch die Anwendung der innovativen Maßnahmen bei Neubauten

In diesem Abschnitt geht es um die Frage, ob im Falle eines Neubaus das Schiff als Standardschiff oder als innovativer Schiffstyp gebaut werden sollte. Hierbei wird vorausgesetzt, daß auch beim Standardschiff das Kasko in Osteuropa gefertigt wird.

Durch den Neubau der existierenden Schiffe ändern sich die Transportleistungen gemäß Tab. 27 nicht. Allerdings sind bei der Ermittlung der Transportkosten die gleichen betriebswirtschaftlichen Daten, wie zuvor bei den innovativen Schiffen, z.B. Abschreibungszeit 40 Jahre, Reparaturkosten 12 €/Tragf. Tonne usw., zugrunde zu legen.

Die sich ergebenden kostendeckenden Frachtraten der als Neubauten konzipierten existierenden Schiffstypen 2 und 4a) sind nachfolgend in Tab. 31 den entsprechenden Werten der innovativen Schiffe (Innovationsstufe I) aus Tab. 29 und den sich unter Berücksichtigung besonderer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ergebenden Werten (Innovationsstufe II) aus Tab. 30 gegenübergestellt. Des weiteren erfolgt in Tab. 32 eine Indizierung der kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen auf die Basisschiffstypen 2 und 4a).

Fahrwassertiefe [m]	existierende Schiffe als Neubauten		innovative Schiffe			
			realitätsnahe Maßnahmen Innovationsstufe I (aus Tab. 29)		Innovative Schiffe unter Berücksichtigung besonderer F&E-Vorhaben Innovationsstufe II (aus Tab. 30)	
	Typ 2 JW verl.	Typ 4a SV-Elbe	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
1,30			28,27	15,74	24,49	13,25
1,50			16,83	11,55	14,59	9,74
2,00	8,08	6,68	7,62	6,93	6,60	5,86
2,50	4,89	4,73	4,78	4,95	4,17	4,20
3,00	3,43	3,75	3,42	3,93	2,99	3,34
4,00	2,54	2,85	2,53	2,98	2,22	2,72
5,00	2,30	2,65	2,28	2,76	2,01	2,54
7,50	2,22	2,47	2,20	2,58	1,94	2,36

Tab. 31 Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit der Fahrwassertiefe, Berücksichtigung der existierenden Schiffe als Neubauten [€/t Strecke]

Fahrwassertiefe [m]	innovative Schiffe			
	realitätsnahe Maßnahmen Innovationsstufe I (aus Tab. 29)		Innovative Schiffe unter Berücksichtigung besonderer F&E-Vorhaben Innovationsstufe II (aus Tab. 30)	
	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
2,00	0,94	1,04	0,82	0,88
2,50	0,98	1,05	0,85	0,89
3,00	1,00	1,05	0,87	0,89
4,00	1,00	1,04	0,87	0,95
5,00	0,99	1,04	0,88	0,96
7,50	0,99	1,04	0,88	0,96

Tab. 32 Auf die existierenden Schiffe gemäß Tab. 31 indizierte kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen [%]

Tab. 31 und Tab. 32 zeigen, daß die kostendeckenden Frachtraten des Motorschiffs, Typ 5, bei dem die realitätsnahen innovativen Maßnahmen (Innovationsstufe I) umgesetzt wurden, bei geringer Fahrwassertiefe unter, bei größerer Tiefe etwa den Werten des als Neubau berücksichtigten Schiffstyps 2 liegen, bei dem keine innovativen Maßnahmen durchgeführt wurden. Beim innovativen Schubverband, Typ 6 liegen die Frachtraten grundsätzlich über den Werten des Neubaus, Typ 4a). Dies ist darauf zurückzuführen, daß zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt die positiven innovativen Effekte weitgehend durch die negativen Folgen kompensiert werden und deshalb der Schiffsneubau als Standardschiff zu bauen wäre. Anders sieht es nur für den Fall aus, daß es gelingt, durch zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben die negativen Folgen aufzuheben bzw. zu kompensieren (Innovationsstufe II). Hier liegen sowohl beim innovativen Motorschiff, Typ 5 als auch beim Schubverband, Typ 6 die Frachtraten zum Teil deutlich unter den Werten der Neubauten, bei denen keine innovativen Maßnahmen durchgeführt wurden.

### 6.3.8 Zwischenergebnis aus den bisherigen wirtschaftlichen Bewertungen

#### Allgemeine Feststellungen

Bei der Bewertung der Ergebnisse der bisherigen Betrachtung ist zunächst zu berücksichtigen, daß den Berechnungen realitätsnahe Ausgangswerte zugrunde gelegt wurden, die sich von den tatsächlichen Werten im Betrieb unterscheiden können. So wurde beispielsweise eine mit 560 km vergleichsweise lange Transportentfernung, eine mit 300 t/h hohe Verladeleistung, ein mit 20 % der gesamten Betriebszeit kurzer

Dispositions- und Leerfahrtenanteil oder eine 100 %-ige Auslastung entsprechend den von der Fahrwassertiefe abhängigen Tiefgängen zugrunde gelegt.

Diese Annahmen führen von der Tendenz her zu relativ niedrigen kostendeckenden Frachtraten, die eher im Sinne einer Untergrenze zu interpretieren sind. Würde sich beispielsweise die Transportdistanz auf ca. 300 km verkürzen, die Verladeleistung auf ca. 200 t/h verringern und der Dispositions- und Leerfahrtenanteil auf 30 % ansteigen, ergäbe sich eine Erhöhung der kostendeckenden Frachttarife von ca. 35-40 %. Vor diesem Hintergrund ist der Vergleich der ermittelten Transportkosten mit den sich ergebenden groben Transportpreisen zu bewerten. Die Wahl der Annahmen und Vorgehensweise hat jedoch keinen grundlegenden Einfluß auf die generellen Aussagen, die nachfolgend als Zwischenergebnis zusammengefaßt werden:

- Die Fahrwassertiefe und die sich hieraus ergebende Abladetiefe haben sich als entscheidender Wettbewerbsfaktor herausgestellt.
- Etwas schwächer ausgeprägt ist der Größeneffekt der Schiffe, der bei geringen Fahrwassertiefen nur wenig, bei größeren Fahrwassertiefen verstärkt wirksam wird.
- Eine Sonderstellung nehmen die Schubverbände, Typ 4a) und 4b) ein, die bei kleinen Fahrwassertiefen den Motorschiffen zum Teil deutlich überlegen sind. Bei größer werdender Fahrwassertiefe nimmt beim Schubverband, Typ 4a) der Vorteil ab, weil der Schubverband aufgrund seiner Tiefgangseinschränkung von der zunehmenden Fahrwassertiefe in einem geringeren Umfang profitiert als die Motorschiffe.
- Von den existierenden Schiffen kann nur der kleine Typ 1, GK<sub>verl.</sub> bei einer Fahrwassertiefe von 1,50 m Ladung transportieren. Allerdings liegen bei dieser Fahrwassertiefe die kostendeckenden Frachtraten deutlich über den gegenwärtigen Transportpreisen und sind auch gegenüber den Transportkosten der Bahn nicht attraktiv, so daß unter den gegebenen Bedingungen eine Wettbewerbsfähigkeit bei dieser Fahrwassertiefe nicht gegeben ist.

### **Innovative Schiffstypen**

- Die wesentlichen Vorteile gegenüber den existierenden Schiffstypen bestehen in der Möglichkeit, bereits bei einer Fahrwassertiefe von 1,30 m Ladung transportieren zu können. Allerdings liegen bei dieser Fahrwassertiefe auch hier

portieren zu können. Allerdings liegen bei dieser Fahrwassertiefe auch hier die kostendeckenden Frachtraten deutlich über den gegenwärtigen Transportpreisen, so daß unter diesen Bedingungen ebenfalls eine Wettbewerbsfähigkeit nicht gegeben ist.

- Vorteile gegenüber den jeweiligen existierenden Schiffen sind nur dann gegeben, wenn die sich bei Durchführung der Innovationsstufe I ergebenden Nachteile durch zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (Innovationsstufe II) aufgefangen werden können.
  
- Auch bei Realisierung der Innovationsstufe II bleibt festzustellen, daß der Einfluß der Innovationen im Vergleich zur Fahrwassertiefe als gering zu bezeichnen ist und auch den Größeneffekt bei entsprechenden Wasserständen nicht kompensieren kann. Zudem sei darauf hingewiesen, daß sich die Vorteile innovativer Maßnahmen natürlich in gleicher Weise bei großen Schiffseinheiten - mit möglicherweise größerem Effekt - realisieren lassen.



#### **6.4 Wirtschaftliche Bewertung unter Berücksichtigung realistischer Wasserstandsentwicklungen auf ausgewählten Relationen**

Wie aus vorausgegangenen Ausführungen zur wirtschaftlichen Bewertung unter Zugrundelegung unterschiedlicher Fahrwassertiefen deutlich wurde, haben die innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe I) trotz ihrer besonderen Flachwassereigenschaften gegenüber den existierenden Schiffstypen überwiegend Wettbewerbsnachteile (Tab. 29).

Selbst für den Fall, daß es unter sehr optimistischen Voraussetzungen gelingt, durch zukunftsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die bisherigen negativen Einflußfaktoren bei der Einführung innovativer Maßnahmen aufzuheben bzw. zu kompensieren (Innovationsstufe II), beschränken sich die Transportkostenvorteile der innovativen Schiffe auf den Fahrwassertiefenbereich bis 4,00 m bzw. 2,50 m. Sind die Fahrwassertiefen größer, liegen die Transportkosten der existierenden Schiffstypen unter denen der innovativen Schiffstypen (Tab. 30).

Es kann vorausgesetzt werden, daß sich dieses Ergebnis auf den ausgewählten Relationen nicht grundsätzlich ändert. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei realistischer Beurteilung die zugrunde gelegten optimistischen Ergebnisse der Innovationsstufe II aus möglichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, wenn überhaupt, nur langfristig zu erzielen sind.

Aus diesem Grund erfolgt in nachfolgenden Berechnungen nicht ein erneuter Vergleich der existierenden mit den innovativen Schiffstypen, sondern es soll die Frage geklärt werden, ob im Falle eines Neubaus das Schiff als Standardschiff oder unter realitätsnahen Bedingungen (Innovationsstufe I) als innovativer Schiffstyp gebaut werden sollte. Auch auf diese Frage war zuvor in Abschnitt 6.3.7 eingegangen worden mit dem Ergebnis, daß unter Zugrundelegung der realitätsnahen innovativen Maßnahmen (Innovationsstufe I) beim Motorschiff, Typ 5 ab einer Fahrwassertiefe von 2,50 m und beim Schubverband, Typ 6 grundsätzlich die kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen über denen der als Neubauten konzipierten Standardschiffe liegen (Tab. 31).

Da allerdings die Kostenunterschiede gering sind, stellt sich die Frage, welche Ergebnisse sich unter Zugrundelegung der konkreten Wasserstandsentwicklungen auf den ausgewählten Relationen

- Hamburg – Dresden
- Hamburg – Berlin

ergeben.

Auf Basis der konkreten Wasserstandsentwicklungen für einen längeren Betrachtungszeitraum – festgelegt wurde die Zeitspanne zwischen 1990-1999 – und für jeweils ein Jahr mit günstigen und ungünstigen Wasserständen und den sich hieraus ergebenden Schiffstiefgängen werden nachfolgend die jährlichen Transportmengen, Transportkosten sowie die kostendeckenden Frachtraten für die fünf existierenden und die zwei innovativen Schiffstypen ermittelt und mit den gegenwärtigen Transportpreisen verglichen. Hierbei beziehen sich die Ergebnisse wieder auf einen Mittelwert zwischen Berg- und Talfahrt.

#### **6.4.1 Beschreibung der Wasserstraßeninfrastruktur der ausgewählten Relationen**

Für die wirtschaftliche Bewertung der existierenden Typschiffe sowie der zukunftsorientierten innovativen Schiffe wurden zwei Relationen mit – beispielsweise im Vergleich zum Rhein - deutlich eingeschränkter Wasserstraßeninfrastruktur ausgewählt. Hierbei handelt es sich um:

**Relation I:** Flußtransport auf der Elbe zwischen Hamburg und Dresden

**Relation II:** Fluß-/Kanaltransport auf der Elbe und den Märkischen Wasserstraßen zwischen Hamburg und Berlin

##### **6.4.1.1 Relation I: Elbe zwischen Hamburg und Dresden**

Die Fahrdistanz zwischen den Häfen in Hamburg und Dresden beträgt ca. 562 km. Es ist eine Schleuse zu passieren.

##### **A) Übersicht über den Ausbauzustand**

Die Elbe ist auf tschechischem Staatsgebiet mit 21 Staustufen staugeregelt. Unterhalb der Staustufe Strekov wurde zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse im 19. Jahrhundert ein Mittelwasserausbau realisiert und damit eine Niedrigwasserregulierung durchgeführt.

Diese Regulierung ist noch heute im wesentlichen kennzeichnend für den Ausbauzustand der Elbe von Strekov bis Geesthacht (Staustufe). Ziel der in Angriff genommenen Ausbaumaßnahmen, die jedoch nach dem Hochwasserereignis im August 2002 wieder gestoppt wurden, war die Wiederherstellung und Verbesserung der damaligen Regulierungsmaßnahmen des deutschen Elbeabschnittes zwischen Elbe-km

0,00 bis 569 im Hinblick auf eine durchgehende Fahrwassertiefe von 1,60 m und eine Fahrwasserbreite von 50 m. Unterhalb der Doppelschleuse Geesthacht ist die Fahrwassertiefe tidenabhängig.

**B) Maximale Schiffsabmessungen**

Bei der Festlegung der maximalen Schiffsabmessungen ist zu unterscheiden zwischen einzeln fahrenden Fahrzeugen und Verbänden.

Einzeln fahrende Fahrzeuge:

Fahrzeuge dürfen auf der Elbe von km 0,00 bis zum Hamburger Hafen (Elbe-km 607,50) eine Länge von 110 m und eine Breite von 11,45 m nicht überschreiten. Fahrzeuge mit Seitenradantrieb (Fahrgastschiffe) sind bis zu einer Breite von 14 m zugelassen. Vom Hafen Boizenburg (Elbe-km 559,50) bis zum Hamburger Hafen darf die Fahrzeugbreite auf 22,90 m erhöht werden.

Verbände (Schubverbände und gekuppelte Fahrzeuge):

Diese dürfen auf den nachfolgend aufgeführten Strecken folgende Abmessungen in Verbindung mit der Fahrrinntiefe gemäß Tab. 33 nicht überschreiten.

	Länge [m]	Breite [m]	Bemerkungen
<b>Talfahrt</b>			
km 0,00 bis km 607,50	137	11,45	
km 56,60 bis km 264,10	110	18,00	
km 264,10 bis km 344,50	145	22,90	
km 344,50 bis km 454,80	145	22,90	
	165	18,00	gilt nur bei bekanntgemachter Fahrwassertiefe von > 2,20
km 454,80 bis km 607,50	190	24,00	
<b>Bergfahrt</b>			
km 607,50 bis km 0,00	137	11,45	
km 607,50 bis km 454,80	190	24,00	
km 454,80 bis km 264,10	110	22,90	
	137	19,70	
	172	11,45	
	172	19,70	gilt nur bei bekanntgemachter Fahrwassertiefe von > 2,00
190	11,45		

Tab. 33 Maximal zulässige Abmessungen der Verbände auf verschiedenen Elbeabschnitten [13]

Darüber hinaus können die Verbandsabmessungen bei bestimmten Wasserständen noch weiter vergrößert werden. So dürfen beispielsweise auf der Fahrt zu Berg vom Hafen Roßlau (Elbe-km 264,10) bis unterhalb der Eisenbahnbrücke in Dresden (Elbe-km 56,56) Verbände mit einer Länge bis 170 m und einer Breite bis 11,45 m verkehren, wenn der Wasserstand am Pegel Wittenberg mindestens 3,20 m beträgt und der Verband mit einer aktiven Bugsteuereinrichtung ausgerüstet ist oder der Verband mit einem Vorspann verkehrt.

Für die durchgehende Fahrt zwischen Hamburg und Dresden liegen damit die maximalen Abmessungen der Verbände bei:

Talfahrt:	Länge 137,00 m, Breite 11,45 m bzw. Länge 110,00 m, Breite 18,00 m
Bergfahrt:	Länge 137,00 m, Breite 11,45 m.

Wie bereits zuvor in Abschnitt 6.2.1.5 festgestellt, wird nachfolgend, und zwar unabhängig von den gegenwärtig maximal zulässigen Verbandsabmessungen, auch der Schiffstyp 4b), Schubverband-Kanal berücksichtigt.

### **C) Ermittlung der Tiefgänge**

Die realisierbare Abladetiefe (Tiefgang) der Schiffe im Bereich zwischen Dresden und Geesthacht ist wasserstandsabhängig. Dieser Teil der Elbe ist in neun Abschnitte (E1 bis E9) unterteilt, wobei jeder Abschnitt über einen repräsentativen Pegelstandort verfügt (Tab. 34).

Elbeabschnitt	Abschnitt		Pegelstandort
	von	bis	
E1	0,00	56,80	Schöna
E2	56,80	109,40	Dresden
E3	109,40	200,0	Torgau
E4	200,0	290,5	Wittenberg/L
E5	290,5	332,8	Magdeburg
E6	332,8	434,9	Rothensee
E7	343,9	422,8	Tangermünde
E8	422,8	504,0	Wittenberge
E9	504,0	569,2	Dömitz

Tab. 34 Elbeabschnitte und Pegelstandorte

Die Ermittlung der jeweiligen Fahrwassertiefen erfolgt durch die Auswertung der Pegelstandswerte für die zehnjährige Zeitspanne zwischen 1990 und 1999.

In Abb. 19 ist die sich für die verschiedenen Pegelstandorte durchschnittlich ergebende Anzahl der Tage pro Jahr angegeben, an denen eine bestimmte Fahrwassertiefe zur Verfügung stand.

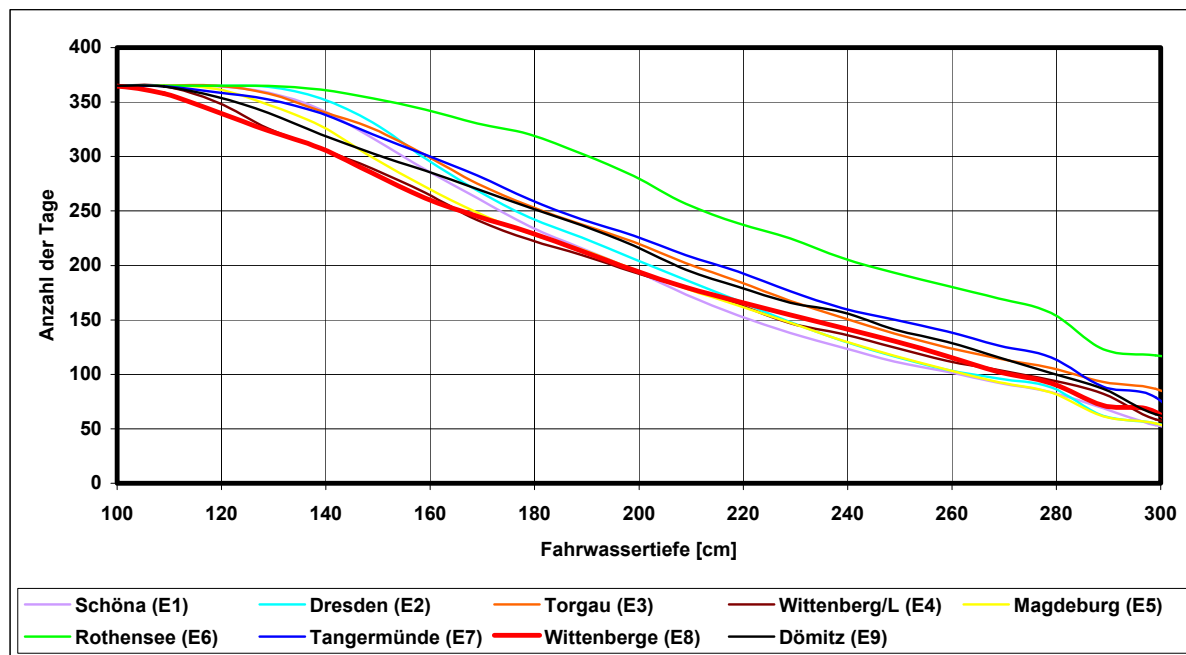


Abb. 19 Anzahl der Tage pro Jahr, an denen an den verschiedenen Pegelstandorten eine bestimmte Fahrwassertiefe durchschnittlich zur Verfügung stand, Zeitraum 1990-1999

Die zur Verfügung stehenden Tiefgänge ergeben sich auf Basis der Fahrwassertiefen, wobei eine angemessene Kiefreiheit zwischen Schiffsboden und Wasserstraßengrund zu berücksichtigen ist.

Bei der Festlegung der Kiefreiheit ist die unterschiedliche Sohlenbeschaffenheit der Elbe zu beachten (z.B. Felssohle, grober und feiner Kies). Wird die Elbe nach flußmorphologischen Eigenschaften unterteilt, so ist zu unterscheiden zwischen

- der Gebirgsstrecke            km    0,00 bis km 118,00
- dem Übergangsbereich      km 118,00 bis km 198,00
- der Flachlandstrecke        km 198,00 bis km 585,00.

In der Gebirgsstrecke sollte mindestens eine Kiefreiheit von 0,40 m berücksichtigt werden. Dagegen kann in der Flachlandstrecke infolge der größeren Wasserspiegelsbreite bzw. der großen Flußquerschnitte ein Abstand von 0,30 m als ausreichend betrachtet werden. Im Übergangsbereich sollte je nach Örtlichkeit die Kiefreiheit zwischen 0,30 m und 0,40 m liegen. Gegebenenfalls kann sich örtlich noch eine größere notwendige Kiefreiheit in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Strömungsgeschwindigkeit zu Wassertiefe ergeben.

Bei nachfolgenden Betrachtungen wurden für die verschiedenen Elbabschnitte nachfolgende Kiefreiheiten berücksichtigt:

<b>Elbeabschnitt</b>	<b>Kiefreiheit [m]</b>
E1	0,4
E2	0,3
E3	0,4
E4 bis E9	0,3

Tab. 35      Zugrunde gelegte Kiefreiheiten auf den verschiedenen Elbeabschnitten

Unter Berücksichtigung dieser Werte wurde die Anzahl der Tage ermittelt, an denen an den verschiedenen Pegelstandorten über die Zeitspanne zwischen 1990 bis 1999 durchschnittlich ein bestimmter Tiefgang zur Verfügung stand (Abb. 20).

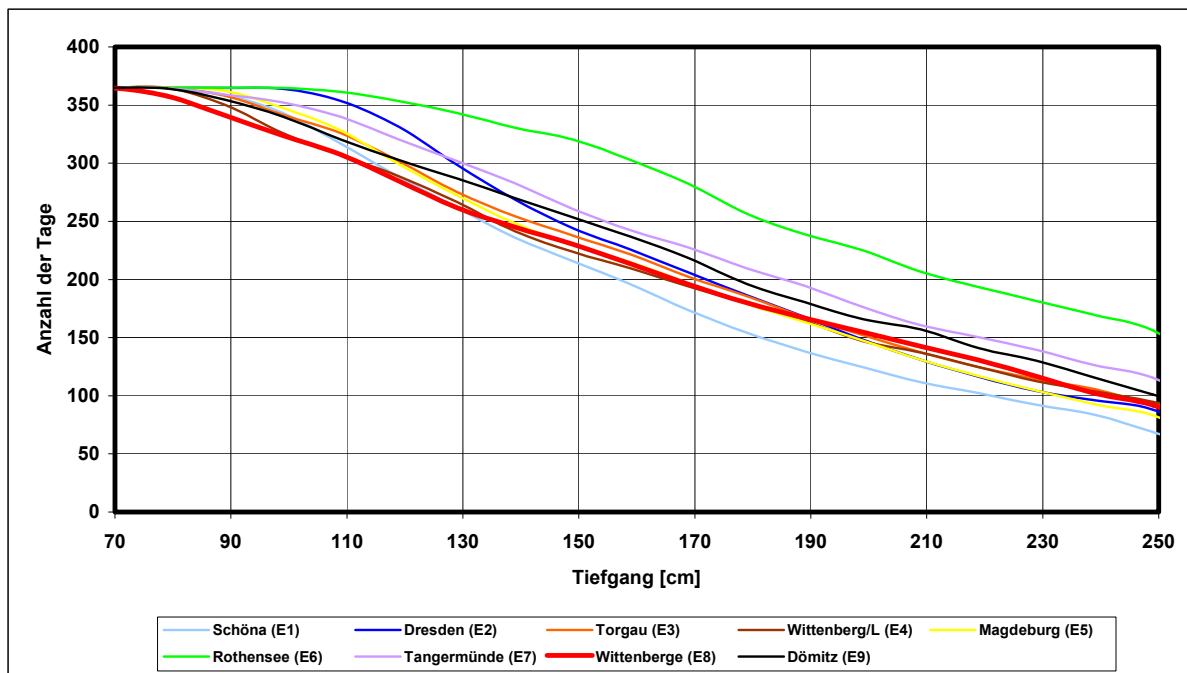


Abb. 20 Anzahl der Tage pro Jahr, an denen an verschiedenen Pegelstandorten ein bestimmter Tiefgang durchschnittlich zur Verfügung stand, Zeitraum 1990-1999

Die Auswertung der Daten aus Abb. 20 ergab zunächst, daß die geringsten Wassertiefen im Abschnitt E1 zwischen Schöna und Dresden auftreten. Da dieser Bereich oberhalb der Relation Hamburg-Dresden liegt, kann er für nachfolgende Betrachtung vernachlässigt werden, d.h. dieser Bereich ist nicht tiefgangsbestimmend.

Tiefgangsbestimmend sind dagegen die Abschnitte E5, Magdeburg und E8, Wittenberge. Für diese beiden Abschnitte sind in Abb. 21 die Anzahl der Tage, an denen ein bestimmter Tiefgang zur Verfügung stand, dargestellt.

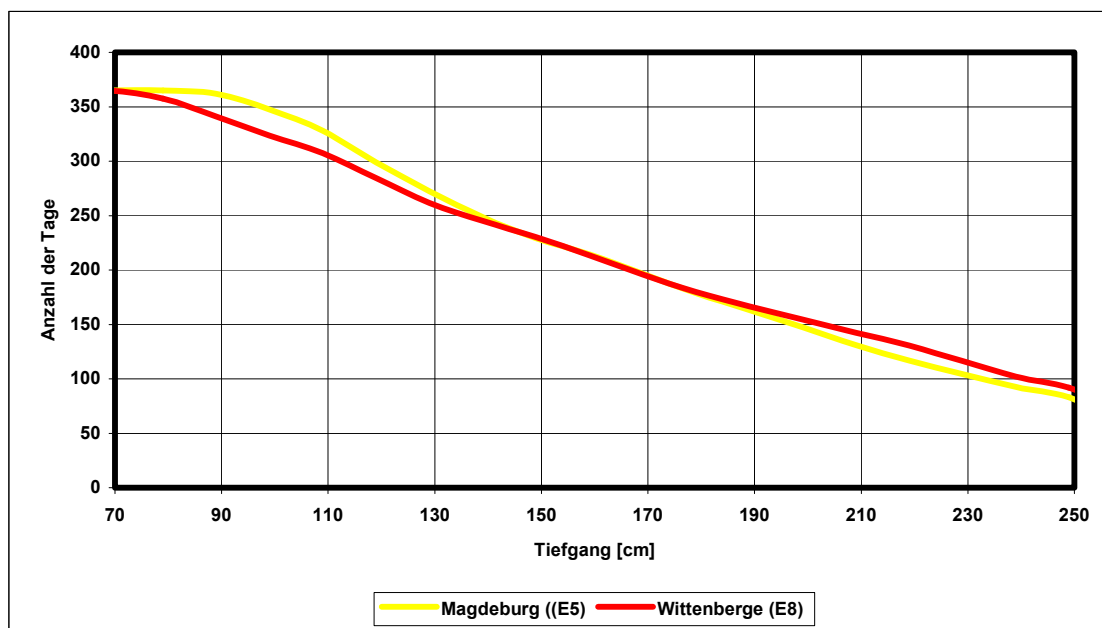


Abb. 21 Anzahl der Tage pro Jahr, an denen an den Pegelstandorten Magdeburg (E5) und Wittenberge (E8) ein bestimmter Tiefgang durchschnittlich zur Verfügung stand, Zeitraum 1990-1999

Aus Abb. 21 wird deutlich, daß im Bereich kleinerer Tiefgänge (bis. ca. 1,50 m) der Abschnitt E8 und bei größeren Tiefgängen (ab ca. 1,90 m) der Abschnitt E5 tiefgangsbestimmend ist. Jedoch sind die Unterschiede nicht gravierend. In nachfolgenden Berechnungen wird unter Berücksichtigung, daß dieser Elbebereich auch bei der Relation B) befahren wird, der Abschnitt Wittenberge (E8) als tiefgangsbestimmend zugrunde gelegt.

Um in den weiteren Betrachtungen einen Vergleich der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Schiffstypen bei unterschiedlichen Wasserstandsentwicklungen durchführen zu können, werden für den Abschnitt Wittenberge (E8) die jeweiligen jährlichen Tiefgangsverläufe für den Zeitraum zwischen 1990-1999 ermittelt und in Abb. 22 dargestellt.



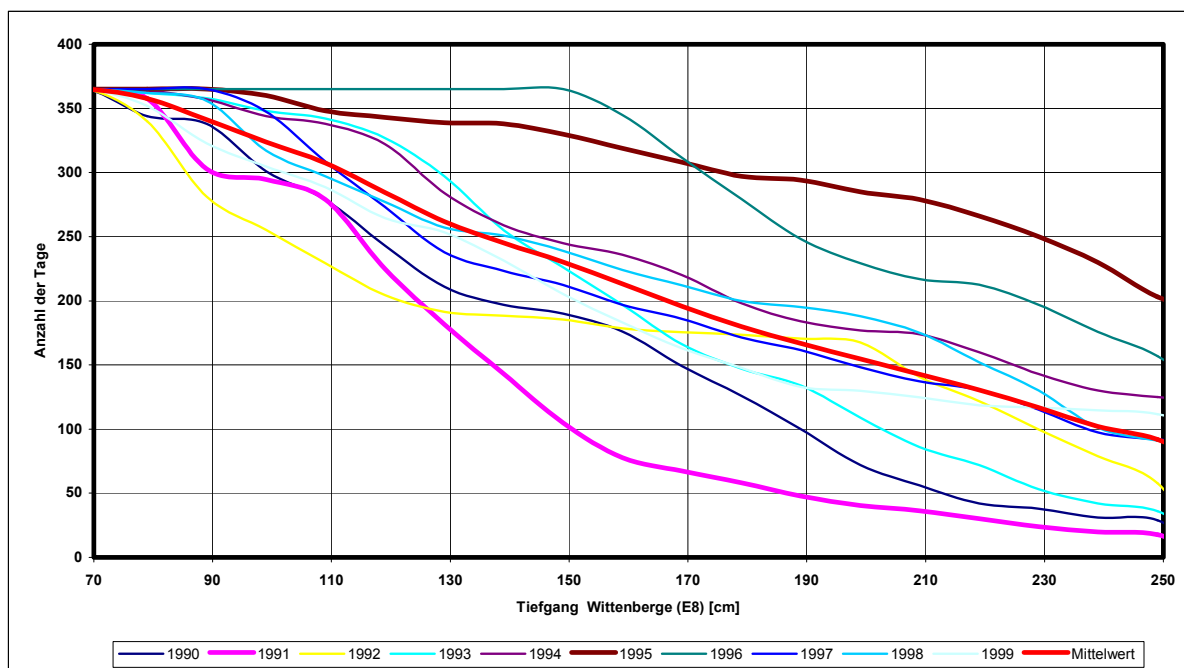


Abb. 22 Anzahl der Tage pro Jahr, an denen am Pegelstandort Wittenberge (E8) ein bestimmter Tiefgang durchschnittlich zur Verfügung stand, getrennt dargestellt für jedes Jahr zwischen 1990-1999

In Abb. 22 sind der jährliche Durchschnittswert für die Zeitspanne zwischen 1990-1999 (dicke hellrote Linie) sowie für das Jahr mit günstigen (1995, dicke braune Linie) und ungünstigen Tiefgangsverläufen (1991, dicke dunkelrote Linie) dargestellt.

#### D) Gegenwärtige Tiefgangsverhältnisse auf der Relation I

In vorstehenden Ausführungen zur Tiefgangsentwicklung ging es darum, für den wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Schiffstypen eine möglichst realitätsnahe Wasserstandsentwicklung zugrunde zu legen. Aus diesem Grund wurden für die längere Zeitperiode zwischen 1990-1999 die jährlichen Durchschnittswerte wie auch die Daten für einzelne Jahre mit niedrigen (1991) und günstigen (1995) Tiefgangsverläufen ermittelt.

Diese den nachfolgenden Berechnungen zugrunde gelegten Tiefgangswerte dürfen jedoch keinesfalls mit der gegenwärtigen Situation auf der Elbe verglichen werden. Diese Situation ist zum einen gekennzeichnet durch eine extrem lange Trockenperiode. So ergab beispielsweise eine Internetabfrage über ELWIS [14] am 13. August 2003 am Pegelstandort Wittenberge (E8) eine Fahrrinntiefe auf der Elbe von ca. 0,70 m bis 1,00 m, d.h. ein Wert, der im Bereich des Leertiefgangs der Schiffe liegt. Zum anderen sind Sedimentablagerungen im Bereich des Fahrwassers zu berücksichtigen, die durch das Hochwasser im August 2002 verursacht wurden. Bezüglich

der Höhe der Sedimentablagerungen gibt es aus dem Bereich der Schifffahrt unterschiedliche Auskünfte; jedoch scheint gesichert zu sein, daß in einzelnen Bereichen die Fahrwassertiefe gegenwärtig durch die Ablagerungen um mehr als 0,50 m verringert wird.

#### **6.4.1.2 Relation II: Elbe/Märkische Wasserstraßen zwischen Hamburg und Berlin**

Bei der Befahrung der Strecke Hamburg-Berlin ist zu unterscheiden zwischen dem Abschnitt auf der Elbe und dem Abschnitt auf den Märkischen Wasserstraßen.

##### **A) Elbeabschnitt**

Bezüglich des Befahrens der Elbe unterliegen die Fahrzeuge den gleichen Rahmenbedingungen wie zuvor für die Relation I beschrieben. Somit ist auch in diesem Fall die Wasserstandsentwicklung am Pegelstandort Wittenberge (E8) für den Elbebereich tiefgangsbestimmend.

Die Einfahrt von der Elbe in die Märkischen Wasserstraßen kann über vier verschiedene Möglichkeiten erfolgen:

- a) über den Niegripper Verbindungskanal (NVK)
- b) über die Untere Havelwasserstraße (UHW)
- c) über den Pareyer Verbindungskanal
- d) Rothensee.

Aufgrund der stärkeren Einschränkungen in bezug auf die Schiffsabmessungen und den Tiefgang im Falle der Möglichkeiten b) und c) sowie der längeren Fahrstrecke im Falle d) wird für alle Schiffstypen die Einfahrt über den NVK (Möglichkeit a)) zugrunde gelegt.

Die Fahrdistanz zwischen Hamburg und der Einfahrt in die Märkischen Wasserstraßen über den NVK beträgt 267 km.

##### **B) Märkische Wasserstraßen**

Als Distanz zwischen der Einmündung in den NVK und dem Berliner Westhafen ergeben sich ca. 130 km und damit zwischen Hamburg und Berlin eine Gesamtdistanz von 397 km. Zwischen dem NVK und Berlin sind fünf Schleusen zu passieren, so daß auf der gesamten Distanz insgesamt sechs Schleusen zu berücksichtigen sind.

**C) Maximale Schiffsabmessungen und Tiefgänge**

Auch hier ist zu unterscheiden zwischen dem Elbeabschnitt und den Märkischen Wasserstraßen. Bezüglich des Elbe-Abschnittes wird auf die Ausführungen im vorherigen Abschnitt 6.4.1.1 verwiesen. Bei den Märkischen Wasserstraßen wird in Abstimmung mit dem Auftraggeber der Ausbauzustand nach Fertigstellung des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit, Projekt 17 zugrunde gelegt.

	<b>max. Abmessungen (Länge x Breite) [m]</b>	<b>max. Tiefgang [m]</b>
Einzelfahrer	110,00 x 11,45	2,80
Verband	185,00 x 11,45	2,80

Tab. 36 Maximale Schiffsabmessungen und Tiefgänge auf der Strecke zwischen der Elbe und Berlin nach Fertigstellung des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit, Projekt 17

Hieraus ergibt sich, daß nach Fertigstellung des VDE-Projektes 17 nicht die Märkischen Wasserstraßen, sondern die Elbe größen- und tiefgangsbestimmend ist.

**6.4.2 Zusätzlich zu berücksichtigende Rahmenbedingungen**

Neben den in Abschnitt 6.2 dargestellten technischen und betriebswirtschaftlichen Daten sowie den in Abschnitt 6.3.2 zusätzlich festgelegten Rahmenbedingungen werden in nachfolgenden Berechnungen weitere Bedingungen berücksichtigt:

– Wasserstandsentwicklung

Elbe:

Bezüglich der von seiten der Wasserstraßen zur Verfügung stehenden Tiefgänge erfolgt die Analyse auf Basis der zuvor erfolgten Wasserstandsauswertung auf der Elbe für den tiefgangsrelevanten Pegelstandort Wittenberge, und zwar für folgende Betrachtungsfälle:

- Mittelwert der Wasserstandsentwicklung für die Zeitperiode 1990-1999
- Wasserstandsentwicklung 1995 (günstige Wasserstandsentwicklung)
- Wasserstandsentwicklung 1991 (ungünstige Wasserstandsentwicklung).

Märkische Wasserstraßen:

Auf den Märkischen Wasserstraßen werden die maximal zulässigen Tiefgänge nach Fertigstellung des VDE-Projektes 17 gemäß Tab. 36 berücksichtigt.

– Transportpreise

Bei den Transportpreisen wird, wie zuvor in Abschnitt 6.3.2 dargestellt, von den stark schwankenden Frachttarifen gemäß [6] und [11] ausgegangen, wobei Kleinwasserzuschläge gemäß Tab. 25 berücksichtigt werden. Für die verschiedenen Relationen ergaben sich für die Berg- und Talfahrt folgende grobe durchschnittliche Basisrichtwerte:

Relation I, Hamburg-Dresden:	6,50 €/t und Strecke bzw.
Relation II, Hamburg-Berlin:	4,40 €/t und Strecke.

- Ausfalltage durch Niedrigwasser bzw. minimaler Einsatztiefgang  
 Beim Einsatz der Schiffe auf Wasserstraßen mit stark schwankenden Wasserständen – wie im vorliegenden Fall auf der Elbe – stellt sich die Frage, bis zu welchem minimalen Tiefgang die Schiffe noch eingesetzt werden. Aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht macht es wenig Sinn, die Schiffe auch dann noch einzusetzen, wenn aufgrund der beschränkten Ladungsmenge die geringen Erlöse die transportabhängigen Kosten (Brennstoff, Schmieröl, Schleusengebühren usw.) nicht mehr decken. In der Realität werden aus vertraglichen Gründen oder um zu vermeiden, daß der Kunde auf andere Verkehrsträger ausweicht, nicht selten auch in dieser Situation noch Transporte durchgeführt. In vorliegender Untersuchung wird allerdings der geringste Tiefgang, bei dem der jeweilige Schiffstyp noch eingesetzt wird, allein nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten festgelegt.

#### 6.4.3 Relation I, Hamburg – Dresden

In Tab. 37 werden für die Elbe zunächst die Ladungsmenge und der dazugehörige Tiefgang und hieraus folgend die Anzahl der Tage dargestellt, an denen aufgrund des niedrigen Wasserstandes die Einnahmen aus den geringen Ladungsmengen nicht mehr dazu ausreichen, die transportabhängigen Kosten (Brennstoff, Schmieröl, Schleusengebühren usw.) zu decken, d.h. die Schiffe nicht mehr eingesetzt werden. Da der Pegelort Wittenberge zugrunde gelegt wurde, gelten die Werte sowohl für die Relation I, Hamburg-Dresden als auch für die Relation II, Hamburg-Berlin gleichermaßen.

Betrachtungszeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Ladungsmenge [t]	200	260	360	305	485	330	485
minimaler Tiefgang [m]	1,10	1,20	1,50	0,80 (L) 1,20 (SB)	0,80 (L) 1,20 (SB)	1,10	1,00 (L) 0,90 (SB)
Mittelwert 1990 - 1999	58	81	135	81	81	58	41
ungünst. Wasserstand 1991	86	140	260	140	140	86	71
günstiger Wasserstand 1995	17	22	35	22	22	17	5

Tab. 37 Ladungsmenge und Tiefgang, bei dem die Einnahmen die transportabhängigen Kosten nicht mehr decken und hieraus resultierende Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die Schiffe nicht mehr eingesetzt werden.

Tab. 37 macht anschaulich den Einfluß der Schiffsgröße wie auch des jeweiligen Betrachtungszeitraums auf die Anzahl der Ausfalltage pro Jahr deutlich.

In Tab. 38 sind für die verschiedenen Betrachtungszeiträume die sich ergebenden durchschnittlichen Fahrwassertiefen am Pegelort Magdeburg und die sich unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Basisrichtwerte und der Kleinwasserzuschläge gemäß Tab. 25 ermittelten Transportpreise dargestellt. Die Transportpreise werden in nachfolgenden Abb. 25 und Abb. 28 als horizontale farbliche Linien den jeweiligen kostendeckenden Frachtraten gegenübergestellt.

Betrachtungszeitraum	durchschnittliche Fahrwassertiefe Magdeburg [m]	durchschnittliche Transportpreise [€/t Strecke]
Mittelwert 1900 – 1999	2,13	6,82
ungünstiger Wasserstand 1991	1,68	7,46
günstiger Wasserstand 1995	2,63	6,63

Tab. 38 Durchschnittliche Fahrwassertiefe und sich ergebende durchschnittliche Transportpreise, Relation I, Hamburg-Dresden

Bezüglich der durchschnittlichen Fahrwassertiefe ist anzumerken, daß es sich um den arithmetischen Mittelwert sämtlicher Fahrwassertiefen handelt. Dies bedeutet, daß auch die extrem geringen Fahrwassertiefen, bei denen die Schiffe aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr eingesetzt werden, wie auch die sehr großen Fahrwassertiefen, die von den Schiffen aufgrund des eingeschränkten Konstruktionstief-

gangs  $T_{max}$  nicht voll genutzt werden können, der Mittelwertbildung zugrunde liegen. Aus diesem Grunde wurde bei der Ermittlung der durchschnittlichen Transportpreise die der jeweiligen Fahrwassertiefe zuzuordnende Tragfähigkeit der verschiedenen Schiffstypen berücksichtigt. Vereinfachend wurde hierbei nicht von der gegenwärtigen Flottenstruktur, sondern davon ausgegangen, daß jeder Schiffstyp die gleiche Anzahl an Reisen pro Zeiteinheit durchführt.

### 6.4.3.1 Transportmengen

Betrachungs- zeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	55,80	70,17	81,04	75,20	152,45	73,68	76,87
ungünst. Wasserstand 1991	33,90	36,43	27,16	46,06	85,65	43,28	47,40
günstiger Wasserstand 1995	97,39	107,55	148,31	104,81	228,16	108,61	106,02

Tab. 39 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [tsd. t/a]

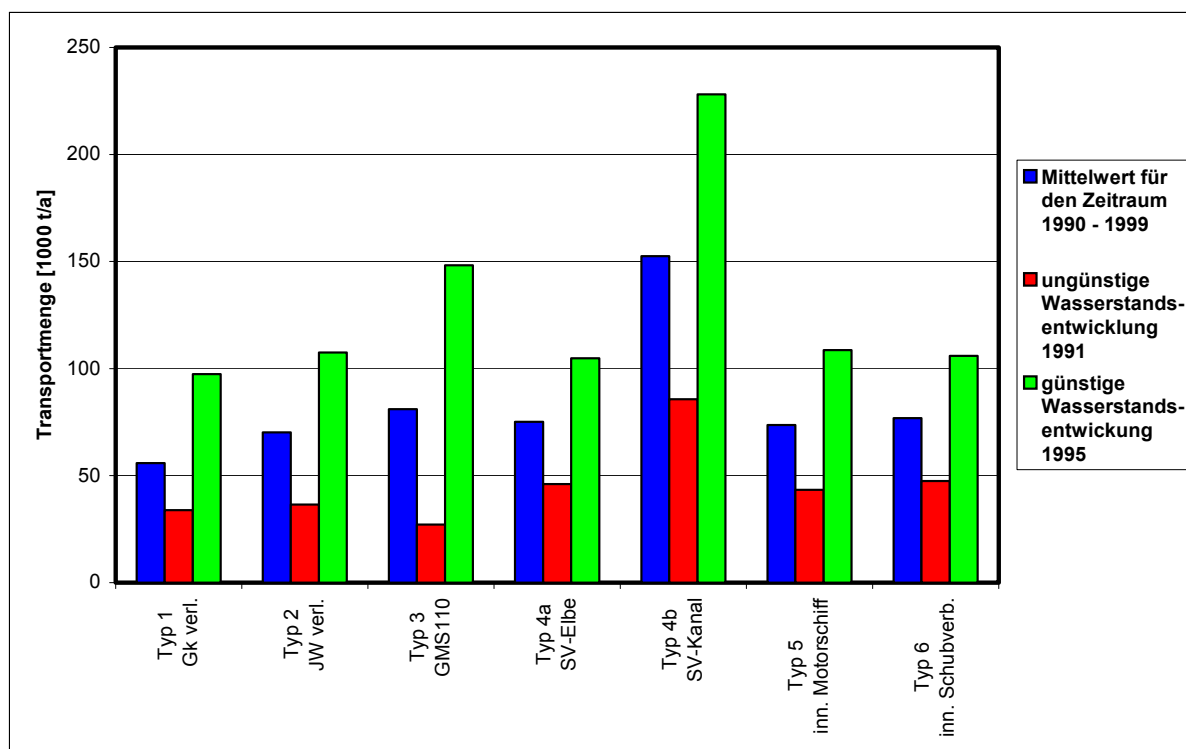


Abb. 23 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [tsd. t/a]

### **Allgemeine Feststellungen**

Vergleicht man zunächst die Transportleistungen der existierenden Schiffstypen 1 bis 4b) miteinander, so kann festgestellt werden, daß beim Mittelwert der Wasserstände des Zeitraums 1990-1999 auf der Elbe der große Schubverband Typ 4b) (auf dieser Strecke nicht zugelassen, siehe Abschnitt 6.4.1.1) die deutlich größte Transportleistung aufweist, gefolgt vom Motorschiff, Typ 3, dem Schubverband Typ 4a) und den kleineren Motorschiffen Typ 2 und 1.

Bei den günstigen Wasserständen des Jahres 1995 vergrößert sich der Abstand der größeren Schiffstypen 3 und 4b) gegenüber den kleineren Schiffstypen. Auffallend ist die vergleichsweise geringe Erhöhung der Transportmenge beim Elbe-Schubverband, was auf den relativ geringen maximalen Tiefgang der Leichter von 2,32 m zurückzuführen ist.

Bei den ungünstigen Wasserständen des Jahres 1991 ändert sich die Situation. Hier verfügt zwar nach wie vor der große Schubverband Typ 4b) über die größte Transportleistung, gefolgt vom kleineren Schubverband Typ 4a), während das größere Motorschiff Typ 3 die geringste Transportleistung aufweist.

### **Innovative Schiffstypen**

Beim Vergleich der innovativen Schiffstypen 5 und 6 mit den jeweiligen Basisschiffstypen 2 und 4a) ergeben sich bei den ungünstigen Wasserständen des Jahres 1991 die größten Unterschiede zugunsten der innovativen Schiffe, während sich mit zunehmenden Wasserständen diese Unterschiede verringern. Diese Entwicklung ist beim Motorschiff, Typ 5 deutlich stärker ausgeprägt als beim Schubverband, Typ 6.

#### **6.4.3.2 Transportkosten**

Nachfolgend wird unterschieden zwischen

- jährlichen Transportkosten [Mio. €/a] und
- Transportkosten pro Tonne und Strecke [€/t Strecke]

**A) Jährliche Transportkosten [Mio. €/a]**

Betrachtungszeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS 110 m	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	0,390	0,436	0,528	0,501	0,616	0,499	0,542
ungünst. Wasserstand 1991	0,375	0,393	0,414	0,452	0,573	0,475	0,486
günstiger Wasserstand 1995	0,413	0,478	0,619	0,549	0,660	0,533	0,597

Tab. 40 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [Mio. €/a]

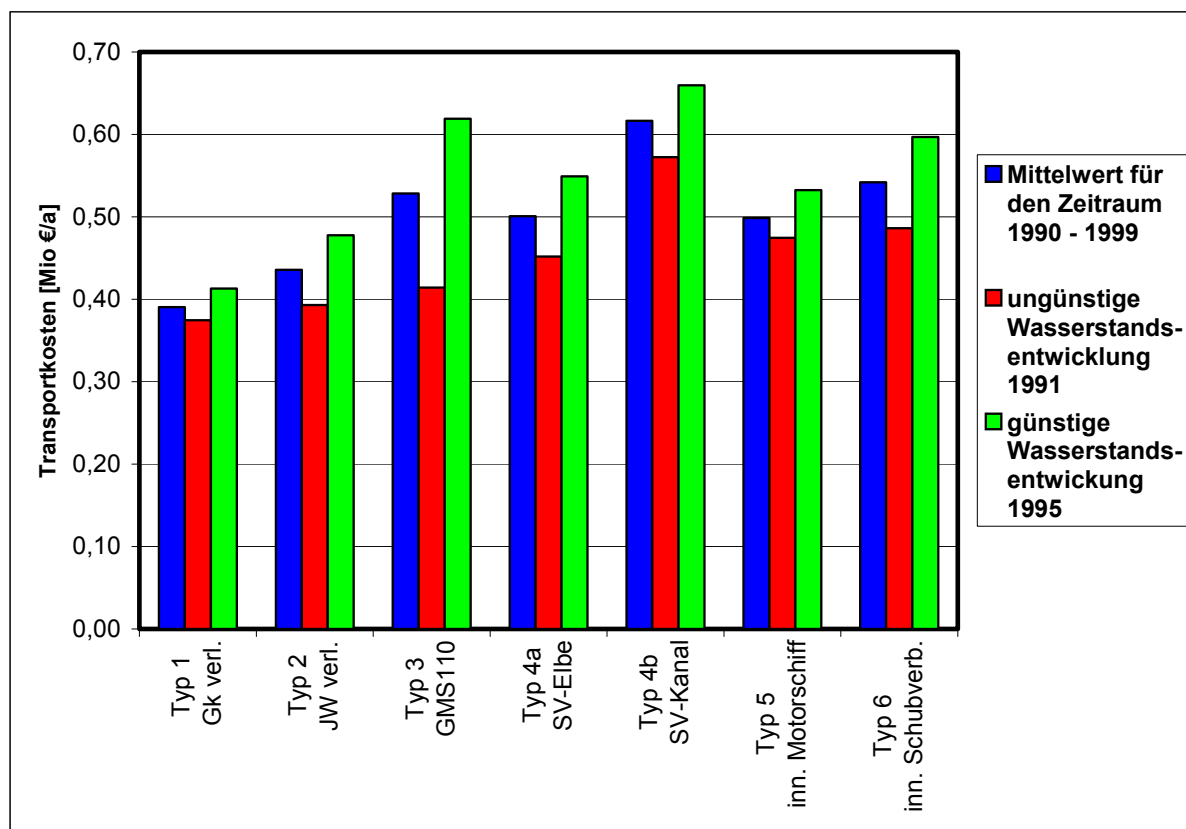


Abb. 24 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [Mio. €/a]



**B) Transportkosten pro Tonne und Strecke [€/t Strecke]**

Betrachtungs- zeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	7,00	6,21	6,52	6,66	4,04	6,77	7,05
ungünst. Wasserstand 1991	11,05	10,78	15,25	9,81	6,69	10,97	10,26
günstiger Wasserstand 1995	4,24	4,44	4,17	5,24	2,89	4,90	5,63

Tab. 41 Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [€/t Strecke]

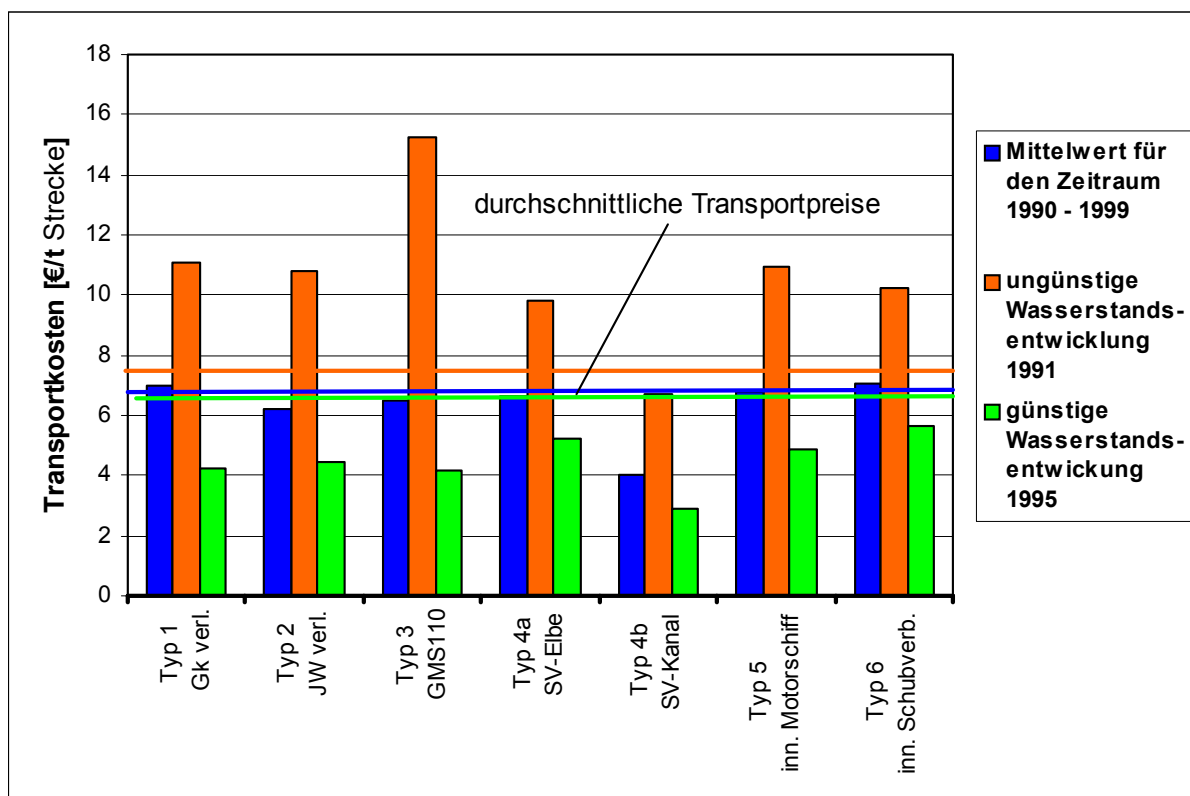


Abb. 25 Kostendeckende Frachtraten und Transportpreise der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation I, Hamburg-Dresden [€/t Strecke]

**Allgemeine Feststellungen**

Unabhängig vom Schiffstyp steigen – wie erwartet – die kostendeckenden Frachtraten mit sinkendem Wasserstand deutlich an. Dies wird am Beispiel der in Tab. 42 auf den Mittelwert zwischen 1990-1999 indizierten Frachtraten deutlich und zeigt den gravierenden Einfluß der Fahrwassertiefe auf die Frachtraten. Dieser Einfluß ist beim großen Motorschiff, Typ 3 besonders ausgeprägt.

Betrachtungs- zeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	100	100	100	100	100	100	100
ungünst. Wasserstand 1991	158	174	234	147	165	162	146
günstiger Wasserstand 1995	61	72	64	79	72	72	80

Tab. 42 Auf den Mittelwert 1990-1999 indizierte kostendeckende Frachtraten gemäß Tab. 41 [%]

Des weiteren wird aus Abb. 25 deutlich, daß beim ungünstigen Wasserstand von 1991 die kostendeckenden Frachtraten – mit Ausnahme des Kanal-Schubverbandes, Typ 4b – deutlich über, beim Mittelwert für den Zeitraum 1990-1999 im Bereich und beim günstigen Wasserstand von 1995 deutlich unter den jeweiligen Transportpreisen liegen.

### Innovative Schiffstypen

Zwecks besserer Vergleichbarkeit der kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen 5 und 6 mit den jeweiligen Werten der Neubauten Basisschiffstypen 2 und 4a), an denen keine innovativen Maßnahmen durchgeführt wurden, werden diese in Tab. 43 auf die Basisschiffe Typ 2 und 4a) indiziert.

Betrachtungszeitraum	Innovative Schiffe Innovationsstufe I	
	Typ 5 Innovatives Motorschiff	Typ 6 innovativer Schubverband
Mittelwert 1990 - 1999	109	106
Ungünstiger Wasserstand 1991	102	105
günstiger Wasserstand 1995	110	107

Tab. 43 Auf die Basisschiffe, Typen 2 und 4a) gemäß Tab. 41 indizierte kostendeckende Frachtraten der innovativen Schiffe Typ 5 und 6, Relation I, Hamburg-Dresden [%]

Aus Tab. 43 ergibt sich, daß die kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen in Abhängigkeit des jeweiligen Betrachtungszeitraums im Falle des innovativen Motorschiffs, Typ 5 zwischen 2 % bis 10 % über den Werten des Basisschiffes, Typ 2 liegen. Beim innovativen Schubverband, Typ 6 liegen die Unterschiede zwischen 5 % bis 7 %.

Werden die hier ermittelten Kostenrelationen mit den Werten in Abschnitt 6.3.7, Tab. 32 verglichen, so kann die gleiche Tendenz zu Lasten der innovativen Schiffe festge-

stellt werden. Damit wird die bereits in Abschnitt 6.3.7 getroffene Feststellung bestätigt, daß die positiven Effekte der zugrunde gelegten innovativen Maßnahmen durch die negativen Folgen nicht nur kompensiert werden, sondern daß die negativen Folgen gegenüber den positiven Effekten sogar überwiegen. Wie zuvor bereits mehrfach erwähnt, erscheint eine Aufhebung bzw. zur Kompensation der negativen Folgen nur durch zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben möglich.

### 6.4.4 Relation II, Hamburg – Berlin

#### 6.4.4.1 Transportmengen

Da auch auf dieser Relation der Elbeabschnitt tiefgangsbestimmend ist, wird bezüglich der Anzahl der Tage, an denen die Schiffe aufgrund des niedrigen Wasserstandes nicht mehr eingesetzt werden, wie auch bezüglich der durchschnittlichen Fahrwassertiefe am Pegelort Magdeburg, auf Tab. 37 verwiesen.

In Tab. 44 sind für die verschiedenen Betrachtungszeiträume die sich unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Fahrwassertiefen ergebenden durchschnittlichen Transportpreise für die Relation II dargestellt.

Betrachtungszeitrum	durchschnittliche Fahrwassertiefe Magdeburg [m]	durchschnittliche Transportpreise [€/t Strecke]
Mittelwert 1900 – 1999	2,13	4,84
ungünstiger Wasserstand 1991	1,68	5,28
günstiger Wasserstand 1995	2,63	4,40

Tab. 44 Durchschnittliche Fahrwassertiefe und sich ergebende durchschnittliche Transportpreise, Relation II, Hamburg-Berlin

Betrachtungszeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK ver.	Typ 2 JW ver.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	74,57	91,29	104,44	99,97	195,74	100,00	111,85
ungünst. Wasserstand 1991	45,31	47,40	35,14	61,22	109,97	59,28	76,57
günstiger Wasserstand 1995	106,90	139,92	178,25	139,33	292,93	146,33	146,43

Tab. 45 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [tsd. t/a]

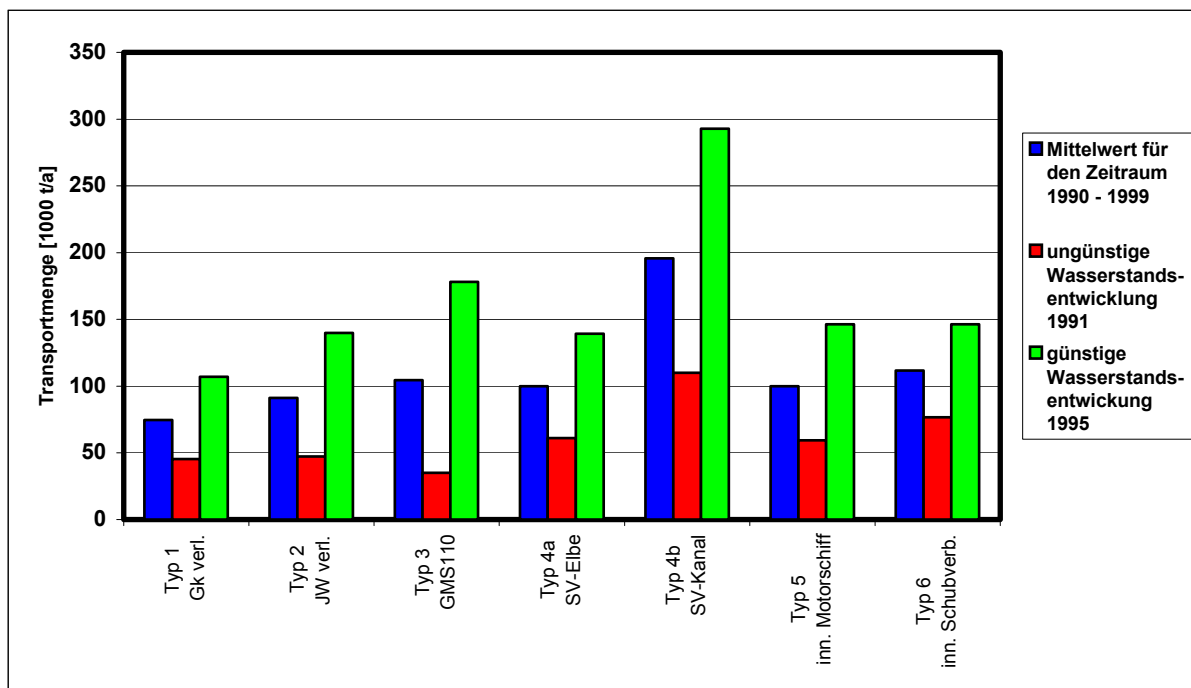


Abb. 26 Jährliche Transportmengen der verschiedenen Schiffstypen für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [tsd. t/a]

### Allgemeine Feststellungen

Vergleicht man auch auf dieser Relation II zunächst die Transportleistungen der existierenden Schiffe 1 bis 4b) miteinander, so verfügt der Schubverband, Typ 4b) als größtes Schiff bei allen Wasserständen über die größte Transportleistung gefolgt vom großen Motorschiff Typ 3. Beim ungünstigen Wasserstand des Jahres 1955 liegt die Transportleistung des Typs 3 allerdings unter den Werten der kleineren Motorschiffe Typ 1 und 2 sowie des kleineren Schubverbands Typ 4a).

### Innovative Schiffstypen

Beim Vergleich der innovativen Schiffstypen 5 und 6 mit den jeweils Basisschiffstypen 2 und 4a) ergibt sich auch auf dieser Relation die gleiche Tendenz wie zuvor auf der Relation I: Die größeren jährlichen Transportmengen zugunsten der innovativen Schiffe nehmen mit zunehmenden Wasserständen ab.

### 6.4.4.2 Transportkosten

#### A) Jährliche Transportkosten [Mio. €/a]

Betrachtungszeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS 110 m	Typ 4a) SV-Elbe.	Typ 4b) SV-Kanal	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	0,349	0,382	0,477	0,432	0,565	0,446	0,502
ungünst. Wasserstand 1991	0,337	0,350	0,390	0,397	0,531	0,428	0,476
günstiger Wasserstand 1995	0,367	0,413	0,547	0,466	0,598	0,470	0,518

Tab. 46 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [Mio. €/a]

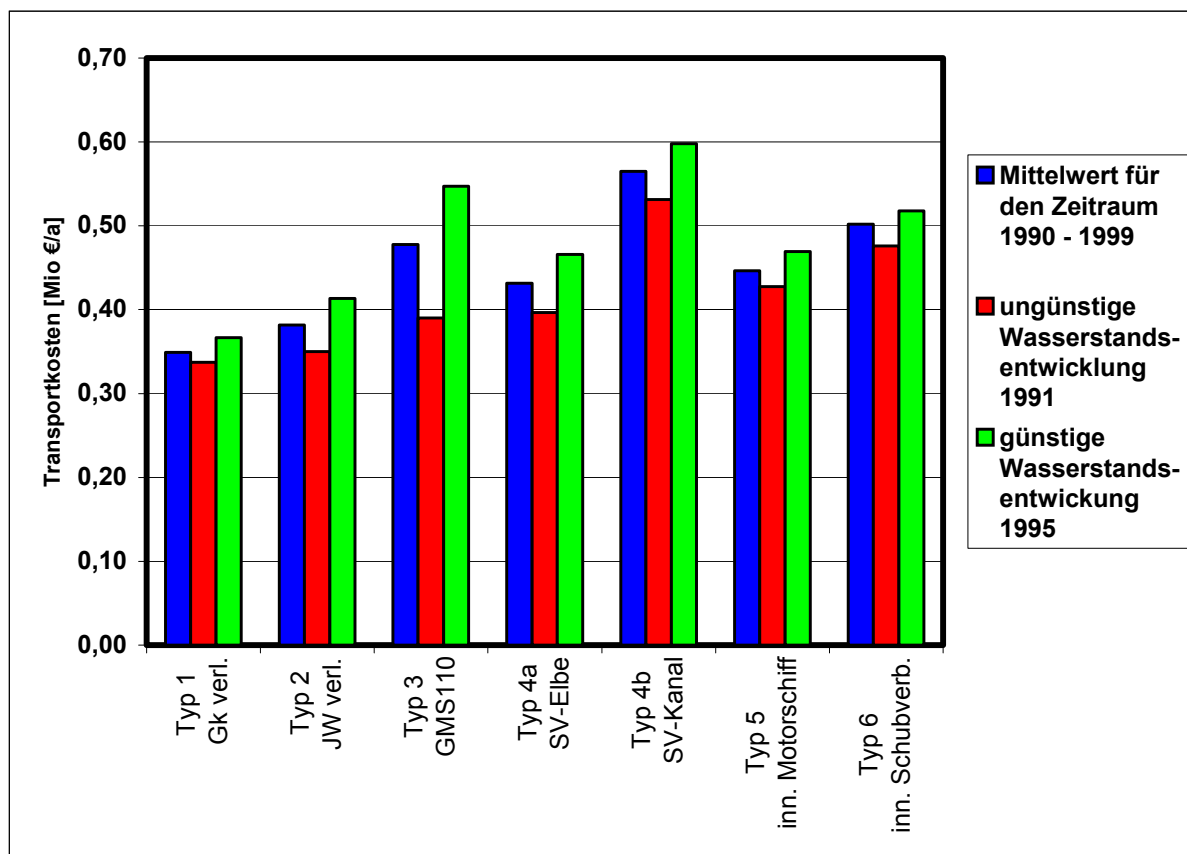


Abb. 27 Jährliche Transportkosten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [Mio. €/a]

**B) Transportkosten pro Tonne und Strecke [€/t Strecke]**

Betrachtungszeitraum	existierende Schiffe					innovative Schiffe	
	Typ 1 GK verl.	Typ 2 JW verl.	Typ 3 GMS110	Typ 4a) SV-Kanal	Typ 4b) Schubverb.	Typ 5 i. Motorschiff	Typ 6 i. Schubverb.
Mittelwert 1990 - 1999	4,68	4,18	4,57	4,32	2,89	4,46	4,49
ungünst. Wasserstand 1991	7,44	7,38	11,10	6,48	4,83	7,21	6,21
günstiger Wasserstand 1995	3,43	2,95	3,07	3,34	2,04	3,21	3,54

Tab. 47 Kostendeckende Frachtraten der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [€/t Strecke]

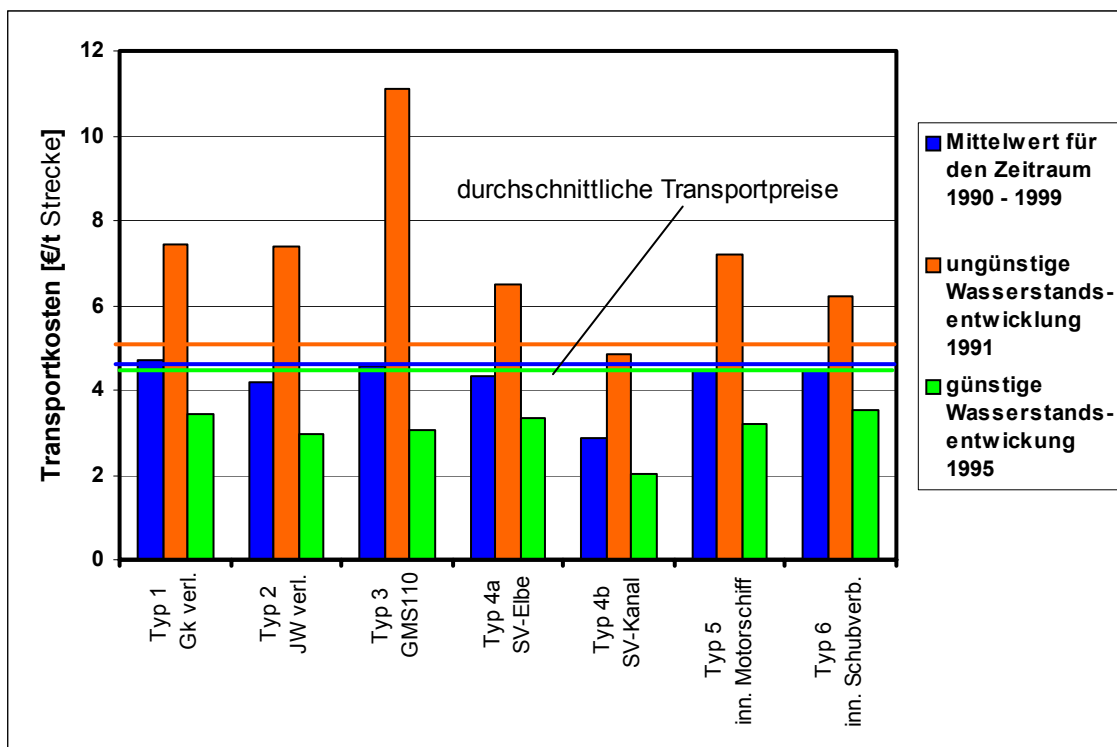


Abb. 28 Kostendeckende Frachtraten und Transportpreise der verschiedenen Schiffstypen, für verschiedene Betrachtungszeiträume, Relation II, Hamburg-Berlin [€/t Strecke]

**Allgemeine Feststellungen**

Aus Tab. 47 und Abb. 28 wird, wie zuvor bei der Relation I, deutlich, daß – und zwar mit Ausnahme des Kanal-Schubverbandes, Typ 4b – beim ungünstigen Wasserstand von 1991 die kostendeckenden Frachtraten über den durchschnittlichen Transportpreisen liegen. Im Falle des Wasserstandsmittelwertes 1990-1999 sind die Unterschiede vergleichsweise gering. Bei den günstigen Wasserständen des Jahres 1995

liegen die kostendeckenden Frachtraten bei allen Schiffen unter den durchschnittlichen Transportpreisen.

### Innovative Schiffstypen

Bezüglich des Vergleichs der kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen 5 und 6 mit den jeweiligen Neubautenwerten der Basisschiffstypen 2 und 4a), an denen keine innovativen Maßnahmen durchgeführt wurden, werden diese in Tab. 48 auf die Basisschiffe, Typ 2 und 4a) indiziert.

Betrachtungszeitraum	Innovative Schiffe Innovationsstufe I	
	Typ 5 Innovatives Motorschiff	Typ 6 innovativer Schubverband
Mittelwert 1990 - 1999	107	104
Ungünstiger Wasserstand 1991	98	96
günstiger Wasserstand 1995	109	106

Tab. 48 Auf die Basisschiffe, Typ 2 und 4a) gemäß Tab. 41 indizierte kostendeckende Frachtraten der innovativen Schiffe Typ 5 und 6, Relation II, Hamburg-Berlin [%]

Aus Tab. 48 ergibt sich zunächst eine gleiche Kostentendenz der innovativen Schiffstypen gegenüber den Basisschiffen, wie zuvor für die Relation I in Tab. 43 dargestellt.

Allerdings ist festzustellen, daß sich die innovativen Maßnahmen auf der Relation II günstiger auswirken als auf der reinen Flußstrecke der Relation I gemäß Tab. 43. Dies führt dazu, daß im Falle der ungünstigen Wasserstände des Jahres 1991 Kostenvorteile von ca. 2 % zugunsten des innovativen Motorschiffs, Typ 5 und ca. 4 % beim Schubverband, Typ 6 auftreten. Des weiteren liegen im Falle des Wasserstandsmittelwertes von 1990-1999 die Kosten der innovativen Schiffe Typ 5 und 6 zwischen 4-7 % und bei den günstigen Wasserständen des Jahres 1995 zwischen 6-9 % über den Werten der jeweiligen Basisschiffe.

Dieser Unterschied ist durch die verschiedenen Fahrstrecken zu begründen. Bei der Relation I zwischen Hamburg und Dresden handelt es sich um eine reine Flußstrecke mit schwankenden Wasserständen, während es sich bei der Relation II zwischen Hamburg und Berlin nur zum Teil um eine Flußstrecke und ansonsten um einen Kanalbereich mit guten und konstanten Wassertiefen handelt.

Die kostendeckenden Frachtraten der innovativen Schiffstypen werden gegenüber den Basisschiffen hauptsächlich durch zwei gegenläufige Maßnahmen beeinflusst. Zunächst handelt es sich um die Erhöhung der Tragfähigkeit, die von der Tendenz her zu einer Verringerung der Frachtraten führt. Gleichzeitig wurde aufgrund des Einbaus der Jet-Antriebe ein höherer Antriebs-Leistungsbedarf, der zu einer Erhöhung der Frachtraten führt, in den Kalkulationen berücksichtigt.

Beide Effekte wirken um so stärker, je geringer die Fahrwassertiefe und der davon abhängige Tiefgang sind. Dies bedeutet, daß besonders an Tagen mit geringer Wassertiefe, die sowohl in Jahren mit ungünstigen (1991) als auch mit günstigen Wasserständen (1995) auftreten, auf der gesamten Relation I beide Effekte gleichermaßen wirken. Anders sieht es auf der Relation II aus. Hier wirkt zwar der Tragfähigkeitseffekt auf der gesamten Strecke, jedoch ist im Kanalbereich aufgrund der günstigeren konstanten Wassertiefe und der vergleichsweise geringen maximal zulässigen Schiffsgeschwindigkeit von einer Verringerung des leistungserhöhenden Effektes der Jet-Antriebe auszugehen.

#### **6.4.4.3 Zwischenergebnis aus der relationsbezogenen wirtschaftlichen Bewertung**

Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse der allgemeinen wirtschaftlichen Bewertung (Abschnitt 6.3), die keine Vorteile der neu zu bauenden innovativen Schiffe gegenüber vergleichbaren seit längerem im Einsatz befindlichen existierenden Schiffstypen erwarten lassen, wurde darauf verzichtet, diese Konstellation noch einmal anhand konkreter Relationen zu überprüfen. Statt dessen wurde bei der relationsbezogenen Betrachtung der Fall zugrunde gelegt, daß es sich sowohl bei den innovativen Schiffseinheiten als auch bei den existierenden Basisschiffstypen um Neubauten handelt. Die Analysen geben damit nur Auskunft darüber, ob die Umsetzung innovativer Maßnahmen beim Neubau eines Schiffes Vorteile erwarten läßt oder ob ein Nachbau vergleichbarer vorhandener Schiffe günstiger erscheint. Bezüglich der innovativen Maßnahmen wurde dabei auf den aktuellen Kenntnisstand (Innovationsstufe I) abgestellt, weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, wie bei Innovationsstufe II angenommen, also vernachlässigt.

Unter diesen Voraussetzungen zeigen die Ergebnisse der relationsbezogenen Betrachtungen, daß bei der Frage, ob ein Neubau als Standardschiff oder unter realitätsnahen Bedingungen als innovativer Schiffstyp gebaut werden soll, der Schiffstyp wie auch das überwiegend befahrene Fahrtgebiet eine wesentliche Rolle spielen.



Wie die Rechnungen gezeigt haben, sind bei der reinen Elbefahrt (Relation I) sowohl bei niedrigen, mittleren und guten Wasserständen durch realitätsnahe innovative Maßnahmen (Innovationsstufe I) weder beim untersuchten Motorschiff noch beim Schubverband Transportkostenvorteile zu erzielen.

Anders sieht es auf Relationen mit einem vergleichsweise großen kanalisierten Streckenanteil mit konstanten Wasserständen aus (Relation II). Hier führten die innovativen Schiffstypen bei ungünstigen Wasserständen der Elbe zu besseren Ergebnissen als der Neubau eines vergleichbaren existierenden Schiffes, bei den mittleren und günstigen Wasserständen sind die innovativen Schiffstypen den existierenden Basistypen jedoch geringfügig unterlegen.

Allerdings setzen die ermittelten Vorteile für die innovativen Schiffstypen voraus, daß diese regelmäßig auf Strecken mit relativ hohem Kanalanteil eingesetzt werden, anderenfalls schwächen sich die Vorteile ab bzw. werden in ihr Gegenteil verkehrt. Insgesamt gesehen sind jedoch auch unter günstigen Randbedingungen die Vorteile der innovativen Schiffstypen begrenzt, so daß nur bei weiteren Erfolgen in Forschung und Entwicklung mit spürbaren Anreizen gerechnet werden kann, bei Neubauten in größerem Umfang Innovationen vorzunehmen.

Entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Verkehrsträgern – dies wird noch einmal durch die Ergebnisse dieses Abschnitts bestätigt – bleibt jedoch die Fahrwassertiefe, gefolgt von der Größe der einsetzbaren Schiffseinheiten.

## 7. Zusammenfassung der Ergebnisse

### 7.1 Technische Bewertung

Die Wirtschaftlichkeit eines Güterschiffs wird maßgeblich beeinflusst durch die Tragfähigkeit, die wiederum abhängig ist von den schiffsbezogenen Parametern Länge, Breite, Tiefgang, Fixpunkthöhe, Antriebsleistung und Geschwindigkeit und damit in starkem Maße von der Wasserstraßeninfrastruktur.

#### – **Einfluß der Schiffslänge und Schiffsbreite auf den Leertiefgang**

Im Normalfall vergrößert sich der Leertiefgang mit größer werdender Schiffslänge und –breite. Nur in wenigen Ausnahmefällen und unter Inkaufnahme einer deutlichen Minderung der maximalen Tragfähigkeit läßt sich eine Verminderung des Leertiefgangs erzielen. Mit der Verminderung der maximalen Tragfähigkeit ist allerdings bei moderaten und guten Wasserständen ein entsprechender wirtschaftlicher Nachteil in Kauf zu nehmen. Aus diesem Grund wird nur in wenigen Ausnahmefällen von dieser Methode zur Verringerung des Leertiefgangs Gebrauch gemacht.

#### – **Einfluß der Schiffslänge auf die Tragfähigkeit**

Die Tragfähigkeit steigt etwa im gleichen Maß mit der Schiffslänge. Dies gilt jedoch nur bei vollem Tiefgang; bei geringer werdendem Tiefgang nimmt die Zunahme ab und beträgt beim Leertiefgang null.

#### – **Einfluß der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit**

Bei einer Schiffsverbreiterung beträgt die Tragfähigkeitssteigerung etwa 70 % der Verbreiterungsrate. Auch hier nimmt der Wert mit kleineren Tiefgängen deutlich ab und beträgt beim Leertiefgang null.

#### – **Einfluß der Schiffslänge und der Schiffsbreite auf die Tragfähigkeit**

Werden beide Maßnahmen durchgeführt, reduziert sich aufgrund der erforderlichen schwereren Bauweise der zuvor beschriebene Längen- und Breiteneffekt um ca. 10 %.

#### – **Einfluß des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit**

Der Einfluß des Tiefgangs auf die Tragfähigkeit ist in Abb. 9 dargestellt. Zunächst ist zu berücksichtigen, daß die größeren Schiffe aufgrund ihrer schwereren Bauweise über einen größeren Leertiefgang verfügen als die kleineren Schiffe. Dies bedeutet, daß beim Leertiefgang eines großen Schiffs ein kleineres Schiff bei gleichem Tiefgang bereits Ladung aufnehmen kann.

Wird weiterhin berücksichtigt, daß die Betriebskosten der größeren Schiffe über denen der kleineren Einheiten liegen, wird verständlich, daß der wirtschaftliche Einsatz der größeren Schiffe nur bei entsprechend größeren Tiefgängen zu realisieren ist.

Allerdings liegt der maximale Tiefgang der größeren Schiffe deutlich über demjenigen der kleineren Einheiten, so daß bei größeren Wassertiefen entsprechend große Tragfähigkeiten zur Verfügung stehen.

– **Einfluß der Schiffsgröße auf den Antriebsbedarf**

Der Einfluß der Schiffsgröße auf den Antriebsbedarf ist in Abb. 11 dargestellt. Zunächst kann festgestellt werden, daß die „Grenzgeschwindigkeit“, d. h. die Schiffsgeschwindigkeit, die auch bei einer deutlichen Erhöhung der Antriebsleistung nicht überschritten werden kann, unter Zugrundelegung „angemessener“ Fahrwassertiefen bei kleineren Schiffen größer ist als bei größeren Schiffen. Dies bedeutet, daß mit größeren Schiffen grundsätzlich schneller gefahren werden kann. Dies macht sich auch beim Leistungsbedarf bemerkbar, der bei den kleineren Schiffen nur im geringen Geschwindigkeitsbereich unter, ansonsten über dem Leistungsbedarf und damit dem Brennstoffverbrauch der großen Schiffe liegt.

Hieraus läßt sich ableiten, daß bei „angemessenen“ Fahrwassertiefen der Einsatz größerer Schiffe zu bedeutenden Brennstoffeinsparungen und damit auch unter Umweltgesichtspunkten zu einer entsprechenden Verminderung der brennstoffspezifischen Emissionen führt.

– **Einfluß der Wassertiefe auf den Antriebsbedarf bzw. die Schiffsgeschwindigkeit**

Der Einfluß der Wassertiefe auf den Antriebsbedarf bzw. die Schiffsgeschwindigkeit ist für die verschiedenen Schiffstypen ebenfalls in Abb. 11 dargestellt. Hiernach läßt sich bei einer Wassertiefenvergrößerung, und zwar unabhängig vom Schiffstyp eine beträchtliche Geschwindigkeitserhöhung bzw. Leistungsverminderung erzielen. Damit wird der starke Einfluß der Wassertiefe auf den Brennstoffverbrauch und damit auf die brennstoffspezifischen Emissionen deutlich. Neben der Wassertiefe hat eine größere Gewässerbreite ebenfalls einen positiven Einfluß auf den Leistungsbedarf.

– **Einfluß von Wasserstandsvorhersagen auf den Tiefgang**

Bei der Beladung der Schiffe stellt sich grundsätzlich die Frage, mit welchem maximalen Tiefgang die vorgesehene Fahrstrecke ohne die Gefahr einer

Grundberührung befahren werden kann. So beträgt die Erhöhung des Zuladegewichtes pro 10 cm Tiefgangsvergrößerung beispielsweise beim GMS-110 m ca. 120 t, beim kleineren  $GK_{\text{verl.}}$  ca. 60 t und beim großen Schubverband ca. 170 t.

Insbesondere bei stark schwankenden Wasserständen auf den frei fließenden Flußabschnitten und bei langen Anreisezeiten bis zum Erreichen des jeweiligen Engstellenbereichs würde ein zuverlässiges Vorhersagesystem zu deutlichen wirtschaftlichen Vorteilen in bezug auf die maximale Zuladung führen und die Zuverlässigkeit, die Wasserstraße ohne Grundberührung oder eine kostenträchtige Leichterung passieren zu können, beträchtlich erhöhen.

Daneben können zukünftige technische Entwicklungen ebenfalls zu weiteren wirtschaftlichen Vorteilen und zur Erhöhung der Sicherheit führen. Bei allen technischen Maßnahmen darf jedoch nicht übersehen werden, daß vielfach auch Nachteile entstehen, so daß Vor- und Nachteile unter Berücksichtigung der Einsatz-Rahmenbedingungen gegeneinander abgewogen werden müssen. So führt, zumindest noch heute, die immer wiederkehrende Forderung einer Tragfähigkeitserhöhung durch die Reduzierung des Schiffsgewichts aufgrund der Verwendung „hochwertiger“ oder dünnerer Materialien zu höheren Herstellkosten und möglicherweise auch zu einer Reduzierung der Lebensdauer der Schiffe. Diese Nachteile müssen durch die Vorteile überkompensiert werden, um einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen. Wünschenswert für die Zukunft wäre z. B. die Entwicklung kostengünstiger höherfester und klassifizierter Schiffbaustähle oder Ersatzwerkstoffe, deren Eigenschaften in bezug auf die Dehn-, Verform-, Schweiß-, Schneidbarkeit, Korrosionsbeständigkeit usw. den heute verwendeten Materialien entsprechen.

Auch die Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit ist beim Verdrängerschiff - neben der Schiffsvergrößerung - nur durch eine weitere Optimierung der Antriebssysteme und der Schiffsform denkbar. Ein weiteres Heranrücken der Einsatzgeschwindigkeit an die Grenzgeschwindigkeit der Schiffe ist in beschränktem Maße möglich, beinhaltet auf der anderen Seite aber eine deutliche Erhöhung des Leistungsbedarfs und damit des Brennstoffverbrauchs bzw. der Brennstoffkosten. Damit ist diese Möglichkeit nur in Ausnahmefällen, z. B. beim Einhalten von Terminen, wirtschaftlich vertretbar, aus Umweltgründen jedoch möglichst zu vermeiden.

Eine bedeutende Geschwindigkeitserhöhung ist allerdings mit „unkonventionellen“ Schiffsformen zu erreichen. Hierbei handelt es sich um spezielle Katamaran- und Tragflächenformen. Nachteil dieser Spezialschiffe ist die gegenüber konventionellen Verdrängerschiffen deutlich geringere Tragfähigkeit, so daß diese Schiffstypen für den Transport von „Massengut“ nur in einem eingeschränkten Umfang geeignet sind. Allerdings eignen sich diese Schiffe für den Transport großvolumiger vergleichsweise leichter Güter wie zum Beispiel Leercontainer, Fahrzeuge, Großsektionen des Airbus A 380 (siehe DASA, Hamburg-Finkenwerder) und nicht zuletzt für den Personenverkehr. Um diese Schiffstypen auch für weniger schwere Massengüter zu optimieren, sind allerdings noch beträchtliche Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen erforderlich.

Natürlich ist nicht auszuschließen, daß unter bestimmten Voraussetzungen auch ansonsten unwirtschaftliche Schiffe zu einem wirtschaftlichen Erfolg führen. Dies wird am Beispiel des ausführlich beschriebenen Einsatzes eines „kleinen“ Schubverbandsystems auf der Oberweser deutlich. Kernpunkt dieses Beispiels ist allerdings die als maßgeblich zu bezeichnende Rahmenbedingung, daß es sich um einen „Werkverkehr“ handelt. Dies bedeutet, daß die im „normalen“ Verkehr unter Einbindung des Binnenschiffs zusätzlich zu berücksichtigenden Verlade- sowie Vor- und Nachlaufkosten, die je nach Einsatzbedingungen und Transportentfernung vielfach höher sind als die eigentlichen Schiffstransportkosten, nicht anfallen.

Besonders kritisch sind „spektakuläre“ Schiffsentwicklungen zu beurteilen. Insbesondere dann, wenn von beträchtlichen Geschwindigkeitserhöhungen die Rede ist, muß dem voraussichtlichen Leistungsbedarf, dem möglicherweise eingeschränkten Einsatzgebiet und der Verminderung der Tragfähigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Einen weiteren großen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit hat das Verhältnis der Verladezeit zur reinen Fahrzeit; technische Weiterentwicklungen führen nur dann zu wirtschaftlichen Vorteilen, wenn das Schiff entsprechend häufig im Einsatz ist. Dies bedeutet, daß vergleichsweise lange Be- und Entladezeiten, Warte- und Schleusenzeiten usw. die wirtschaftlichen Vorteile der technischen Weiterentwicklungen reduzieren. Dies gilt auch für die Größenentwicklung der Schiffe, deren Größenvorteil mit unveränderter Verladekapazität eingeschränkt wird.

## **7.2 Wirtschaftliche Bewertung**

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Schiffstypen wurden fünf existierende und zwei innovative Schiffe gegenübergestellt. Bei den existierenden Schiffen handelt es sich um drei unterschiedlich große Motorschiffe und zwei Schubverbände. Die Basis für die innovativen Schiffe bilden das mittelgroße Motorschiff und der kleinere Elbe-Schubverband, wobei Gewichtseinsparungen von 10 % durch konstruktive Maßnahmen und durch die Verwendung leichterer Antriebssysteme zugrunde gelegt wurden. Weiterhin berücksichtigt wurde eine Verringerung der Antriebsleistung durch Optimierung der Schiffsform von 10 % beim Motorschiff und 15 % beim Schubverband bei gleichzeitiger Erhöhung der Antriebsleistung um jeweils 25 % durch den höheren Leistungsbedarf der Jet-Antriebe gegenüber einer konventionellen Propeller-Antriebsanlage. Gleichzeitig wurde bei den innovativen Schiffen aufgrund der leichteren Bauweise eine 8%-ige Erhöhung der Neubaukosten berücksichtigt.

Die wirtschaftliche Bewertung erfolgte zunächst allgemein unter Zugrundelegung unterschiedlicher Fahrwassertiefen, wobei primär auf den Vergleich im Einsatz befindlicher Standardschiffe und gemäß heutigem Kenntnisstand gefertigter innovativer Schiffsneubauten (Innovationsstufe I) abgestellt wurde. Ergänzend wurden Weiterentwicklungen bei den innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe II) sowie Neubauten der Standardschiffe einbezogen.

### **Die wichtigsten Ergebnisse lassen wie folgt zusammenfassen:**

Unabhängig vom Schiffstyp stellen die Fahrwassertiefe und die sich hieraus ergebende Abladetiefe den entscheidenden Wettbewerbsfaktor dar. An zweiter Stelle zu nennen ist der Größeneffekt der Schiffe, der allerdings nur bei größeren Fahrwassertiefen zum Tragen kommt. Demgegenüber kommt dem Einfluß von Innovationen eher eine geringere Bedeutung zu.

Die wesentlichen Vorteile der neu zu bauenden innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe I) gegenüber den seit langem im Einsatz befindlichen Standardschiffen bestehen in der Möglichkeit, bereits bei einer Fahrwassertiefen von 1,30 m Ladung transportieren zu können. Allerdings liegen die kostendeckenden Frachtraten in dieser Situation deutlich über den gegenwärtigen Binnenschiffs-Transportpreisen und sind auch gegenüber Bahn und LKW wenig attraktiv, so daß unter den gegebenen

Bedingungen eine Wettbewerbsfähigkeit nicht gegeben ist. Des weiteren haben die Standardschiffe Kostenvorteile gegenüber den innovativen Schiffstypen.

Dies ändert sich nur, wenn man für die innovativen Schiffstypen eine erfolgreiche Weiterentwicklung unterstellt (Innovationsstufe II) und gleichzeitig einen Neubau für die Standardschiffe voraussetzt. Unter diesen Annahmen ergeben sich begrenzte Kostenvorteile für die innovativen Schiffstypen. Jedoch bleibt selbst unter diesen Voraussetzungen der Einfluß der Innovationen im Vergleich zur Fahrwassertiefe und Größe der eingesetzten Schiffe eher marginal.

Aufgrund dieser eindeutigen Ergebnisse wurde bei der anschließenden Analyse konkreter Relationen darauf verzichtet, hier noch einmal die neu zu bauenden innovativen Schiffstypen den bereits seit längerem im Einsatz befindlichen Standardschiffen gegenüberzustellen. Statt dessen wurde bei der relationsbezogenen Analyse der Fall zugrunde gelegt, daß es sich sowohl bei den innovativen Schiffseinheiten als auch bei den existierenden Schiffstypen um Neubauten handelt. Die diesbezüglichen Berechnungen geben damit nur Auskunft darüber, ob die Umsetzung innovativer Maßnahmen beim Neubau eines Schiffes wirtschaftliche Vorteile erwarten läßt oder ob ein Nachbau vergleichbarer Standardschiffe günstiger erscheint.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Antwort auf diese Frage sowohl vom Schiffstyp als auch von dem überwiegend befahrenen Fahrtgebiet abhängt. Während in der reinen Elbefahrt auf der Relation I, Hamburg-Dresden, keine Vorteile bei den nach heutigem Kenntnisstand gebauten innovativen Schiffstypen (Innovationsstufe I) erkennbar sind, ergeben sich Vorteile auf der Relation II, Hamburg-Berlin, bei der eine längere Kanalstrecke zu passieren ist. Diese Vorteile, die nur bei einer regelmäßigen Befahrung einer derartigen Relation und auch nur bei niedrigen Wasserständen auf der Elbe zu erzielen sind, bleiben jedoch begrenzt, so daß nur bei weiteren Erfolgen in Forschung und Entwicklung mit spürbaren Anreizen gerechnet werden kann, bei Neubauten in größerem Umfang Innovationen vorzunehmen.

### **7.3 Fazit**

Jeder Reeder bzw. jeder Partikulier ist bestrebt, seine Schiffe optimal an das von ihm bediente Fahrtgebiet anzupassen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Festlegung der Hauptabmessungen. Allerdings muß hierbei vielfach ein Kompromiß gewählt werden, um verschiedene Fahrtgebiete bedienen zu können und die aus unternehmerischer Sicht notwendige Flexibilität zu gewährleisten.

Da die hier vorhandenen Möglichkeiten bereits heute weitestgehend genutzt werden, erfolgte bei der wirtschaftlichen Analyse im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eine Konzentration auf solche innovativen Maßnahmen, die darauf abzielen, bei gegebener Länge und Breite der Schiffseinheit insbesondere bei geringen Wassertiefen mehr Ladung transportieren zu können. Ansatzpunkte hierzu bestehen vor allem über Gewichtseinsparungen und eine Optimierung der Schiffsform, führen aber gleichzeitig – zumindest beim gegenwärtigen Stand der Technik – zu höheren Kosten.

Die Anwendung der beschriebenen innovativen Maßnahmen führt dazu, daß auch bei geringen Fahrwassertiefen von 1,30 m bereits Ladung transportiert werden kann. Um die dabei anfallenden Kosten zu decken, wären jedoch Frachtraten erforderlich, die – zumindest aus heutiger Sicht – am Markt kaum durchsetzbar sein dürften. Da auch bei größeren Fahrwassertiefen keine wirtschaftlichen Vorteile gegenüber den bereits im Einsatz befindlichen Standardschiffen vorhanden sind, muß unter realistischen Randbedingungen davon ausgegangen werden, daß kaum Anreize vorhanden sind, existierende Standardschiffe durch innovative Neubauten zu ersetzen.

Etwas günstiger sind die Chancen zur Umsetzung der Innovationen einzuschätzen, wenn es um die Frage geht, ob ein ohnehin geplanter Neubau als Standardschiff oder als innovativer Schiffstyp gebaut werden soll. Hier kann unter speziellen Bedingungen der innovative Schiffstyp Vorteile bringen. Nur wenn es gelingt, durch eine erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeit die heute zu kalkulierenden Zusatzkosten der innovativen Schiffstypen gegenüber den existierenden Standardschiffen abzubauen, kann mit einem vermehrten Einsatz innovativer Schiffseinheiten gerechnet werden.

Allerdings bleiben auch unter diesen optimistischen Annahmen die Wettbewerbsvorteile innovativer Schiffstypen begrenzt. Die entscheidenden Faktoren für die Binnenschifffahrt, um sich im Wettbewerb mit den konkurrierenden Verkehrsträgern zu be-



haupten, bilden die Fahrwassertiefe und die sich hieraus ergebende Abladetiefe sowie die Größe der einsetzbaren Schiffseinheiten. Innovative Maßnahmen können allerdings helfen, die gegebenen Randbedingungen optimal zu nutzen, sie sind jedoch nicht dazu in der Lage, infrastrukturelle Beschränkungen zu kompensieren.

Im Auftrag des  
Bundesministers für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen

Forschungsbericht FE-Nummer: 30.0328/2003

Technische und wirtschaftliche Konzepte  
für flußangepaßte Binnenschiffe

Duisburg, im Juli 2004  
Fachbereich Verkehrstechnik

Der Bearbeiter:

Der Projektleiter:



.....  
Dr.-Ing. W. Bialonski

.....  
Dipl.-Ing. V: Renner

Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V.



.....  
Prof. Dr. P. Engelkamp

## LITERATUR

- [1] Peter Hartmann, „Kiestransporte mit flachgehenden Schubverbänden auf der Oberweser“, Wasser- und Schifffahrtsamt Minden
- [2] Rheinschiffs-Untersuchungsordnung, aktueller Stand
- [3] Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt e.V., Geschäftsbericht 2001/2002
- [4] Diverse Projektteilnehmer, „Binnenschiff der Zukunft“, Teilvorhaben „Entwurf von Vor- und Hinterschiffen“ und „Optimierung von Formgebung, Vortrieb und Steueranlage“ für Großmotorschiffe
- [5] Kostenkalkulationshilfen des BdB
- [6] Planco, „Potenziale und Zukunft der deutschen Binnenschifffahrt“, 2. Zwischenbericht, Mai 2003-10-02
- [7] VBD/EBD, „Ermittlung von Art, Umfang und räumliche Verteilung der Emissionen des Schiffsverkehrs für das Land NRW“, Duisburg, Dezember 1997
- [8] VBD/EBD, „Lage und Zukunftsperspektiven der nordrhein-westfälischen Binnenwerften unter besonderer Berücksichtigung des Raumes Duisburg und des Niederrheins“, Duisburg 1997
- [9] Bonapartner, Ausgabe 03/2004
- [10] „Die Binnenwasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland“, Sammlung von Daten und Fakten, VBW, Duisburg 1995
- [11] „Binnenschifffahrt“, ZfB
- [12] Umweltbundesamt, „Umweltorientierte Bewertung von Bundeswasserstraßenplanungen“, Berlin, April 2002
- [13] Binnenschifffahrtsstraßenordnung [BinSchStr.O], § 17.02, Stand 04.03.2004
- [14] Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Elektronisches Wasserstraßen-Informationssystem [ELWIS]