

Name der Forschungsstelle(n)

14458 N / 4

AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.07.05 bis 28.02.07

Bewilligungszeitraum

Schlußbericht für den Zeitraum : 01.07.05 bis 28.02.07

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



geförderten Forschungsvorhaben

Forschungsthema : Entwicklung eines technisch-wirtschaftlichen Konzeptes für den gemischten Transport unterschiedlicher Ladungsarten mit dem Binnenschiff-Koppelverband

DST-Berichts-Nr.: 1850

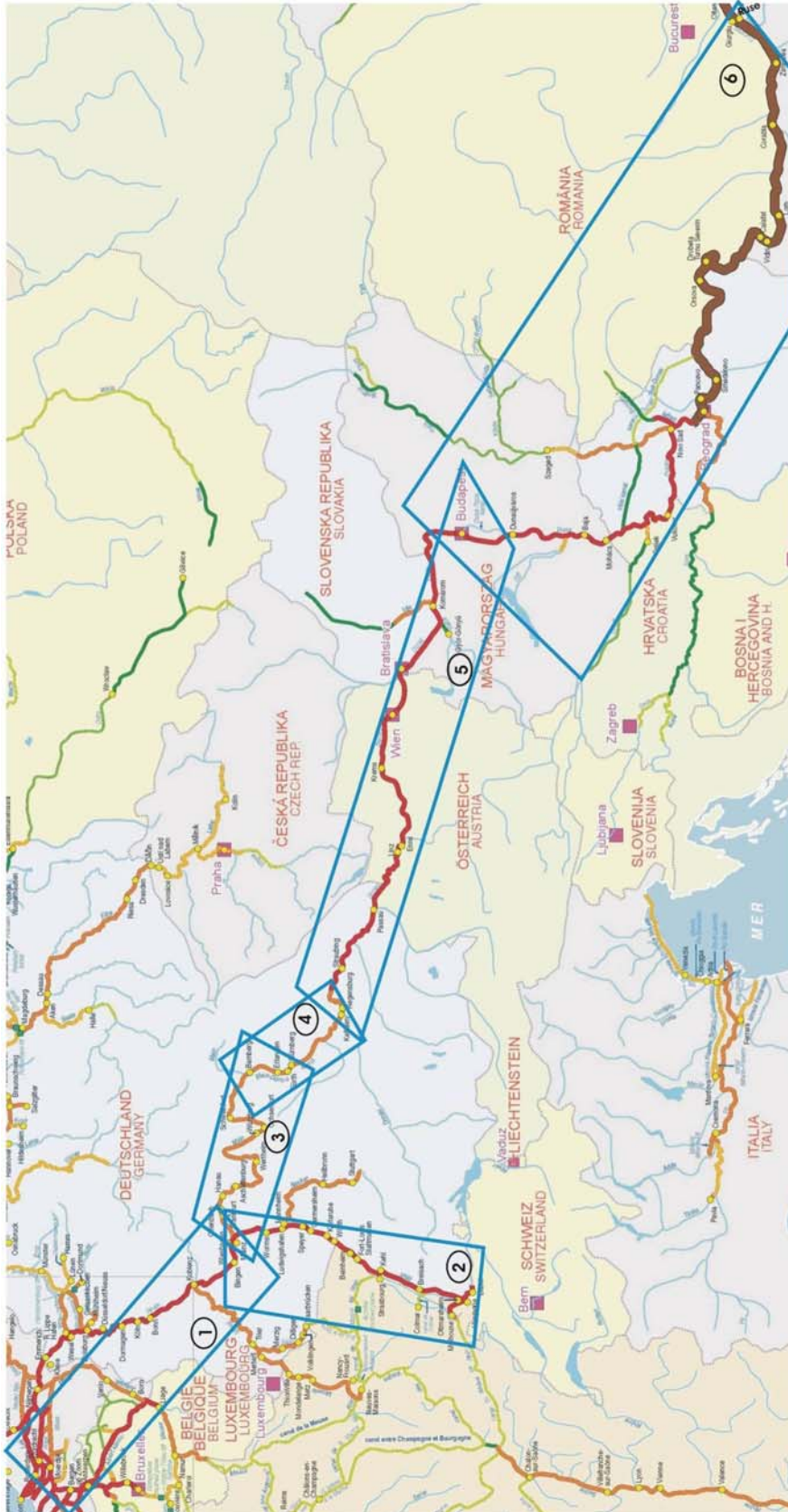
DST-Auftrag-Nr.: 2439

Duisburg, den 26. Juni 2007

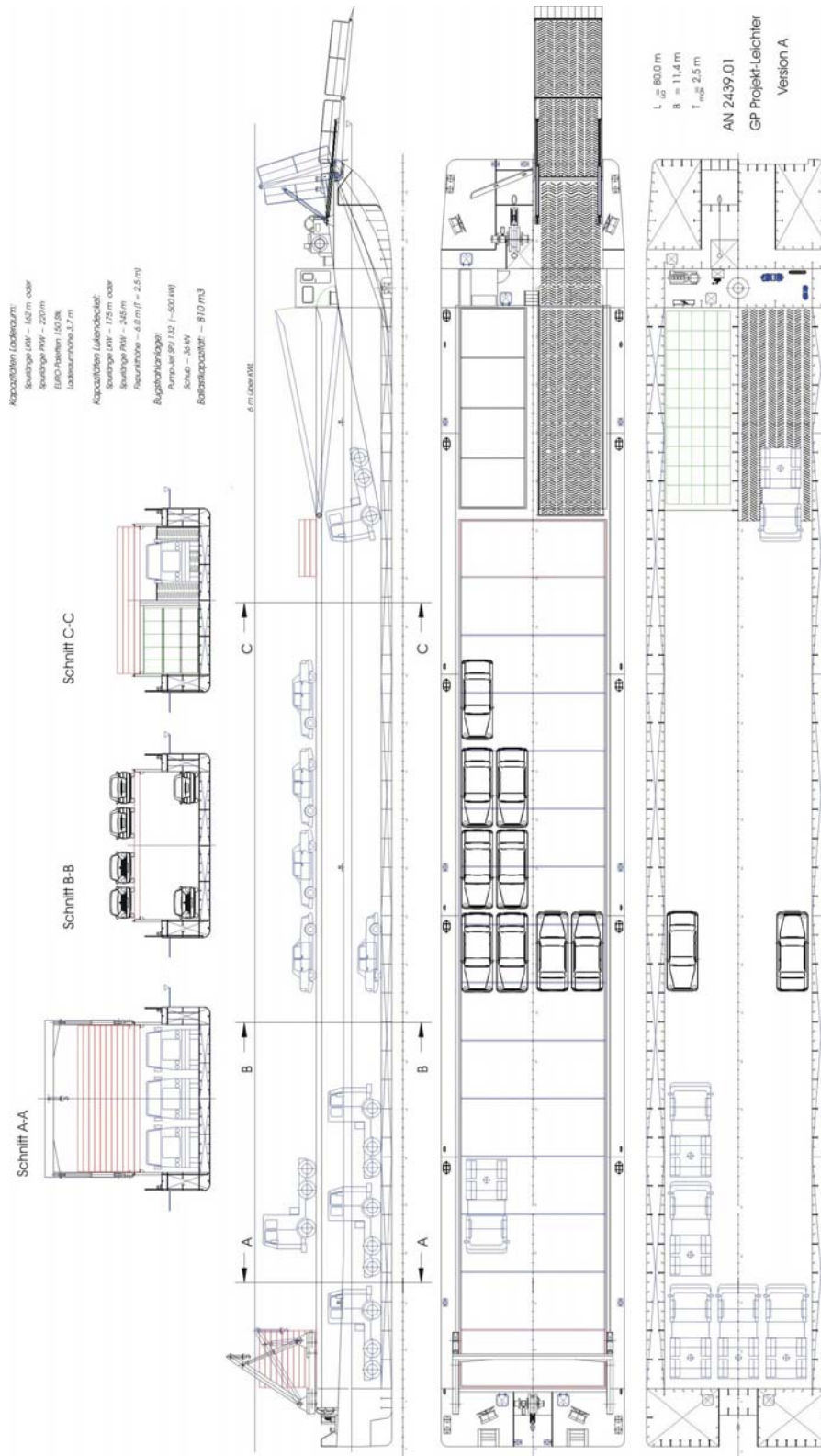
Ort, Datum

Unterschrift der/des Projektleiter(s)

Geografische Unterteilung der Einsatzbereiche



Konzeptentwurf des Projekt-Leichters



Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung	5
1	Einleitung - Ausgangslage und Problemstellung	7
2	Ziel der Entwicklungsarbeiten	8
3	Methodik des Vorgehens	10
4	Entwicklung des Projekt-Leichters	11
4.1	Grundkonzept	11
4.2	Hauptabmessungen des Projekt-Leichters	13
4.3	Ermittlung der Ladefähigkeit (Raumladung)	16
4.4	Ermittlung der Tragfähigkeit (Gewichtsladung)	17
4.5	Schätzung der Baukosten und der Gewichte	18
4.6	Sicherheitsrelevante Einschränkungen	19
4.7	Optimierung der Unterwasserform des Projekt-Leichters - Modellversuche	20
5	Wirtschaftlichkeitsrechnung	25
5.1	Konzept der Wirtschaftlichkeitsberechnung	25
5.2	Kommentierung der Ergebnisse	26
6	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse	29
7	Stichwortverzeichnis	31
8	Literaturverzeichnis	32

Inhaltliche Anlagen:

Anhang A	Pläne zum Projektleichter
Anhang B	Modellversuche
Anhang C	Wirtschaftlichkeitsberechnung

0 Zusammenfassung

Als Ergebnis der Forschungsarbeiten sind zu nennen die Erstellung eines neuartigen Leichters als Design-Entwurf. Dieser „Projekt-Leichter“ bildet in Verbindung mit einem in der Binnenschifffahrt üblichen Gütermotorschiff (GMS) ein Schiffssystem, welches sehr flexibel einsetzbar ist. Abweichend von üblichen Leichtern eignet sich der Projekt-Leichter für RoRo Ladung. Dabei können rollende Einheiten unter und an Deck gestaut werden. Der RoRo – Umschlag erfolgt über ein bordseitiges Rampensystem. Eine weitere Besonderheit wird durch belastbare Lukenabdeckungen erreicht, die es ermöglichen, z. B. Schüttgut im Laderaum und Container oder RoRo an Deck zu transportieren. Die Lukendeckel können mit einem bordseitigen Hubsystem versetzt werden. Darüber hinaus kann der Projekt-Leichter im Hafen mit eigener Kraft, d. h. abgekoppelt vom GMS verholen.

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung wird der „Projekt-Koppelverband“, ein Schiffssystem bestehend aus „GMS“ und „Projekt-Leichter“, einem „GMS“ als Einzelfahrer und einem „Europa-Koppelverband“, bestehend aus „GMS“ und einem in der Binnenschifffahrt üblichen „Europa-Leichter“, gegenübergestellt. Den entsprechenden Leistungs-Geschwindigkeitskurven liegen Modellschleppversuche zugrunde.

Die Gegenüberstellung erfolgt bei unterschiedlichen Einsatzszenarien, d. h. unterschiedliche Ladungssegmente und Auslastungen im Einsatzgebiet Rhein – Donau.

Im Einzelnen haben sich folgende Aspekte herausgestellt:

- Der Einsatz von Koppelverbänden bringt gegenüber dem GMS als Einzelfahrer insbesondere auf langen Strecken Vorteile.
- Die Transportkosten pro Ladeeinheit weichen bei den unterschiedlichen Projekt-Koppelverbänden im Schnitt nur unwesentlich voneinander ab.
- Die hohen Baukosten des Projekt-Leichters sowie sein konstruktiv bedingt höheres Eigengewicht wirken sich eher geringfügig auf die Transportkosten pro Ladeeinheit aus.
- Das höhere Eigengewicht hat nur geringe Auswirkungen, da mit den avisierten Ladungsarten wie Fahrzeugen (RoRo-Umschlag) oder Container die Tragfähigkeit im Vergleich zu Schüttgut entsprechend gering beansprucht wird.

Die herausragende Besonderheit des Projekt-Leichters ist die zusätzliche Eignung für den RoRo-Transport sowie für den gleichzeitigen Transport unterschiedlicher Ladungsarten.

Somit kann mit einem wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Einsatz des Projekt-Leichters dann gerechnet werden, wenn in den avisierten Einsatzregionen eine entsprechende RoRo-Kapazität neben anderer Ladung in einer Häufigkeit und Zusammensetzung gefragt ist, die den Einsatz bzw. die Vorhaltung eines speziellen RoRo-Schiffes nicht rechtfertigen.

Darüber hinaus eignet sich der Projekt-Koppelverband in besonderer Weise für den Transport von Containern in homogener Beladung oder als Mischladung. Diese Eigenschaft dürf-

te insbesondere im Donaukorridor, einem Fahrtgebiet mit langen Strecken und hohen Zuwachsraten beim kontinentalen Stückguttransport sowie steigendem Hinterlandverkehr des Containerhafens Konstanz vorteilhaft sein. Die Zielsetzung des ursprünglichen Forschungsantrages wurde erreicht.

Abschließende Bewertung

Schiffsbetreibern wird mit dem Design-Entwurf des Projektleichters in Verbindung mit den Wirtschaftlichkeitsberechnungen eine Möglichkeit aufgezeigt, auch bei unterschiedlichen Ladungsaufkommen der verladenden Wirtschaft wettbewerbsfähige Angebote machen zu können. Aufgrund des hohen Anteils von Partikulieren in der Binnenschifffahrt dürften insbesondere KMU von den Projektergebnissen profitieren.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Das Vorhaben wurde **durch das BMWA über die AiF gefördert.**

Eine Veröffentlichung der Projektergebnisse in der „Zeitung für Binnenschifffahrt“ sowie im Internet ist in Kürze vorgesehen.

1 Einleitung - Ausgangslage und Problemstellung

Die abnehmende Fertigungstiefe in Westeuropa und die Osterweiterung der EU bewirken, insbesondere bei den kontinentalen Stückgutverkehren, ständig steigende Zuwachsraten. Der LKW ist dabei als flexibles und schnelles Transportmittel eine adäquate Lösung für die verladende Wirtschaft, stößt aber bei wachsender Verkehrsdichte zunehmend an Grenzen.

Da auch die Aufnahmefähigkeit des europäischen Schienennetzes begrenzt ist, eröffnen sich Chancen für die Unternehmen der Binnenschifffahrt, durch neue und innovative Transportkonzepte ihre Marktposition im Stückgutbereich auszubauen.

Der Stückgutbereich umfasst verschiedene Marktsegmente, insbesondere maritime und kontinentale Behälterverkehre sowie RoRo-Ladung. Da das Ladungsaufkommen in den verschiedenen Segmenten schwankt und vielfach für eine „homogene“ Beladung eines Schiffes nicht ausreicht, ist Flexibilität ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg. Gleichzeitig gilt es, diese Flexibilität mit Größenvorteilen zu kombinieren, um den Verladern kostengünstige und damit wettbewerbsfähige Angebote unterbreiten zu können.

Das vorliegende Forschungsvorhaben berücksichtigt das Konzept der Mischladung, das heißt den gemeinsamen Transport verschiedener Ladungsarten, um hiermit flexibel auf den Markt reagieren und dabei auch kleinere Ladungspartien befördern zu können.

Folglich wird ein Schiffskonzept erarbeitet, welches einerseits den Anforderungen schüttbarer Massengüter entspricht und andererseits für Stückgüter geeignet ist. Die Ladekapazität kann dabei jeweils integral für eine dieser beiden Ladungsarten genutzt, aber auch in Kombination für den gleichzeitigen Transport beider Ladungsarten eingesetzt werden.

Eine weitere Besonderheit dieses Schiffskonzeptes besteht in der Kombination aus einem Gütermotorschiff mit vorgespanntem Leichter, der für die Übernahme und den Transport von RoRo-Ladung geeignet ist, wobei sich der Leichter vom Gütermotorschiff bei Bedarf abkoppeln lässt und im Hafen mit eigenem Antrieb verholen kann.

Damit kann nicht nur auf unterschiedliche Ladungsangebote im Markt und unterschiedliche Gegebenheiten in den Häfen schiffsseitig flexibel reagiert, sondern auch besonderen Anforderungen im Stückgutbereich, die sich beim Transport von Containern und RoRo-Ladung stellen, entsprochen werden.

Eine solche Vielseitigkeit wurde seitens der am Projekt beteiligten Firmen, die ihren geschäftlichen Schwerpunkt im Donaauraum sehen, gewünscht, da

- o es insbesondere im Donaukorridor an Schiffsraum für RoRo-Ladung fehlt, aber
- o diese wiederum nicht in einer Häufigkeit anfällt, die den Einsatz eines speziellen Ro-Ro-Schiffes rechtfertigen würde

- o maritime Container auf der Donau im Hinterlandverkehr von Konstanz, vergleichbar zum Rhein, ein noch sehr junger Transportmarkt ist
- o dem Binnencontainer im kombinierten Verkehr per Binnenschiff mittelfristig eine echte Chance im Donaukorridor und darüber hinaus eingeräumt wird.

Für den maritimen Container sowie für den Binnencontainer per Binnenschiff gilt grundsätzlich, dass die Transportkosten (inklusive Umschlag) pro km mit zunehmender Strecke abnehmen. Mit der Möglichkeit einer hohen Auslastung von Schiffen, die auf langen Strecken nur mit Containern beladen sind, wird im Donaukorridor mittelfristig jedoch nicht gerechnet. Ein Potenzial für Containerverkehre auf der Donau besteht jedoch in der Hinterlandanbindung des Seehafens Konstanz.

Um Container als „Beiladung“ auf Gütermotorschiffen transportieren zu können, die mit Massengut beladen sind, erfordert es spezielle schiffbauliche Voraussetzungen. Nur wenige Schiffe im Markt erfüllen diese Voraussetzungen. Die Ladekapazität von „Containern als Beiladung ist bei diesen Schiffen (Einzelfahrer) begrenzt.

Von daher bietet sich, auch im Hinblick auf den Bedarf an Schiffsraum für RoRo, ein ladungstechnisch vielseitiger Koppelverband als Lösung an.

2 Ziel der Entwicklungsarbeiten

Ein Koppelverband ist gegenüber einem Einzelschiff gleicher Hauptabmessungen grundsätzlich aufwendiger in der Konstruktion und auch im Betrieb. Insbesondere beeinflussen Verwirbelungen an der Koppelstelle das Strömungsverhalten negativ, was direkte Auswirkung auf den Leistungsbedarf bzw. Brennstoffverbrauch hat.

Operativ hat ein Koppelverband jedoch Vorteile. So sind wasserstraßenspezifische Längenbeschränkungen für Koppelverbände weniger restriktiv und können durch die mögliche Trennung des Leichters vom Motorschiff flexibler disponiert werden.

Ladungstechnisch sind die üblichen Leichter ausgelegt für trockenes Schüttgut. Je nach Bauart eignen sie sich jedoch ebenfalls mehr oder weniger gut für den Transport von Containern.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, technische Lösungen für einen Koppelverband zu finden, die der Infrastruktur angepasst sind und eine hohe Flexibilität aufweisen. Gleichzeitig sind diese Lösungen wirtschaftlich zu bewerten, das heißt, die Auswirkungen auf die Betriebskosten in Abhängigkeit von den teilweise sehr unterschiedlichen Infrastrukturbedingungen im avisierten Einsatzgebiet sind darzustellen.

Bei der technischen Lösung wird von einem vorhandenen Gütermotorschiff (GMS) ausgegangen, im Vordergrund steht die Entwicklung eines flexibel einsetzbaren Leichters. Unter anderem soll dieser Leichter auch für RoRo-Ladung geeignet sein und im Hafen mit eigener Kraft verholen können. Eine solche „Unabhängigkeit“ vom schiebenden Gütermotorschiff ist

immer dann vorteilhaft, wenn der Leichter im Hafen andere Umschlagplätze bedienen soll als das GMS.

Das Forschungsvorhaben soll sowohl die technische Machbarkeit eines vielseitig einsetzbaren Koppelverbandes darstellen als auch die relative Wirtschaftlichkeit gegenüber einem gängigen Koppelverband und GMS als Einzelfahrer aufzeigen. Dass ein vielseitig einsetzbarer Leichter technisch aufwendiger und damit auch hinsichtlich der Baukosten höher liegt, ist zu erwarten. Die Einschätzung der Baukosten ist Bestandteil dieses Vorhabens.

Die Darstellung der Wirtschaftlichkeit erfolgt jeweils in einem direkten Vergleich zwischen dem „Projekt-Koppelverband“¹ und Standardschiffen auf ausgewählten Strecken in Form einer Einzelbetrachtung. Nicht betrachtet werden mögliche Einsatzvarianten verteilt auf ein Geschäftsjahr, da dies der unternehmerischen Entscheidung unterliegt.

Bei vorgegebener Wasserstraßeninfrastruktur wird durch den streckenbezogenen Vergleich deutlich, was transport- und ladungstechnisch mit einem Koppelverband machbar ist und wie die Transportkosten gegenüber einem Gütermotorschiff als Einzelfahrer und einem „Europa-Koppelverband“² (im weiteren Text auch GMS+Eilb abgekürzt) relativ zu bewerten sind.

Im Gegensatz zu Straße und Schiene sind die Wasserstraßenverhältnisse auf den verschiedenen Hauptstrecken sehr unterschiedlich. Deren Befahrbarkeit bzw. deren nautische Qualitäten wie Wasserstände, Abmessungen der Schleusenkammern, Brückendurchfahrts Höhen etc. sind für die Typwahl und den Einsatz von Schiffen von entscheidender Bedeutung.

¹ Der Projekt-Koppelverband besteht aus einem GMS und einem Projekt-Leichter.

² Der Europa-Koppelverband besteht aus einem GMS und einem Europa-Leichter.

3 Methodik des Vorgehens

Die Entwicklung des Projekt-Leichters erfolgte nach einem mehrstufigen Ansatz.

Zu Beginn des Projektes wurden die zu betrachtenden Fahrtgebiete und die Erwartungen seitens des potenziellen Betreibers (Reederei) und einiger seiner Kunden (Ablader) hinsichtlich der ladungstechnischen Flexibilität erörtert und festgelegt.

Anschließend wurden die vorherrschenden nautischen Bedingungen der Hauptwasserstraßen im avisierten Einsatzgebiet erfasst, denn aus ihnen resultieren die maximal möglichen bzw. die anzustrebenden Hauptabmessungen für den Koppelverband. Da die Abmessungen des schiebenden Gütermotorschiff GMS als „Typschiff“ bereits vorlagen, galt es, die Hauptabmessungen des Projekt-Leichters entsprechend festzulegen.

Weil die nautischen Qualitäten der Wasserstraßen in dem zu betrachtenden Fahrgebiet sehr unterschiedlich sind und sich diese auf die zu vergleichenden Schiffstypen kostenmäßig sehr unterschiedlich auswirken, musste der Fahrbetrieb auf den Teilstrecken teilweise sehr detailliert ausgewertet werden.

Basierend auf den so ermittelten Hauptabmessungen wird die Form des Leichters zunächst entsprechend des ladungstechnischen Konzepts als Basisdesign erarbeitet.

Dabei wurde die Unterwasserform, d.h. der Schiffsrumpf, so gestaltet, dass bei einem angemessenen Völligkeitsgrad (Tragfähigkeit) noch relativ günstige Widerstandswerte (strömungsgünstige Form) zu erwarten waren.

Für die Modellversuche in der DST-eigenen Versuchsanlage wurde der Projekt-Leichter als Modell angefertigt. Das GMS und der für den Vergleich erforderliche Europa-Leichter lagen als Modell bereits vor.

Basierend auf den Ergebnissen der Modellversuche konnten dann für unterschiedliche Einsatzarten und Bedingungen die Wirtschaftlichkeit des Projekt-Koppelverbandes auf der Kostenseite und relativ zum allein fahrenden GMS und zum GMS+Eilb ermittelt werden.

Dabei konnten aus den aktuellen Modellversuchen auch Ergebnisse errechnet werden, die für leicht modifizierte Rumpfformen erwartet werden können.

Die Notwendigkeit, auch solche Rumpfformen wirtschaftlich einzuschätzen, die in Teilbereichen vom angefertigten Modell abweichen, hat sich im Laufe der Projektarbeit ergeben.

4 Entwicklung des Projekt-Leichters

Wie bereits erwähnt, besteht der Projekt-Koppelverband aus einem bereits vorhandenen GMS, welches keine Anpassung erfahren soll, und einem zu entwickelnden Leichter. Beide Schiffskörper bilden ein Schiffssystem, das sowohl in Bezug auf seine Tragfähigkeit als auch seine ladungstechnische Flexibilität dem GMS und dem Europa-Koppelverband überlegen sein soll. Die wesentlichen technischen Merkmale des Projekt-Leichters sind nachstehend beschrieben.

4.1 Grundkonzept

Die nachstehenden Anforderungen

- o Hohe Einsatzflexibilität hinsichtlich der Ladungssegmente
- o Hohe geografische Einsatzflexibilität
- o Hohe operative Flexibilität im Hafen
- o Wirtschaftlichkeit

gelten für den Koppelverband. Da jedoch das schiebende GMS unverändert eingesetzt werden soll, bezieht sich der Konzeptentwurf auf den vorgespannten Leichter, dessen Eigenschaften als Teil des Koppelverbandes zu werten sind.

Ladungstechnik des Leichters

Allgemein anzumerken ist, dass Binnenschiffe in der Regel jeweils für bestimmte Ladungssegmente konzipiert sind. Dabei überwiegen die Ladungssegmente „schüttbare, trockene Massengüter“ und „flüssige Massengüter“. Die entsprechenden Schiffsbezeichnungen sind „Trockenfrachter“ und „Tanker“.

Abgesehen von einigen großen Spezialschiffen werden für den Transport von Containern solche Trockenfrachter eingesetzt, die eigentlich für Massengut konzipiert wurden. Ladung im RoRo-Umschlag erfordert jedoch Spezialschiffe.

Noch etwas differenzierter kann bei Ladungssegmenten unterschieden werden zwischen

- o flüssigem Massengut im natürlichen Aggregatzustand, wie z. B. Treibstoffe, Öle usw.
- o gasförmigen oder verflüssigten Gasen, wie z. B. Ethylene
- o festen, schüttbaren Gütern, wie z. B. Getreide oder Kohle
- o Stückgütern in diversen Varianten wie z. B.
 - standardisierte Ladungseinheiten bzw. Ladungsträger wie Paletten, Container, Fahrzeuge
 - nicht standardisierte Ladungseinheiten und Packstücke
 - übergroße Teile bzw. Projektladung

Bei diesen einzelnen Segmenten gibt es weitere Ebenen der Spezialisierung.

Bei der Entwicklung des Leichters werden die Ladungssegmente „schüttbares, nicht flüssiges Massengut“ sowie Stückgut in allen ihren Formen berücksichtigt. Dabei wird vorausgesetzt, dass LoLo-Umschlag¹ zwischen Schiff und Land durch landseitige Krane erfolgt. Ferner soll der Leichter auch für rollbare Ladung bzw. rollbare Ladungsträger (MAFIS) im RoRo-Umschlag geeignet sein.

Geografische Einsatzgebiete des Projekt-Koppelverbandes

Angestrebt ist die Eignung für die Donau, den Rhein, den Main sowie den Main Donau Kanal als deren Verbindung (MDK) und andere Wasserstraßen der Klasse Vb.

Beim Konzeptentwurf werden die unterschiedlichen Abmessungen der Schleusenkammern, Brückendurchfahrtshöhen und Wassertiefen in diesem großen Einsatzgebiet berücksichtigt, da insbesondere für RoRo- und Projektladung ein überregionaler und durchgängiger Transport möglich sein soll.

Autonomie des Leichters

Durch ein bordeigenes RoRo-Rampensystem und die Möglichkeit, belastbare Lukendeckel mit bordeigenem Gantrykran zu versetzen, ist der Leichter von landseitigen Umschlaganlagen für die Be- und Entladung von RoRo-Ladung weitgehend unabhängig und damit sehr flexibel im Einsatz.

Der Gantrykran dient jedoch nicht dem Umschlag, sondern lediglich dem Versetzen der Lukendeckel. Er ist so zu konstruieren, dass die Stützen nach dem Umlegen auf oder im Gangbord liegen. Die Stützen auf der Oberseite sind begehbar zu gestalten, sodass sie somit dann ein Teil des Gangbords sind. Dadurch kann eine möglichst große Breite des Laderaums bzw. seiner Öffnung erzielt werden.

Der ladungstechnischen Flexibilität des Koppelverbandes wird auch durch die Autonomie des Leichters Rechnung getragen. Die Aufnahme unterschiedlicher Ladungsarten erfolgt im Hafen – je nach Umschlagart – gegebenenfalls an unterschiedlichen Schiffs Liegeplätzen. Ferner gibt es Umschlagplätze, die nur für eine Umschlagart oder nur für eine Ladungsart bestimmt sind.

Durch einen Eigenantrieb des Leichters soll deshalb erreicht werden, dass der Leichter innerhalb eines Hafens losgekoppelt vom Güterschiff verholen kann. Dies erleichtert das Manövrieren in Hafenbereichen, die für lange Schiffe oder Koppelverbände nicht oder wenig geeignet sind und erlaubt ein zeitlich paralleles bzw. vom GMS unabhängiges Be- oder Entladen des Leichters. Aus Gründen der Energieeffizienz sollte der Bugstrahler direkt von einem eigenen Dieselmotor angetrieben werden; für die übrigen Verbraucher ist ein separater Dieselmotor vorzusehen.

¹ "Lift on - Lift off"-Umschlag

Außerdem ist ein autonomes Ballastsystem für den Leichter vorgesehen. Dies soll bis zu einem gewissen Grad eine ungünstige Verteilung der Ladungsgewichte kompensieren. Ferner soll damit der Tiefgang des Leichters situationsabhängig dem des schiebenden GMS angepasst werden können. Ein solches Angleichen ist erforderlich, um Verwirbelungen an der Koppelstelle zu reduzieren und somit den Brennstoffverbrauch günstig zu beeinflussen. Die Möglichkeit, durch Wasserballast den Tiefgang zu vergrößern, ist z. B. erforderlich, um mit leichter und hoher Ladung (Mähdrescher etc.) ein Passieren unter Brücken zu ermöglichen.

4.2 Hauptabmessungen des Projekt-Leichters

Grundform – Hauptabmessungen

Länge

Die rechnerische maximale Länge für den Projekt-Leichter ergibt sich nach Abzug der üblichen 100 m für das GMS aus der kleinsten nutzbaren Länge der Schleusenammern auf der Gesamteinsatzstrecke zwischen Konstanz und Rotterdam. Mit 190 m sind die Schleusen des MDK die Referenzgrößen. Auch ein 110 m langes GMS sollte im Koppelverband mit einem Projekt-Leichter einsetzbar sein. Somit darf der Projekt-Leichter die Länge (length over all - l.o.a.) von 80 m nicht überschreiten. Da ein Unterschreiten der nutzbaren Länge für die Praxis keine wesentlichen fahrtechnischen Vorteile bringt, wurde die Länge des Leichters auf 80 m festgelegt.

Breite

12 m ist die geringste Breite der Schleusenammern auf der Gesamtstrecke zwischen Rotterdam und Ruse / Konstanz. Dieser Größe wird seitens der geltenden Vorschriften mit einer maximalen Schiffsbreite von 11,45 m Rechnung getragen. Dabei sind wiederum die Main- und die MDK-Schleusen der limitierende Faktor.

Großversuche des DST [1, 2] haben zumindest bei den 12 m breiten Schleusen des Rhein-Herne-Kanals gezeigt, dass diese Schleusen auch mit 11,60 m breiten Schiffen problemlos befahrbar sind. Da keine entsprechenden Erfahrungen für Koppelverbände im MDK vorliegen, wurden 11,65 m nur als eine optionale Breite des Leichters verarbeitet.

Wegen der leichten Krümmung der Mainschleusen (Radius etwa 5000 m) müssen lange Koppelverbände ohnehin die Koppelstelle lösen, da sie nicht als starre Einheit durchfahren können.

Konstruktions-Tiefgang

Der maximale Tiefgang wurde auf 2,5 m festgelegt. Diesen Tiefgang kann man als „Donau Standard“ bezeichnen. Damit ist der Leichter besonders auf dem oberen Lauf der Donau

eine relativ tief gehende Einheit, während auf dem Rhein Konstruktions-Tiefgänge über 3 m üblich sind.

Durch den vergleichbar geringen Konstruktionstiefgang wurde ein geringeres Schiffsgewicht erzielt. Außerdem ist der Neigungswinkel der RoRo-Rampe günstiger, was letztlich zu einer kürzeren und damit kostengünstigeren Rampe führt.

Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind in den nachfolgenden Tabellen aufgelistet.

Hauptabmessungen – Grundversion A

Länge über alles	80,00	m	
Breite	11,45	m	
Seitenhöhe	3,00	m	Versionen B und C mit höherem Deck
Konstruktiver Tiefgang	2,50	m	
Maximaler Fixpunkthöhe	6,00	m	Über KWL, bei T= 2,5 m
Doppelbodenhöhe	0,65	m	
Laderaumhöhe	3,70	m	
Leeres Gewicht	~ 750	t	
Spezifische Tiefertauchung	~ 8,9	t/cm	
Tiefgang leeres Schiff	~ 0,9	m	
Tragfähigkeit	~1400	t	
Ballastkapazität (Wasser)	~ 810	m ³	Versionen B und C mit anderen Kapazitäten
Gesamte Spurlänge LKW	~ 330	m	Drei LKW (Zugmaschinen) nebeneinander
Gesamte Spurlänge Mähdrescher	~ 220	m	Zwei MD nebeneinander
Gesamte Spurlänge PKW	~ 460	m	Vier PKW nebeneinander
Container-Kapazität	82	TEU	3-lagige Stauung, 3 nebeneinander
Paletten-Kapazität (im getrennten Hold)	150	Stk.	EU-Paletten (1200 x 800 mm)
Innere Breite aller Ro-Ro Rampen	~ 3800	mm	
Zugelassene Achslast (Rampen, Doppelboden)	5	t/Achse	Lukendeckel bis 2,0 t/Achse

Hauptabmessungen – Version B (nur die Unterschiede vs. A)

Seitenhöhe	4,70	m	Gangbroadbreite benötigt besondere Zulassung, siehe Kap. 4.6
Gesamte Spurlänge PKW	~ 520	m	Vier PKW nebeneinander (5 an LD)
Container-Kapazität	106	TEU	3-lagige Stauung, 4 nebeneinander

Hauptabmessungen – Version C (nur die Unterschiede vs. A)

Breite	11,65	m	
Seitenhöhe	4,70	m	
Ballastkapazität	~ 860	m ³	
Gesamte Spurlänge PKW	~ 520	m	Vier PKW nebeneinander (5 an LD)
Container-Kapazität	106	TEU	3-lagige Stauung, 4 nebeneinander

Hauptausrüstung und Optionen

Bugstrahlanlage	~ 36	kN	Schottel SPJ 132 ~ 500 kW
Diesel-Generator Set	~ 250	kW	MAN, Deutz, oder ähnlich
Hydraulisch-klappbare Bug-Rampe	Länge ~ 10	m	
Hydraulisch-getriebene Deck-Rampe	Länge ~ 13	m	
Hydraulisch-getriebener Gantry-Kran	~ 50	kN	
Ballast-System	~ 30	m ³ /min	El.-Pumpe in vorderen Maschinenraum
Anker, Winden, Poller, Luken usw.			Nach GL, ZKR, SUK, BSBG

OPTIONAL

Kühlaggregat	Paletten-Abteilung vorne könnte isoliert und gekühlt werden. Dies würde Pal.-Abteilung-Kapazität um etwa 20% reduzieren, weil eine effiziente Durchlüftung notwendig wäre.
Stromanschlüsse	Etwa 10% Container an Bord können Kühl-Container sein. Da schon ein autonomes El.-Versorgungssystem vorhanden ist, ist es möglich, auch etwa 10-15 Kühl-Container an Bord mit Strom unterwegs zu versorgen.

Die Hauptabmessungen der verwendeten Standardschiffe sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Hauptabmessungen GMS

Länge über alles	100,00 m
Breite	11,45 m
Konstruktiver Tiefgang	3,00 m
Doppelbodenhöhe	0,60 m
Länge des Laderaums	70,00 m
Breite des Laderaums	10,00 m
Tragfähigkeit (Tiefgang 3 m)	2.200 t
Containerkapazität (4 Lagen)	136 TEU

Hauptabmessungen Europa-Leichter

Länge über alles	76,50 m
Breite	11,45 m
Konstruktiver Tiefgang	3,00 m
Doppelbodenhöhe	0,60 m
Länge des Laderaums	62,70 m
Breite des Laderaums	10,00 m
Tragfähigkeit (Tiefgang 3 m)	2.000 t
Containerkapazität (4 Lagen)	124 TEU

4.3 Ermittlung der Ladefähigkeit (Raumladung)

Die wesentlichen ladungstechnischen Unterschiede zum Europa-Leichter sind die RoRo-Rampe, eine belastbare Lukenabdeckung und der fahrbare Gantrykran für das Handling der Lukendeckel. Diese technischen Einrichtungen benötigen Platz.

Ferner wird, bezogen auf den Europa-Leichter, ein Raum für die Antriebsanlage benötigt. Dieser steht jedoch durch die Formgebung des Schiffes unter der festen RoRo-Rampe im Vorschiff ohnehin zur Verfügung.

Wie aus den Skizzen, s. Anhang A, hervorgeht, wurden drei Varianten des Projekt-Leichters entworfen. Alle Varianten sind 80 m lang und haben ein identisches Vor- und Hinterschiff (inklusive der Lage und der Anzahl der technischen Einrichtungen). Die Variante „C“ ist lediglich um 20 cm breiter. Ferner wurde der Konstruktionstiefgang für alle Varianten wegen

der weitestgehend identischen Abmessungen des Vor- und Hinterschiffes auf den gleichen Wert (2,5 m) festgelegt.

Die Variante A hat den auf Binnenschiffen üblichen Gangbord zwischen Reling und Luken-süll. Der Gangbord schließt nach oben die Seitentanks ab, die seitlich zwischen dem Lade-raum und der Außenhaut angeordnet sind.

Die Variante B hat im Unterschied zu B eine bis in Höhe der Lukenabdeckung hochgezogene Außenhaut und Seitentanks, sodass querschiffs bei geschlossenem Laderaum eine durchgehende Fläche entsteht und somit der Gangbord entfällt.

Die Variante C ist eine um 20 cm verbreiterte Version B.

Die Skizzen im Anhang A zeigen für unterschiedliche Beladungsfälle jeweils den Projekt-Leichter in seinen Varianten A, B und C im Querschnitt und in der Seitenansicht. Dabei ist deutlich erkennbar, wie PKW bzw. LKW über ein modulares Rampensystem im RoRo-Umschlag in bzw. auf den Laderaum gelangen. Die Laderaumabdeckung dient dabei gleichermaßen als Fahrspur und Stellplatz. Die Lukendeckel können jedoch auch an Land abgesetzt werden. Bei einer homogenen Ladung mit Containern bleibt der Laderaum jedoch offen. Bei geschlossenem Laderaum können auf der Luke Container, Fahrzeuge oder andere Stückgutladung transportiert werden bei gleichzeitiger Belegung der Luke mit Schütt- oder Stückgut. Diese vielfachen Kombinationsmöglichkeiten entsprechen beispielhaft dem Mischladungskonzept.

4.4 Ermittlung der Tragfähigkeit (Gewichtsladung)

Die Tragfähigkeit des Projekt-Leichters wurde für einen Konstruktionstiefgang von 2,5 m bei einem geschätzten Eigengewicht (inklusive der ladungstechnischen Einrichtungen) rechnerisch ermittelt. Dabei ist das Leergewicht des Projekt-Leichters gegenüber einem Europa-Leichter entsprechend hoch, was sich im kalkulierten Leertiefgang von 0,9 m gegenüber 0,5 m niederschlägt.

Der Konstruktionstiefgang von 2,5 m des Grobentwurfs beinhaltet eine Freibordreserve, die besonders bei den Versionen B und C hoch ist.

Der Konstruktionstiefgang ist gegenüber dem des Europa-Leichters (3 bis 3,5 m) vergleichsweise gering. Bei der Beladung mit Containern oder Fahrzeugen („leichte Ladung“) ist dieser Wert jedoch ausreichend.

Bei der Beladung mit Schüttgut (schwere Ladung) bedeutet dieser Wert eine erhebliche Einschränkung der Tragfähigkeit des Koppelverbandes, da die Tragfähigkeit des GMS nicht voll genutzt werden kann. Diese Einschränkung entsteht aus der Forderung, dass das schiebende GMS und der vorgespannte Leichter mit gleichem oder annähernd gleichem

Tiefgang fahren sollten. Ein deutlicher Versatz an der Koppelstelle würde den Fahrwiderstand und damit den Brennstoffverbrauch deutlich erhöhen.

4.5 Schätzung der Baukosten und der Gewichte

Durch die Eignung des Projekt-Leichters für den RoRo-Umschlag mit schiffseigener Rampe, einer belastbaren Laderaumabdeckung, einem Gantrykran für das Umsetzen der Lukendeckel sowie einer Propulsionsanlage ist er gegenüber dem Europa-Leichter vergleichsweise teuer und schwer. (siehe nachstehende Tabelle)

Mehrkosten		Mehrgewichte	
Rumpf	100 000 €	Rumpf	100
Bugform	30 000 €	Bugform	
Rampen	100 000 €	Rampen	100
Lukenabdeckung	150 000 €	Lukenabdeckung	70
Deckellifter	50 000 €	Deckellifter	10
Antrieb	250 000 €	Antrieb	15
Ballastsystem	100 000 €	Ballastsystem	15
Deckhaus usw.	50 000 €	Deckhaus usw.	10
E-Anlage	80 000 €	E-Anlage	5
Anstrich	30 000 €	Anstrich	
Werkstatt-Dokumentation	60 000 €	Werkstatt-Dokumentation	
Summe	1 000 000 €	Summe	325

4.6 Sicherheitsrelevante Einschränkungen

Für den geschlossenen Projekt-Koppelverband mit der Leichter-Version A und B ist aus heutiger Sicht nicht mit besonderen sicherheitsrelevanten Einschränkungen zu rechnen.

Mit dem Leichter in der Version C wäre der Verband laut geltenden Vorschriften außerhalb der Donaustrecke als „überbreit“ einzustufen.

Direkt und rein spezifisch auf die besonderen Einrichtungen bezogen wurden für den Projekt-Leichter zumindest nachstehende sicherheitsrelevante Aspekte identifiziert.

- o Verholen mit eigenem Antrieb im Hafenbereich
Auf diese besondere Eigenschaft des Leichters wird in den geltenden Vorschriften der regionalen Hafenverwaltungen unterschiedlich eingegangen. Die Rheinschiffsuntersuchungsordnung regelt jedoch z. B. die Bemannung und die Ausrüstung eines Leichters, der mit eigener Kraft im Hafen verholt.
- o Bezüglich des Gangbords schreibt z. B. die Rheinschiffsuntersuchungsordnung eine Mindestbreite von 0,60 m zwischen Lukensüll und Reling vor. Der Projekt-Leichter in den Versionen B und C hat jedoch kein Lukensüll, sondern querschiffs ein bis zu den Spanten durchgehend flaches und belastbares Wetterdeck. Von daher wirft diese Bauform aber auch die Belegung mit Ladung Fragen auf, welche Vorschriften dafür zutreffen.
Eine besondere sicherheitsrelevante Situation entsteht bei offenem Laderaum. Durch das Fehlen eines Lukensülls wird die Lukenöffnung durch ein mobiles Geländer oder ähnliche Einrichtungen seitlich abgesichert sein müssen, damit das Begehen des Decks bei offener Luke genehmigt werden kann. Solche Sicherheitseinrichtungen sind z. B. auf maritimen RoRo-Schiffen zu finden.
- o Die Installation eines Gantrykrans mit Schienenkörper auf einem Leichter ist nicht üblich und birgt viele sicherheitsrelevante Aspekte. Wegen der geringen Verbreitung einer solchen technischen Einrichtung in der Binnenschifffahrt ist mit einer Einzelabnahme zu rechnen.

Diese Punkte sind insgesamt für die Zulassung relevant. Entsprechende technische bzw. organisatorische Lösungen wären im Vorfeld einer Umsetzung des Projektentwurfs mit den zuständigen Stellen zu klären.

4.7 Optimierung der Unterwasserform des Projekt-Leichters - Modellversuche

Die Optimierung der Unterwasserform wurde vorrangig im Hinblick auf Fahrwiderstand und Tragfähigkeit vorgenommen. Der Aspekt unterschiedlicher Fertigungskosten wurde wegen der angenommenen relativ geringen Auswirkung auf die Gesamtbaukosten des Leichters nicht berücksichtigt.

Wie bei Leichtern üblich, hat der Leichter ein langes paralleles Unterwasserschiff mit jeweils relativ kurzem Vor- und Hinterschiff. Somit werden ein hoher Blockkoeffizient und damit eine hohe Tragfähigkeit erreicht.

Um den Fahrwiderstand gegenüber einem Europa-Leichter zu verbessern, wurde ein „Löffelbug“ anstatt eines „Keilspanbugs“ gewählt. Diese Bugform ist konstruktiv etwas aufwendiger, lässt jedoch bezogen auf den Keilspanbug eine Reduzierung des Fahrtwiderstandes des Leichters um etwa 7 % erwarten [3]

Für die Heckform gibt es im Wesentlichen zwei Alternativen:

- o Wird eine maximale Tragfähigkeit angestrebt, dann bietet sich eine Kastenform des Hecks mit vertikalem Heckspiegel an.
- o Wird jedoch eine möglichst strömungsgünstige Koppelstelle zwischen dem schiebenden GMS und dem vorgespannten Leichter angestrebt, dann ist ein Heck mit entsprechender Gillung (Schräge) von Vorteil.

Die Modellversuche wurden mit einem Leichter mit Löffelbug und Kastenheck durchgeführt. Es wurde der Löffelbug wegen seiner – im Vergleich zum Keilspanbug – günstigen Fahrtwiderstandswerte gewählt. Das Kastenheck erhöht gegenüber einem Heck mit Gillung die Tragfähigkeit um etwa 12-15 t.

Um der Donautauglichkeit des Projekt-Leichters Rechnung zu tragen - auf der Donau kann häufig nur bis 2 m abgeladen werden -, musste die Völligkeit des Leichters erhöht werden. Im Gegensatz zum Europa-Leichter besitzt der Projektleichter ein kastenförmiges Heck. Im Widerstandsversuch ist der Projekt-Leichter günstiger als der Europa-Leichter. Für die Fahrt im Koppelverband ergibt sich bei der Kopplung mit dem Projekt-Leichter aufgrund der ungünstigen Anströmung der Koppelstelle ein ca. 10 % höherer Treibstoffbedarf gegenüber der Fahrt mit einem GMS+EIIb. Wird die Koppelstelle allerdings z. B. mit flexiblen Elementen ausgefüllt (siehe Abb. 1), so kann eine Energieersparnis von bis zu 25 % erzielt werden, bei starren Elementen bis 40 %.

Die Ergebnisse der Modellversuche sind im Anhang B hinterlegt.

Entsprechend vorliegender Modellversuche zur „Optimierung von Koppelstellen“ [4, 5] wurde der Fahrwiderstand des Projekt-Leichters mit Schrägheck (Gillung) rechnerisch basierend auf den Ergebnissen der Modellversuche mit dem Projekt-Leichter (mit Löffelbug und Kastenheck) ermittelt.



Abb. 1: Auffüllen der Koppelstelle mit Verdrängungskörpern

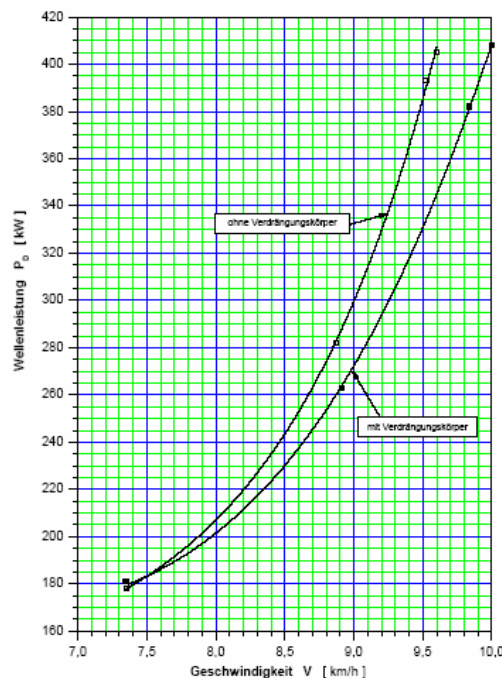


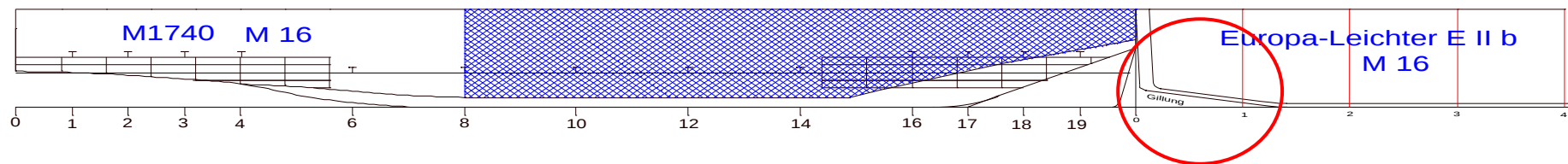
Abb. 2: Beispiel für den Unterschied beim Leistungsbedarf mit und ohne Verdrängungskörper an der Koppelstelle

Verringerung des Strömungswiderstandes durch flexible Füllkörper

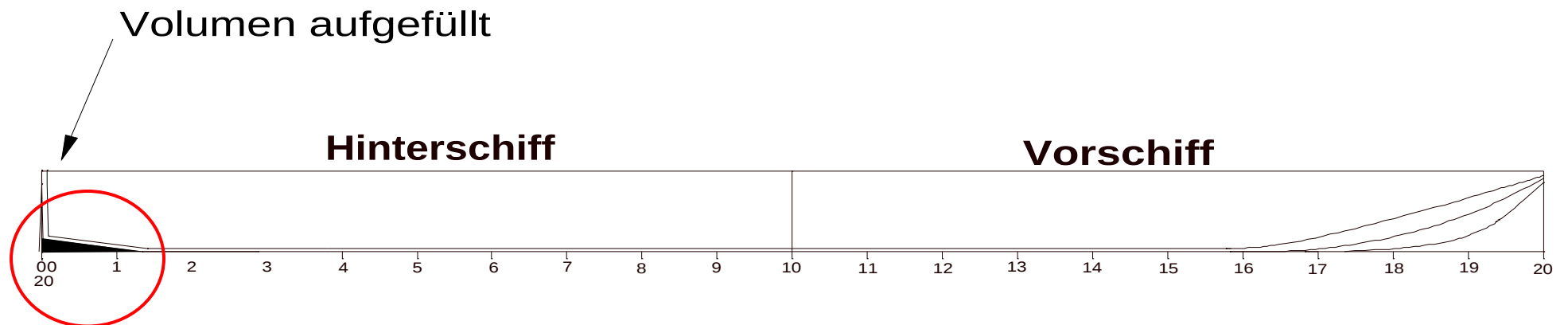
Bei der Umströmung eines Koppelverbandes treten zwischen Schubboot und Leichter sowie zwischen den Leichtern Unstetigkeitsstellen auf, die zu einer Strömungsablösung (Totwasser, Wirbelbildung) und zusätzlicher Bildung freier Oberflächenwellen führen. Zur Reduzierung der Wellen- und Wirbelbildung an der Koppelstelle und gleichzeitiger Verbesserung des Antriebswirkungsgrades können unterschiedliche Volumenkörper (Füllkörper) angebracht werden. Das DST hat in einem Großversuch den Einsatz verschieden Füllkörper an einem Schubverband untersucht und die Wirkungen gemessen. Durch den Einsatz von Füllkörper konnte der Leistungsbedarf und damit der Kraftstoffbedarf bei gleicher Fahrtgeschwindigkeit um 25% verringert werden. (Quelle: Binnenschifffahrt – ZfB – Nr. 11, November 2000)

Die nachstehende Skizze zeigt die Problemzone „Koppelstelle“ für den Europa-Leichter mit Gillung (obere Teil der Skizze) und den Projekt-Leichter mit Kastenheck, d.h. ohne Gillung (untere Teil der Skizze).

Problem „Koppelstelle“ versus „Volligkeitsgrad“ des Leichters



EUROPA-Leichter IIb mit Gillung



Projekt-Leichter - im Bereich der Gillung wurde das Volumen aufgefüllt.

Für unterschiedliche Tiefgänge, Geschwindigkeiten und Wassertiefen wurden insgesamt 19 Versuche ausgewertet.

Ein Beispiel für die im Modellversuch erstellten Propulsionskurven für ein GMS zeigt die folgende Abbildung.

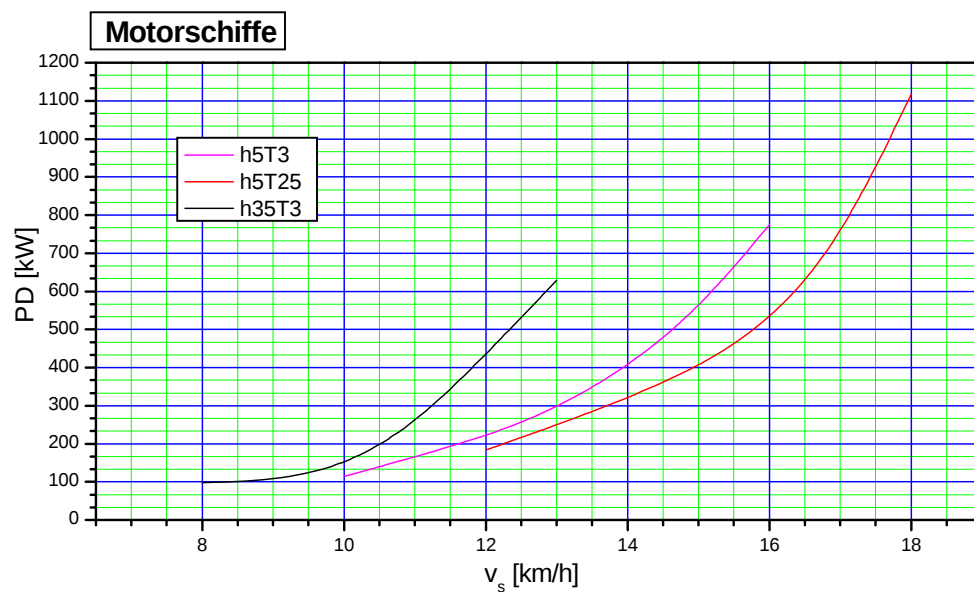


Abb. 3: Propulsionskurven des Motorschiffes

Es bedeuten:

h = Wassertiefe

T = Tiefgang

V_s = Geschwindigkeit des Schiffes

PD = Leistung der Hauptmaschine

Ist die dem h oder T folgende Zahl einstellig, so erfolgt die Angabe in Meter, ist sie zweistellig, dann in Dezimeter.

5 Wirtschaftlichkeitsrechnung

5.1 Konzept der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist detailliert im Anhang C hinterlegt. Den Berechnungen liegen die Auswertungen der durchgeführten Modellversuche in Form von Propulsionskurven zugrunde. Ferner wurden die relevanten Daten der Wasserstraßen recherchiert. Neben den streckenspezifischen nautischen Qualitäten der betrachteten Relationen, die von unterschiedlicher Tragweite für die jeweiligen Schiffstypen sind, machen generelle, - d.h. nicht streckenspezifische - operative Parameter wie Personalkosten und andere Betriebskosten die Kosten für einen Transport per Schiffstyp aus.

Die komplexe Verknüpfung streckenspezifischer und genereller Betriebskosten wurde mit einem speziellen Programm berechnet. Ein Beispiel für Kostenanteile zeigt die nachfolgende Abbildung.

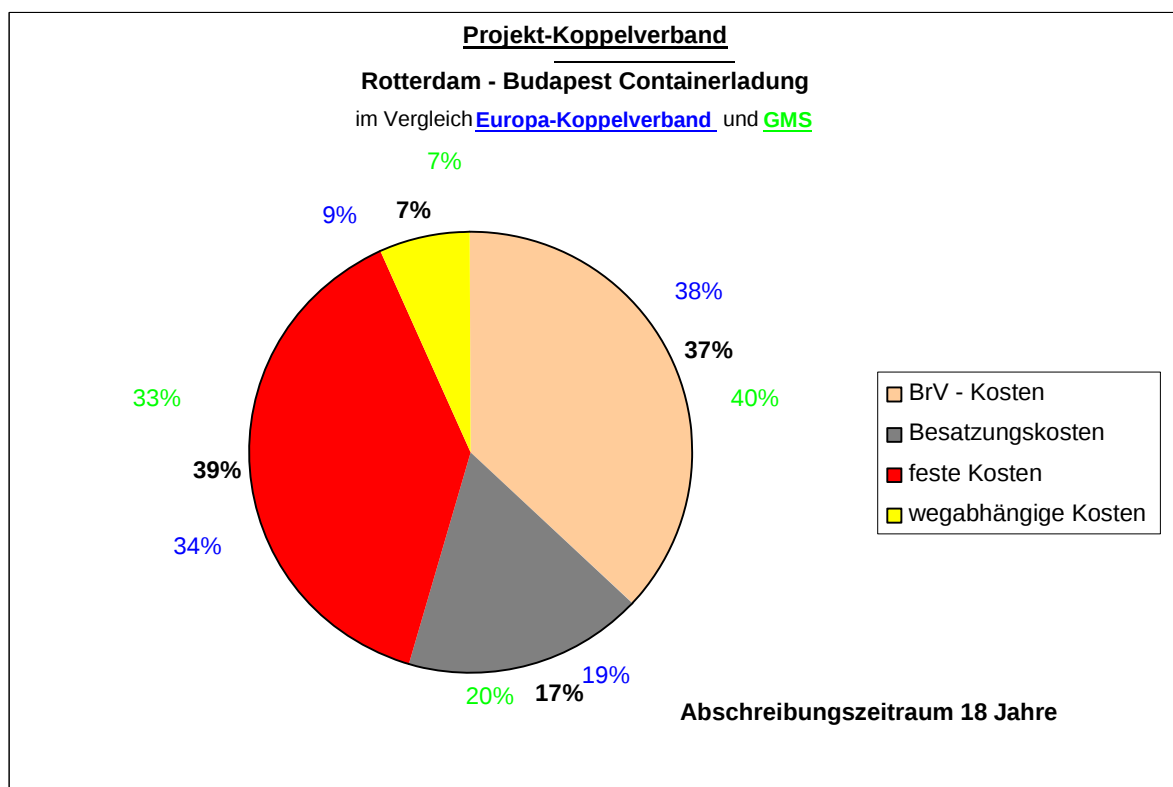


Abb. 4: Vergleich der Kostenanteile zwischen Projekt-Koppelverband, GMS und Europa-Koppelverband

Der Vergleich zwischen den Schiffen hinsichtlich der Kostenteile zeigt, dass beim Projekt-koppelverband den hohen Festkosten geringere Kostenanteile „Brennstoffverbrauch“ und „Personal“ gegenüberstehen. Der hohe Festkostenanteil ist bedingt durch die vergleichsweise komplexe technische Ausstattung des Projektleichters.

Durch einen detaillierten Vergleich mit dem Gütermotorschiff (GMS) als Einzelfahrer sowie mit dem Europa-Koppelverband wird nachstehend die Wirtschaftlichkeit des Projekt-Koppelverbandes einer relativen Bewertung unterzogen.

Bei dieser Gegenüberstellung werden das GMS und die beiden Koppelverbände jeweils als ein Schiffstyp betrachtet. Bei beiden Koppelverbänden kommt das gleiche GMS zum Einsatz. Die Koppelverbände unterscheiden sich durch den Typ des vorgespannten Leichters. Dabei ist der Europa-Leichter primär für Schüttgut konzipiert, während der Projekt-Leichter als ein „Mehrzweck-Leichter“ bezeichnet werden kann.

Der für die Gegenüberstellung gewählte geografische Einsatzbereich erstreckt sich über den Rhein vom Mündungsgebiet bis zum Oberrhein und vom Rhein über den Main, den Main-Donau-Kanal (MDK) bis hin zur unteren Donau. Dieses Gebiet wurde in 6 Teilbereiche aufgeteilt. (siehe Abbildung Seite 2).

Wie bereits eingangs erwähnt, erfolgt dieser Vergleich jeweils für den Fahrbetrieb auf ausgewählten Strecken (Relationen) mit unterschiedlicher Beladung. Pro Vergleich wird herausgearbeitet, welche Kosten pro transportierte Ladeeinheit bei den unterschiedlichen Schiffstypen entstehen. Die unterschiedlichen Kosten sind u.a. in starkem Maß von nautischen Bedingungen auf den untersuchten Relationen abhängig, da die Schiffstypen je nach Strecke und Ladeart typenspezifisch mehr oder weniger geeignet sind.

Die Eignung bezieht sich dabei insbesondere auf die Ladekapazität in Verbindung mit den vorherrschenden Wassertiefen, die mögliche Beladungshöhe wegen der Brückendurchfahrtshöhen sowie den hydrodynamischen Fahrwiderstand in Abhängigkeit vom verfügbaren topografischen Unterwasserprofil der Fahrstrecke.

Insbesondere bei frei fließenden Gewässern kommt es zu Schwankungen des Wasserstandes, die eine direkte Auswirkung auf die in der Fahrrinne verfügbare Wassertiefe und die Brückendurchfahrtshöhe haben. Für die Vergleiche wurden solche Wasserstände genommen, die für die Praxis als „Normalfall“ für die jeweilige Strecke angesehen werden können.

5.2 Kommentierung der Ergebnisse

Die im Anhang C hinterlegten Auswertungen zeigen deutlich, dass der Projekt-Leichter mit „Kastenheck“ gegenüber der Version „Heck mit Gillung“ trotz einer etwas höheren Tragfähigkeit durchgängig auf allen Relationen ungünstiger ist.

In der nachstehenden Kommentierung der Ergebnisse aus den in Anhang C durchgeführten Vergleichsrechnungen zur Wirtschaftlichkeit beziehen sich daher die Angaben zum Projekt-Koppelverband ausschließlich auf die Versionen, bei denen der Projekt-Leichter ein Heck mit Gillung hat.

Das GMS im Vergleich zu den Koppelverbänden

Gegenüber einem Koppelverband zeichnet sich ein GMS durch absolut geringe Betriebskosten, geringere Abfertigungszeiten im Hafen und letztlich durch deutlich bessere Manöviereigenschaften in Häfen und Schleusen aus. Die besseren Manöviereigenschaften konnten jedoch rechnerisch im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden.

Als Einzelrumpf hat das GMS zudem eine strömungsgünstigere Unterwasserform als die Koppelverbände, bei denen die unvollständige Formschlüssigkeit an der Koppelstelle und ein eventueller Versatz zwischen den Schiffsrümpfen sich fahrmindernd auswirken.

Diesen Vorteilen stehen eine vergleichsweise geringe Tragfähigkeit und geringe Ladekapazität gegenüber. Ferner ist das GMS nicht für RoRo-Ladung und für Mischladung nur mit spezieller Ausrüstung geeignet.

Auf einigen Strecken ergaben die Berechnungen der Transportkosten pro Ladeeinheit für das GMS günstigere Ergebnisse bzw. Kostengleichheit mit zumindest einem der Koppelverbände:

- o Auf der Strecke Rotterdam-Duisburg ist das GMS bei einer Beladung mit Schüttgut etwa kostengleich mit dem Europa-Koppelverband und günstiger als der Projekt-Koppelverband
- o Auf der Strecke Rotterdam-Duisburg ist das GMS bei einer Beladung mit Containern etwa kostengleich mit dem Projekt-Koppelverband A¹. Als kostengünstiger erweisen sich auf dieser Relation der Europa-Koppelverband sowie die Projekt-Koppelverbände B + C².

Diese Situation ergibt sich aus der Möglichkeit, auf dieser Strecke mit maximalem Tiefgang zu fahren. Ferner sind die Hafenzeiten relativ lang zu den Fahrzeiten auf dieser kurzen Strecke.

Koppelverbände im Vergleich

Für RoRo-Ladung und Mischladung ist der Europa-Leichter nicht geeignet.

Der Europa-Leichter zeichnet sich durch geringe Baukosten aus, die wiederum die Betriebskosten günstig beeinflussen.

Der Keilspantbug des Europa-Leichters führt jedoch im Vergleich zum Löffelbug des Projekt-Leichters zu einem höheren Fahrwiderstand. Dadurch liegt der Brennstoffverbrauch des Europa-Koppelverbandes bei gleicher Verdrängung etwas höher als beim Projekt-Koppelverband.

¹ Der Projekt-Koppelverband A besteht aus einem GMS und dem Projekt-Leichter A

² Die Projekt-Koppelverbände B + C bestehen jeweils aus einem GMS und entweder dem Projekt-Leichter B oder C

Diesem negativen Aspekt steht jedoch gegenüber, dass der Europa-Leichter ein geringeres Eigengewicht hat und somit bei gleicher Verdrängung gewichtsmäßig mehr Ladung aufnehmen kann.

Ferner ist ein größerer Konstruktionstiefgang besonders für Schüttgut auf Strecken mit entsprechender Wassertiefe von Vorteil.

Bei der Beladung mit Containern sind das günstigere Eigengewicht und der größere Konstruktionstiefgang des Europa-Leichters kaum relevant. Wegen der bordeigenen RoRo Rampen und des Gantrykrans verliert der Projekt-Leichter jedoch an Stellplatzkapazität.

Besonders vorteilhaft gegenüber der Variante A des Projekt-Leichters ist der Europa-Koppelverband auf der Strecke Rotterdam- Duisburg.

Die ermittelte Kosteneinsparung beträgt bei Schüttgut etwa 14% und bei Container etwa 5 %. Die Koppelverbände mit den Varianten B und C des Projekt-Leichters und der Europa-Koppelverband liegen hier in etwa kostenmäßig gleich.

Bei Schüttgutladung ist der Europa-Koppelverband gegenüber dem Projekt-Koppelverband auf der Strecke Rotterdam – Basel vorteilhaft. Hier ist wegen des flachen Bereiches Bingen-Oestrich der Tiefgang auf 2,5 m beschränkt, welcher dem maximalen bzw. dem Konstruktionstiefgang des Projekt-Leichters entspricht. Wegen des geringeren Eigengewichts kann der Europa-Koppelverband etwa 8 % mehr laden. Dies verursacht im Wesentlichen den geringen Kostenvorteil von ca. 6 %.

Ein anderes Bild bietet der Containertransport. Auf der Rheinstrecke Rotterdam – Basel ist der Transport mit den Projekt-Koppelverbänden B und C günstiger als mit dem Europa-Koppelverband.

Auf den langen Relationen liegen die Projekt-Koppelverbände B und C sowie der Europa-Koppelverband in etwa kostengleich.

Mischladung

Für den Transport von Mischladung sind die Projekt-Leichter und das GMS nach Verstärkung der Lukenabdeckung geeignet. Als Mischladung wird in dieser Betrachtung Schüttgut und eine Lage Container gefahren, wobei das Schüttgut jeweils um das Gewicht der Container reduziert wird. Die Kosten der Reise vermindern sich deutlich gegenüber dem reinen Schüttguttransport bei den langen Relationen. Auf der Relation Rotterdam - Budapest beträgt die Ersparnis für den Projekt-Koppelverband ca. 20 %.

6 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Im Einzelnen ergeben sich folgende Aspekte:

- Der Einsatz von Koppelverbänden bringt gegenüber dem GMS als Einzelfahrer insbesondere auf langen Strecken Vorteile.
- Die Transportkosten pro Ladeinheit weichen bei den unterschiedlichen Projekt-Koppelverbänden im Schnitt nur unwesentlich voneinander ab.
- Die hohen Baukosten des Projekt-Leichters sowie sein konstruktiv bedingt höheres Eigengewicht wirken sich eher geringfügig auf die Transportkosten pro Ladeinheit aus.
- Das höhere Eigengewicht hat nur geringe Auswirkungen, da mit den avisierten Ladungsarten wie Fahrzeuge (RoRo-Umschlag) oder Container die Tragfähigkeit im Vergleich zu Schüttgut entsprechend gering beansprucht wird.

Insgesamt unterscheiden sich die drei Schiffstypen (Projekt-Koppelverband, Europa-Koppelverband und GMS als Einzelfahrer) hinsichtlich der Transportkosten auf den unterschiedlichen Strecken wenig, wenn man voraussetzt, dass über ein Geschäftsjahr verteilt auf verschiedenen Strecken unterschiedliche Ladung transportiert wird.

Die herausragende Besonderheit des Projekt-Leichters ist die zusätzliche Eignung für den RoRo-Transport sowie den gleichzeitigen Transport unterschiedlicher Ladungsarten

Somit kann mit einem wirtschaftlichen und konkurrenzfähigen Einsatz des Projekt-Leichters dann gerechnet werden, wenn in den avisierten Einsatzregionen eine entsprechende RoRo-Kapazität neben anderer Ladung in einer Häufigkeit und Zusammensetzung gefragt ist, die den Einsatz bzw. die Vorhaltung eines speziellen RoRo-Schiffes nicht rechtfertigen.

Darüber hinaus eignet sich der Projekt-Koppelverband in besonderer Weise für den Transport von Containern in homogener Beladung oder als Mischladung. Diese Eigenschaft dürfte insbesondere im Donaukorridor, als Fahrtgebiet mit langen Strecken und hohen Zuwachsraten beim kontinentalen Stückguttransport sowie steigendem Hinterlandverkehr des Containerhafens Konstanz, vorteilhaft sein.

Duisburg, Juni 2007



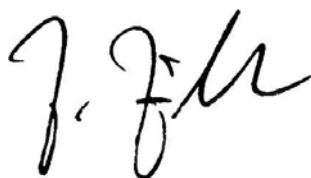
Dr.-Ing. W. Bialonski
Projektingenieur



Dipl.-Ing. B. Zigic
Projektingenieur



Dipl.-Ing. B. Holtmann
Fachbereichsleiter



Dipl.-Ing. J. Zöllner
Mitglied des Vorstandes

7 Stichwortverzeichnis

„Containern als Beiladung“	6	Laderaum	15
„Europa-Koppelverband“	7	Ladungstechnik	9
„flüssige Massengüter“.	9	Leichterversion	17
„Löffelbug“	18	Leistungsbedarf	6
„Projekt-Koppelverband“	7	LoLo-Umschlag	10
„schüttbare, trockene Massengüter“	9	Lukenabdeckung	15
autonomes Ballastsystem	11	Mischladung	25
belastbare Lukendeckel	10	Schüttgut plus eine Lage Container	25
Blockkoeffizient	18	Modellversuche	8
Brennstoffverbrauch	6	nicht standardisierte Ladungseinheiten	9
Brückendurchfahrtshöhen	7	operative Parameter	22
Donau-Korridor	6	Personalkosten	
Donautauglichkeit	18	andere Betriebskosten	22
Europa-Leichter	8	Projekt-Leichter	8
Fahrwiderstand	18	Propulsionskurven	22
Gangbord	15	RoRo-Ladung	5
Gantrykran	10	RoRo-Rampensystem	10
Heckform		Schleusenkammern	7
Heck in Kastenform,		Standardschiffe	14
Heck mit Gillung	18	standardisierte Ladungseinheiten	
innovative Transportkonzepte	5	Container	9
Keilspannbug	18	Paletten	9
Konstruktionstiefgang	12	Stückgutbereich	5
kontinentalen Stückgutverkehren	5	Tragfähigkeit	8, 15
Koppelverband	6	Transportkosten pro Ladeinheit	24
Kosteneinsparung	25	Unterwasserform	8, 18
Krümmung der Mainschleusen	11	Völligkeitsgrad	8
Ladekapazität	5		

8 Literaturverzeichnis

[1]	DST, Bericht 1642, Erhöhung der zulässigen Breite von Binnenschiffen beim Befahren kanalisierter Binnenwasserstraßen, BMBF, Duisburg 2003
[2]	DST, Bericht 1688, Numerische, experimentelle und technisch-wirtschaftliche Untersuchungen zur Entwurfsoptimierung und Wettbewerbssteigerung von Binnenschiffen – Übersicht über das Gesamtprojekt, BMBF, Duisburg 2003
[3]	DST [VBD], Bericht 980, Flachwassereinfluss auf Schiffe und Schiffsverbände, Teil I: Glattwassereinfluss, BMFT, Duisburg 1981
[4]	DST, Bericht 1256, Einfluss der Bug- und Heckform in Koppelverbänden aus schiebendem Gütermotorschiff und Leichter auf den Antriebsleistungsbedarf, AiF, Duisburg 1990
[5]	DST, Bericht 1533, Verminderung des Antriebsleistungsbedarfs eines Koppelverbandes, bestehend aus schiebendem Motorschiff und Schubleichter, durch Auffüllen der Koppelstelle mit flexiblen Elementen, AiF, Duisburg 2000
[6]	DST, Bericht 1696, Entwicklung eines technisch-wirtschaftlichen Konzeptes für den dreilagigen Containertransport mit dem Binnenschiff zwischen Koblenz und Regensburg, SMWIVT, Duisburg 2003
[7]	DST, Bericht 1810, Aktualisierung des Berichtes 1696 „Entwicklung eines technisch-wirtschaftlichen Konzeptes für den dreilagigen Containertransport mit dem Binnenschiff zwischen Koblenz und Regensburg“ nach Anhebung der Straßenbrücke Auheim, SMWIVT, Duisburg 2006
[8]	Mitteilung der WSD-Süd, Herr Schäfer, vom 14. Juni 2006
[9]	DST, Bericht 1503, Vergleich der möglichen Transportleistung an Hand der Fahrwassertiefen ausgewählter Wasserstraßenabschnitte von Donau und Rhein – Phase II, Duisburg 1998
[10]	Zwischenbericht zum FE-Vorhaben 40291/92
[11]	Bundesanstalt für Wasserbau, Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1974,
[12]	Binnenschifffahrtstraßen-Ordnung, BinSchStrO § 11.02
[13]	WSD-Mitte, Pegelausbauprofile des Main/Donau/Kanals, Drucksache
[14]	via Donau, Handbuch der Donauschifffahrt, Wien 2002, 2005
[15]	Commission du Danube, Annuaire Statistique de la Commission du Danube pour 2000, Budapest 2002
[16]	Projektbegleitender Ausschuss, Protokoll der Sitzung vom 30. Januar 2007

[17]	WESKA 2004, Europäischer Schifffahrts- und Hafenkalender, Duisburg
------	--

ANHÄNGE + ANLAGEN

Anhang A: Entwurf des Leichters

Inhaltsverzeichnis Anhang A

A 1	Das Basismodell des Projekt-Leichters	3
A 2	Die Varianten B und C	3

Anlagen A 1 – A 7

Anhang A: Entwurf des Leichters

A 1 Das Basismodell des Projekt-Leichters

Den Generalplan des Basismodells, bezeichnet als Variante A, zeigt Anlage A 1.

Die Variante A weist die gleiche Breite auf wie der Europa-Leichter (11,45 m). Da der Donauraum ein wesentliches Einsatzgebiet des Leichters ist, wurde der Tiefgang auf 2,50 m begrenzt. Ballasttanks sind im Doppelboden – die Höhe des Doppelbodens beträgt 650 mm – und in der Vorder- und Achterpiek vorgesehen. Zusätzlicher Ballast kann in den Wing-Tanks gefahren werden. Die Laderaumbreite beträgt 9,20 m, sodass sich hieraus rechnerisch eine großzügige Gangbroadbreite von 1,10 m ergibt.

Der Leichter besitzt am Bug eine klappbare RoRo-Rampe für den Schiff – Land Umschlag, über die Fahrzeuge in den unteren Laderaum fahren können. Auf den Lukendächern können ebenfalls Fahrzeuge transportiert werden, siehe Anlage A 2 und Anlage A 4. Die Höhe des unteren Decks beträgt 3,70 m. Somit können die LKW-Zugmaschinen marktführender Hersteller wie MAN, DB, Scania oder Volvo problemlos in das untere Deck einfahren. Die zugelassene Achslast für das untere Deck und die Rampe liegt bei 5 t/Achse. Bei den Lukendächern ist die zulässige Achslast auf 2 t beschränkt – ausreichend für PKW, Kastenwagen und leichte LKW. Die Lukendächer werden mit einem bordeigenen Gantry-Kran bewegt.

Im Bugbereich kann neben der inneren Rampe ein Laderaum zur Palettenstauung eingerichtet werden. Optional lässt sich dieser Laderaum auch für Kühltransporte nutzen durch Anschließen der Kühlaggregate an das ausreichend dimensionierte bordeigene Versorgungsnetz.

Der Leichter besitzt eine Bugstrahlanlage vom Pump-Jet-Typ, sodass er sich innerhalb des Hafens selbstständig bewegen kann. Die bordeigenen Anlagen können von einem Deckshaus aus oder von einer ortsunabhängigen Einheit per Funk gesteuert werden.

A 2 Die Varianten B und C

Diese Varianten unterscheiden sich von der Basisvariante durch eine größere Laderaumbreite – 10,20 m für die Varianten B und C gegenüber 9,20 m für die Variante A. Weiterhin sind bei ihnen die Seitenwände bis zu den Lukendächern hochgezogen. Durch diese Anordnung können vier Reihen Container nebeneinander gestaut werden oder auf den Lukendächern z.B. fünf Reihen PKW, siehe Anlage A 3 und Anlage A 5. Binnencontainer können allerdings nur in der Variante C vierreihig gefahren werden. Bei der Variante B ragen die Auflageschienen für die Lukenabdeckung so weit in den Laderaum hinein, dass nur ein dreireihiger Transport möglich ist, siehe Anlage A 6.

Die Variante B hat mit 11,45 m die gleiche Schiffsbreite wie die Basisversion. Auf Grund der größeren Laderaumbreite der Variante B ergibt sich hier eine Gangbroadbreite, die schmäler ist, als von den geltenden Standards vorgeschrieben. Die Variante C mit einer Gesamtbreite von 11,65 m bietet sich als bessere Lösung an.

Einen Vergleich der drei Varianten im Bugbereich zeigt Anlage A 7.

Anlage A 1

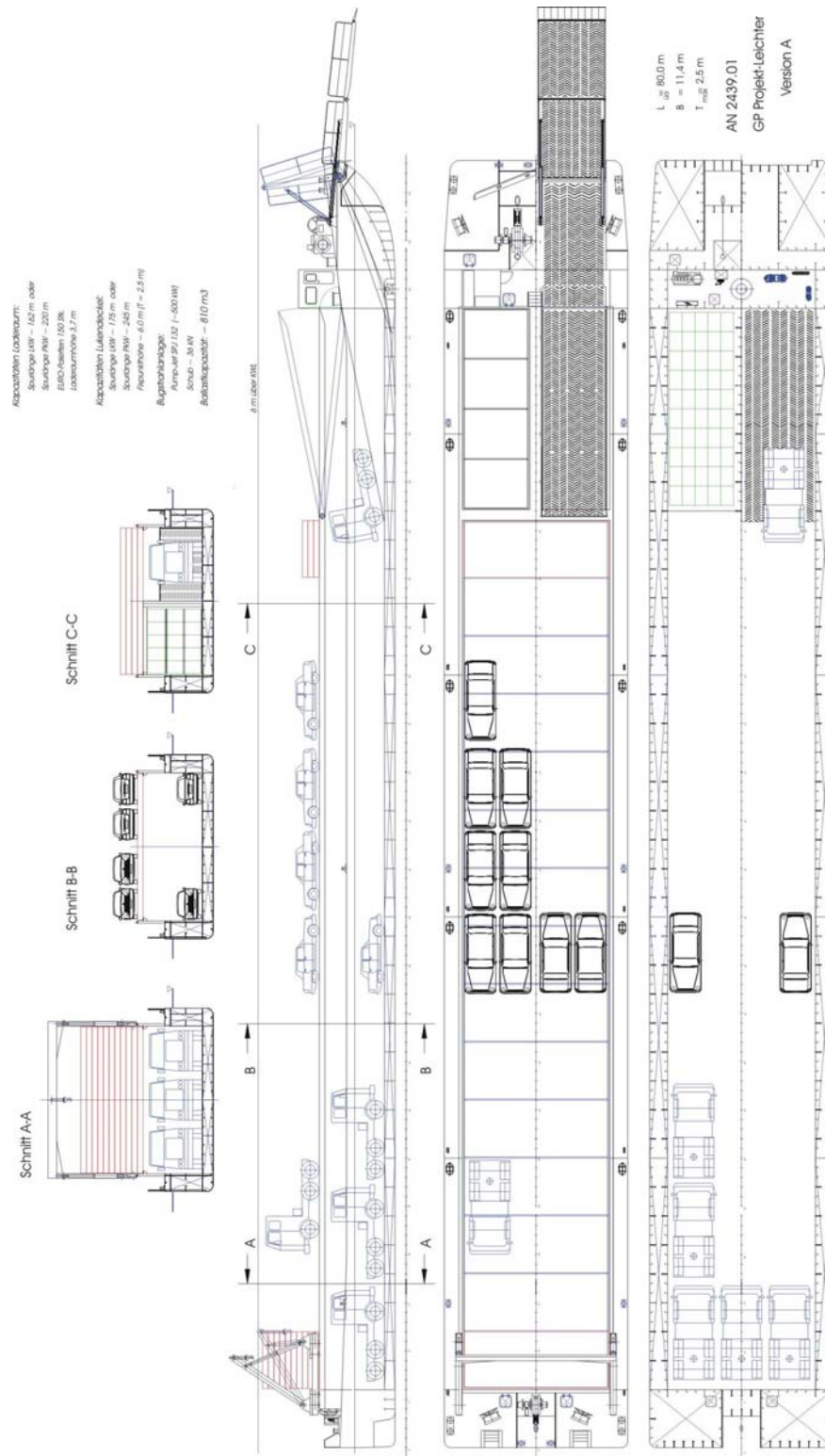


Abb. A - 1: Generalplan des Projekt-Leichters der Variante A

Anlage A 2

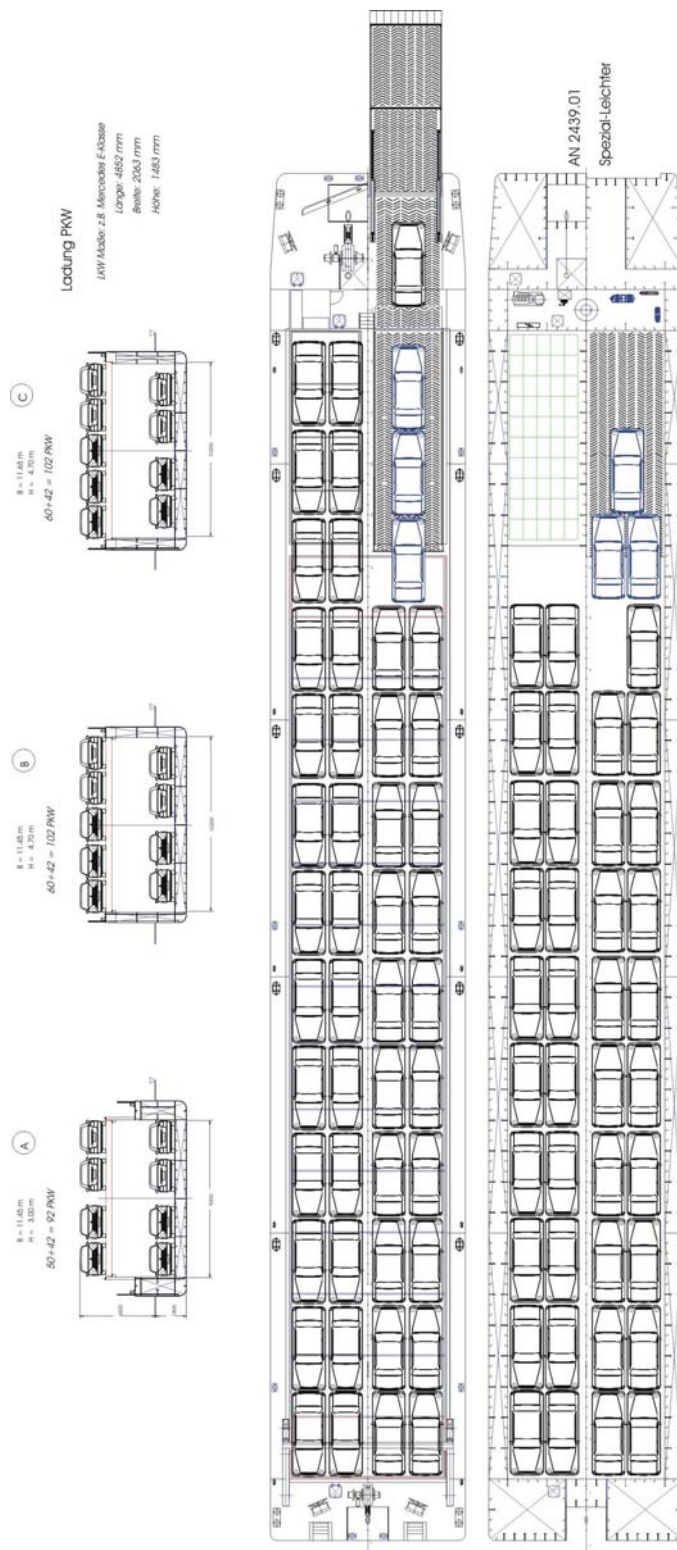


Abb. A - 2: PKW-Transport mit dem Spezial-Leichter

Anlage A 3

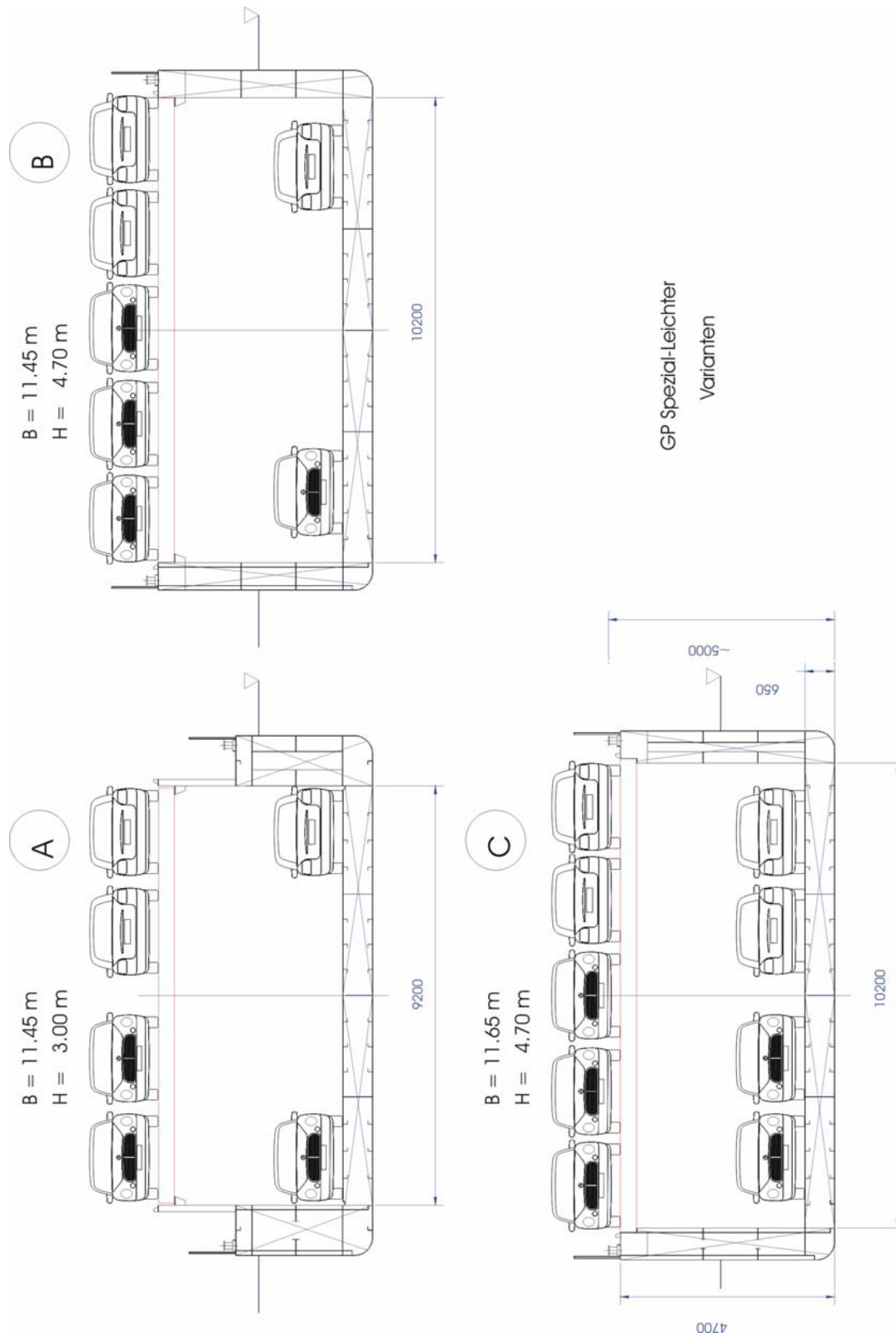


Abb. A - 3: PKW-Transport mit dem Spezial-Leichter

Anlage A 4

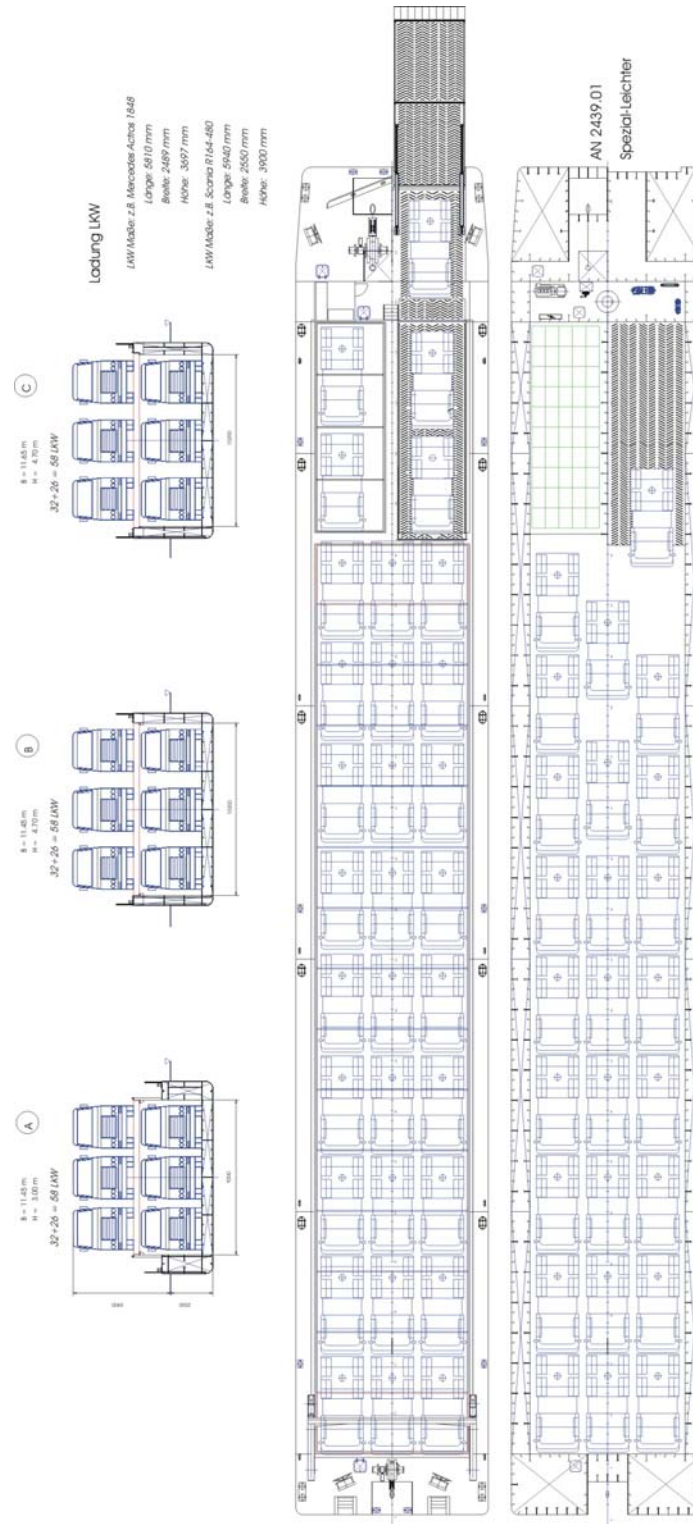


Abb. A - 4: LKW-Transport

Anlage A 5

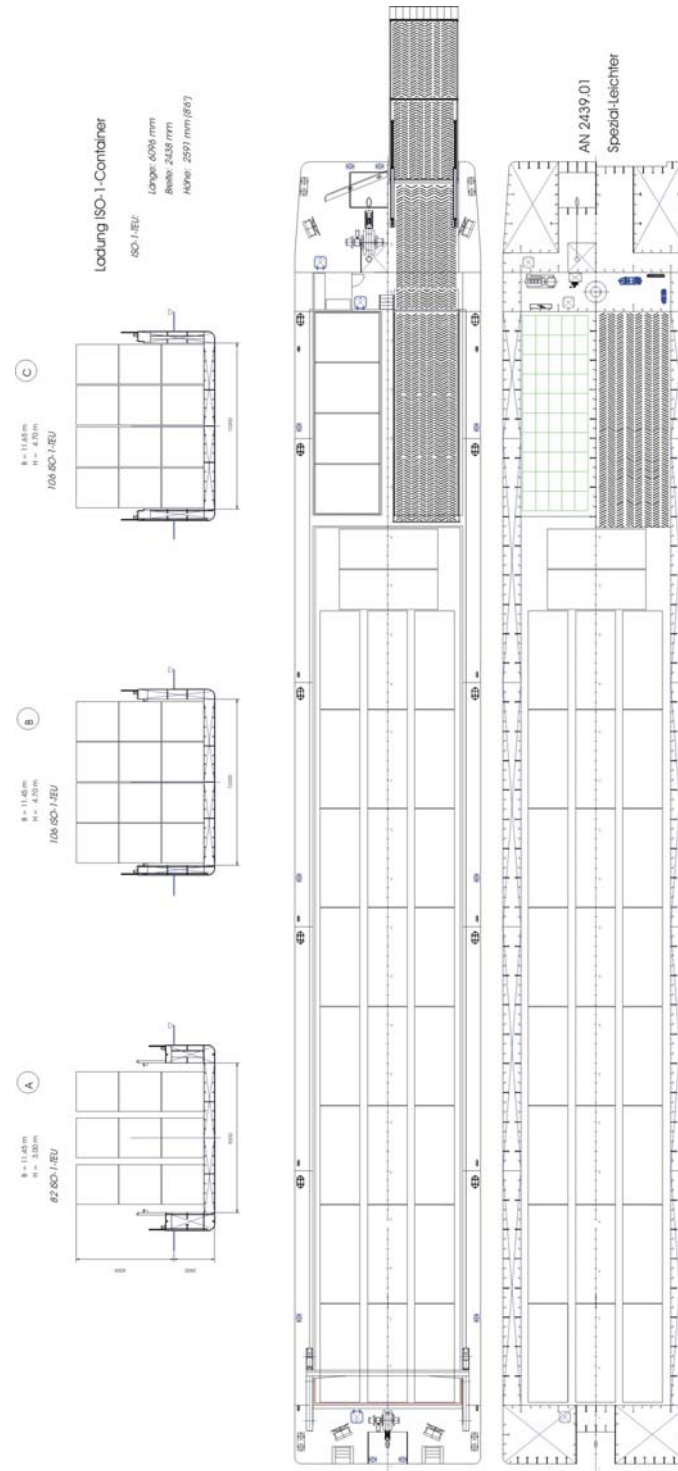


Abb. A - 5: Containertransport

Anlage A 6

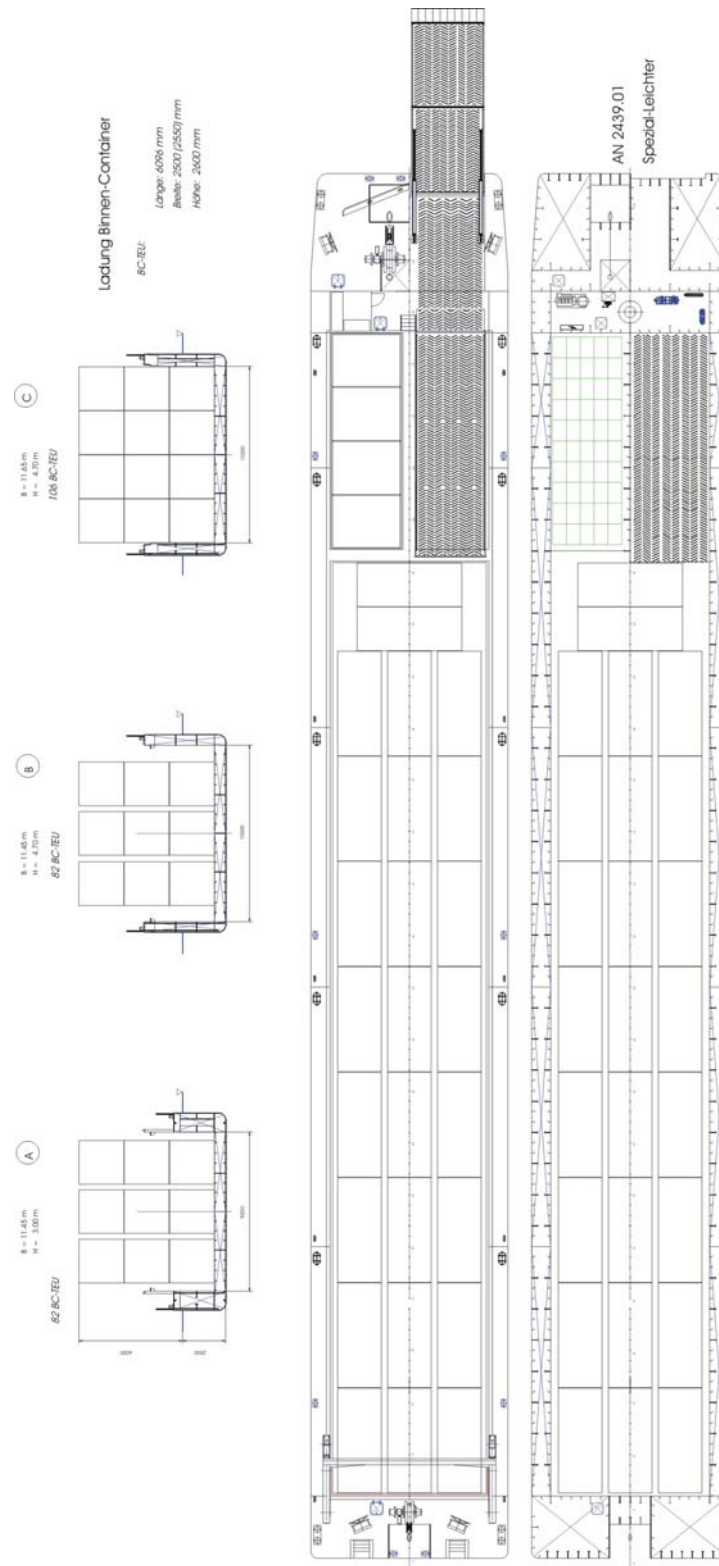


Abb. A - 6: Transport von Binnencontainern mit dem Spezial-Leichter

Anlage A 7

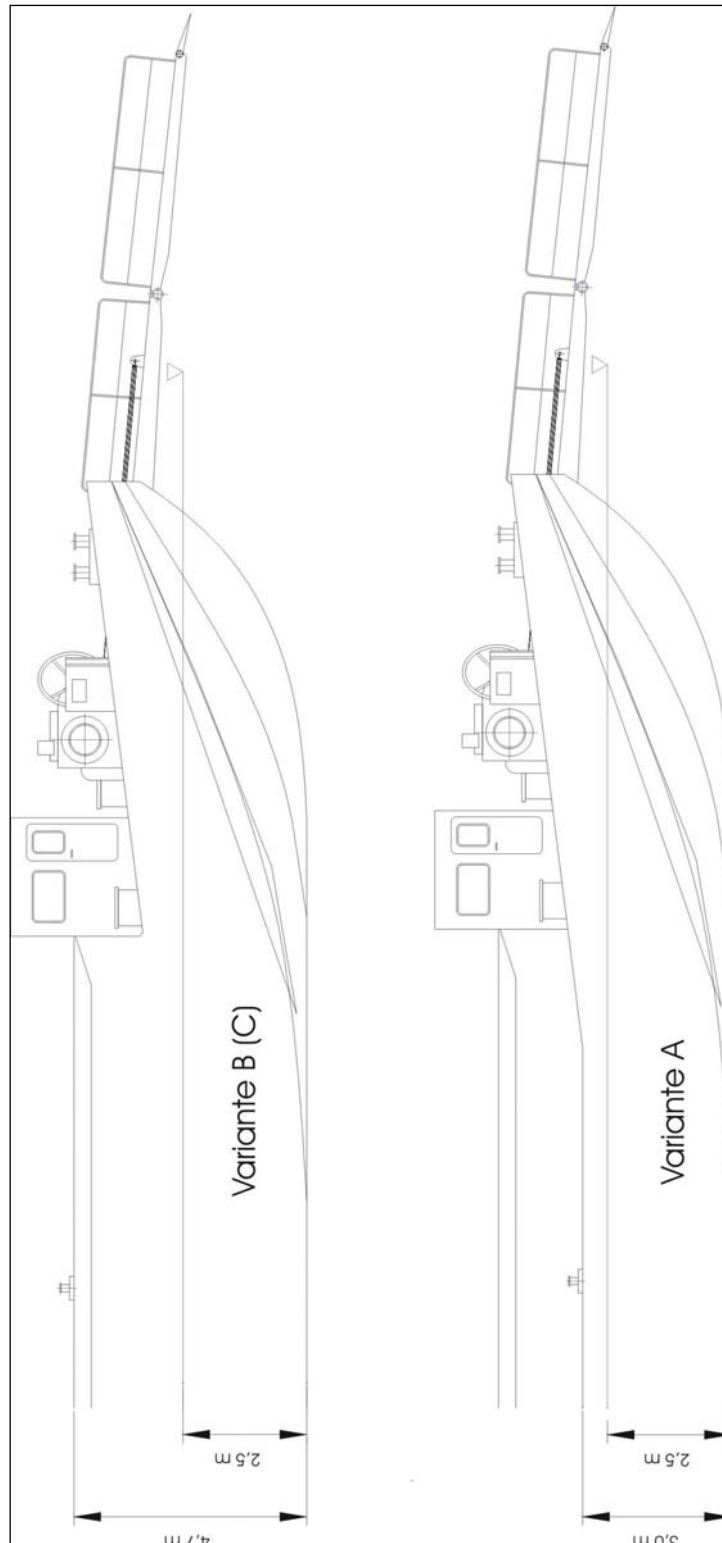


Abb. A - 7: Vergleich der Leichter Varianten – Bug-Details

ANHANG B: MODELLVERSUCHE

Anhang B: Modellversuche

B 1. Modelle

Die Hauptabmessungen der vom DST im Maßstab 1 : 16 angefertigten Holzmodelle sowie die Propellerdaten sind in der Anlage enthalten.

Einzelheiten des Entwurfs sowie der Anordnung der Ruder und Düsen sind in den Anlagen B enthalten:

- Datenblatt	Anlage B 1
- Anrissplan GMS	Anlage B 2
- Skizze Leichter	Anlage B 3
- Spantenriss GMS	Anlage B 4
- Spantenriss Leichter	Anlage B 5
- Anordnung Propeller, Düse, Ruder	Anlage B 6
- Propeller	Anlage B 7
- Düse	Anlage B 8
- Ruder	Anlage B 9

B 2. Propellerfreifahrt

Die Freifahrt des Propellers (197) 259 r/l mit Düse 342 (242) (Wageningen 19a) sind in der Anlage B 10 aufgeführt.

B 3. Versuche

Die im Vergleich Modell - Großausführung vorhandene Differenz des Reibungswiderstandes, bedingt durch abweichende Zähigkeit und Dichte des Wassers sowie die Rauigkeit der Außenhaut, wird nach ITTC-1957 und mit dem Zusatzwiderstandsbeiwert von $C_A = 0,0002$ und bei der Dichte des Wassers von $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ berücksichtigt.

Bei der Umrechnung der Modellmeßwerte auf die Großausführung sind die Korrekturen des Propeller- und Düsenmaßstabeffektes nicht enthalten.

B 3.1 Propulsionsversuche

Die Propulsionsversuche werden als Selbstpropulsionstest mit konstanter Wagen- geschwindigkeit gefahren. Für jede Geschwindigkeit werden bis zu drei Messungen mit unterschiedlichen Drehzahlen durchgeführt. Durch Interpolation wird dann die Propellerdrehzahl des Selbstpropulsionspunktes (Restkraft = 0) bestimmt. Jede Fahrt wird mit einem Mehrkanaldatenerfassungssystem aufgezeichnet und anschließend ausgewertet.

Folgende Größen werden gemessen:

Modellgeschwindigkeit	v	[m/s]
Propellerfrequenz	n	[1/s]
Wellendrehmoment	Q	[Nm]
Gesamtschub	T	[N]
Restkraft	F_r	[N]
Trimm	θ	[°]
Absenkung	z_v	[m]

B 3.2 Widerstandsversuche

Im Widerstandsversuch ist das Modell nur mit Rudern ausgerüstet. Die Widerstandsversuche werden mit konstanter Wagengeschwindigkeit gefahren. Jede Fahrt wird mit einem Mehrkanaldatenerfassungssystem aufgezeichnet und anschließend ausgewertet.

Folgende Größen werden gemessen:

Modellgeschwindigkeit	v	[m/s]
Widerstand	R_T	[m/s]
Trimm	θ	[°]
Absenkung	z_v	[cm]

B 3.3 Versuchsübersicht

Die nachfolgende Tabelle zeigt die durchgeführten Versuche.

Versuch Nr.	Wassertiefe [m]	Tiefgang [m]	Versuchsart	Bemerkung	Anlagen
06145	3,5	3	Widerstand	Leichter allein	B 14
06146	3,5	2,5	Widerstand	Leichter allein	B 14
06147	3,5	2	Widerstand	Leichter allein	B 14
06148	3,5	1,2	Widerstand	Leichter allein	B 14
06150	3,5	1,2	Propulsion	Koppelverband	B 11
06151	3,5	2	Propulsion	Koppelverband	B 11
06152	3,5	2,5	Propulsion	Koppelverband	B 11
06153	3,5	3	Propulsion	Koppelverband	B 11
06154	5	3	Propulsion	Koppelverband	B 12
06155	5	2,5	Propulsion	Koppelverband	B 12
06156	5	2	Propulsion	Koppelverband	B 12
06157	5	1,2	Propulsion	Koppelverband	B 12
06158	2,5	1,2	Propulsion	Koppelverband	B 13
06159	2,5	2	Propulsion	Koppelverband	B 13
06160	3,5	1,2	Widerstand	Koppelverband	B 15
06161	3,5	2	Widerstand	Koppelverband	B 15
06162	3,5	2,5	Widerstand	Koppelverband	B 15
06163	3,5	3	Widerstand	Koppelverband	B 15

*) Ergänzung zu Versuch 06153

B 4. Ergebnisse

B 4.1 Propulsionsversuche

Im Folgenden sind die auf die Großausführung umgerechneten Modellergebnisse tabellarisch aufgeführt. Der Drehsinn der Propeller ist "über oben nach innen". Die Umrechnung wird den Modellgesetzen entsprechend vorgenommen. Die Propellerdrehleistung der Großausführung kann mit dem Propellermaßstabseffekt und dem Düsenmaßstabseffekt korrigiert werden.

In den Anlagen B 11 bis B 13 befinden sich die Kurven und Tabellen zu den Propulsionsversuchen.

Versuchs-Nr. 06150; $h = 3,5$ m; $T = 1,2$ m, $m_p = 0.9366$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
10	161.70	123.30	2.52	0.05
12	200.90	241.40	4.75	0.08
14	239.90	423.10	7.67	0.14
15	263.10	564.80	11.08	0.15
16	297.00	838.80	14.75	0.24

Versuchs-Nr. 06151; $h = 3,5$ m; $T = 2$ m, $m_p = 0.9496$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
10	196.80	237.60	2.04	0.07
12	235.40	416.60	3.35	0.13
14	285.60	775.90	6.72	0.26
15	316.00	1079.90	10.86	0.34
15.5	345.70	1442.60	9.75	0.36

Versuchs-Nr. 06152; $h = 3,5$ m; $T = 2,5$ m, $m_p = 0.9698$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
8	174.20	170.50	1.57	0.07
10	215.90	332.10	2.87	0.11
12	259.30	587.50	5.12	0.19
14	301.90	963.10	10.01	0.31

Versuchs-Nr. 06153; $h = 3,5$ m; $T = 3,0$ m, $m_p = 0.9340$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
7	162.40	138.90	1.74	0.08
8	186.90	219.20	2.61	0.10
9	201.00	272.80	3.32	0.11
10	222.80	376.20	4.10	0.14

Versuchs-Nr. 06154; $h = 5$ m; $T = 3$ m, $m_p = 0.9559$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
10	232.00	423.40	1.88	0.11
12	276.30	739.40	3.26	0.16
14	317.90	1136.00	4.56	0.18
15	342.80	1436.20	6.01	0.21
16	375.00	1935.10	8.19	0.35

Versuchs-Nr. 06155; $h = 5$ m; $T = 2,5$ m, $m_p = 0.9802$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
12	246.60	508.70	2.48	0.13
14	291.30	847.20	4.11	0.15
16	333.20	1300.90	6.38	0.23
17	361.70	1669.10	8.37	0.27

Versuchs-Nr. 06156; $h = 5$ m; $T = 2$ m, $m_p = 0.9657$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
14	262.20	597.10	2.56	0.13
16	304.40	964.30	4.05	0.17
17	325.50	1191.40	4.92	0.19
18	356.60	1587.70	6.54	0.33
19	371.20	1785.00	7.34	0.38

Versuchs-Nr. 06157; $h = 5$ m; $T = 1,2$ m, $m_p = 0.9570$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
14	227.10	369.60	3.25	0.07
16	268.10	615.10	4.86	0.13
17	286.50	762.60	6.08	0.13
18	299.10	859.90	7.81	0.19
19	336.00	1271.10	9.49	0.23

Versuchs-Nr. 06158; $h = 2,5$ m; $T = 1,2$ m, $m_p = 0.9111$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
8	143.70	97.30	2.39	0.04
10	180.20	188.80	4.18	0.09
12	229.40	399.30	9.48	0.19

Versuchs-Nr. 06159; $h = 2,5$ m; $T = 2$ m, $m_p = 0.9422$

v [km/h]	n [rpm]	P_D [kW]	θ [<']	z_v [m]
6	121.70	61.30	0.83	0.04
8	162.10	142.70	2.03	0.07
10	199.70	272.70	4.05	0.14
11	234.40	448.00	6.55	0.22
12	334.70	1357.40	9.55	0.28

B 4.2 Widerstandsversuche

Die Modellergebnisse werden nach Froude auf die Großausführung umgerechnet. Nachfolgend sind die Meßpunkte für die Großausführung tabellarisch aufgeführt. In den Anlagen B11 bis B15 sind die entsprechenden Kurven dargestellt.

Versuchs-Nr. 06145; $h = 3,5 \text{ m}$; $T = 3 \text{ m}$ - Schubleichter

v [km/h]	P_E [kW]	R_T [kN]	θ [<']	z_v [m]
5	17.9	12.9	-0.03	0.026
7	51.9	26.7	0.04	0.06
9	110.4	44.2	-0.16	0.111
11	206.7	67.7	-1.44	0.178
13	398.2	110.3	-4.63	0.319
14	606.6	156	0.88	0.381

Versuchs-Nr. 06146; $h = 3,5 \text{ m}$; $T = 2,5 \text{ m}$ - Schubleichter

v [km/h]	P_E [kW]	R_T [kN]	θ [<']	z_v [m]
7	41.1	21.1	0.54	0.044
9	85.2	34.1	0.93	0.068
11	160.4	52.5	1.7	0.149
13	293.6	81.3	2.04	0.23
14	409.1	105.3	-0.89	0.842
15	711.1	170.5	-4.36	0.98

Versuchs-Nr. 06147; $h = 3,5 \text{ m}$; $T = 2 \text{ m}$ - Schubleichter

v [km/h]	P_E [kW]	R_T [kN]	θ [<']	z_v [m]
7	25.8	13.3	0.29	0.041
9	56.2	22.5	0.68	0.071
11	103.7	33.9	1.06	0.123
13	181.6	50.3	1.24	0.198
15	358.7	86.1	2.53	0.338
16.5	1282.4	279.8	40.44	0.428

Versuchs-Nr. 06148; h = 3,5 m; T = 1,2 m - Schubleichter

v [km/h]	P _E [kW]	R _T [kN]	θ [<']	z _V [m]
9	27.6	11.1	0.16	0.038
11	51.1	16.7	0.36	0.066
13	90.5	25	0.94	0.112
15	154.3	37	1.47	0.173
17	353.7	74.9	10.73	0.343
18	1193.8	238.8	56.25	0.331

Versuchs-Nr. 06160; h = 3,5 m; T = 1,2 m - Koppelverband

v [km/h]	P _E [kW]	R _T [kN]	θ [<']	z _V [m]
9	69.3	27.7	1.31	0.08
11	123.6	40.4	2.4	0.119
13	217.1	60.1	4.27	0.108
15	339.7	81.4	6.79	0.131

Versuchs-Nr. 06161; h = 3,5 m; T = 2 m - Koppelverband

v [km/h]	P _E [kW]	R _T [kN]	θ [<']	z _V [m]
7	48.7	25.1	0.08	0.015
9	105.1	42.1	0.83	0.038
11	193.4	63.3	1.54	0.071
13	329.4	91.2	2.82	0.169
15	565.7	135.7	5.37	0.265
16	872	196.2	13.49	0.322
16.5	1493.6	326.1	31.93	0.359

Versuchs-Nr. 06162; h = 3,5 m; T = 2,5 m - Koppelverband

v [km/h]	P _E [kW]	R _T [kN]	θ [<']	z _V [m]
9	141.7	56.7	0.88	0.092
11	228.5	74.7	1.71	0.132
13	413.3	114.3	3.61	0.178
14	583.2	150.1	4.6	0.247
15	857.9	205.4	9.81	0.364
15.5	1073.5	249.2	13.87	0.413

Versuchs-Nr. 06163; h = 3,5 m; T = 3 m - Koppelverband

v [km/h]	P_E [kW]	R_T [kN]	θ [<']	z_v [m]
6	43.2	25.9	0.1	0.065
7	72.6	37.4	0.49	0.093
8	119.8	53.9	0.88	0.085
9	160.8	64.4	1.5	0.101
10	204.4	73.6	1.91	0.138
11	285.7	93.4	2.29	0.105
12	430.6	129.7	3	0.12

Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen

A_E	[m ²]	Gestreckte Flügelfläche des Propellers
A_0	[m ²]	Propellerkreisfläche
B_m	[m]	Breite auf Spanten
c	[m]	Profillänge eines Propellerflügels auf 0,7 R
C_A	[-]	Zusatzwiderstandsbeiwert
C_B	[-]	Blockkoeffizient, Def.: $C_B = \Psi / (L_{WL} \cdot B_m \cdot T)$
D	[m]	Propellerdurchmesser
F_D	[kN]	Reibungsabzug
F_{nh}	[-]	Froude' sche Tiefenzahl, Def.: $\frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$
h	[m]	Wassertiefe
J	[-]	Fortschrittsziffer
K_Q	[-]	Drehmomentenbeiwert
K_T	[-]	Schubbeiwert
L_{PP}	[m]	Länge zwischen den Loten
L_{WL}	[m]	Wasserlinienlänge
n	[1/min], [1/s]	Propellerdrehzahl
P	[m]	Propellersteigung
P_D	[kW]	Wellenleistung am Propeller. Def.: $2 \pi \cdot Q \cdot n$
P_E	[kW]	Schleppleistung
P_T	[kW]	Schubleistung
Q	[kNm]	Propellerdrehmoment
R	[m]	Propellerradius

R_T	[kN]	Widerstand
S	[m ²]	Benetzte Oberfläche
T	[m]	Tiefgang
T_D	[kN]	Düsenschub
T_{gesamt}	[kN]	$T_{\text{gesamt}} = T_P + T_D$
T_P	[kN]	Propellerschub
t	[-]	Sogziffer
V	[km/h]	Schiffsgeschwindigkeit
V_A	[m · s ⁻¹]	Anströmgeschwindigkeit
$\forall$	[m ³]	Verdrängungsvolumen
w_T	[-]	Nachstromziffer aus Schubidentität
Z	[-]	Flügelzahl
z_V	[cm]	Absenkung
η_0	[-]	Propellerfreifahrtwirkungsgrad
η_B	[-]	Wirkungsgrad des Propellers hinter dem Schiff
η_D	[-]	Propulsionsgütegrad
η_H	[-]	Schiffseinflussgrad
η_R	[-]	Gütegrad der Anordnung
λ	[-]	Modellmaßstabsziffer
ρ	[kg/m ³]	Dichte des Wassers, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ für Süßwasser
θ	[min]	Trimm

Anlage B 1

Datenblatt GMS

Schiffsabmessungen:

Länge zwischen den Loten	L_{PP}	[m]	100	100	100	100
Länge in der Wasserlinie	L_{WL}	[m]	97,35	98,54	99,09	99,78
Breite auf Spanten	B_m	[m]	11,33	11,33	11,33	11,33
Tiefgang	T	[m]	1,2	2,0	2,5	3,0
Verdrängung	∇	[m ³]	1088,0	1853,3	2362,3	2909,5
Benetzte Oberfläche	S	[m ²]	1121,0	1340,2	1459,6	1585,1
Blockkoeffizient	C_B	[-]	0,822	0,83	0,842	0,857
Afonasiew-Koeffizient	C_{SA}	[-]	0,98	1,026	1,032	1,035

Propellerdaten: P 251 r/l

Propellertyp			Wag. B4.0,7
Durchmesser	D	[m]	1,76
Steigung	P	[m]	1,76
Steigungsverhältnis	P/D	[-]	1,0
Flächenverhältnis	A_E/A_0	[-]	0,7
Flügelzahl	Z	[-]	4
Profillänge auf 0,7 R	c	[m]	0,6605

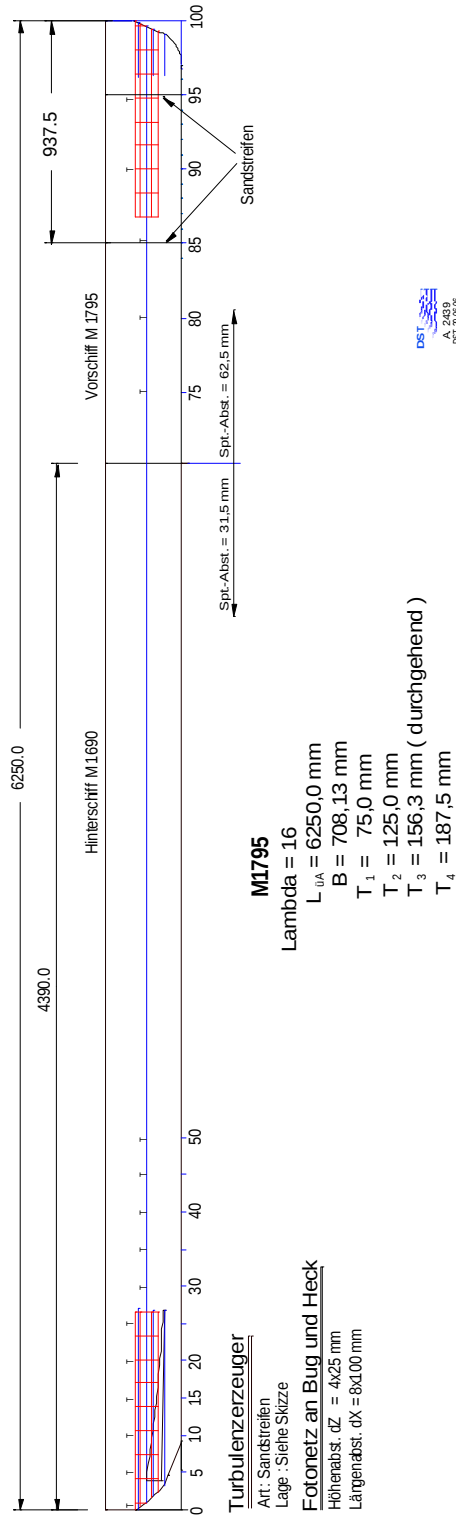
Datenblatt Projektleichter

Schiffsabmessungen:

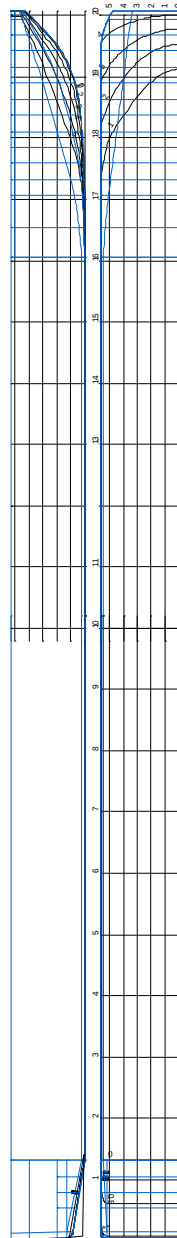
Länge zwischen den Loten	L_{PP}	[m]	80	80	80	80
Länge in der Wasserlinie	L_{WL}	[m]	76,749	77,938	78,55	79,208
Breite auf Spanten	B_m	[m]	11,33	11,33	11,33	11,33
Tiefgang	T	[m]	1,2	2,0	2,5	3,0
Verdrängung	∇	[m ³]	947,7	1645,0	2073,4	2512,9
Benetzte Oberfläche	S	[m ²]	987,7	1117,8	1199,7	1285,0
Blockkoeffizient	C_B	[-]	0,908	0,931	0,932	0,933
Afonasiew-Koeffizient	C_{SA}	[-]	1,012	0,99	0,99	0,99

Anlage B 2

Anrissplan



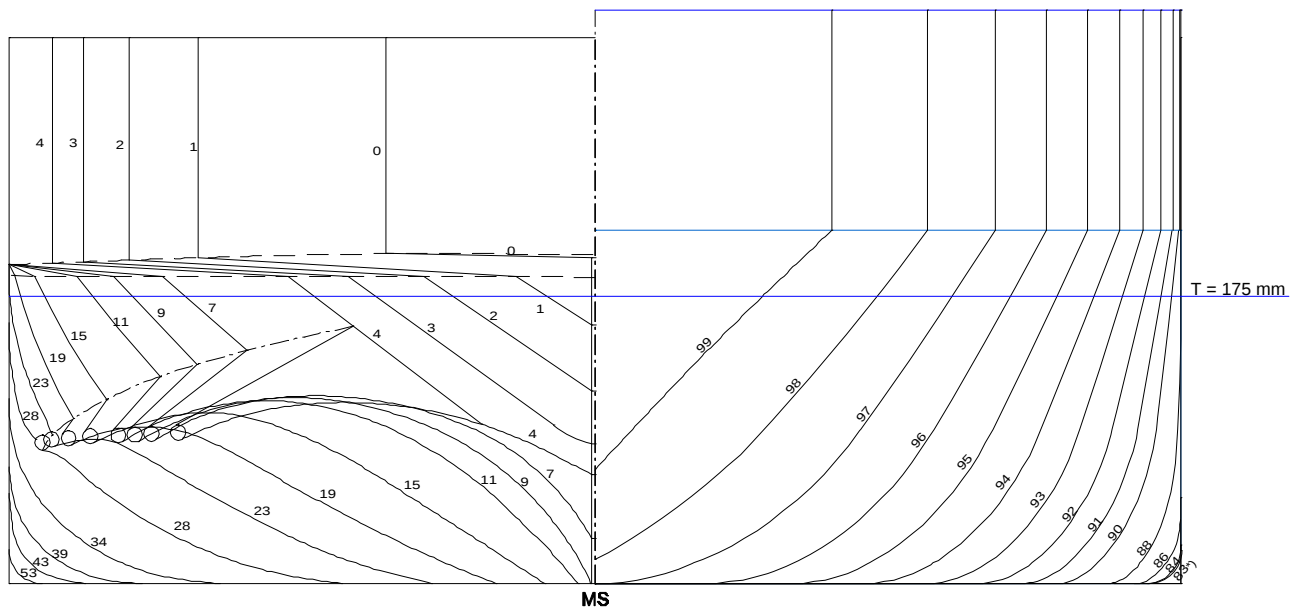
Anlage B 3



Für die Modellversuche mit dem Projektleichter wurde der vordere Teil des Leichters, Spant 10 – 20, neu gebaut. Der hintere Teil des Leichters (Spant 0 – 10) entspricht dem eines Europa IIb Leichters. Die Gillung wurde, wie die Abbildung erkennen lässt, ausgefüllt, sodass ein Leichter mit Kastenheck entstand.

Anlage B 4

Spantenriss

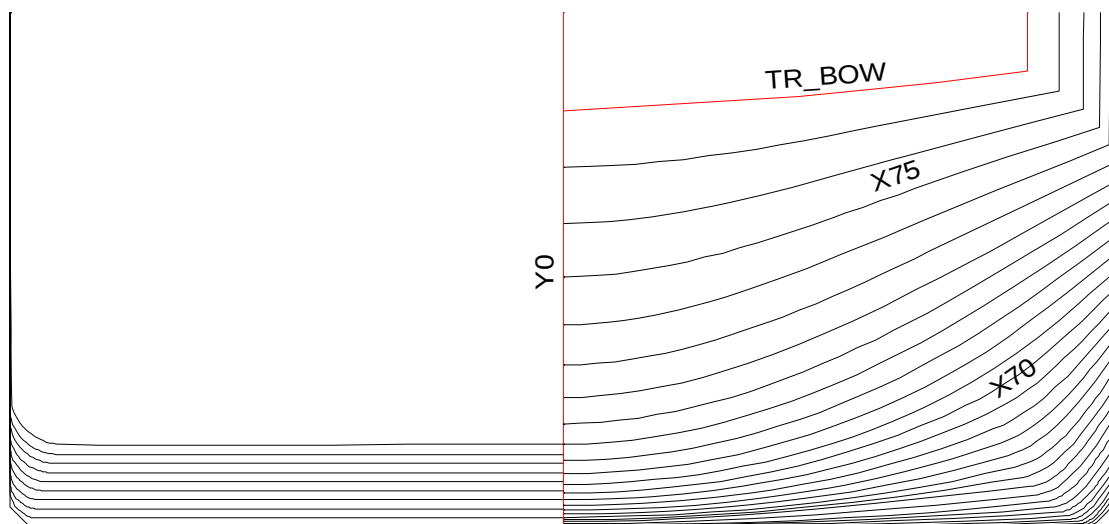


*) Trennfuge bei Spt. 83

Modell M1795/A

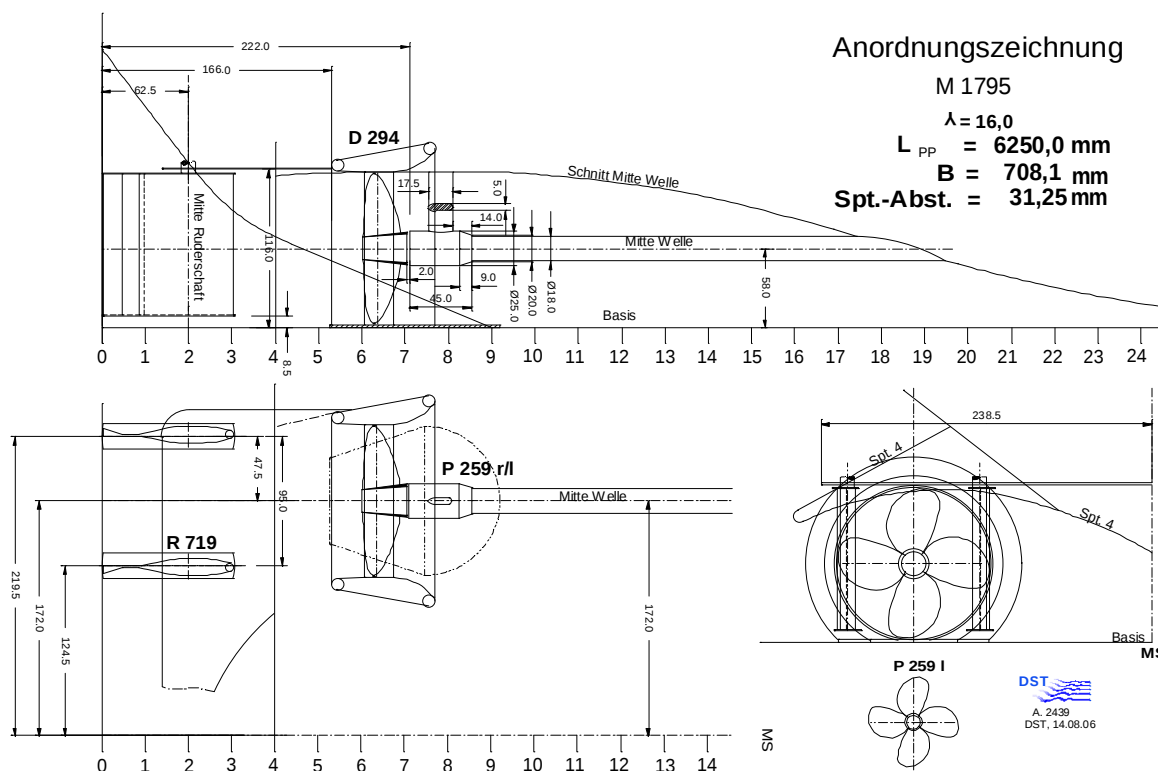
Lambda = 16
L üa = 6250 mm
B = 708,2 mm
T = 175 mm
Spt.-Abst. = 62,5 mm

Anlage B 5

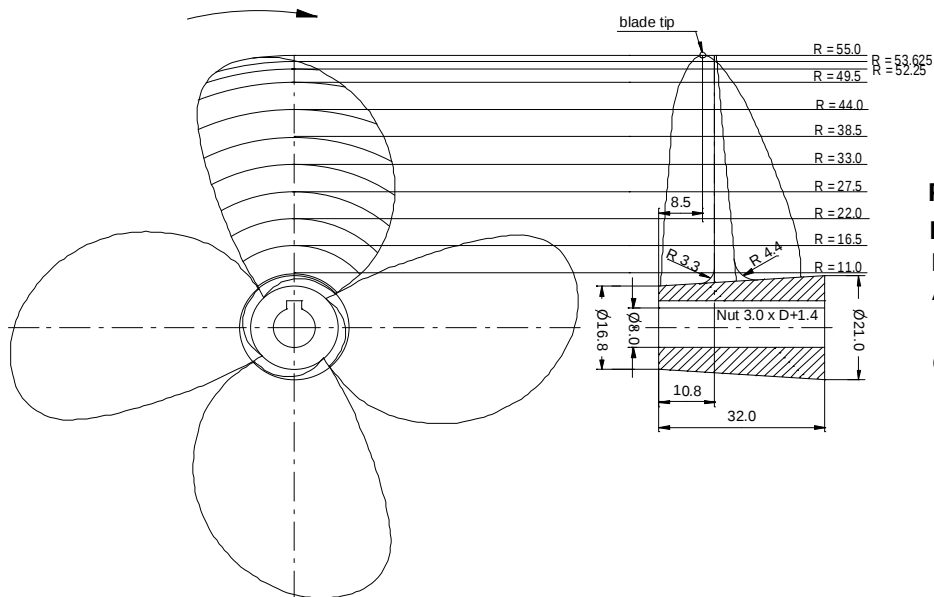


Modell M1769/M1800
 LÄNGE 80 m
 LPP 78.2499 m
 BREITE 11.33 m
 TIEFGANG max. 4 m
 VERDR. A. SPT. 3260.88m³

Anlage B 6

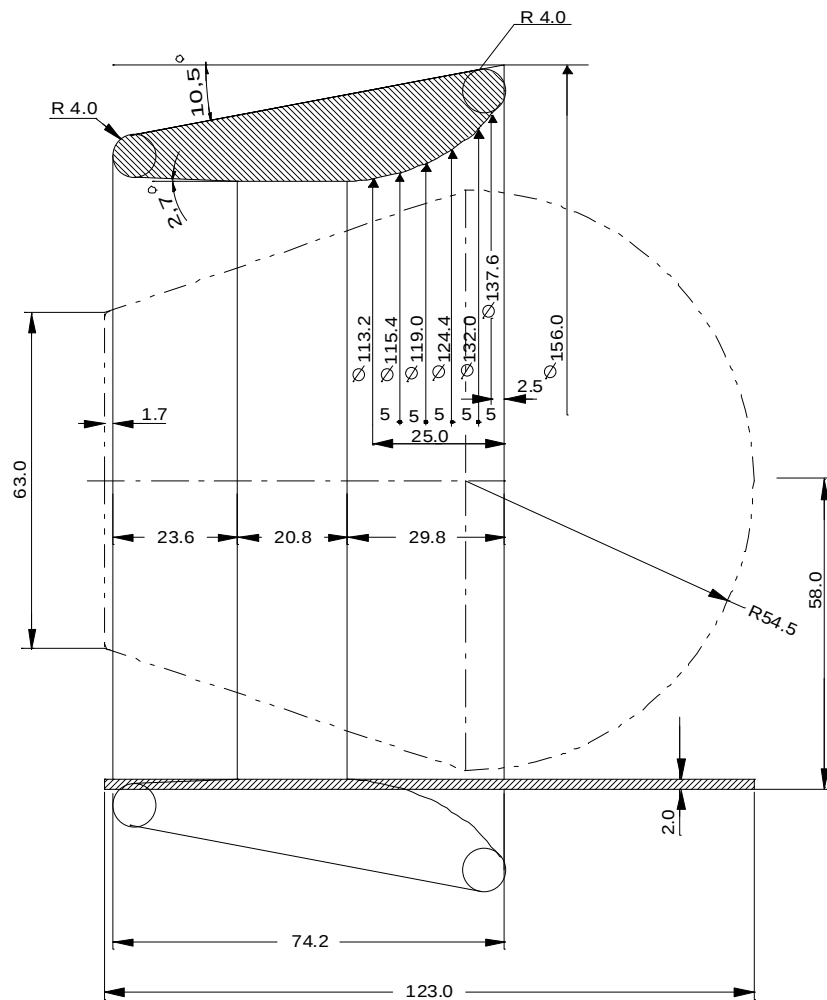


Anlage B 7



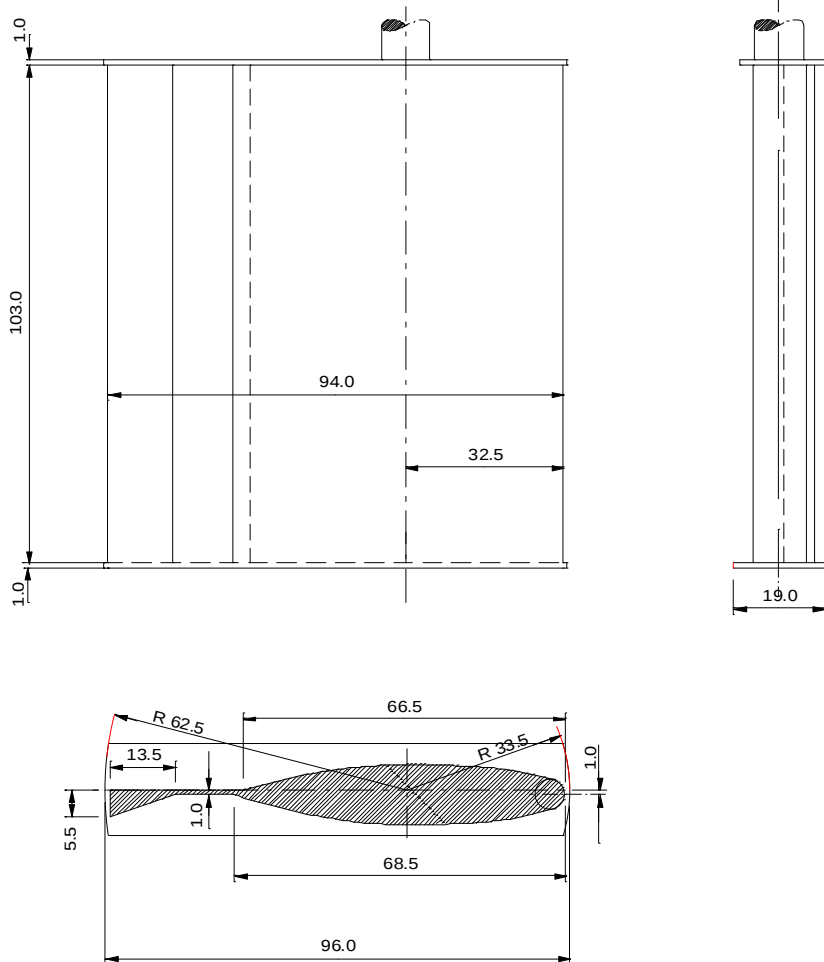
P 259 r/l
Propellertyp : Wag. B 4.70
D = 110,0 mm
P/D = 1,0
 $A_E/A_0 = 0,7$
Z = 4
 $C_{0,7R} = 41,28 \text{ mm}$

Anlage B 8



D 294
 $\lambda = 16$

Anlage B 9

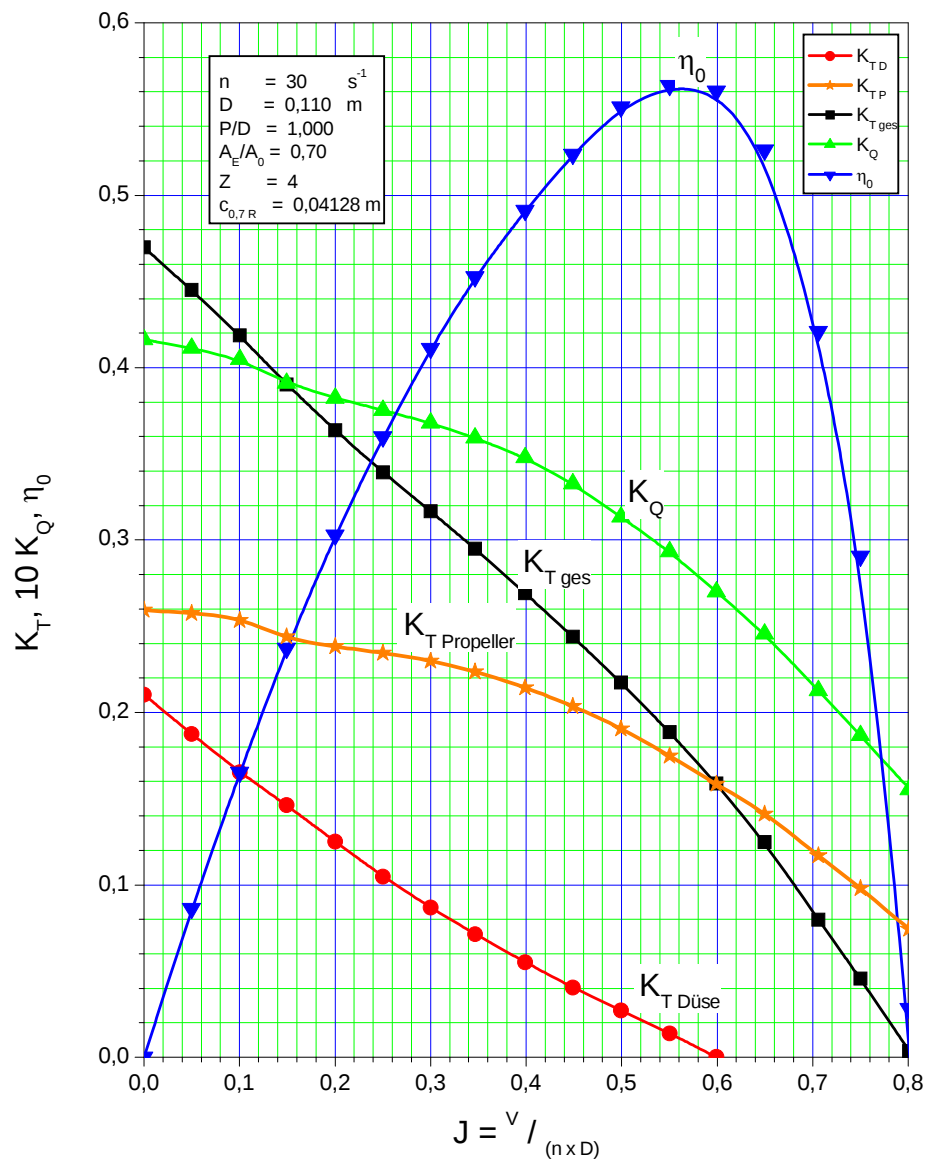


R 719
 $\lambda = 16$

4 Ruder für M 1795
2 x rechts , 2 x links ausführen

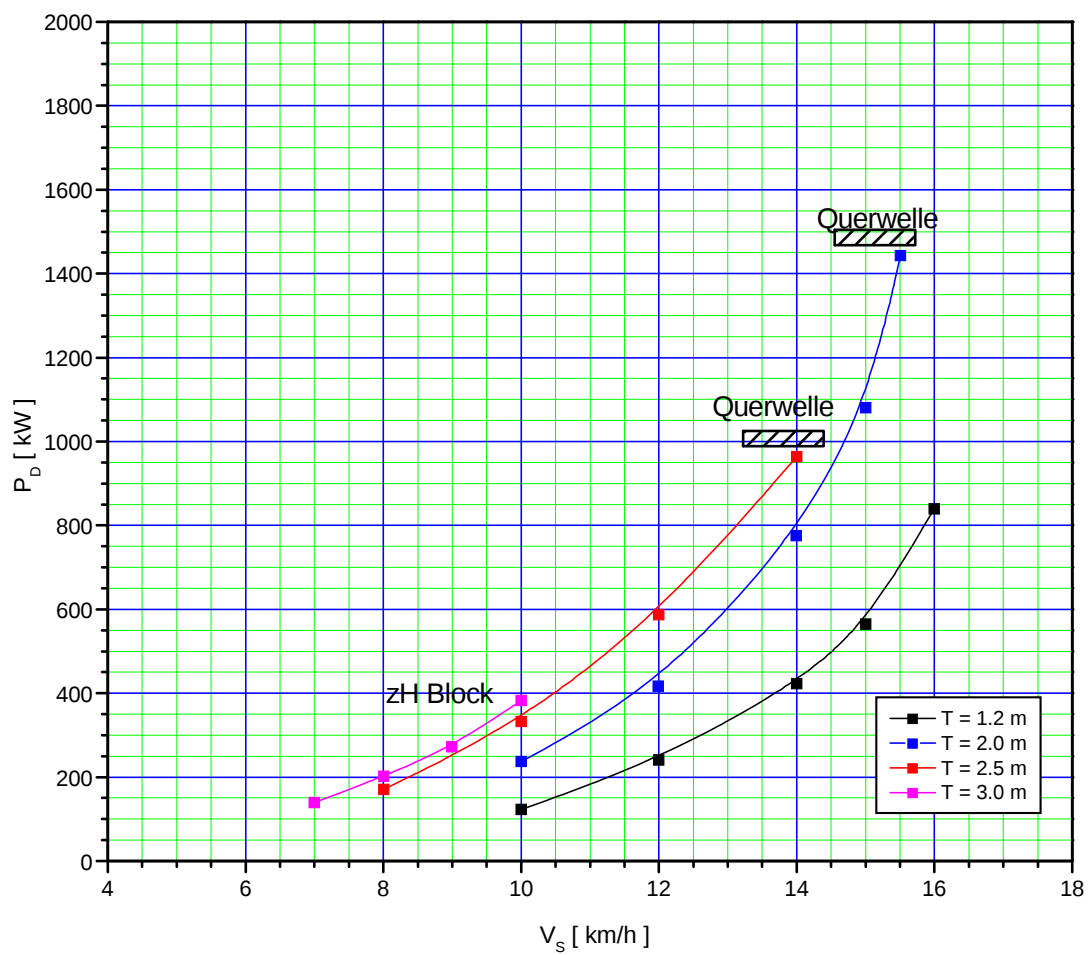
Anlage B 10

Propellerfreifahrt
P 259 L + D 342



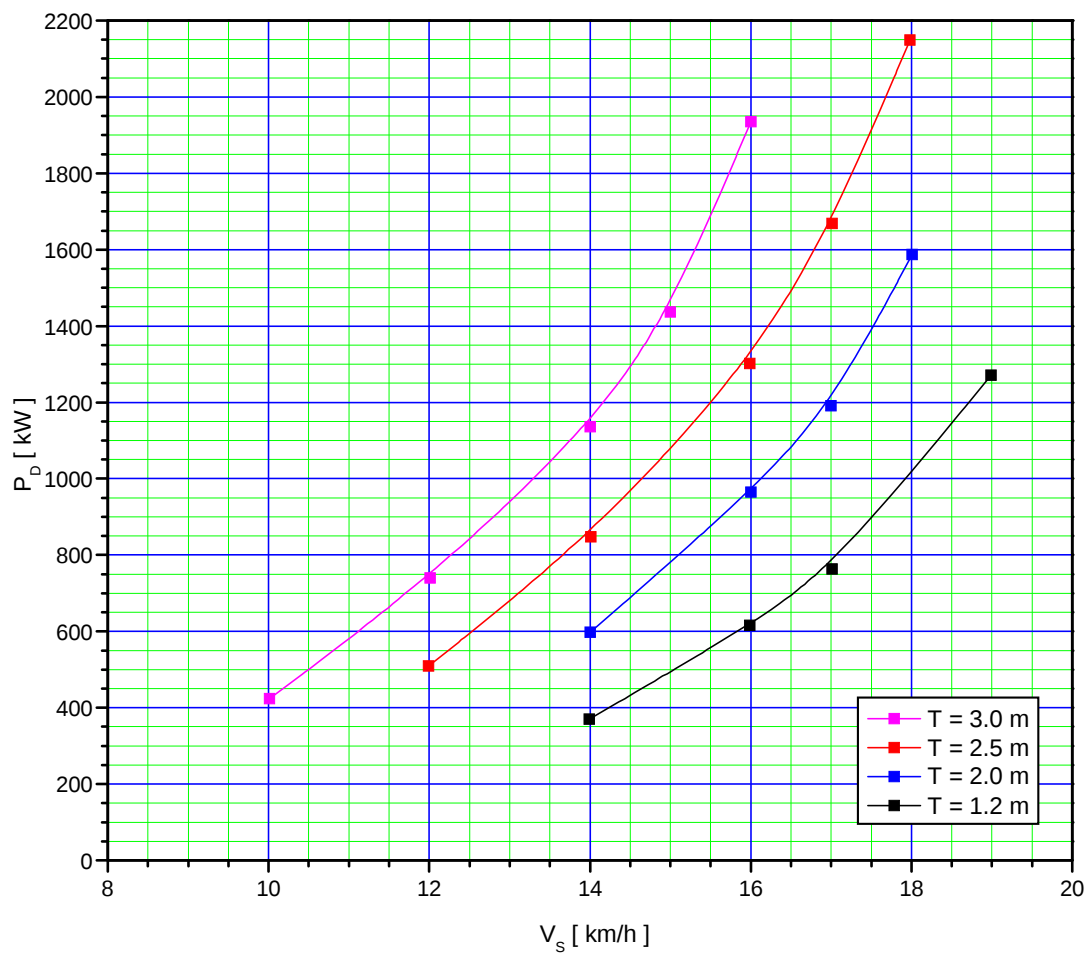
Anlage B 11

Propulsion - Koppelverband
Wassertiefe $h = 3,50$ m



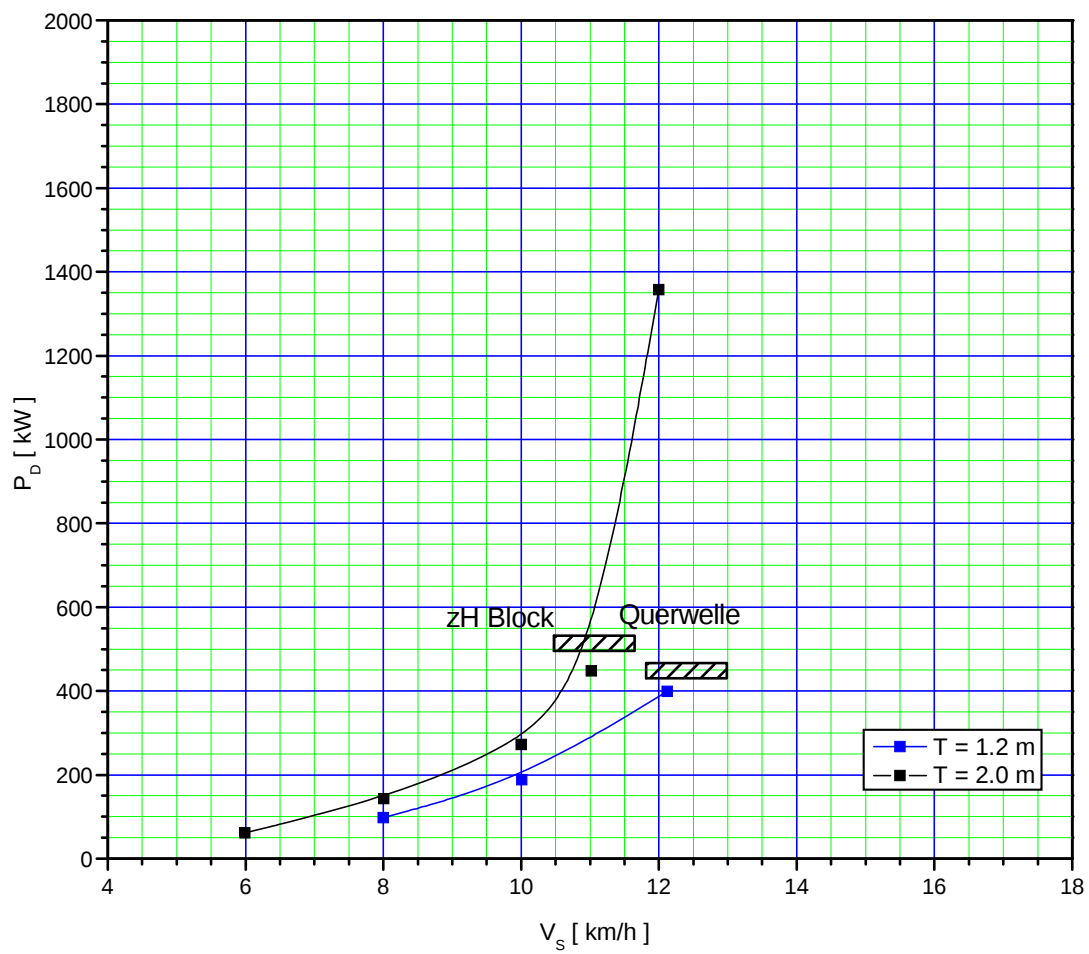
Anlage B 12

Propulsion - Koppelverband
Wassertiefe $h = 5,0 \text{ m}$



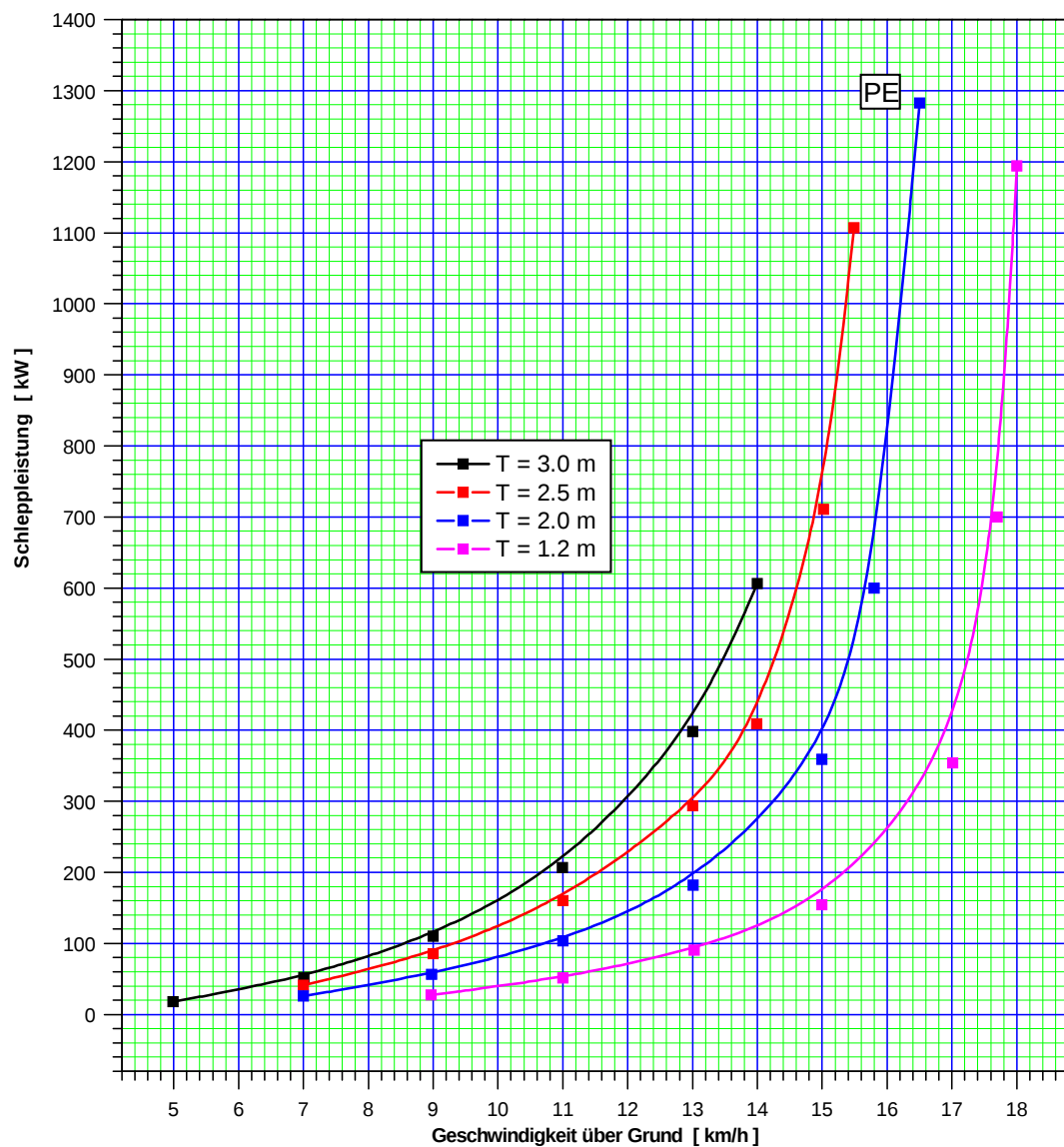
Anlage B 13

Propulsion - Koppelverband
Wassertiefe $h = 2,50$ m



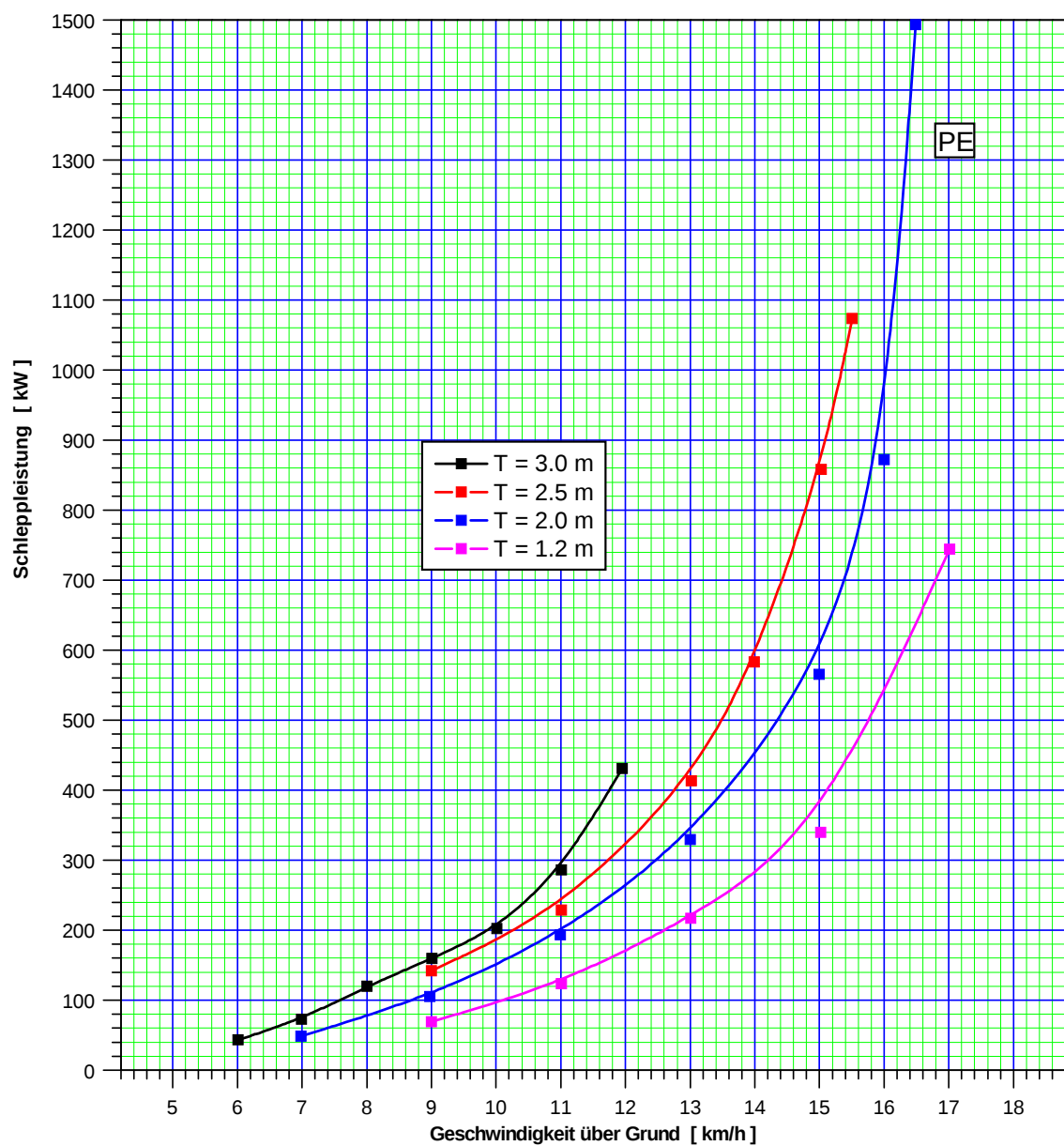
Anlage B 14

WIDERSTAND / LEICHTER
 $h = 3,50 \text{ m}$



Anlage B 15

WIDERSTAND / KOPPELVERBAND
 $h = 3,5 \text{ m}$



ANHANG C: WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG

Inhaltsverzeichnis Anhang C

C 1	Relationsbedingte Rahmenbedingungen der Wasserstraßen	3
C 2	Gewässerspezifische Daten	7
C 3	Die befahrenen Gewässer	16
C 4	Analyse der Zeit- und Kostenstrukturen	24
C 4.1	Kalkulationsmodell für den Schiffstransport	24
C 4.2	Kosten des Schiffsbetriebs	25
C 5	Auswertungen	29
C 5.1	Auswertung	29
C 5.1.1	Zusammenfassung der Randbedingungen	29
C 5.1.2	Ladungsarten	30
C 5.2	Ergebnisse Projekt-Leichter mit kastenförmigem Heck	31
C 5.3	Ergebnisse bei veränderter Heckform des Projekt-Leichters	37
C 6	Bewertung	43
C 6.1	Homogene Ladungen	43
C 6.2	Mischladung	45
C 6.2.1	Das GMS mit Containerladung, der Leichter mit RoRo-Ladung	45
C 6.2.2	Mischladung Massengut/Container	45

Anhang C: Wirtschaftlichkeitsberechnung**C 1 Relationsbedingte Rahmenbedingungen der Wasserstraßen**

Folgende Relationen wurden untersucht:

- a) Rotterdam – Mainz – Kehlheim – Budapest
- b) Rotterdam – Basel
- c) Nürnberg – Ruse (Bulgarien)
- d) Rotterdam – Duisburg

Zu a) Rotterdam – Mainz – Kehlheim – Budapest

Die Gesamtlänge dieser Relation beträgt 1824 km. Sie beginnt in Rotterdam, führt über den Rhein bis Mainz, folgt danach dem Main und dem Main-Donau-Kanal bis Kehlheim. Donau abwärts endet die Relation in Budapest. Auf dieser Strecke wird im Main-Donau-Kanal zwischen den Schleusen Hilpoltshausen und Bachhausen eine Höhe von 406 m über NN erreicht. Zwischen Mainz und Budapest sind insgesamt 67 Schleusen zu passieren.

Diese Relation ist repräsentativ für den wasserseitigen Transport von den ARA-Häfen zur mittleren Donau.

Die wichtigsten Daten dieser Relation sind in Tab. C 1 zusammengestellt.

Stadt	Fluss Flussabschnitt	Flusskilometer	Abschnitts- Kilometer	Bereichs- nummer	Schleusen
Rotterdam	Nieuwe Maas	1005	509	1	-
		984			
	Noord	984			
		976			
	Merwede	976			
		952			
	Waal	952			
		867			
	Boven- Rijn	867			
		857			
	Nieder- rhein	857			
Koblenz	Mittel- rhein	592			
Koblenz		592			
Mainz		496			
Mainz	Main	0	384	3	34
Bamberg		384			
Bamberg	MDK	0	171	4	17
Kehlheim		171			
Kehlheim	Obere Donau	2412	760	5	16
Passau		2226			
Passau	Mittlere Donau	2226			
Budapest		1652			

Tab. C 1: Daten der Relation Rotterdam – Budapest

Die in dieser und in den nächsten Tabellen verwendeten Bereichsnummern werden im Weiteren erläutert.

b) Rotterdam – Basel

Diese Relation umfasst mit einer Länge von 852 km praktisch den gesamten schiffbaren Rhein. Im Bereich des Oberrheins sind 12 Schleusen zu passieren.

Diese Strecke verkörpert den Binnenschifftransport zwischen den ARA-Häfen und dem Oberrheingebiet.

Die nachstehende Tab. C 2 enthält wiederum die charakteristischen Daten dieser Relation.

Stadt	Fluss Flussabschnitt	Flusskilometer	Abschnitts- Kilometer	Bereichs- nummer	Schleusen
Rotterdam	Nieuwe Maas	1012	516	1	-
		984			
	Noord	984			
		976			
	Merwede	976			
		952			
	Waal	952			
		867			
	Boven- Rijn	867			
		857			
	Nieder- rhein	857			
Koblenz		592			
Koblenz	Mittel- rhein	592	336	2	12
Mainz		496			
Mainz		496			
Karlsruhe	Ober- rhein	360			
Karlsruhe		360			
Basel		160			

Tab. C 2: Daten der Relation Rotterdam – Basel

Zu c) Nürnberg – Russe (Bulgarien)

Die Relation beginnt im Main-Donau-Kanal bei MDK-km 72 und führt weiter über die Donau bis Ruse, Donau-km 496. Sie erstreckt sich über eine Länge von 2015 km, auf der 35 Schleusen zu durchfahren sind.

Diese Relation steht stellvertretend für einen Binnenschifftransport von einem Binnenhafen im Hinterland nach Süd-Osteuropa. Die wesentlichen Daten sind in Tab. C 3 aufgeführt

Stadt	Fluss Flussabschnitt	Flusskilometer	Abschnitts- Kilometer	Bereichs- nummer	Schleusen
Nürnberg	MDK	72	99	4	9
Kehlheim		171			
Kehlheim	Obere Donau	2412	760	5	16
Passau		2226			
Passau	Mittlere Donau	2226			
Budapest	Untere Donau	1652	1156	8	2
Budapest		1652			
Ruse		496			

Tab. C 3: Daten der Relation Nürnberg – Ruse (Bulgarien)

Zu d) Rotterdam – Duisburg

Diese Relation ist mit einer Länge von ca. 220 km relativ kurz. Sie steht repräsentativ für den kurzen wassergebundenen Hinterlandverkehr von und zu den ARA-Häfen.

Tab. C 4 beinhaltet die wesentlichen Daten der Strecke.

Stadt	Fluss Flussabschnitt	Flusskilometer	Abschnitts- Kilometer	Bereichs- nummer	Schleusen
Rotterdam	Nieuwe Maas	1000	220	1	-
		984			
	Noord	984			
		976			
	Merwede	976			
		952			
	Waal	952			
		867			
	Boven- Rijn	867			
		857			
	Nieder- rhein	857			
Duisburg		780			

Tab. C 4: Daten der Relation Rotterdam – Duisburg

Die einzelnen Relationen überschneiden sich. Zur Erläuterung der Wasserstraßeninfrastruktur und der nautischen Bedingungen auf den Relationen werden diese ebenfalls in einzelne Bereiche unterteilt. Jeder dieser Bereiche umfasst einen Gewässerabschnitt, der wie z. B. der Niederrhein von mehreren Relationen belegt wird. Die Abbildung 1 im Hauptbericht skizziert die Einteilung der Relationen in Bereiche.

C 2 Gewässerspezifische Daten

Bereich 1: der Rhein von Rotterdam bis Mainz

Der Rhein ist in diesem Bereich ein frei fließender Fluss, den in diesem Abschnitt keine Schleuse einschränkt. Er wird bei einer Bereichslänge von 503 km von 46 Brücken überquert. Die geringste lichte Durchfahrtshöhe liegt bei der Düsseldorfer Südbrücke vor, Rhein-km 737, mit 8,75 m über HSW¹. Die maximalen Schiffsabmessungen sind – wie Tab. C 5 zeigt – festgelegt.

		Länge [m]	Breite [m]
Einzelfahrer		135	22,80
Verband	lange Formation	193	22,90
	kurze Formation	153	34,35

Tab. C 5: Zulässige Schiffsabmessungen auf dem Rhein im Bereich 1

Die Relation d) liegt in diesem Bereich. Auf dieser Relation ist wegen der großen lichten Durchfahrtshöhen der Rheinbrücken ein 4-lagiger Containertransport durchführbar. Auch der mögliche Tiefgang wird nicht von der Wassertiefe begrenzt.

Bereich 2: der Rhein von Mainz bis Basel

Zwischen Basel und Mainz ist der Rhein teilweise ein kanalisierter Fluss, zum Teil ein frei fließender Fluss und teilweise wird der parallel zum Rhein verlaufende Elsässische Rheinseiten-Kanal befahren. 34 Brücken überspannen die Wasserstraße in diesem Bereich. Die niedrigste Durchfahrtshöhe weisen die beiden Straßburger Rheinbrücken, Rhein-km 293, mit 6,75 m aus. Mit 5,30 m über HSW ist die Durchfahrtshöhe der Mittleren Rheinbrücke in Basel, Rhein-km 166,64, am niedrigsten. Sie liegt jedoch bereits oberhalb der Hafenanlagen von St. Johann, Klybeckquai, Hünningen und Kleinhünningen.

Die lichte Durchfahrtshöhe von 6,75 m (Brücke Straßburg) erlaubt einen 3-lagigen Containertransport. Der maximale Tiefgang der Schiffe wird hier auf 2,5 m begrenzt, da die Schiffe den Bereich Bingen-Oestrich passieren müssen [9].

Im Lauf des kanalisierten Rheins und des Rheinseiten-Kanals liegen 10 Schleusen. Die Abmessungen der Schleusenkammern sind in Tab. C 6 aufgezeigt.

¹ HSW = höchster schiffbarer Wasserstand, der Wasserstand, bei dessen Überschreitung die Schifffahrt eingestellt werden muss.

Schleuse	Rhein-km	Kammergröße		Nutz-
		Länge [m]	Breite [m]	
Iffezheim	334,0	270	24	
		270	24	
Gambshheim	309,1	270	24	
		270	24	
Straßburg	287,6	185	24	
		185	12	
Gerstheim	272,5	190	24	
		190	12	
Rheinau	256,4	185	23	
		185	12	
Marckolsheim	240,1	185	23	
		185	12	
Vogelgrün	224,7	185	23	
		185	12	
Fessenheim	210,7	185	23	
		185	12	
Ottmarsheim	193,8	185	23	
		185	12	
Kembs	179,3	185	25	
		100	25	

Tab. C 6: Schleusenabmessungen auf dem Rhein und dem Elsässischen Rheinseiten-Kanal

Die maximalen Abmessungen der Schiffe und Verbände auf dem Rhein sind im Bereich 3 durch die Abmessungen der Schleusenkammern begrenzt.

Bereich 3: der Main von der Mündung bis zum Abzweig in den Main-Donau-Kanal

Der Main hat im Bereich 3 eine Länge von ca. 384 km und ist ab der Schleuse Kostheim, Main-km 3,2, kanalisiert. Mithilfe von 34 Schleusen werden ca. 147 m Höhendifferenz überwunden. Nachfolgend in Tab. C 7 sind die Schleusenabmessungen angegeben.

Name	Main-km	Kammergröße		Krümmungs- radius [m]
		Länge [m]	Breite [m]	
Viereth	380,1	289,8	12,00	
Limbach	367,2	299,1	12,00	
Knetzgau	359,8	298,9	12,00	
Ottendorf	345,3	301,6	12,00	
Schweinfurt	332,0	300,6	12,00	5.000
Garstadt	323,5	299,8	12,00	5.000
Wipfeld	316,3	300,2	12,00	
Gerlachshausen	300,5	300,0	12,00	
Dettelbach	295,4	299,4	12,00	
Kitzingen	283,9	299,8	12,00	
Marktbreit	275,7	296,4	12,00	5.000
Goßmannsdorf	269,0	296,9	12,00	5.000
Randersacker	258,9	299,6	12,00	5.000
Würzburg	252,5	293,1	12,00	
Erlabrunn	241,2	299,2	12,00	5.000
Himmelstadt	232,3	299,5	12,00	
Harrbach	219,5	299,5	12,00	
Steinbach	200,7	299,1	12,00	5.000
Rothenfels	185,9	298,5	12,00	5.000
Lengfurt	174,5	300,2	11,99	
Eichel	160,5	300,1	12,00	5.000
Faulbach	147,1	300,0	12,02	
Freudenberg	133,9	300,2	11,99	
Heubach	122,4	300,9	11,92	
Klingenberg	113,0	301,4	11,94	5.000
Wallstadt	101,2	300,9	11,82	
Obernau	92,9	300,2	11,90	
Kleinostheim	77,9	298,5	12,00	
		298,5	11,99	
Krotzenburg	63,9	300,0	12,00	
		302,2	12,03	
Mülheim	53,2	304,0	12,00	
Offenbach	38,5	344,5	11,99	
		230,1	13,01	
Griesheim	28,7	344,4	15,00	
		344,4	12,00	
Edders- heim	15,6	344,6	15,00	
		345,3	12,00	
Kostheim	3,2	337,4	12,00	5.000
		341,5	15,00	

Tab. C 7: Schleusenabmessungen auf dem kanalisierten Main

Da einige Schleusen auf dem kanalisierten Main gekrümmt verlaufen, ist in diesen Fällen der Krümmungsradius angegeben. Als Folge großer Krümmungen ist die Schiffslänge in der Schleuse bei schmalen Schleusenkammern beschränkt.

Die Passierbarkeit der gekrümmten Mainschleusen muss für Schiffe überprüft werden, deren Abmessungen über die heute zulässigen Werte hinausgehen, siehe Tab. C 8. Die

Variante C des Projekt-Leichters überschreitet mit einer Breite von 11,65 m die zulässige Breite um 0,2 m. Abb. C 1 zeigt eine Skizze einer gekrümmten Schleuse. In die Skizze ist maßstäblich ein rechteckiger Leichter mit den Abmessungen 80,00 m x 11,65 m eingezeichnet.

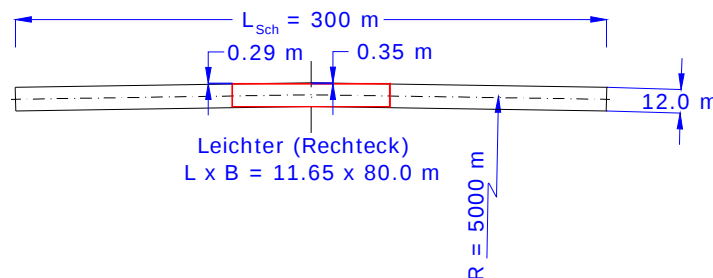


Abb. C 1: Überprüfung der Passierbarkeit der Mainschleusen

Es ist zu erkennen, dass ein Leichter mit der angenommenen Form die Schleuse passieren kann. Wird berücksichtigt, dass bei dem Projekt-Leichter die Ecken an Bug und Heck mit einem Radius von ca. 0,5 m abgerundet sind und sich der Leichter am Bug auf einer Länge von ca. 6,5 m verjüngt (siehe Anlage A 6), so ist die Befahrbarkeit der Schleuse für diesen Leichter sicher gegeben.

Der Main wird im Bereich 3 von 136 Brücken überspannt. Die geringste Durchfahrtshöhe über HSW weist die Straßenbrücke Auheim mit 4,89 m auf. Diese Straßenbrücke steht direkt neben einer Eisenbahnbrücke, die nahezu die gleiche Höhe hat (4,90 m über HSW). Die „Alte Mainbrücke“ in Würzburg steht mit 5,10 m an zweiter Stelle bei den geringen Durchfahrtshöhen der Mainbrücken. Untersuchungen [6, 7] zeigen, dass ein 3-lagiger Containertransport mit Einschränkungen auf dem Main möglich ist. Allgemein üblich ist jedoch der 2-lagige Transport. In dieser Studie wird deshalb für Schiffe auf dem Main ein 2-lagiger Transport angenommen. Oberhalb der Schleuse Lengfurt beträgt die Fahrrinnentiefe des Mains 2,5 m. Es wird deshalb hier ein möglicher Tiefgang von 2,3 m angenommen. Die maximalen Abmessungen der Schiffe auf dem Main zeigt Tab. C 8.

Sonderausrüstung ¹⁾	Länge [m]	Breite [m]
Fahrzeug	110	11,45
Verband	190	11,45

- ¹⁾ Die Fahrzeuge/Verbände, die länger als 90 m sind, müssen ausgerüstet sein mit:
- a: einer aktiven Bugsteuereinrichtung,
bei Verbänden an der Spitze des Verbandes
 - b: einer Sprechverbindung zwischen Steuerstand und der Spitze des Fahrzeugs oder Verbandes

Tab. C 8: Abmessungen der Schiffe auf dem Main im Bereich 3

Bereich 4: der Main-Donau-Kanal

Der Bereich 4 umfasst den gesamten Main-Donau-Kanal. Die Größenbeschränkungen für die Schiffe entsprechen denen auf dem Main (Tab. C 8). Der Main-Donau-Kanal überwindet mithilfe von 16 Schleusen (Tab. C 9) die Europäische Wasserscheide zwischen Rhein und Donau.

Schleuse	MDK-km	Kammergröße		Nutz-
		Länge [m]	Breite [m]	
Bamberg	7,4	190,00	12,00	
Strullendorf	13,3	190,10	12,00	
Forchheim	25,9	190,10	12,00	
Hausen	32,9	190,00	12,00	
Erlangen	41,1	190,00	12,00	
Kriegenbrunn	48,7	190,00	12,00	
Nürnberg	69,1	190,00	12,00	
Eibach	72,8	190,00	12,00	
Leerstetten	84,3	190,00	12,00	
Eckersmühle	94,9	190,00	12,00	
Hilpoltstein	98,9	190,00	12,00	
Bachhausen	115,5	190,35	12,00	
Berching	122,5	190,35	12,00	
Dietfurt	135,3	190,35	12,00	
Riedenburg	150,8	190,00	12,00	
Kelheim	166,1	190,00	12,00	

Tab. C 9: Die Schleusen und ihre Abmessungen auf dem Main-Donau-Kanal

Die Nutzlänge der Schleusenkammern beträgt mindestens 190 m, die Nutzbreite liegt bei 12 m. Der Kanal wird von 113 Brücken überspannt, die mindestens eine lichte Durchfahrtshöhe von 6 m haben. Ausnahmen bilden die Löwenbrücke mit 5,49 m und die Kettenbrücke mit 5,53 m in Bamberg. Für beide Brücken bestehen Vereinbarungen mit der WSV über einen Neubau mit einer lichten Durchfahrtshöhe von 6,40 m [8]. In dieser Studie wird die Anzahl der Containerlagen der Schiffe auf dem MDK durch die Beschränkungen

der angrenzenden Gewässer bestimmt, ebenso verhält es sich mit dem möglichen Tiefgang der Schiffe.

Abhängig vom Tiefgang ist die Geschwindigkeit der Schiffe begrenzt. Sie beträgt:

Tiefgang < 1,30	⇒	13 km/h
Tiefgang > 1,30	⇒	11 km/h.

Bereich 5: die obere Donau

Dieser Bereich erstreckt sich von Kelheim, der Einmündung des Main-Donau-Kanals in die Donau, bis nach Budapest. Im Oberlauf auf deutschem Gebiet ist die Donau streckenweise ein enges, stark gewundenes Gewässer, auf dem teilweise nur Richtungsverkehr möglich ist. 89 Brücken überqueren die Donau im Bereich 5. Die Brücken, deren Durchfahrtshöhe über HSW geringer ist als 6,0 m, sind in Tab. C 10 aufgelistet.

niedrige Brücken im Bereich 5					
Bereich	Fluss-kilometer	Ort	Name	Höhe über HSW [m]	Art der Brücke
5	2.311,27	Bogen		4,95	E
	2.285,87	Deggendorf		4,70	E
	2.225,75	Passau	Luitpoldbrücke	5,15	S*

*) im Scheitel 6,03 m

Tab. C 10: Donaubrücken mit lichter Durchfahrtshöhe < 6 m im Bereich 5

Die Eisenbahnbrücke bei Deggendorf weist in diesem Bereich die geringste Durchfahrtshöhe über HSW aus. Für diese Brücke wurde die lichte Durchfahrtshöhe für die Jahre 1992 bis 2001 aufgezeichnet.

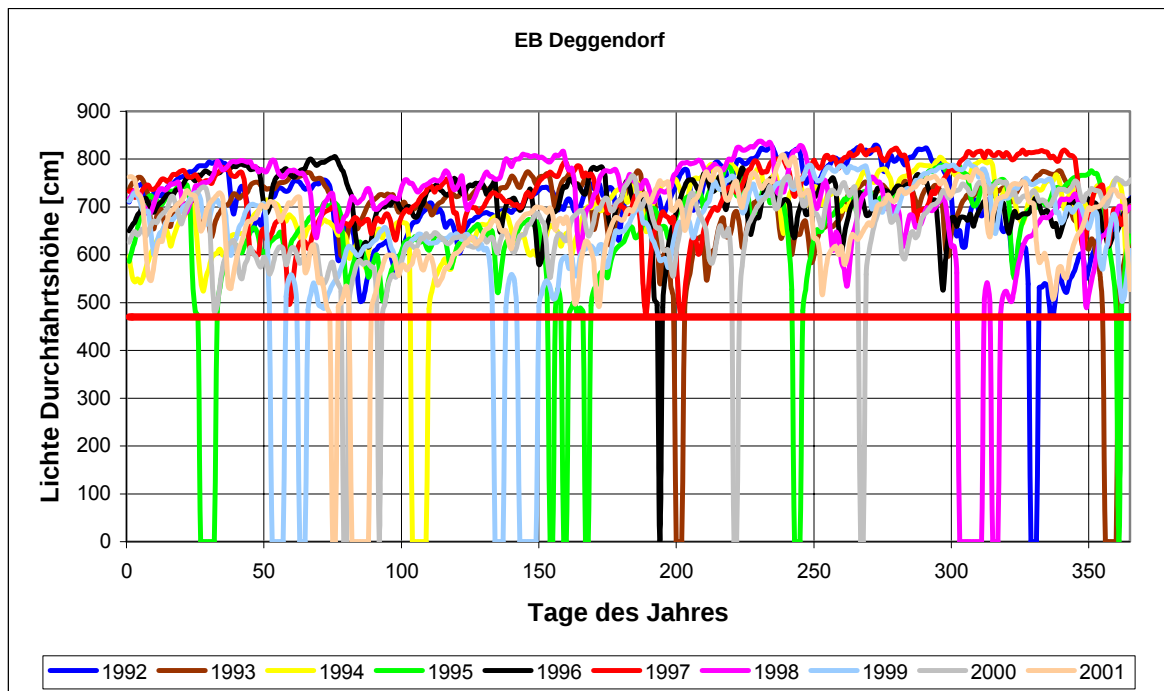


Abb. C 2: Lichte Durchfahrtshöhe der Eisenbahnbrücke Deggendorf für die Jahre 1992 bis 2001

An den Tagen, an denen der HSW überschritten wurde und somit die Schifffahrt eingestellt war, sind die Kurven auf 0 cm heruntergezogen. Die lichte Durchfahrtshöhe über HSW ist durch eine rote Gerade dargestellt. Die Grafik zeigt, dass die lichte Durchfahrtshöhe während der betrachteten Jahre bei ungefähr 6 m liegt. Auch die Anzahl der Tage mit Schifffahrtssperre ist gering. Eine statistische Auswertung der Kurvenverläufe aus Abb. C 2 zeigt Abb. C 3.

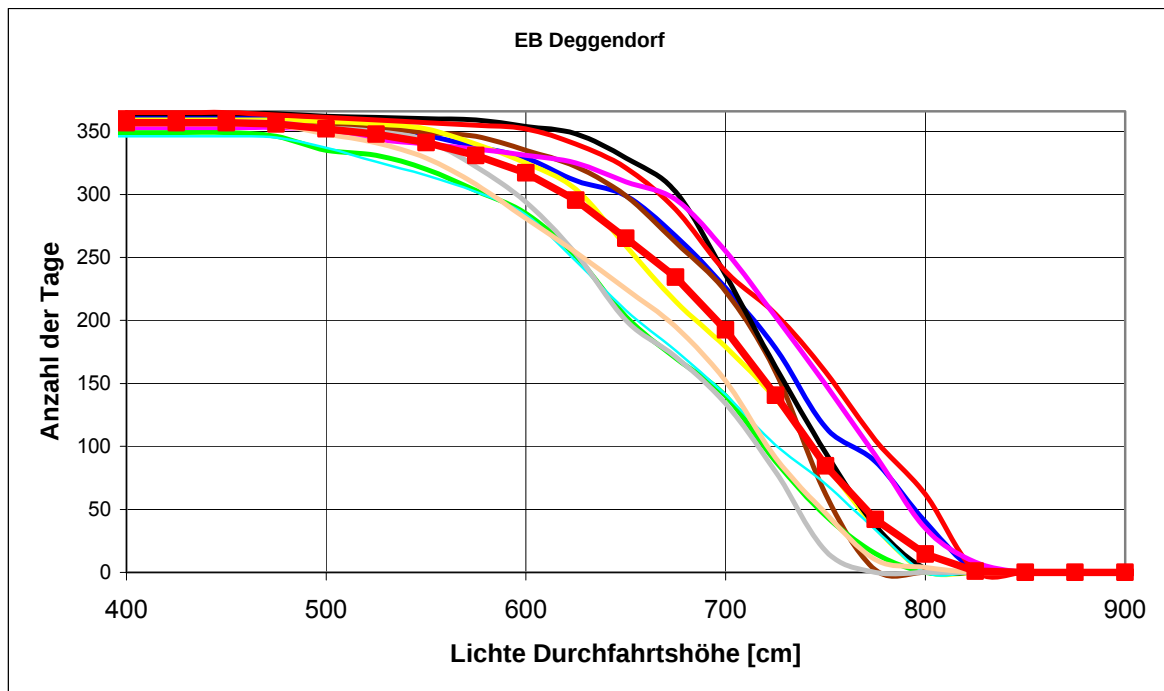


Abb. C 3: Anzahl der Tage, an denen eine bestimmte lichte Durchfahrtshöhe erreicht wird, betrachteter Zeitraum 1992 bis 2001

Der Mittelwert der Jahreskurven ist dick rot und mit ■ markiert eingetragen. Eine lichte Durchfahrtshöhe von 5 m ist praktisch das ganze Jahr gegeben. Dies bedeutet, dass Container während des ganzen Jahres 2-lagig gefahren werden können. Ein 3-lagiger Transport erfordert bei entsprechendem Tiefgang eine Durchfahrtshöhe von 6,5 m. Für den Mittelwert liegt diese Durchfahrtshöhe an 265 Tagen, im ungünstigsten Fall, im Jahr 2000, an 200 Tagen vor. Für Containerschiffe, die die obere Donau passieren müssen, wird deshalb ein maximal 2-lagiger Transport vorgesehen.

Nach Untersuchungen [9] ist auf der oberen Donau ein Tiefgang von 2,0 m in weiten Teilen eines Jahres möglich.

Auf dem Weg von Kelheim nach Budapest muss ein Schiff 16 Schleusen passieren. Die Nutzlänge dieser Schleusen beträgt mindestens 190 m, die Nutzbreite mindesten 12 m. Die ersten vier Schleusen Abbach, Regensburg, Geisling und Straubing sind Einkammerschleusen, die übrigen sind mit zwei Kammern ausgestattet. Tab. C 11 zeigt die Zusammenstellung der Schleusen im Bereich 5.

Schleuse	Donau-km	Kammergröße		Nutz-
		Länge [m]	Breite [m]	
Abbach	2397,17	190,00	12,00	
Regensburg	2379,68	190,00	12,00	
Geisling	2354,29	230,00	24,00	
Straubing	2327,72	230,00	24,00	
Kachlet	2230,60	226,50	24,00	
		226,50	24,00	
Jochenstein	2203,20	227,00	24,00	
		227,00	24,00	
Aschach	2162,94	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Ottensheim	2147,17	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Abwinden	2119,63	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Wallsee	2095,62	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Persenbeug	2060,42	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Melk	2038,16	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Altenwörth	1980,40	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Greifenstein	1949,23	230,00	24,00	
		230,00	24,00	
Freudenau	1924,58	275,00	24,00	
		175,00	24,00	
Gabcikovo	1819,15	280,00	34,00	
		280,00	34,00	

Tab. C 11: Schleusen und ihre Abmessungen im Bereich 5

Bereich 6: die untere Donau

Der Bereich 6 beginnt bei Budapest und erstreckt sich über eine Länge von ca. 1160 km bis nach Ruse. Dabei passiert die Donau 2 Schleusen (Tab. C 12) und unterquert 26 Brücken.

Schleuse	Donau-km	Kammergröße		Nutz-
		Länge [m]	Breite [m]	
Eisernes Tor I	942,95	310,00	34,00	
		310,00	34,00	
Eisernes Tor II	863,70	310,00	34,00	
		310,00	34,00	

Tab. C 12: Schleusen und ihre Abmessungen im Bereich 6 der Donau

Bei allen Brücken im Bereich 6 liegt die lichte Durchfahrtshöhe über 6 m. Auch hier stellt sich die Frage nach der maximalen Anzahl der Containerlagen nicht, da alle Schiffe in dieser Studie von der oberen Donau kommen und somit 2-lagig fahren. Dies ist bei einer lichten Durchfahrtshöhe von 6 m immer möglich. Auch Tiefgangsbegrenzungen bestehen für die betrachteten Schiffe nicht.

C 3 Die befahrenen Gewässer

Die bisherige Einteilung der Gewässer orientiert sich am Verlauf der zu untersuchenden Routen. Bei der Betrachtung der nautischen Daten, wie Tiefgang, Strömungsgeschwindigkeit und Gefälle, bietet sich jedoch eine gewässerbezogene Unterteilung an. Im Folgenden werden die einzelnen Gewässer betrachtet und dabei zum Teil in einzelne Abschnitte untergliedert.

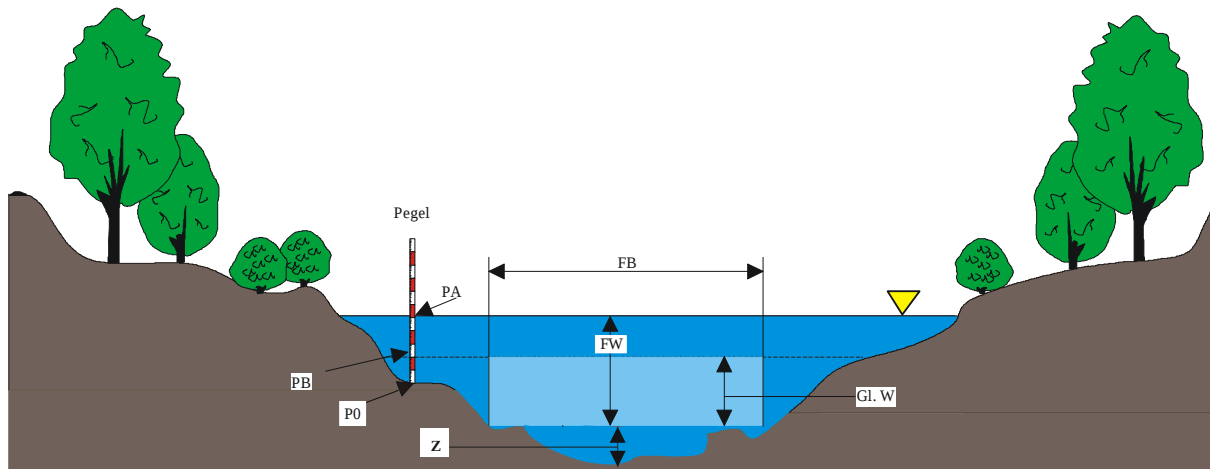
Der Rhein

Der Rhein ist von der Schleuse Iffezheim, Rhein-km 334, stromabwärts bis Rotterdam ein frei fließendes Gewässer. Die Wassertiefe und die Strömungsgeschwindigkeit sind hier stark abhängig von Ort und Zeitpunkt der Betrachtung.

Pegelmessstellen längs des Rheins messen den Wasserstand (PA)¹. Die abgelesenen Werte beziehen sich dabei auf den Pegelnullpunkt (P0), der im Allgemeinen nicht dem Grund des Gewässers entspricht. Als Bezugspunkt (PB) wird der so genannte „Gleichwertige Wasserstand“² – Gl.W – herangezogen. Abb. C 4 veranschaulicht die Zusammenhänge.

¹ Die Abkürzungen in den Klammern beziehen sich auf Abb. C 4.

² der Gl.W ist ein amtlich festgelegter Niedrigwasserstand, der an durchschnittlich 20 eisfreien Tagen im Jahr unterschritten wird (Definition WESKA 1998). Der Gl.W wird aufgrund natürlicher Veränderungen des Strombetts alle 10 Jahre neu festgelegt. Zurzeit gelten die Pegelstände des gleichwertigen Wasserstandes von 2002 (Gl.W 2002).



Hierin bedeuten:

FW	=	Fahrwassertiefe
FB	=	Fahrwasserbreite
Gl.W	=	Gleichwertiger Wasserstand
PA	=	Pegelanzeige
PB	=	Pegelbezugswert zum Gl.W
PO	=	Pegelnulle
Z	=	Abstand zwischen Schiffsboden und Fahrinnenboden

Abb. C 4: Zusammenhang zwischen Gl.W, Pegelanzeige und Fahrwassertiefe

Sind die Größe Gl.W, der Pegelwert (PB) des Gl.W und die Pegelanzeige (PA) bekannt, lässt sich die Fahrwassertiefe errechnen:

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

Der Pegelwert des Gl.W, PB, ist so gewählt, dass im gesamten Geltungsbereich des Pegels die Fahrwassertiefe FW in der Fahrrinne vorhanden ist.

Die so ermittelte Fahrwassertiefe stellt nur den Mindestwert der Wassertiefe sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung des Flusses dar. Basierend auf Abb. C 4 ist die größte Wassertiefe im gezeigten Flussquerschnitt:

$$WT = FW + Z$$

WT	=	Wassertiefe
Z	=	Abstand zwischen Schiffsboden und Fahrinnenboden

Die Wassertiefe ist hier ortsabhängig – Änderung des Abstands Z – und zeitabhängig – Änderung der Pegelanzeige PA im Lauf der Zeit und daraus resultierend der Fahrwassertiefe FW. Die Wassertiefe ist nur im Ausnahmefall gleich der Fahrwassertiefe; im Allgemeinen ist sie größer.

Eine vergleichende Aufzeichnung der Fahrwassertiefe FW und der Wassertiefe WT für den Rhein von der deutsch-niederländischen Grenze, Rhein-km 866, bis zur Schleuse Iffezheim, Rhein-km 334, zeigt Abb. C 5.

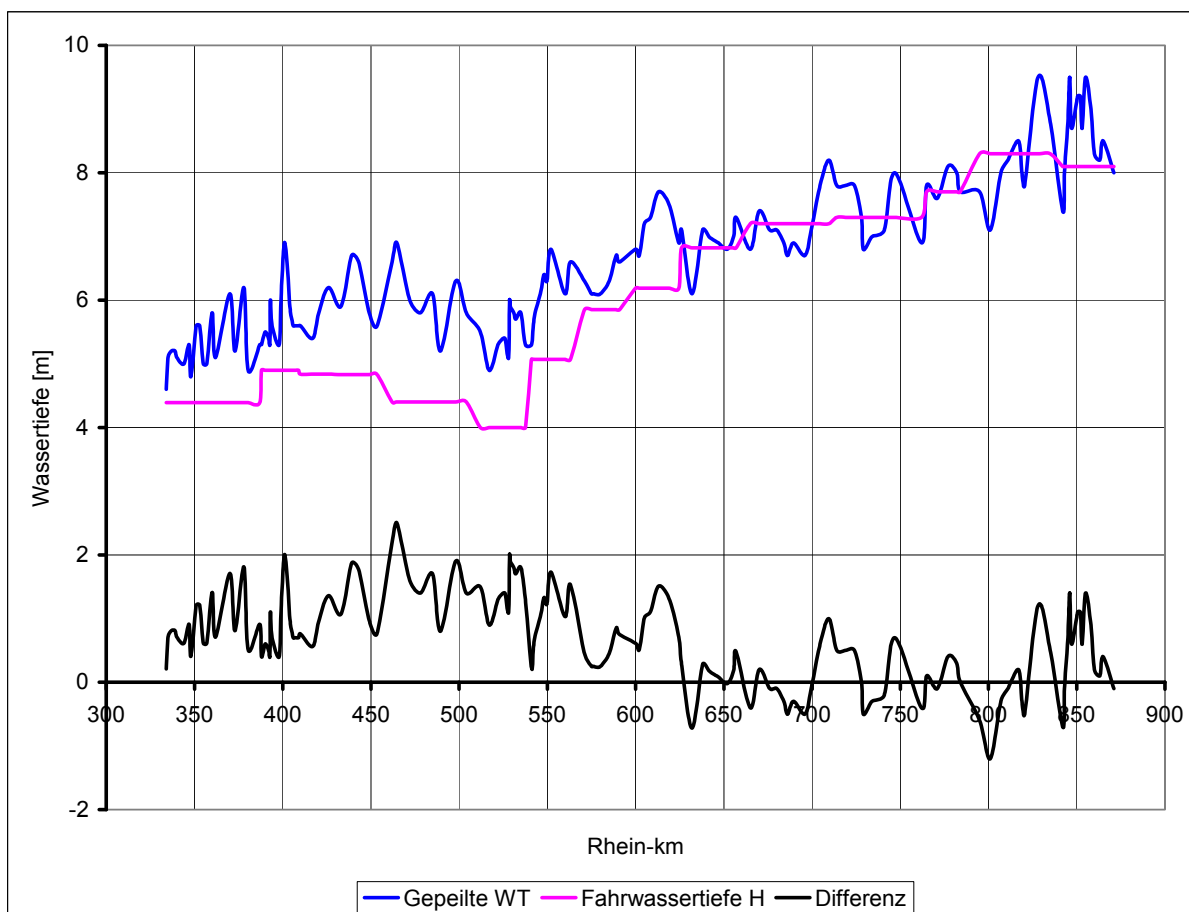


Abb. C 5: Vergleich von Fahrwassertiefe und Wassertiefe auf dem Rhein

In Abb. C 5 sind die gepeilten Wassertiefen **blau**, die basierend auf den Wasserstandsangaben errechneten Fahrwassertiefen **rot** sowie die Differenz zwischen beiden schwarz dargestellt. Die rote Linie, also die errechnete Fahrwassertiefe, verläuft für den Bereich des jeweiligen Pegels horizontal. Von den Niederlanden aus kommend – hier von rechts – bildet die Kurve der Fahrwassertiefe (**rot**) bis Rhein-km 625 ungefähr den Mittelwert der Kurve der gepeilten Wassertiefe (**blau**). Die schwarze Differenzkurve bewegt sich um die Nulllinie. Weiter rheinaufwärts – zum linken Rand des Diagramms hin – sinkt die Kurve der Fahrwassertiefe schneller als die der Wassertiefe. Tendenziell haben beide Kurven jedoch den gleichen Verlauf. Die Differenzkurve wird positiv und schwankt um den Mittelwert 1.

Im Bereich des Niederrheins unterschreitet die Kurve der gepeilten Wassertiefe die der Fahrwassertiefe. Dies geschieht jedoch in einem Bereich, in dem Fahrwassertiefen größer als 6 m vorliegen. Das Schiff, von dem die Peilungen vorgenommen wurden, fuhr in diesem Bereich außerhalb der Fahrrinne und somit in flacherem Wasser.

Um die für eine Routenberechnung verwertbaren Wassertiefen zu finden, müssen die dargestellten Kurven gemittelt werden. Die Charakteristik des Wassertiefenverlaufs sollte dabei jedoch erhalten bleiben. Aus diesem Grund wird der Rhein im Hinblick auf die Wassertiefen in 4 Abschnitte eingeteilt, wie in Abb. C 6 dargestellt.

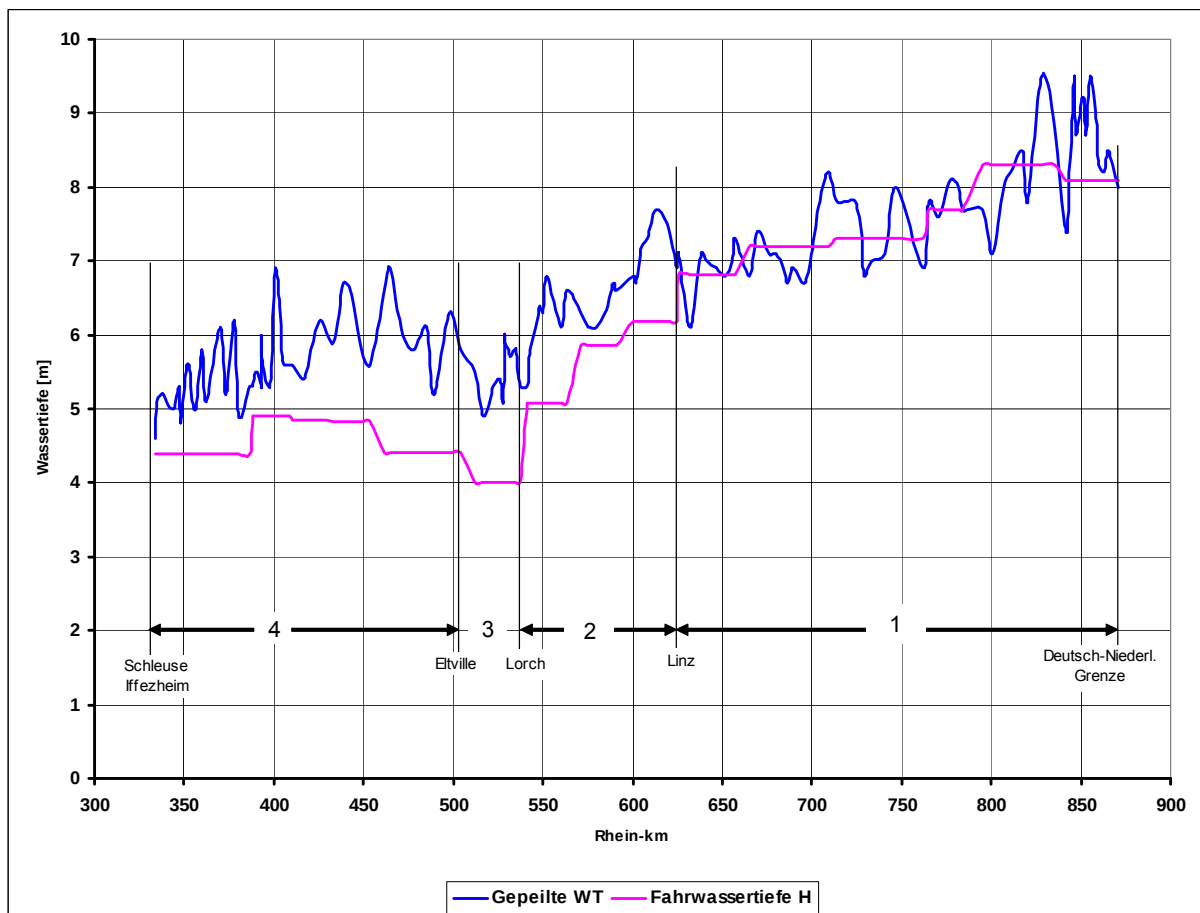


Abb. C 6: Einteilung des Rheins in Wassertiefenabschnitte

Für jeden dieser Abschnitte werden nun die Fahrwassertiefen (rot) und die gepeilten Wassertiefen (blau) gemittelt. Es ergeben sich die in Abb. C 7 abgebildeten Kurven. Die Farbkennung rot und blau wurde beibehalten, das Kürzel *Mwt.* steht für Mittelwert.

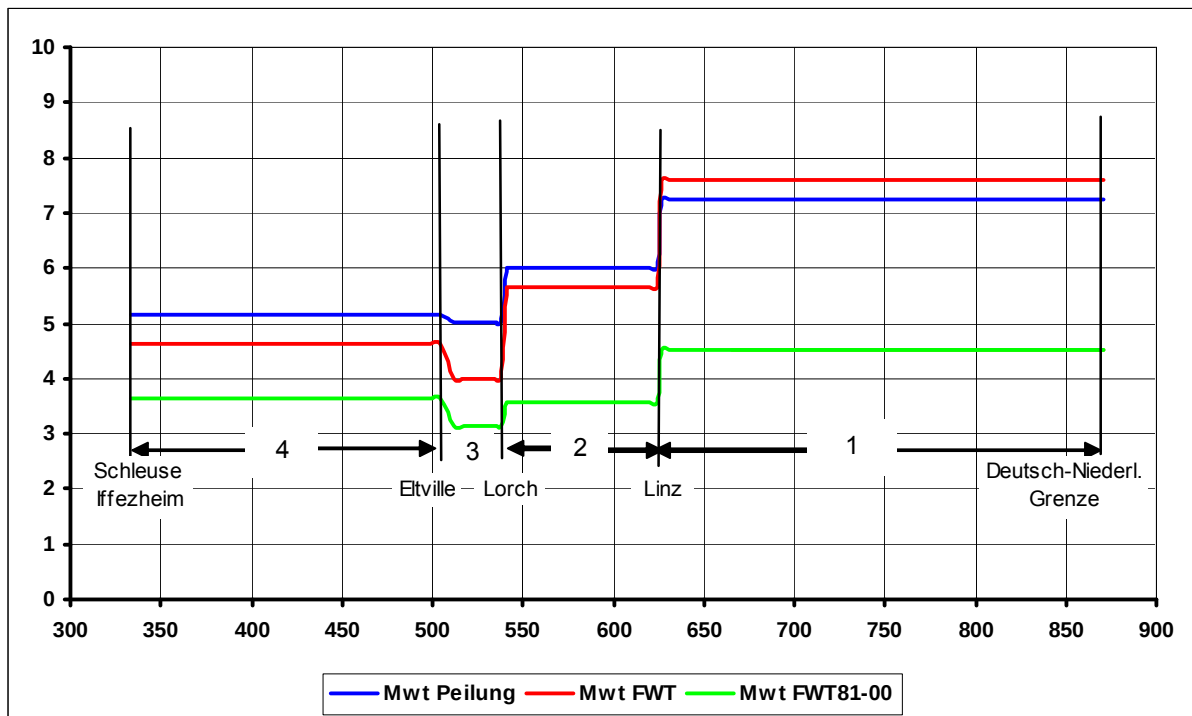


Abb. C 7: Gemittelte Verläufe der gepeilten Wassertiefen und der Fahrwassertiefen

Das für die Peilung genutzte Schiff fuhr im Winter 2003/2004. Die gezeigten Kurven, **blau** und **rot**, stellen nur eine Momentaufnahme dar. Damit lässt sich aber nicht die für die Rechnung maßgebliche Wassertiefe bestimmen. Es wird jedoch angenommen, dass die Differenz zwischen beiden Kurven von ca. 0,5 m unabhängig von dem Betrachtungszeitpunkt auftritt. Dies gilt auch für den Abschnitt 1, wenn das Schiff, wie in der Rechnung vorausgesetzt wird, mittig in der Fahrrinne fährt.

Die **grüne** Kurve in Abb. C 7 gibt den über 20 Jahre (1981 – 2000) gemittelten Verlauf der Fahrwassertiefen für die vier Rheinabschnitte wieder. Wird diese Kurve (**grün**) um 1 m erhöht, so erhält man die für die Rechnung maßgeblichen Wassertiefen.

Abschnitt	von	bis	Wassertiefe	Strömungsgeschwindigkeit [km/h]
			[m]	
1	Grenze D/NL	Linz	5,0	4,4
2	Linz	Lorch	4,1	4,8
3	Lorch	Eltville	3,7	3,4
4	Eltville	S. Iffezheim	4,1	4,6

Tab. C 13: Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten in den Rheinabschnitten

Den hier angegebenen Strömungsgeschwindigkeiten liegt der Bericht [10] zugrunde. Die darin enthaltenen Werte bei Mittelwasser wurden den entsprechenden Rheinabschnitten angepasst.

Im kanalisiertem Teil des Rheins und im Rhein-Seitenkanal beträgt die Strömungsgeschwindigkeit 1 km/h und die Wassertiefe 2,80 m.

RHEIN					
Abschnitt	Ort	Lage	Gefälle	Entfernung	mittl. Gefälle
		[Rhein-km]	[0/00]	[km]	[m/km]
1	Rotterdam	1000	0,080	138	0,139
	Lobith	862	0,073	10	
	Emmerich	852	0,067	15	
	Rees	837	0,121	23	
	Wesel	814	0,151	33	
	Ruhrort	781	0,211	37	
	Düsseldorf	744	0,163	56	
	Köln	688	0,234	33	
	Bonn	655	0,204	41	
2	Andernach	614	0,273	22	0,236
	Koblenz	592	0,218	46	
3	Kaub	546	0,253	17	0,153
	Bingen	529	0,098	31	
4	Mainz	498	0,087	53	0,089
	Worms	445	0,096	20	
	Mannheim	425			

Tab. C 14: Gefälle der Rheinabschnitte bei Mittelwasser

Das hinter dem Ortsnamen angegebene Gefälle deckt ebenso wie die Entfernung die Strecke bis zum nächsten Ort ab. Die im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch [11] enthaltene Einteilung stimmt nicht genau mit der hier gewählten Unterteilung überein. So endet z. B. der Abschnitt 1 in Linz, siehe Abb. C 6, zwischen Bonn und Andernach. Das Gefälle zwischen Bonn und Andernach, 0,204 m/km, wird dem Abschnitt 1 zugeschlagen, da dieses Teilstück mehrheitlich im Abschnitt 1 liegt. Für das Gefälle zwischen Rotterdam und Lobith wurde auf den WESKA 2004 [9] zurückgegriffen.

Der Main

Der Main ist von der Schleuse Kostheim bis zum Abzweig des Main-Donau-Kanals ein kanalisierter Fluss. Die Höhe über NN des Oberwassers einer Schleuse entspricht immer dem Unterwasser der nächsten weiter stromauf gelegenen Schleuse. Die Strömungsgeschwindigkeit des Mains ist somit sehr gering. Sie wird mit 1 km/h berücksichtigt.

Bis zur Schleuse Kostheim wird die Wassertiefe des Mains vom Wasserstand des Rheins, Rheinabschnitt 4, bestimmt. Zwischen der Schleuse Kostheim, Main-km 3,2, bis zur Schleuse Lengfurt, Main-km 174,5, wird eine Wassertiefe von 2,9 m vorgehalten. Oberhalb der Schleuse Lengfurt bis zum Abzweig des Main-Donau-Kanals hat der Main eine Wassertiefe von 2,5 m [11].

Der Main-Donau-Kanal

Auf dem Kanal ist die Strömungsgeschwindigkeit gleich Null. Die Wasserbewegungen, hervorgerufen durch den Betrieb der Schleusen, werden nicht berücksichtigt. Die Wassertiefe des Kanals beträgt – bezogen auf den Normalstau – 4,00 m bis 4,25 m. Abb. C 8 zeigt die Regelausbauprofile des Kanals [13].

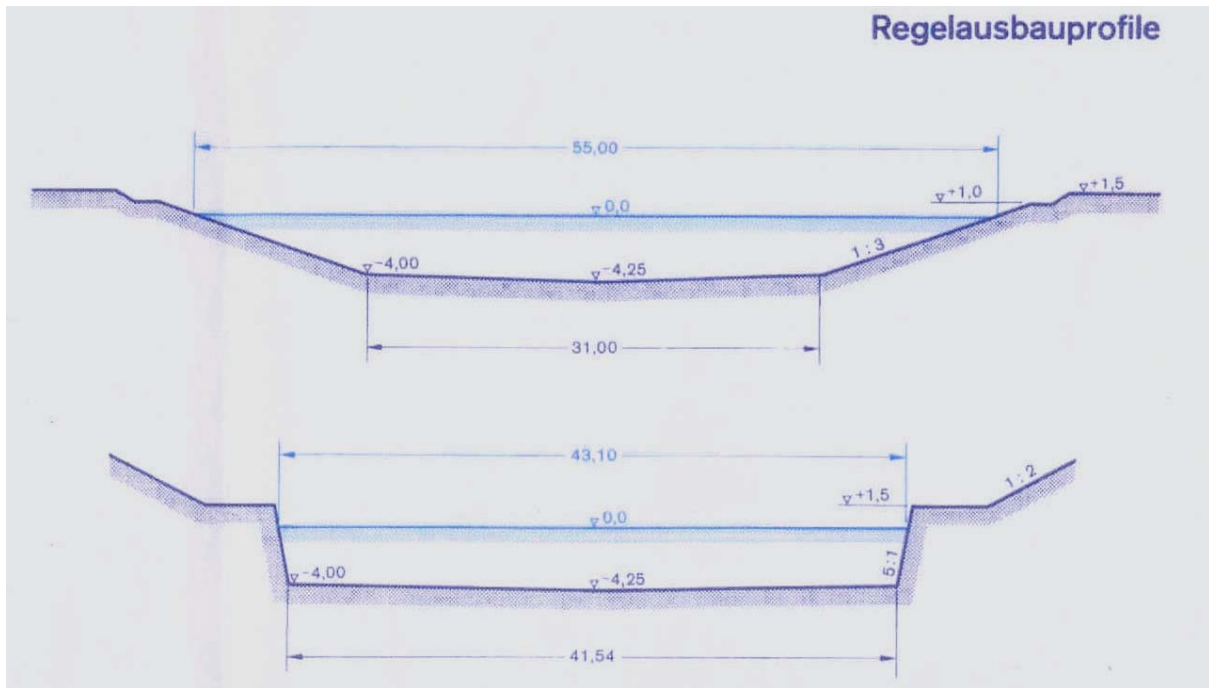


Abb. C 8: Regelausbauprofile des Main-Donau-Kanals [BMVBW, 27 Bonn, 1991, L25]

Die Donau

Die Donau wird, entsprechend dem „Handbuch der Donauschifffahrt“ [14], in vier Abschnitte unterteilt. Die nautischen Daten sind der „Jährlichen Statistik der Donaukommission“ [15] entnommen. Hiernach gelten für die vier Abschnitte die folgenden Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten.

Abschnitt	von - bis	von km	bis km	RNW [m]	Stömungsgeschwindigkeit [km/h]
1	Kelheim-Passau	2414	2201	2,28	3,1
2	Passau-Gönyü	2201	1791	2,75	3,9
3	Gönyü-Budapest	1791	1652	4,22	3,0
4	Budapest-Ruse	1652	496	3,00	2,8

Tab. C 15: Mittlere Fahrwassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten auf der Donau bei RNW

Der RNW, ähnlich dem Gl.W auf dem Rhein, gibt die Wassertiefe an, die in der Jahresreihe 1961 – 1990 an mindestens 343 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird.

Eine direkte Aussage über die Wassertiefe ist aus dem RNW nicht abzuleiten.

Anhand bekannter Verläufe der Fahrwassertiefen lässt sich z. B. für den Pegelbereich Pfelling (obere Donau, Bereich 1) eine Beziehung zwischen RNW und mittlerer Fahrwassertiefe herleiten. Abb. C 9 zeigt die Kurven der Jahr-Wassertiefen für die Jahre 1968 – 1997.

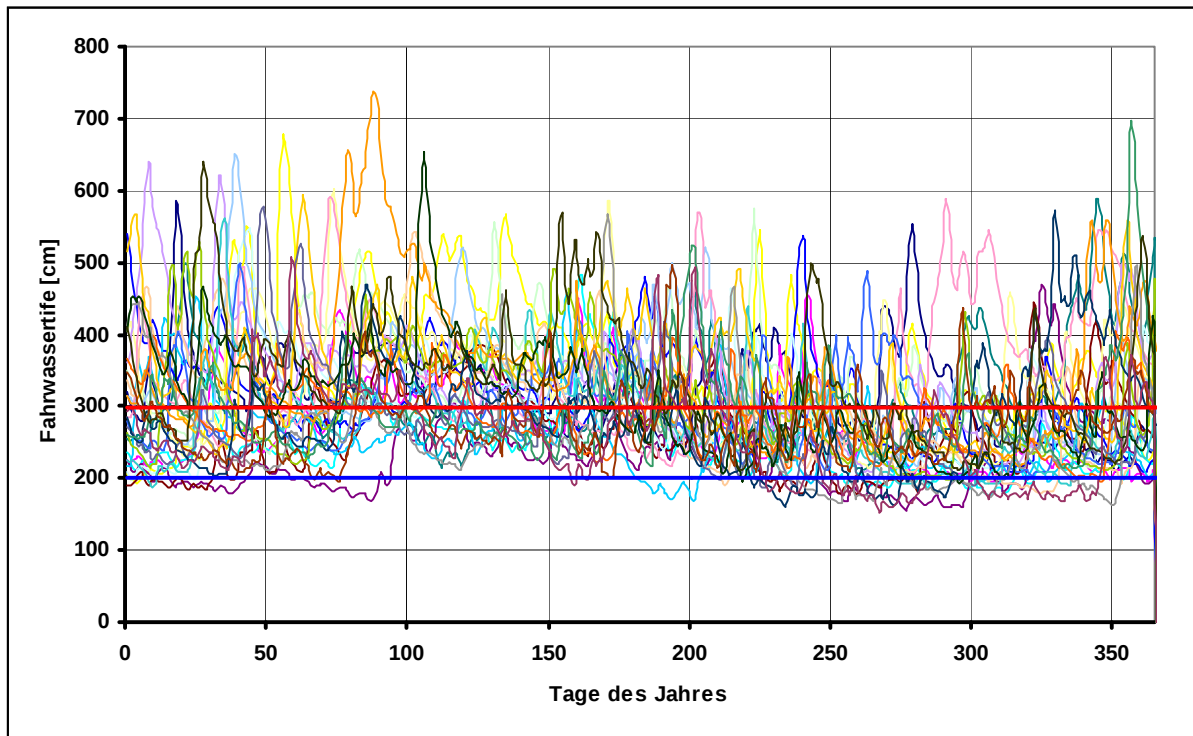


Abb. C 9: Jahr-Wassertiefe und RNW am Pegel Pfelling für die Jahre 1968-1997

Zusätzlich ist der Mittelwert der Fahrwassertiefe über 30 Jahre **rot** eingezeichnet. Der RNW des Pegels Pfelling beträgt 200 cm und ist **blau** markiert ebenfalls in Abb. C 9 enthalten. Die mittlere Fahrwassertiefe ist für den Bereich des Pegels Pfelling somit ca. 1 m (genau 98,9 cm) größer als der RNW.

Der Wert der mittleren Wassertiefe ist immer größer als der der mittleren Fahrwassertiefe. Die Differenz beträgt beim Rhein 0,5 m. Dieser Wert wird auch für die Donau übernommen.

Unter der Annahme, dass auch für die Donau allgemein gilt:

- der Abstand zwischen RNW und gemittelter Fahrwassertiefe beträgt 1 m
- die Differenz zwischen gemittelter Fahrwassertiefe und Wassertiefe beläuft sich auf 0,5 m

kann mit den im Jahrbuch der Donau-Kommission [15] angegebenen RNW-Werten die mittlere Wassertiefe auf den einzelnen Donauabschnitten ermittelt werden.

Das mittlere Gefälle eines Donauabschnittes wurde aus der Wasserspiegeldifferenz über dem Abschnitt und der Abschnittslänge berechnet. Die Fallhöhen der jeweiligen Schleusen wurden berücksichtigt.

Abschnitt	von - bis	von km	bis km	Wassertiefe [m]	Stömungsge- schwindigkeit [km/h]	Gefälle [m/km]
1	Kelheim-Passau	2414	2201	3,78	3,1	0,123
2	Passau-Gönyü	2201	1791	4,25	3,9	0,130
3	Gönyü-Budapest	1791	1652	5,72	3,0	0,075
4	Budapest-Ruse	1652	496	4,5	2,8	0,061

Tab. C 16: Mittlere Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten und mittleres Gefälle auf den betrachteten Donauabschnitten

C 4 Analyse der Zeit- und Kostenstrukturen

C 4.1 Kalkulationsmodell für den Schiffstransport

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Transportes auf der Wasserstraße ist es notwendig, alle Kosten verursachenden Einflussgrößen zu kennen. Betrachtet man den Transport mit einem bestimmten Schiff auf nur einer Wasserstraße, so lassen sich dessen Kosten mithilfe der Tabellenkalkulation erfassen. Befährt das Schiff während einer Reise mehrere Wasserstraßen mit verschiedenen nautischen und infrastrukturellen Randbedingungen, so wird die Erfassung sämtlicher Einflussgrößen mithilfe der Tabellenkalkulation sehr aufwendig. Das trifft auch auf einen Vergleich zweier oder mehrerer Schiffe zu, die eine Relation befahren. Werden zusätzlich noch unterschiedliche Varianten der verschiedenen Schiffe untersucht, so kann das nur mit einem speziell für die Kostenkalkulation entworfenen Programm erfolgen. Ein derartiges Programm muss sämtliche Kosten verursachenden Komponenten berücksichtigen.

Bei der Konzeption des Modells wird davon ausgegangen, dass alle Infrastruktur bedingten Behinderungen des Schiffstransportes, wie z. B. Flachstellen in den Gewässern oder niedrige Brückendurchfahrtshöhen, bereits bei der Auswahl des Schiffes und der entsprechenden Ladung berücksichtigt wurden.

Die Kostenseite

Die Kosten eines Schiffstransportes haben diverse Ursachen. Sie werden hier in drei Bereiche eingeteilt; gleichwohl sind auch andere Einteilungen möglich.

- Kosten, die dem Schiffsbetrieb zuzuordnen sind
- Kapitalwerte und Versicherungskosten

- Hafenkosten

C 4.2 Kosten des Schiffsbetriebs

Diese Kosten lassen sich wiederum in zwei Gruppen unterteilen:

- a) die wegeabhängigen Kosten
- b) die Personalkosten.

Ein großer Teil der wegeabhängigen Kosten wird durch den Energiebedarf des Schiffes verursacht. Dieser Energiebedarf oder Brennstoffverbrauch des Schiffes ist bei dieser Rechnung direkt abhängig von der von der Antriebsanlage abgegebenen Leistung und von der jeweiligen Einsatzdauer. Es gilt folgende Beziehung:

$$\text{BrV} = \eta \times P_e \times d$$

$$\text{BrV} = \text{Brennstoffverbrauch [kg]}$$

$$\eta = \text{Wirkungsgrad der Antriebsmaschine} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \text{ (kg Diesel pro abgegebene Kilowattstunde)}$$

$$P_e = \text{von der Antriebsmaschine abgegebene Leistung [kW]}$$

$$d = \text{Zeitdauer der Leistungsabgabe [h]}$$

Der Wirkungsgrad η ist abhängig vom Typ des Motors, von dessen Alter und in geringem Maße von der jeweiligen Drehzahl. Dieser Wert wird für jede Rechnung konstant gesetzt.

Die Zeitdauer der Leistungsabgabe (Laufzeit des Motors) hängt von der Länge der Fahrtstrecke und der Geschwindigkeit ab. Die Länge der Reise ist eine Eingabegröße für die Rechnung und somit fest. Es bleiben in der obigen Gleichung zwei voneinander abhängige Parameter zu betrachten: die Leistung und die Geschwindigkeit. Beide Parameter sind durch so genannte Propulsionskurven miteinander verknüpft (Abb. C 10).

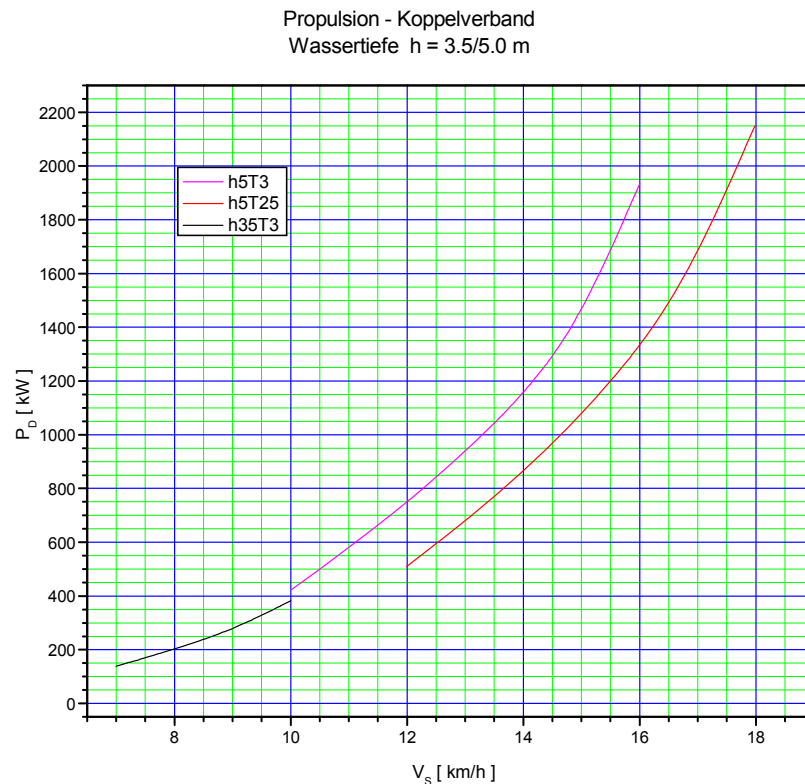


Abb. C 10: Propulsionskurven

Abb. C 10 zeigt den typischen Verlauf der Propulsionskurven:

- bei kleinen Geschwindigkeiten eine moderate Erhöhung der Leistung bei steigender Geschwindigkeit; bei großen Geschwindigkeiten ein stark überproportionaler Anstieg der Leistung bei steigender Geschwindigkeit
- bei gleicher Geschwindigkeit steigt die erforderliche Leistung bei größer werdendem Tiefgang
- bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Tiefgang sinkt die erforderliche Leistung bei größer werdender Wassertiefe

Die in dieser Untersuchung verwendeten Propulsionskurven wurden für unterschiedliche Schiffsvarianten und verschiedene Fahrtgebiete durch Versuche ermittelt.

Diese Kurvenscharen sind im Modell hinterlegt.

Tiefgang und Wassertiefe sind für eine Rechnung bekannt. Bei gegebener Leistung wird die dazugehörige Geschwindigkeit, bei gegebener Geschwindigkeit wird die dazugehörige Leistung berechnet. Da die gesuchten Werte selten auf einer der gemessenen Kurven liegen, wird zwischen den einzelnen Kurven linear interpoliert. Der erforderliche Tiefgang wird aus der Ladung des Schiffes oder des Verbandes berechnet.

Mit den nach Kapitel C 3 gegebenen Wassertiefen, zulässigen Geschwindigkeiten bzw. den eingesetzten Leistungen und dem aktuellen Tiefgang wird für die einzelnen Gewässerabschnitte die benötigte Leistung errechnet. Damit kann nun ebenfalls der Brennstoffverbrauch pro Abschnitt bestimmt werden. Die für den Betrieb der Antriebseinheit notwendigen Schmierstoffe werden wertmäßig mit 3 % des Treibstoffwertes berücksichtigt.

Wartungskosten werden als wegeabhängige Kosten angesehen, obwohl sie in diesem Rechenmodell zeitabhängig berücksichtigt werden. Sie werden mit 25 € pro Jahr und Tonne Tragfähigkeit berechnet.

Zur Bestimmung der Personalkosten muss zuerst auf die mögliche Betriebsform der Schiffe eingegangen werden. Die Rheinschiffahrtsuntersuchungsordnung § 23.05 (RheinSchUO) unterscheidet drei Betriebsformen für Schiffe:

- A1 Fahrt bis zu 14 Stunden
 - A2 Fahrt bis zu 18 Stunden
 - B Fahrt bis zu 24 Stunden
- (jeweils innerhalb von 24 Stunden)

Für diese Betriebsformen ergeben sich folgende Besatzungsstärken nach §§ 23.10, 23.11 der RheinSchUO:

Schiff	Besatzungsmitglieder	Betriebsform		
		A1	A2	B
GMS	Schiffsführer	1	2	2
	Steuerman	1		1
	Bootsmann			
	Matrose			1
	Leichtmatrose	1	2	
Koppelverband	Schiffsführer	1	2	2
	Steuerman	1		1
	Bootsmann		1	1
	Matrose	2		
	Leichtmatrose		2	1

Tab. C 17: Besatzungsstärken für die ausgewählten Schiffe, ausgewählte Werte

Nach einer Umfrage¹ betragen die Gehälter in der Binnenschifffahrt pro Jahr näherungsweise für

- einen Schiffsführer	€ 46.000
- einen Steuermann	€ 38.500
- übrige Besatzungsmitglieder	€ 26.000.

Zu diesen Gehältern wird ein Zuschlag von 32 % zur Abdeckung von Sozialabgaben, Springermannschaft usw. einkalkuliert.

Bei einem von einem Partikulier betriebenen Schiff wird von 350 Einsatztagen der Mannschaft pro Jahr ausgegangen. Diese Werte werden für diese Studie zugrunde gelegt.

Kapitalwerte und Versicherungskosten

Zum Bestimmen der Kapitalwerte sind der Neupreis des Schiffes, seine Lebensdauer und der Zinssatz gegeben.

Die Abschreibung pro Jahr wird linear als Neupreis/Lebensdauer gerechnet. Die jährliche Zinsbelastung bleibt über die gesamte Lebensdauer des Schiffes konstant und beträgt

$$\text{Neupreis} / 2 \times \text{Zinssatz}.$$

Als Haftpflichtversicherung pro Jahr wird ein bestimmter Prozentsatz (hier 0,7 %) vom Neupreis angesetzt.

Die Hafenkosten

Im Hafen werden die Umschlagkosten ebenso wie die Umschlagzeiten berücksichtigt. Zusätzlich zu den Umschlagzeiten wird noch eine Dispositionszeit in die Verweilzeit im Hafen aufgenommen. Die Dispositionszeit ist die Zeit, die das Schiff benötigt, um die einzelnen Verladestätten anzulaufen. Auch die Zeit zur Formation eines Verbandes fällt darunter. Da diese Kosten und Zeiten je nach Hafen und Schiffstyp sehr unterschiedlich sein können, werden sie während der Rechnung über Masken abgefragt.

¹ BAG Marktbeobachtung, Jahresbericht 1999; hochgerechnet auf 2005

C 5 Auswertungen

C 5.1 Auswertung

C 5.1.1 Zusammenfassung der Randbedingungen

In den vorherigen Kapiteln wurden die Beschränkungen der Binnenschifffahrt in Bezug auf Höhe der Ladung und möglichen Tiefgang bedingt durch die lichte Durchfahrtshöhe der Brücken und die Fahrwassertiefe aufgezeigt. Diese Beschränkungen sind hier noch einmal tabellarisch zusammengefasst.

Rotterdam - Budapest	Massenguttransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Tiefgangsbeschränkung auf der oberen Donau
	GMS	2,00	
	Projekt-Koppelverband A	2,00	
	Projekt-Koppelverband B	2,00	
	Projekt-Koppelverband C	2,00	
	Europa-Koppelverband	2,00	
	Containertransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Beschränkung auf 2 Containerlagen wegen der Brückenhöhe auf dem Main und der oberen Donau, daraus folgen verschiedene Tiefgänge
	GMS	1,63	
	Projekt-Koppelverband A	1,57	
	Projekt-Koppelverband B	1,63	
	Projekt-Koppelverband C	1,62	
	Europa-Koppelverband	1,53	

Tab. C 18: Einschränkungen der Binnenschifffahrt auf der Relation Rotterdam – Budapest

Rotterdam - Basel	Massenguttransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Beschränkung des Tiefgangs auf 2,50 m wegen Fahrrinntiefe von 3,00 m oberhalb des Rhein-Seitenkanals
	GMS	2,50	
	Projekt-Koppelverband A	2,50	
	Projekt-Koppelverband B	2,50	
	Projekt-Koppelverband C	2,50	
	Europa-Koppelverband	2,50	
	Containertransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Beschränkung des Tiefgangs auf 2,50 m wegen der Passage des Bereichs Bingen - Oestrich
	GMS	2,05	
	Projekt-Koppelverband A	1,91	
	Projekt-Koppelverband B	2,01	
	Projekt-Koppelverband C	2	
	Europa-Koppelverband	1,94	

Tab. C 19: Einschränkungen der Binnenschifffahrt auf der Relation Rotterdam – Basel

Nürnberg - Ruse	Massenguttransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Tiefgangsbeschränkung auf der oberen Donau
	GMS	2,00	
	Projekt-Koppelverband A	2,00	
	Projekt-Koppelverband B	2,00	
	Projekt-Koppelverband C	2,00	
	Europa-Koppelverband	2,00	
	Containertransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	Beschränkung auf 2 Containerlagen wegen der Brückenhöhe auf der oberen Donau, daraus folgen verschiedene Tiefgänge
	GMS	1,63	
	Projekt-Koppelverband A	1,57	
	Projekt-Koppelverband B	1,63	
	Projekt-Koppelverband C	1,62	
	Europa-Koppelverband	1,53	

Tab. C 20: Einschränkungen der Binnenschifffahrt auf der Relation Nürnberg - Ruse

Rotterdam - Duisburg	Massenguttransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	keine Tiefgangsbeschränkung, es wird der maximal mögliche Tiefgang gefahren
	GMS	3,00	
	Projekt-Koppelverband A	2,50	
	Projekt-Koppelverband B	2,50	
	Projekt-Koppelverband C	2,50	
	Europa-Koppelverband	3,00	
	Containertransport		
	Schiff	Tiefgang [m]	keine Tiefgangsbeschränkung, die verschiedenen Tiefgänge ergeben sich aus den Containergewichten bei 4- lagiger Stauung
	GMS	2,48	
	Projekt-Koppelverband A	2,25	
	Projekt-Koppelverband B	2,39	
	Projekt-Koppelverband C	2,38	
	Europa-Koppelverband	2,34	

Tab. C 21: Einschränkungen der Binnenschifffahrt auf der Relation Rotterdam – Duisburg

Eine weitere Einschränkung wird im nächsten Kapitel erläutert.

C 5.1.2 Ladungsarten

Vier Beladungsfälle werden untersucht:

1. GMS und Koppelverbände transportieren Massengut
2. GMS und Koppelverbände transportieren Container
3. Das GMS ist mit Containern beladen, der Leichter transportiert RoRo-Ladung, hier PKW
4. Sowohl GMS als auch Koppelverband transportieren unter Deck Schüttgut, auf Deck werden Container gefahren.

Leichter und schiebendes GMS haben möglichst den gleichen Tiefgang. Im Fall 3 ist das Raumgewicht der Ladungen des GMS (Container) und des Leichters (PKW) sehr unterschiedlich. Hier wird der mögliche Tiefgang durch den maximal beladenen und ballastierten Leichter bestimmt.

C 5.2 Ergebnisse Projekt-Leichter mit kastenförmigem Heck

In diesem Kapitel sind die Projekt-Leichter mit kastenförmigem Heck ausgeführt.

Die Relation Rotterdam – Mainz – Kelheim – Budapest

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.200
Projekt-Koppelverband A	2.100
Projekt-Koppelverband B	2.100
Projekt-Koppelverband C	2.120
Europa-Koppelverband	2.350

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	68
Projekt-Koppelverband A	124
Projekt-Koppelverband B	140
Projekt-Koppelverband C	140
Europa-Koppelverband	130

Projektleichter mit Kastenheck Rotterdam - Budapest								
GMS und Leichter gleiche Ladung								
Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Rotterdam - Budapest	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	2,00	1,63	11,25	9,68	0,0094	0,1424	23,64	386,29
Projekt-Koppelverband A	2,00	1,57	17,01	14,22	0,0081	0,1147	20,82	319,06
Projekt-Koppelverband B	2,00	1,63	17,01	14,54	0,0081	0,1038	20,82	286,93
Projekt-Koppelverband C	2,00	1,62	17,22	14,76	0,0081	0,1054	20,78	289,14
Europa-Koppelverband	2,00	1,53	16,54	12,50	0,0070	0,0962	17,58	277,45

Beladungsfall 3

Bei diesem Beladungsfall tragen das GMS und der Leichter verschiedene Art der Ladung. Zur Auswertung werden dem GMS 60 % der Kosten, dem Leichter 40 % der Kosten zugewiesen [16].

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	68
Projekt-Koppelverband B	68
Projekt-Koppelverband C	68

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung

Route			Ladung		BrV/km	Betriebskosten		
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
Rotterdam - Budapest	m	t	Anzahl	Anzahl	kg _D /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppelverband A	1,63	182	68	92	13,91	38920	343,41	169,22
Projekt-Koppelverband B	1,63	182	68	92	13,91	38920	343,41	169,22
Projekt-Koppelverband C	1,63	167	68	102	14,14	39243	346,26	153,89

Beladungsfall 4

Das GMS wird hier für den Transport von Mischladung „ertüchtigt“. Das Gewicht des notwendigen verstärkten Decks wird mit 100 t berücksichtigt und von der Tragfähigkeit abgezogen.

Bei der Berechnung der Ersparnis pro Container wird davon ausgegangen, dass das entsprechende Schiff zuerst nur zu 100 % Massengut transportiert. Entsprechend der Zuladung von Containern wird im Folgenden gewichtsmäßig das Massengut reduziert. Die Differenz zwischen den Transportkosten der Container und den Transportkosten des dem gesamten Containergewicht entsprechenden Massengutes wird als Ersparnis in [€/TEU] ausgewiesen. Die Referenzkosten für den Containertransport sind der Tabelle „GMS und Leichter gleiche Ladung“ entnommen.

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	824	34
Projekt-Koppelverband A	1.480	64
Projekt-Koppelverband B	1.415	72
Projekt-Koppelverband C	1.435	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)

Route			Ladung		BrV/Km	Betriebskosten	
	Tiefgang	Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	Container
Rotterdam - Budapest		t	Anzahl	kg _D /km	kg _D /km	€/t	Ersparnis €/TEU
GMS	1,99	824	34	10,65	15,36	25,47	179,35
Projekt-Koppelverband A	2,00	1480	64	17,01	24,09	21,97	140,53
Projekt-Koppelverband B	2,00	1415	72	17,01	24,11	21,99	108,24
Projekt-Koppelverband C	2,00	1435	72	17,22	24,30	21,94	110,88

Die Relation Rotterdam – Basel

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.700
Projekt-Koppelverband A	3.040
Projekt-Koppelverband B	3.040
Projekt-Koppelverband C	3.060
Europa-Koppelverband	3.300

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	102
Projekt-Koppelverband A	184
Projekt-Koppelverband B	208
Projekt-Koppelverband C	208
Europa-Koppelverband	195

Projektleichter mit Kastenheck Rotterdam - Basel

GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Rotterdam - Basel	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	2,50	2,05	21,57	19,64	0,0127	0,1926	11,76	173,47
Projekt-Koppelverband A	2,50	1,91	35,87	29,93	0,0118	0,1627	11,58	160,41
Projekt-Koppelverband B	2,50	2,01	35,87	30,84	0,0118	0,1483	11,58	146,14
Projekt-Koppelverband C	2,50	2	36,65	31,06	0,0120	0,1493	11,68	146,99
Europa-Koppelverband	2,50	1,94	34,09	28,10	0,0105	0,1441	10,48	142,17

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	102
Projekt-Koppelverband B	102
Projekt-Koppelverband C	102

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung

Route	Ladung		BrV/km		Betriebskosten			
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
Rotterdam - Basel	m	t	Anzahl	Anzahl	kg _D /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppelverband A	2,06	416	102	92	29,42	28477	167,51	123,81
Projekt-Koppelverband B	2,06	416	102	92	29,42	28477	167,51	123,81
Projekt-Koppelverband C	2,04	411	102	102	29,74	28731	169,01	112,67

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	1.424	34
Projekt-Koppelverband A	2.420	64
Projekt-Koppelverband B	2.355	72
Projekt-Koppelverband C	2.375	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)

Route	Tiefgang	Ladung		BrV/Km	Betriebskosten		
		Massengut	Container		Verband	Massengut	Container
Rotterdam - Basel		t	Anzahl	kg _D /km	kg _D /km	€/t	Ersparnis €/TEU
GMS	2,50	1324	34	21,09	23,70	12,62	70,94
Projekt-Koppelverband A	2,50	2420	64	35,87	41,58	12,05	62,49
Projekt-Koppelverband B	2,50	2355	72	35,87	41,63	12,06	48,13
Projekt-Koppelverband C	2,50	2375	72	36,65	42,27	12,17	48,13

Die Relation Nürnberg – Ruse

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.200
Projekt-Koppelverband A	2.100
Projekt-Koppelverband B	2.100
Projekt-Koppelverband C	2.120
Europa-Koppelverband	2.350

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	68
Projekt-Koppelverband A	124
Projekt-Koppelverband B	140
Projekt-Koppelverband C	140
Europa-Koppelverband	130

Projektleichter mit Kastenheck Nürnberg-Ruse

GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Nürnberg - Ruse	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	1,99	1,63	7,72	7,44	0,0064	0,1094	12,97	269,01
Projekt-Koppelverband A	2,00	1,57	11,40	9,88	0,0054	0,0797	13,43	207,68
Projekt-Koppelverband B	2,00	1,63	11,40	10,05	0,0054	0,0718	13,43	186,98
Projekt-Koppelverband C	2,00	1,62	11,48	10,17	0,0054	0,0727	13,37	188,31
Europa-Koppelverband	2,00	1,53	11,33	8,47	0,0048	0,0652	11,53	177,26

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	68
Projekt-Koppelverband B	68
Projekt-Koppelverband C	68

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung								
Route			Ladung		BrV/km	Betriebskosten		
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
Nürnberg - Ruse	m	t	Anzahl	Anzahl	kg _D /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppelverband A	1,63	182	68	92	9,69	25291	223,16	109,96
Projekt-Koppelverband B	1,63	182	68	92	9,69	25291	223,16	109,96
Projekt-Koppelverband C	1,63	167	68	102	9,84	25497	224,97	99,99

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	824	34
Projekt-Koppelverband A	1.480	64
Projekt-Koppelverband B	1.415	72
Projekt-Koppelverband C	1.435	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)							
Route			Ladung		BrV/Km	Betriebskosten	
	Tiefgang	Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	Container
Nürnberg - Ruse		t	Anzahl	kg _D /km	kg _D /km	€/t	Ersparnis €/TEU
GMS	1,99	824	34	7,72	9,42	17,25	128,86
Projekt-Koppelverband A	2,00	1480	64	11,40	14,11	14,21	92,18
Projekt-Koppelverband B	2,00	1415	72	11,40	14,13	14,23	71,33
Projekt-Koppelverband C	2,00	1435	72	11,48	14,20	14,17	73,19

Die Relation Rotterdam – Duisburg

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	2.200
Projekt-Koppelverband A	3.040
Projekt-Koppelverband B	3.040
Projekt-Koppelverband C	3.060
Europa-Koppelverband	4.000

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	136
Projekt-Koppelverband A	244
Projekt-Koppelverband B	276
Projekt-Koppelverband C	276
Europa-Koppelverband	260

Bericht 1850

Juni 2007

1850_ Anhang C_Juni_2007.doc

Projektleichter mit Kastenheck Rotterdam - Duisburg

GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Rotterdam - Duisburg	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	3,00	2,48	21,85	18,72	0,0099	0,1376	2,95	40,16
Projekt-Koppelverband A	2,50	2,25	38,53	31,80	0,0127	0,1303	3,71	41,83
Projekt-Koppelverband B	2,50	2,39	38,53	33,04	0,0127	0,1197	3,71	39,15
Projekt-Koppelverband C	2,50	2,38	39,28	33,27	0,0128	0,1206	3,74	39,34
Europa-Koppelverband	3,00	2,34	41,97	31,71	0,0105	0,1220	3,03	38,03

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	136
Projekt-Koppelverband B	136
Projekt-Koppelverband C	136

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung

Route	Ladung		BrV/km		Betriebskosten			
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
Rotterdam - Duisburg	m	t	Anzahl	Anzahl	kg _D /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppelverband A	2,06	659	136	92	31,52	9202	40,60	40,01
Projekt-Koppelverband B	2,06	659	136	92	31,52	9202	40,60	40,01
Projekt-Koppelverband C	2,12	644	136	102	31,78	9276	40,92	36,38

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	1.824	34
Projekt-Koppelverband A	2.420	64
Projekt-Koppelverband B	2.355	72
Projekt-Koppelverband C	2.375	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)

Route	Tiefgang	Ladung		BrV/Km	Betriebskosten		
		Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	Container
Rotterdam - Duisburg		t	Anzahl	kg _D /km	kg _D /km	€/t	Ersparnis €/TEU
GMS	3,00	1824	34	21,85	29,74	3,12	14,85
Projekt-Koppelverband A	2,45	2420	64	38,53	52,28	3,91	10,04
Projekt-Koppelverband B	2,45	2355	72	38,53	52,45	3,92	7,26
Projekt-Koppelverband C	2,44	2375	72	39,28	53,26	3,96	7,17

C 5.3 Ergebnisse bei veränderter Heckform des Projekt-Leichters

In den folgenden Kapiteln ist das Heck der Projekt-Leichter mit Gillung ausgeführt. Der Einfluss der Gillung auf den Brennstoffverbrauch wird prozentual bewertet.

Diese Auswertung bildet die Grundlage zur wirtschaftlichen Bewertung. Bei den errechneten Daten zur Mischladung wird neben der Einsparung pro Container auch die Einsparung pro Schiff sowie die prozentuale Einsparung, bezogen auf die Gesamtkosten der Reise bei Massenguttransport, ausgewiesen.

Die Beladungsfälle bei den folgenden Rechnungen sind die gleichen wie Kap. 5.2. Sie werden jedoch noch einmal aufgeführt.

Die Relation Rotterdam – Mainz – Kelheim – Budapest
Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.200
Projekt-Koppelverband A	2.100
Projekt-Koppelverband B	2.100
Projekt-Koppelverband C	2.120
Europa-Koppelverband	2.350

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	68
Projekt-Koppelverband A	124
Projekt-Koppelverband B	140
Projekt-Koppelverband C	140
Europa-Koppelverband	130

Projektleichter Rotterdam - Budapest (Heck mit Gillung)
GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Rotterdam - Budapest	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	2,00	1,63	11,25	9,68	0,0094	0,1424	23,64	386,29
Projekt-Koppelverband A	2,00	1,57	15,31	12,80	0,0073	0,1032	19,91	306,13
Projekt-Koppelverband B	2,00	1,63	15,31	13,08	0,0073	0,0935	19,91	275,22
Projekt-Koppelverband C	2,00	1,62	15,50	13,28	0,0073	0,0949	19,86	277,26
Europa-Koppelverband	2,00	1,53	16,54	12,50	0,0070	0,0962	17,58	277,45

Bericht 1850

Juni 2007

1850_ Anhang C_Juni_2007.doc

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppilverband A	68
Projekt-Koppilverband B	68
Projekt-Koppilverband C	68

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppilverband A	92
Projekt-Koppilverband B	92
Projekt-Koppilverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung								
Route	Tiefgang		Ladung		BrV/km	Betriebskosten		
	Rotterdam	Budapest	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
	m	t	Anzahl	Anzahl	kg ₀ /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppilverband A	1,63	182	68	92	12,51	37353	329,58	162,40
Projekt-Koppilverband B	1,63	182	68	92	12,51	37353	329,58	162,40
Projekt-Koppilverband C	1,63	167	68	102	12,72	37649	332,20	147,64

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	824	34
Projekt-Koppilverband A	1.480	64
Projekt-Koppilverband B	1.415	72
Projekt-Koppilverband C	1.435	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)									
Route	Tiefgang		Ladung		BrV/Km	Betriebskosten		Einsparung	
	Rotterdam	Budapest	Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	pro Schiff	pro Container
	m	t	Anzahl	kg ₀ /km	€/km	€/t	€	bez. auf Gesamt-kosten	€/TEU
GMS	1,99	823,75	34,00	10,65	15,36	25,47	6.098	22%	179,35
Projekt-Koppilverband A	2,00	1480,00	64,00	15,31	23,04	21,02	8.665	21%	135,38
Projekt-Koppilverband B	2,00	1415,00	72,00	15,31	23,06	21,03	7.511	18%	104,32
Projekt-Koppilverband C	2,00	1435,00	72,00	15,50	23,23	20,98	7.690	18%	106,81

Die Relation Rotterdam – Basel

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.700
Projekt-Koppelverband A	3.040
Projekt-Koppelverband B	3.040
Projekt-Koppelverband C	3.060
Europa-Koppelverband	3.300

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	102
Projekt-Koppelverband A	184
Projekt-Koppelverband B	208
Projekt-Koppelverband C	208
Europa-Koppelverband	195

Projektleichter Rotterdam - Basel (Heck mit Gillung)

GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
	m	m	kg ₀ /km	kg ₀ /km	kg ₀ /tkm	kg ₀ /TEUkm	€/t	€/TEU
Rotterdam - Basel								
GMS	2,50	2,05	21,57	19,64	0,0127	0,1926	11,76	173,47
Projekt-Koppelverband A	2,50	1,91	32,28	26,94	0,0106	0,1464	10,96	152,70
Projekt-Koppelverband B	2,50	2,01	32,28	27,76	0,0106	0,1334	10,96	139,12
Projekt-Koppelverband C	2,50	2	32,99	27,96	0,0108	0,1344	11,05	139,91
Europa-Koppelverband	2,50	1,94	34,09	28,10	0,0103	0,1441	10,32	142,17

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	102
Projekt-Koppelverband B	102
Projekt-Koppelverband C	102

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung

Route	Ladung		BrV/km		Betriebskosten			
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
	m	t	Anzahl	Anzahl	kg ₀ /km	€	€/TEU	€/PKW
Rotterdam - Basel								
Projekt-Koppelverband A	2,06	416	102	92	26,47	26928	158,40	117,08
Projekt-Koppelverband B	2,06	416	102	92	26,47	26928	158,40	117,08
Projekt-Koppelverband C	2,04	411	102	102	26,77	27165	159,79	106,53

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	1.424	34
Projekt-Koppelverband A	2.420	64
Projekt-Koppelverband B	2.355	72
Projekt-Koppelverband C	2.375	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)									
Route	Tiefgang		Ladung		BrV/Km	Betriebskosten		Einsparung	
	m		Massengut	Container	kg _D /km	Verband	Massengut	pro Schiff	pro Container
Rotterdam - Basel			t	Anzahl	kg _D /km	€/km	€/t	€	bez. auf Gesamt-kosten €/TEU
GMS	2,50		1423,75	34,00	21,09	23,70	11,88	2.617	13%
Projekt-Koppelverband A	2,50		2420,00	64,00	32,28	39,37	11,41	3.840	11%
Projekt-Koppelverband B	2,50		2355,00	72,00	32,28	39,41	11,42	3.335	10%
Projekt-Koppelverband C	2,50		2375,00	72,00	32,99	40,01	11,52	3.337	10%

Die Relation Nürnberg – Ruse

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	1.200
Projekt-Koppelverband A	2.100
Projekt-Koppelverband B	2.100
Projekt-Koppelverband C	2.120
Europa-Koppelverband	2.350

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	68
Projekt-Koppelverband A	124
Projekt-Koppelverband B	140
Projekt-Koppelverband C	140
Europa-Koppelverband	130

Projektleichter Nürnberg-Ruse (Heck mit Gillung)								
GMS und Leichter gleiche Ladung								
Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Nürnberg - Ruse	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	1,99	1,63	7,72	7,44	0,0064	0,1094	12,97	269,01
Projekt-Koppelverband A	2,00	1,57	10,26	8,89	0,0049	0,0717	12,75	197,76
Projekt-Koppelverband B	2,00	1,63	10,26	9,05	0,0049	0,0646	12,75	178,04
Projekt-Koppelverband C	2,00	1,62	10,33	9,16	0,0049	0,0654	12,70	179,27
Europa-Koppelverband	2,00	1,53	11,33	8,47	0,0048	0,0652	11,53	177,26

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	68
Projekt-Koppelverband B	68
Projekt-Koppelverband C	68

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung								
Route			Ladung		BrV/km	Betriebskosten		
Nürnberg - Ruse	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container	RoRo
	m	t	Anzahl	Anzahl	kg ₀ /km	€	€/TEU	€/PKW
Projekt-Koppelverband A	1,63	182	68	92	8,72	24084	212,51	104,71
Projekt-Koppelverband B	1,63	182	68	92	8,72	24084	212,51	104,71
Projekt-Koppelverband C	1,63	167	68	102	8,85	24272	214,17	95,19

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	824	34
Projekt-Koppelverband A	1.480	64
Projekt-Koppelverband B	1.415	72
Projekt-Koppelverband C	1.435	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)									
Route	Ladung			BrV/Km	Betriebskosten		Einsparung		
Nürnberg - Ruse	Tiefgang	Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	pro Schiff	bez. auf Ge-	pro Container
	m	t	Anzahl	kg ₀ /km	€/km	€/t	€	samt-kosten	€/TEU
GMS	1,99	823,75	34,00	7,72	9,42	17,25	4.381	23%	128,86
Projekt-Koppelverband A	2,00	1480,00	64,00	10,26	13,40	13,50	5.634	21%	88,03
Projekt-Koppelverband B	2,00	1415,00	72,00	10,26	13,42	13,52	4.907	18%	68,16
Projekt-Koppelverband C	2,00	1435,00	72,00	10,33	13,49	13,46	5.032	19%	69,89

Die Relation Rotterdam – Duisburg

Beladungsfälle 1 und 2

Massengut	
Schiff	Menge [t]
GMS	2.200
Projekt-Koppelverband A	3.040
Projekt-Koppelverband B	3.040
Projekt-Koppelverband C	3.060
Europa-Koppelverband	4.000

Containerladung	
Schiff	Menge [TEU]
GMS	136
Projekt-Koppelverband A	244
Projekt-Koppelverband B	276
Projekt-Koppelverband C	276
Europa-Koppelverband	260

Projektleichter Rotterdam - Duisburg (Heck mit Gillung)
GMS und Leichter gleiche Ladung

Route	Tiefgang		BrV pro Km		spez. BrV		Betriebskosten	
	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container	Massengut	Container
Rotterdam - Duisburg	m	m	kg _D /km	kg _D /km	kg _D /tkm	kg _D /TEUkm	€/t	€/TEU
GMS	3,00	2,48	21,85	18,72	0,0099	0,1376	2,95	40,16
Projekt-Koppelverband A	2,50	2,25	34,68	28,62	0,0114	0,1173	3,54	40,24
Projekt-Koppelverband B	2,50	2,39	34,68	29,74	0,0114	0,1077	3,54	37,68
Projekt-Koppelverband C	2,50	2,38	35,35	29,95	0,0116	0,1085	3,57	37,86
Europa-Koppelverband	3,00	2,34	41,97	31,71	0,0105	0,1220	3,03	38,03

Beladungsfall 3

Container (GMS)	
Schiff	Menge [TEU]
Projekt-Koppelverband A	136
Projekt-Koppelverband B	136
Projekt-Koppelverband C	136

RoRo (Leichter)	
Schiff	Menge [PKW]
Projekt-Koppelverband A	92
Projekt-Koppelverband B	92
Projekt-Koppelverband C	102

GMS mit Containern beladen, Leichter mit RoRo Ladung

Route	Ladung		BrV/km		Betriebskosten		
	Tiefgang	Ballast Lei.	Container	PKW	Verband	Verband	Container
Rotterdam - Duisburg	m	t	Anzahl	Anzahl	kg _D /km	€	€/TEU
Projekt-Koppelverband A	2,06	659	136	92	28,37	8773	38,71
Projekt-Koppelverband B	2,06	659	136	92	28,37	8773	38,71
Projekt-Koppelverband C	2,12	644	136	102	28,60	8844	39,02

Beladungsfall 4

Mischladung Massengut/Container		
Schiff	Menge [t]	Menge [TEU]
GMS	1.824	34
Projekt-Koppelverband A	2.420	64
Projekt-Koppelverband B	2.355	72
Projekt-Koppelverband C	2.375	72

Mischladung (unter Deck: Schüttgut, auf Deck: Container)

Route	Ladung		BrV/Km	Betriebskosten		Einsparung		
	Tiefgang	Massengut	Container	Verband	Verband	Massengut	pro Schiff	pro Container
Rotterdam - Duisburg	m	t	Anzahl	kg _D /km	€/km	€/t	€	€/TEU
GMS	3,00	1823,75	34,00	21,85	29,74	3,12	505	14,85
Projekt-Koppelverband A	2,45	2420,00	64,00	34,68	49,90	3,73	633	9,90
Projekt-Koppelverband B	2,45	2355,00	72,00	34,68	50,07	3,75	521	7,24
Projekt-Koppelverband C	2,44	2375,00	72,00	35,35	50,83	3,78	516	7,17

C 6 Bewertung

Bei den Koppelverbänden werden hier nur Leichter mit Gillung betrachtet.

C 6.1 Homogene Ladungen

Homogene Ladung, in den Tabellen „GMS und Leichter gleiche Ladung“, wird auf allen Relationen von allen untersuchten Schiffstypen gefahren. Diese Ladungen, jeweils unter Beladungsfälle 1 und 2 vermerkt, zeigen für die drei langen Relationen Rotterdam – Budapest, Nürnberg – Ruse und Rotterdam – Basel bei Massenguttransport die gleiche Tendenz. Die spezifischen Transportkosten [€/t] sind bei Massengut für das GMS am höchsten. Es folgen die 3 Versionen des Projekt-Koppelverbandes. Sie liegen kostenmäßig eng beieinander, wobei die Versionen A und B bei Massengut die gleichen Kosten ausweisen, da sie bezüglich der Fahreigenschaften und der Tragfähigkeit gleich gebaut sind. Die Version C liegt bei der reinen Bergstrecke geringfügig ungünstiger, sonst etwas günstiger. Ihre Tragfähigkeit ist größer, ihre Fahreigenschaften nur geringfügig schlechter. Den günstigsten Massenguttransport bietet der Europa-Koppelverband.

Zur Beurteilung des Containertransports auf den einzelnen Relationen müssen die durch die Infrastruktur bedingten Beschränkungen der Containerkapazität der einzelnen Schiffe betrachtet werden.

Containerkapazität	Route			
	Rotterdam Budapest	Rotterdam Basel	Nürnberg Ruse	Rotterdam Duisburg
	[TEU]	[TEU]	[TEU]	[TEU]
Projekt-Koppelverband A	124	184	124	244
Projekt-Koppelverband B	140	208	140	276
Projekt-Koppelverband C	140	208	140	276
Europa-Koppelverband	130	195	130	260

Tab. C 22: Infrastrukturbedingte Containerkapazität

Die Containerkapazität hat wesentlichen Einfluss auf die Transportkosten. Die Relationen mit gleichen Randbedingungen bezüglich der Ladung sind Rotterdam – Budapest und Nürnberg – Ruse. Der Projekt-Koppelverband A transportiert die wenigsten Container und weist somit die höchsten Betriebskosten [€/TEU] aus. Die Transportkosten der Projekt-Koppelverbände B und C liegen sehr eng beieinander. Sie tragen die gleiche Containeranzahl. Der Europa-Koppelverband ist auf der Relation Nürnberg – Ruse bei dem Containertransport praktisch gleich den Projekt-Koppelverbänden B und C, obwohl er nur 3 Reihen Container fahren kann. Der Europa-Koppelverband ist ca. 1 % günstiger. Ähnlich sieht es aus auf der Relation Rotterdam – Budapest. Hier ist der Europa-Koppelverband geringfügig teurer, ca. 1 %.

Der Europa-Koppelverband liegt also ungefähr gleich mit den Projekt-Koppelverbänden B und C. Das relativ gute Abschneiden des Europa-Koppelverbandes erklärt Abb. C 11.

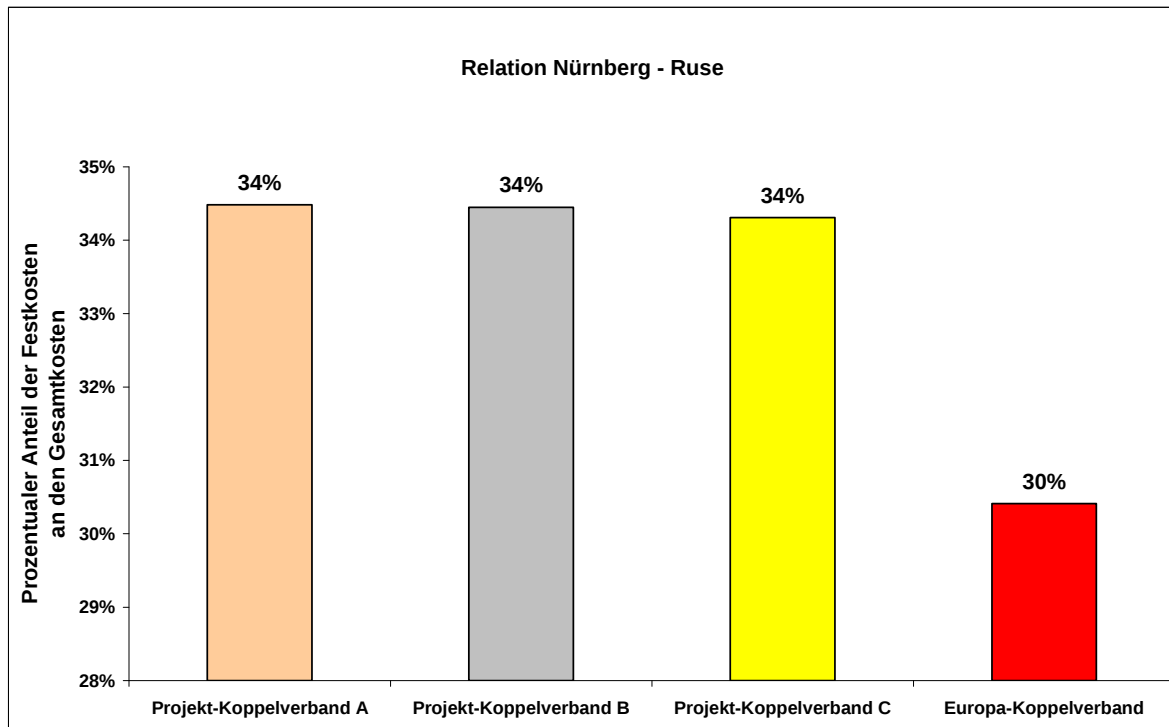


Abb. C 11: Vergleich der Festkostenanteile bei den Koppelverbänden auf der Relation Nürnberg – Ruse

Wie Abb. C 11 zeigt, liegt der Koppelverband mit dem Europa-Leichter bezüglich der Festkosten am günstigsten. Er kann somit auch eine geringere Anzahl Container relativ günstig transportieren.

Auf der Relation Rotterdam – Basel kann eine Lage Container mehr gefahren werden. Entsprechend sind die Projekt-Koppelverbände B und C kostenmäßig günstiger als der Europa-Koppelverband. Die Differenz beträgt ca. 2 %.

Auf der Relation Rotterdam – Duisburg ist bei Massengut der Transport mit dem GMS am günstigsten. Der Europa-Koppelverband ist ca. 3 % teurer. Die Projekt-Koppelverbände liegen jeweils auf einem ungefähr gleichen Niveau, sie sind ca. 17% teurer als das GMS. Beim Containertransport liegen die 4 Koppelverbände in der gleichen Größenordnung. Am günstigsten sind die beiden Projekt-Koppelverbände B und C mit ca. 37,75 €/TEU, gefolgt von dem Europa-Koppelverband mit ca. 38 €/TEU. Mit ca. 40 €/TEU sind das GMS und der Projekt-Koppelverband A auf dieser Relation am teuersten.

Der Anteil der „Festen Kosten“ an den Transportkosten hängt wesentlich von der Abschreibungsdauer der Herstellungskosten der Schiffe ab. Tab. C 23 zeigt den Anteil für verschiedene Schiffe.

Festkostenanteil			
Abschreibungszeitraum	15 Jahre	20 Jahre	40 Jahre
Projekt-Koppelverband	42%	38%	30%
Europa-Koppelverband	37%	33%	26%
GMS	35%	32%	25%

Tab. C 23: Anteil der Festkosten an den Transportkosten auf der Relation Rotterdam - Budapest

Wie Tab. C 23 zeigt, differieren die Anteile jeweils für die betrachteten Jahre, das Verhältnis der prozentualen Abschreibungsraten zueinander innerhalb eines Abschreibungszeitraums ändert sich jedoch wenig.

C 6.2 Mischladung

C 6.2.1 Das GMS mit Containerladung, der Leichter mit RoRo-Ladung

Hier werden nur die Projekt-Koppelverbände betrachtet, da sowohl das GMS als auch der Europa-Leichter nicht für RoRo-Ladung geeignet sind. Die Projekt-Koppelverbände A und B zeigen für alle Relationen ein ähnliches Bild. Die beiden Verbände sind kostenmäßig sowohl bei Container- als auch bei RoRo-Ladung immer gleich, da das GMS nicht verändert wird und die Leichterversionen A und B in Bezug auf PKW die gleiche Ladefähigkeit haben.

Betrachtet man den Projekt-Koppelverband C, so differieren die Kosten für den Containertransport kaum von denen der Projekt-Koppelverbände A und B. Bei den Kosten für den RoRo-Transport ergibt sich aufgrund der höheren PKW-Kapazität des Projekt-Koppelverbandes C ein anderes Bild.

Für alle Relationen ist der RoRo-Transport mit dem Projekt-Koppelverband C ungefähr 10 % günstiger als für die Kombinationen mit dem Projekt-Leichtern A und B.

C 6.2.2 Mischladung Massengut/Container

Zunächst wird hier die Vorgehensweise bei dieser Beladungsvariante erläutert. Zugrunde gelegt wird bei dieser Betrachtung immer das für Mischladung ausgerüstete Schiff, das auf der betreffenden Relation Massengut transportiert. Wegen der notwendigen Verstärkung der Lukenabdeckung ist das Leergewicht des GMS um 100 t erhöht worden.

Als Teil der Mischladung werden nun 1 Lage Container zugeladen, das Massengut wird um das entsprechende Gewicht verringert. Die Kosten für den Containertransport werden den Tabellen „GMS und Leichter gleiche Ladung“ entnommen. Die Differenz zwischen den Kosten des Massenguttransports und denen des Mischladungstransports – Container und

Massengut - ergeben die Einsparung. Sie wird als Betrag pro Reise, als prozentualer Wert bezogen auf den reinen Massenguttransport und als auf den Container bezogener Wert ausgewiesen.

Auf allen Relationen ergeben sich im Mischladungstransport Einsparungen. Für die verschiedenen Relationen liegen die prozentualen Werte der Einsparungen eng beieinander. Für die beiden langen Relationen Nürnberg – Ruse und Rotterdam – Budapest ist sie auf Projekt-Koppelverbände bezogen mit durchschnittlich 19 % am größten. Je kürzer die Relation ist, um geringer ist die durchschnittliche prozentuale Einsparung. So folgt die Relation Rotterdam – Basel mit durchschnittlich 7 % und Rotterdam – Duisburg auf die Koppelverbände bezogen mit durchschnittlich 5 %.

Bei den Projekt-Koppelverbänden ist auf den 3 langen Relationen die prozentuale Einsparung beim Projekt-Koppelverband A am größten. Das GMS liegt noch geringfügig höher.

Auf der Relation Rotterdam – Duisburg ist die prozentuale Einsparmöglichkeit beim GMS mit 8 % am höchsten. Es folgen die Projekt-Koppelverbände A mit 6 %, B und C mit je 5 %. Auf der kurzen Relation liegen die Einsparmöglichkeiten eng beieinander.