

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 1: Titelblatt

ETH
HOCHSCHULE FÜR TECHNISCHE
BAUWISSENSCHAFTEN
DAMPFSCHIFF



Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 2: Einleitung

Ausgangslage [1-3]

Die heute noch betriebenen Raddampfschiffe stellen eine grosse touristische Attraktion dar. Sie wecken Emotionen an eine vergangene Zeit und verkörpern den damaligen technischen Fortschritt. Auch von der Schifffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein URh wurden in den vergangenen zwei Jahrhunderten verschiedene Raddampfer betrieben. Das letzte und grösste Schiff, die „Schaffhausen“, wurde 1912/13 von den Gebrüdern Sulzer entwickelt und gebaut. Es handelt sich dabei um einen 44.5m langen Flachdecker, der von einer 260PS Maschine angetrieben wurde. Das Schiff wurde erfolgreich als Kursschiff eingesetzt, bevor es 1967 verschrottet wurde. In einer Studie soll die Machbarkeit des Nachbaus dieses Schiffes unter den heutigen Randbedingungen (moderner Schiffbau, gesetzliche Sicherheitsanforderungen, New Steam Technologie) überprüft werden.

Literatur:

- [1] Erich Liechti, Jürg Meister, Josef Gwerder; Die Geschichte der Schifffahrt auf Bodensee Untersee und Rhein, Verlag Meier, 1981
- [2] Hans-Ulrich Wepfer, Heinrich C. Hauser; Das war die „Schaffhausen“; Verlag Meier&Cie, Schaffhausen
- [3] Fr. Dubois; Die Maschinenanlagen der abgewrackten Schaufelraddampfer der Schaffhauser Rheinflottille; Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Nr 21/ 1069
- [4] Winfried Nerdinger; Geschichte der Rekonstruktion – Konstruktion der Geschichte; Prestel Verlag, 2010
- [5] Jürg Meister; Bericht an die Schweizerische Schifffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein über die Effekte und die kaufmännischen Voraussetzungen bezüglich eines neuen Dampfschiffes; Basel, November 2008

Philosophie

Ein Nachbau oder die Rekonstruktion des Dampfschiffes Schaffhausen ist zweifellos ein anspruchsvolles Unterfangen. Uta Hasler (ETH Zürich) und Winfried Nerdinger (TU München) schreiben zum Thema Rekonstruktion [4]:

„Der Vorgang, dass etwas, das aus welchem Grund auch immer verändert oder zerstört wurde, in einen Zustand versetzt wird, der einem früheren Status möglichst ähnlich oder gleich sein soll, dürfte in frühe Zeiten der menschlichen Kultur zurückreichen. Rekonstruierende Wiedergewinnung ist historisch so selbstverständlich wie bauen, reparieren und abreissen.“

In diesem Sinne gilt es bei einem Nachbau der Schaffhausen, die Ansprüchen welche aus dem historischem Kontext, den technischen Ansprüchen, der Gesetzgebung und den ökonomischen Bedürfnissen im Betrieb hervorgehen in angemessener Weise zu berücksichtigen.

Vorgehensweise [5]

Eine Replika der alten „Schaffhausen“ steht – ganz abgesehen von der Komfortfrage – vor allem wegen der heutigen sehr strengen gesetzlichen Vorschriften völlig ausser Frage. Nur schon die Tragfähigkeit eines solchen möglichst originalgetreuen Nachbaus wäre aus kommerzieller Sicht a priori deutlich zu niedrig. Es muss ein völlig neuer Schiffstyp konzipiert werden, welcher die Krux der seitlichen Schaufelräder, welche die nutzbare Breite der Schiffsschale präjudizieren, möglichst minimiert. Zudem muss der neue Dampfer bei aller Nostalgieanmutung den heutigen Komfort- und Gastronomieerwartungen genügen. Es ist somit Kreativität und höchstes schiffbau-technisches Können gefragt.

Das resultierende Schiff muss aus kommerziellen Überlegungen über eine Tragfähigkeit verfügen, welche in der Grössenordnung von 400 Personen liegt, wobei rund 120 Plätze gastronomie-tauglich sein müssen.

Weitere Quellen:

Folgende Angaben und Unterlagen liegen dieser Studie zugrunde, welche nicht wiederholend zitiert werden:

- Literaturhinweise und Kontakte über Dr. Jürg Zimmermann, Schaffhausen
- Verschiedene Originalkopien der technischen Unterlagen der Gebrüder Sulzer aus dem Privatarchiv von Martin Huber-Tissi, wie z.B. der Generalplan, Eisenbaupläne, Spantenrisse und Maschinenraum.
- Plan „Blechabwicklung“ aus dem Privatarchiv von Hans Bendel
- Unterlagen aus dem Stadtarchiv Schaffhausen, insbesondere Skizzen zum Innenraum (von Otto Vogler) und Pläne zum Schaufelrad, Kurbelwelle und Kamin.

Dank der bereitwilligen Unterstützung der oben genannten Personen, konnte das Projekt auf eine breit abgestützte Basis von Unterlagen gestellt werden.

Resultat - Ausblick

Das neue Dampfschiff „Schaffhausen“ wird auf den folgenden Tafeln vorgestellt. Die vorliegende Studie zeigt, dass die unterschiedlichen vorgenannten Anforderungen vereinbar sind und zu einem schlüssigen Ganzen kombiniert werden können. Die grössten technischen Unsicherheiten finden sich im Bereich des Antriebsstranges. Es werden darum an der Hochschule für Technik Rapperswil im Rahmen von Studienarbeiten innerhalb der nächsten sechs Monate folgende Themengebiete vertieft:

1. Einsatz der Direktverdampfer als Ersatz für den Dampfkessel im dynamischen Betrieb und unter Berücksichtigung des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen
2. Ausarbeitung der Verbund-Dampfmaschine unter Berücksichtigung heutiger Technologien (Bauweise, Werkstoffe, Steuerung)
3. Optimierung des Schaufelrades durch Schleppversuche an einem Schiffsmodell

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 3: Anforderungskatalog

Anforderungen Schiffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein URh

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es entscheidend, dass das Schiff als Kursschiff eingesetzt werden kann. Ein alleiniger Einsatz als Spezialschiff für touristische Fahrten wäre aufgrund der hohen Investitionskosten nicht gerechtfertigt. Diese Anforderung kann durch folgende Punkte zusammengefasst werden [1] :

- Transportkapazität 400 Personen, davon 120 Gastronomieplätze
- Betrieb mit 3 Personen, maximal 1 Person zur Bedienung der Maschine
- 25 km/h Maximalgeschwindigkeit
- Ökonomischer Betrieb des Schiffes möglich (ähnliche Kosten wie bei einem modernen Schiff mit Dieselantrieb)
- Maximale Abmessungen (Länge = 50m x Breite = 9.3m x Höhe = 3.6m) durch Kursroute beschränkt (Brücken)
- Maximaler Tiefgang = 1.15m (voll beladen)
- Technisch optimales und ästhetisch ansprechendes Schiff

Anforderungen Bundesamt für Verkehr BAV

Folgende Anforderungen wurden für das Fahrtgebiet Untersee und Rhein für ein Schiff der Klasse B insbesondere beachtet [2-4]:

- Intakt- und Leckstabilität inkl. Freibordvorschriften
- Manövrierfähigkeit und Übersicht für den Schiffsführer
- Flucht- und Verkehrswege

Im Übrigen werden alle Einzelheiten, soweit nicht durch Vorschriften vorgegeben bzw. näher beschrieben, nach den anerkannten und gültigen Regeln der Technik ausgeführt.

Anforderungen Touristik

Das neue Schiff soll eine Reminiszenz an das Original-Dampfschiff der Gebrüder Sulzer aus dem Jahre 1912 / 13 sein. Demzufolge soll sich das Erscheinungsbild des neuen Dampfschiffs „Schaffhausen“ so weit wie möglich an das Original anlehnen, unter Berücksichtigung der oben erwähnten ökonomischen, ökologischen, gesetzlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen. Die Fotografien rechts zeigen das Originalschiff im Einsatz. Die Bilder stammen aus dem Stadtarchiv Schaffhausen.

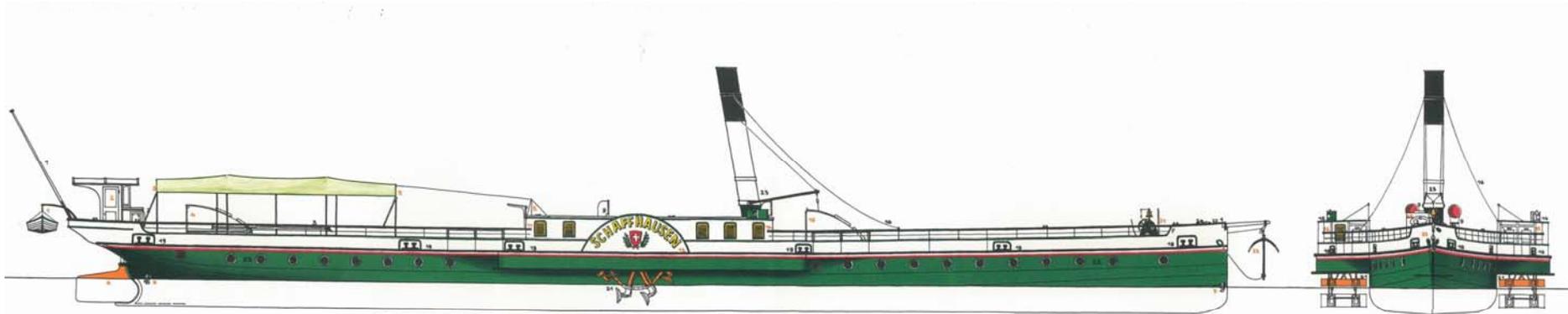
Quellenverzeichnis:

- [1] Jürg Meister; Bericht an die Schweizerische Schiffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein über die Effekte und die kaufmännischen Voraussetzungen bezüglich eines neuen Dampfschiffes; Basel, November 2008
- [2] Binnenschiffahrtsverordnung BSV, 747.201.1, 81. Juli 2010
- [3] Schiffbauverordnung SBV, 747.201.7, 1. Januar 2010
- [4] Ausführungsbestimmungen des UVEK zur Schiffbauverordnung AB-SBV, 747.201.71. 1. Juni 2007

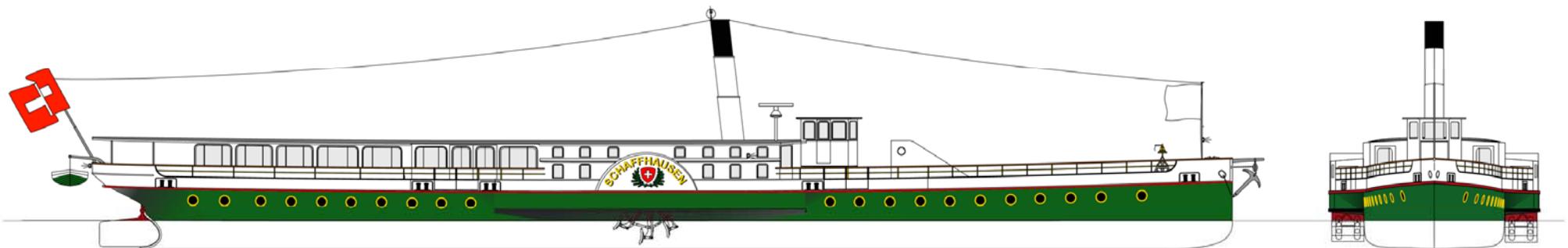


Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 4: Colorierte Ansichten



Original Dampfschiff Schaffhausen
© Peter Meili Verlag , illustriert von Hans Bendel (mit freundlicher Genehmigung von Frau Meili-Senn)



Neues Dampfschiff Schaffhausen

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 6: Impressionen (Teil A)



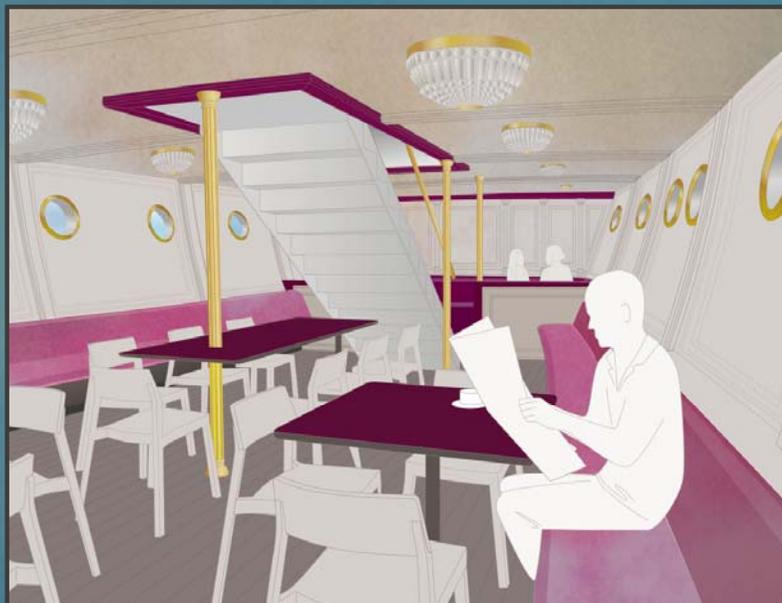
Blick vom Einstiegsbereich in Richtung Heck, in den oberen, bedienten Salon. Hinten befindet sich der Ausgang aufs Achterdeck



Blick vom Einstiegsbereich in Richtung Bug. Im Vordergrund die Treppe in den unteren, bedienten Salon, in der Mitte des Raumes das Maschinenloch mit Blick auf den Kurbeltrieb der Dampfmaschine.

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 7: Impressionen (Teil B)



Blick in den bugseitigen, unbedienten Salon. Die Treppe führt aufs Vorderdeck. Der vordere Teil des Raumes ist als Lounge ausgestaltet.

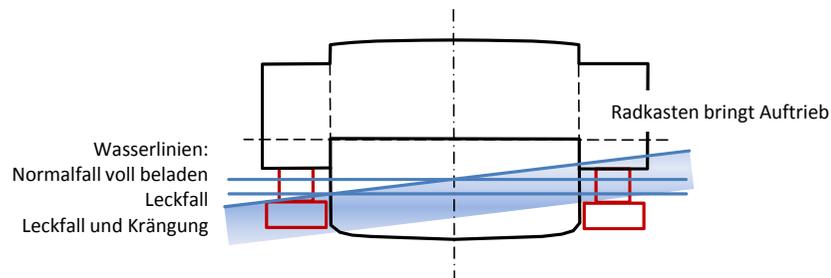
Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 8: Schiffsentwurf (Teil A)

Einleitung

Dampfschiffe weisen aufgrund der seitlichen Schaufelräder und einer begrenzten Gesamtbreite sehr schlanke Schiffskörper auf und verfügen daher über eine geringe Querstabilität (grosse Krängungswinkel). Verschärfend kommt hinzu, dass bei der Berechnung des Personenmoments (einseitige Verteilung der Fahrgäste als Stabilitätskriterium) die Decksbreite mit den seitlichen Radhäusern berücksichtigt werden muss. Um die Anforderungen an die Intakt- und Leckstabilität zu erfüllen, werden folgende Massnahmen getroffen:

- Verbreiterung des Schiffskörpers um 1.1m gegenüber dem Original auf 6.3m. Leichte Taillierung des Schiffskörpers im Bereich der Schaufelräder (siehe Tafel 10).
- Verlängerung des Schiffskörpers um 3.5m auf 48m Lotlänge.
- Vergrößerung der Bordwandhöhe um 0.25m gegenüber dem Original auf 2.55m
- Dimensionierung der Radhäuser wie ein Schiffskörper (wasserdicht) und damit zum Schiffskörper gehörend, d.h. sie wirken beim Eintauchen ins Wasser als Auftriebskörper und erhöhen das aufrichtende Moment.



Intaktstabilität [1-4]

Bei den folgenden Berechnungen wird der nach Schiffbauverordnung SBV Artikel 24 relevante Ladefall betrachtet:

- | | |
|--|---------|
| - Schiff, leer, betriebsbereit (Ausrüstung, Rettungsmittel, Betriebsmittel, ...) | 165.0 t |
| - Halbe Tankfüllungen | 7.6 t |
| - Restaurationsvorräte und Inventar aufgefüllt | 5.0 t |
| - 400 Fahrgäste an Bord (Anforderung URh) | 30.0 t |

Daraus ergibt sich folgendes Gesamtgewicht:

- | | |
|--|---------|
| - Schiff, betriebsbereit, ½ Tankfüllungen, 400 Fahrgäste | 207.6 t |
|--|---------|

Für das Original DS Schaffhausen wurde eine Verdrängung von 137.5t angegeben, es ist jedoch kein Beladungszustand erwähnt. Das jetzt höhere Gewicht ergibt sich aus den grösseren Abmessungen, den zusätzlichen Aufbauten und den an den heutigen Standard angepassten Ausrüstungen wie Küche, Stromversorgung, Lüftung etc.

Das Schiff verfügt bei einer Verdrängung von 207.6t über einen Tiefgang von 1.15m.

Nach SBV, Artikel 24 ist die Einhaltung von maximalen Krängungswinkeln nachzuweisen, welche sich durch folgende Lastannahmen ergeben:

- | | |
|--|---------|
| a. Krängendes Moment aus seitlicher Personenverschiebung | 41.0 mt |
| b. Krängendes Moment aus seitlichem Winddruck | 10.1 mt |
| c. Krängendes Moment durch Drehkreisfahrt | 12.1 mt |

Bei alleinigem Ansatz des krängenden Moments aus Personenverschiebung darf ein Krängungswinkel von 10° nicht überschritten werden, bei Ansatz der beiden grössten Momente aus a, b und c darf ein Krängungswinkel von 12° nicht überschritten werden.

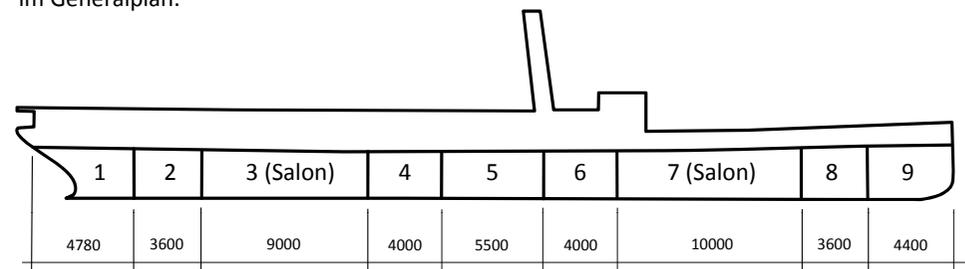
Die daraus resultierenden Krängungswinkel:

Krängendes Moment	M_k	Krängung	Grenzwinkel
a. Personenmoment	41.0 mt	8.81°	10.0°
a. + c. Personen- und Drehkreismoment	41.0 + 12.1 mt	10.46°	12.0°

Demnach können die Anforderungen gemäss SBV erfüllt werden, die hier nicht aufgeführten Grenzen für Freibord und Sicherheitsabstand werden eingehalten.

Leckstabilität [1-4]

Nach SBV Artikel 26 ergibt sich mit 7.5% der Wasserlinienlänge (48m), eine Lecklänge von 3.6m. Die Lage der Schottwände wurde so gewählt, dass maximal 2 Abteilungen geflutet werden können und die Längen der Salons unter Deck optimiert werden. Details finden sich im Generalplan.



Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 9: Schiffsentwurf (Teil B)

Die Abteilungen 2 und 8 enthalten zudem innere Auftriebskörper, welche ausserhalb der Eindringtiefe liegen (1/5 der Breite der Konstruktionswasserlinie gemäss BAV Artikel 26)
Die Anforderung gemäss BAV Artikel 24 lautet, dass das aufrichtende Moment vor dem Erreichen der ersten nicht wasserdichten Öffnung im Schiffskörper eines benachbarten Raumes grösser sein muss als das krängende Moment (15% des Personen- und Windmoments aus der Intakstabilität) beim Leckschlagen zweier benachbarter Abteilungen.

Leckfall	geflutete Abteilungen	Krängendes Moment	Aufrichtendes Moment
1	1 + 2	7.67 mt	56.5 mt
2	2 + 3	7.67 mt	20.1 mt
3	3 + 4	7.67 mt	16.8 mt
4	4 + 5	7.67 mt	32.2 mt
5	5 + 6	7.67 mt	78.6 mt
6	6 + 7	7.67 mt	40.2 mt
7	7 + 8	7.67 mt	64.3 mt
8	8 + 9	7.67 mt	86.2 mt

Wie die Tabelle zeigt, können die Anforderungen gemäss SBV erfüllt werden. Die Voraussetzung für die Einhaltung der Anforderungen ist das feste Verschliessen der Bullaugen. Die in der SBV vorgegebene Tauchgrenze (gedachte Linie auf der Aussenhaut die 100mm unterhalb der Seite-Deck-Linie, bzw. 100mm unterhalb von nicht wasserdichten Öffnungen liegt), wird eingehalten.

Sämtliche Berechnungen wurden mit der Software GHS von Creative Systems ausgeführt.

Manövrierfähigkeit und Übersicht für den Schiffsführer [2]

Das Steuerhaus befindet sich neu vor dem Aufbau mit freier Sicht zum Bug gemäss Vorschrift SBV Kapitel 28. Das Steuerhaus ist entsprechend der Fixpunkthöhe absenkbar ausgeführt. Um die Manövrierfähigkeit des Schiffes zu verbessern wird eine Querstrahlanlage im Bug- und Heckbereich vorgesehen.

Flucht-und Verkehrswege [2,3,5]

Der Ein- / Ausstiegsbereich wurde grosszügig gestaltet um einen reibungslosen Verkehrsfluss der ein- und aussteigenden Fahrgäste an den Haltestellen zu garantieren. Das Hauptdeck wurde gemäss SBV Kapitel 6 und Bestimmung [5] behindertengerecht gestaltet. Die Anforderungen gemäss SBV Kapitel 34 (Notausstiege und Fluchtwege) und Kapitel 35 (Verkehrswege) sind entsprechend berücksichtigt.

Resultate: Hauptabmessungen Gewichte

Die Hauptabmessungen des Schiffes ergeben sich aus den Anforderungen an die Intakt- und Leckstabilität, dem Platzbedarf für 400 Fahrgäste und den erforderlichen Raumhöhen. Die Einbauten für die Dampferzeugung, die Dampfmaschine und die Stromversorgung an Bord sind ebenfalls unterzubringen. Auf dem originalen DS Schaffhausen gab es auch keine Küche, auch hierdurch ergibt sich zusätzlicher Platzbedarf. Nach Einbeziehung all dieser Einflüsse ergeben sich folgende Hauptabmessungen, siehe hierzu auch den Generalplan des Schiffes.

Länge über alles (ohne Bugsprit) / über Deck / in der CWL	50.45 / 49.75 / 48.00 m
Breite über alles / auf Spant / in der CWL	9.40 / 6.30 / 6.30 m
Seitenhöhe / Fixpunkthöhe	2.55 / 3.80 m
Konstruktionstiefgang	1.15 m
Kursgeschwindigkeit / Maximalgeschwindigkeit	22 / 25 km/h

Fahrgastverteilung:

Unter Deck Saal hinten / vorne	52 / 60
Hauptdeck Saal hinten	68
Hauptdeck Freideck hinten / vorne	20 / 84
Stehplätze	116
Gesamtplätze / davon Gastronomieplätze	400 / 120

Quellenverzeichnis

- [1] Binnenschiffahrtsverordnung BSV, 747.201.1, 81. Juli 2010
- [2] Schiffbauverordnung SBV, 747.201.7, 1. Januar 2010
- [3] Ausführungsbestimmungen des UVEK zur Schiffbauverordnung AB-SBV, 747.201.71. 1.Juni 2007)
- [4] Verordnung über die Abgasemission von Schiffsmotoren auf schweizerischen Gewässern vom 13.12.1993 (Stand 1.8.2010) und der Weisung betreffend der Ausrüstung von neuen Selbstzündungsmotoren mit Partikelfiltern in Schiffen für den gewerblichen Transport
- [5] Bundesgesetz vom 13. Dezember 2002 über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz; BehiG, SR 151.3), Stand 13. Juni 2006

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 10: Konstruktion Schiffskörper und Überprüfung der Längsfestigkeit

Konstruktion des neuen Schiffskörpers

Die Struktur des neuen Dampfschiffes wurde von Grund auf neu aufgebaut. Es wurde dabei nach moderner Bauweise konstruiert und gemäss aktuellen Vorschriften dimensioniert. Die tragende Stahlstruktur wurde mittels CAD dreidimensional modelliert. Die ursprüngliche Querspant-Bauweise wurde durch die heute gängige Längspant-Bauweise ersetzt – die grössten Belastungen treten in Längsrichtung auf und können durch Längspanten besser aufgenommen werden. Zudem bringt die Längspant-Bauweise erfahrungsgemäss Gewichtsvorteile.

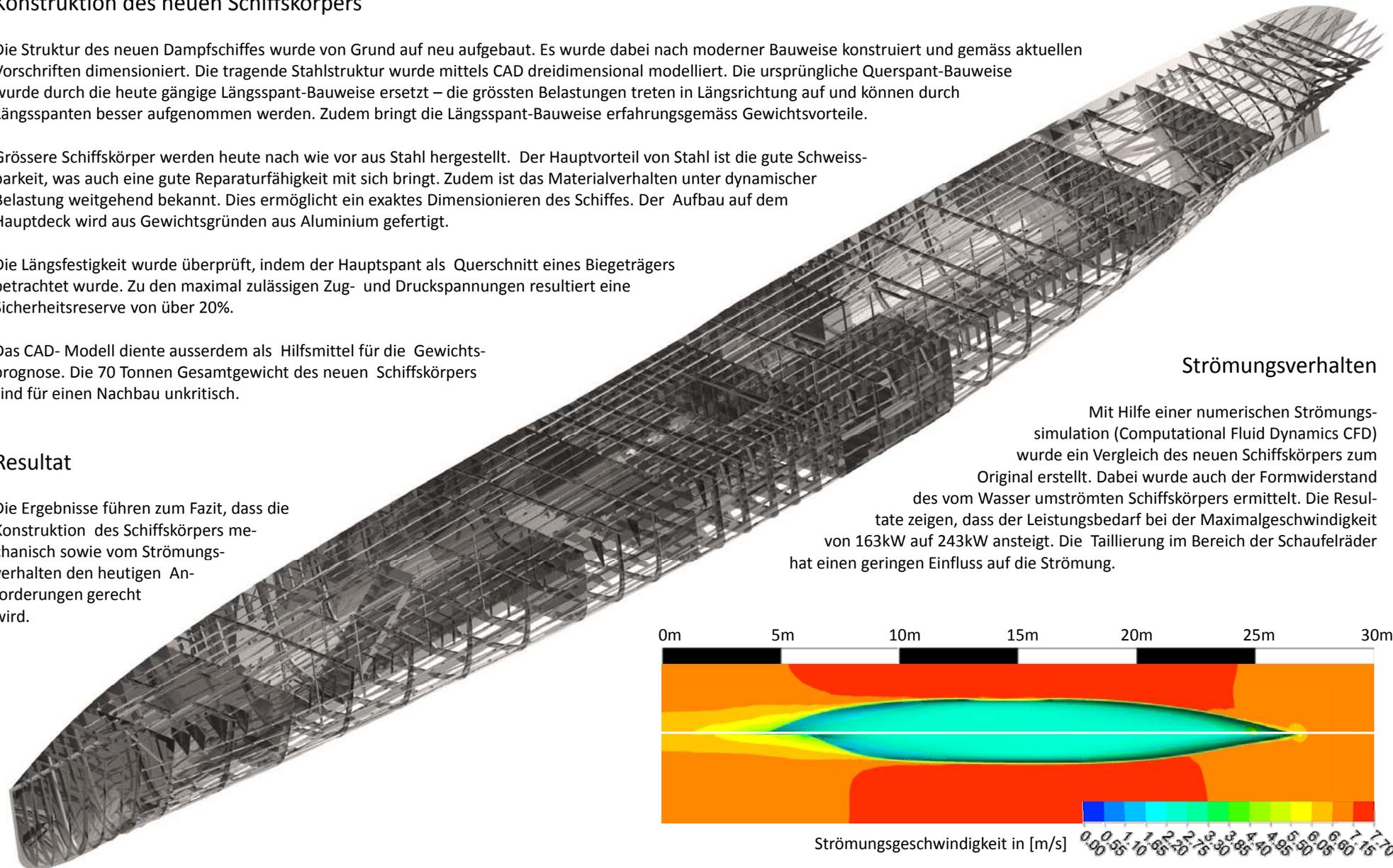
Grössere Schiffskörper werden heute nach wie vor aus Stahl hergestellt. Der Hauptvorteil von Stahl ist die gute Schweissbarkeit, was auch eine gute Reparaturfähigkeit mit sich bringt. Zudem ist das Materialverhalten unter dynamischer Belastung weitgehend bekannt. Dies ermöglicht ein exaktes Dimensionieren des Schiffes. Der Aufbau auf dem Hauptdeck wird aus Gewichtsgründen aus Aluminium gefertigt.

Die Längsfestigkeit wurde überprüft, indem der Hauptspant als Querschnitt eines Biegeträgers betrachtet wurde. Zu den maximal zulässigen Zug- und Druckspannungen resultiert eine Sicherheitsreserve von über 20%.

Das CAD-Modell diente ausserdem als Hilfsmittel für die Gewichtsprognose. Die 70 Tonnen Gesamtgewicht des neuen Schiffskörpers sind für einen Nachbau unkritisch.

Resultat

Die Ergebnisse führen zum Fazit, dass die Konstruktion des Schiffskörpers mechanisch sowie vom Strömungsverhalten den heutigen Anforderungen gerecht wird.



Strömungsverhalten

Mit Hilfe einer numerischen Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics CFD) wurde ein Vergleich des neuen Schiffskörpers zum Original erstellt. Dabei wurde auch der Formwiderstand des vom Wasser umströmten Schiffskörpers ermittelt. Die Resultate zeigen, dass der Leistungsbedarf bei der Maximalgeschwindigkeit von 163kW auf 243kW ansteigt. Die Taillierung im Bereich der Schaufelräder hat einen geringen Einfluss auf die Strömung.

Strömungsgeschwindigkeit in [m/s]

0,00 0,55 1 1,65 2 2,8 3 3,8 4 4,95 5 6 6,60 7 7,70

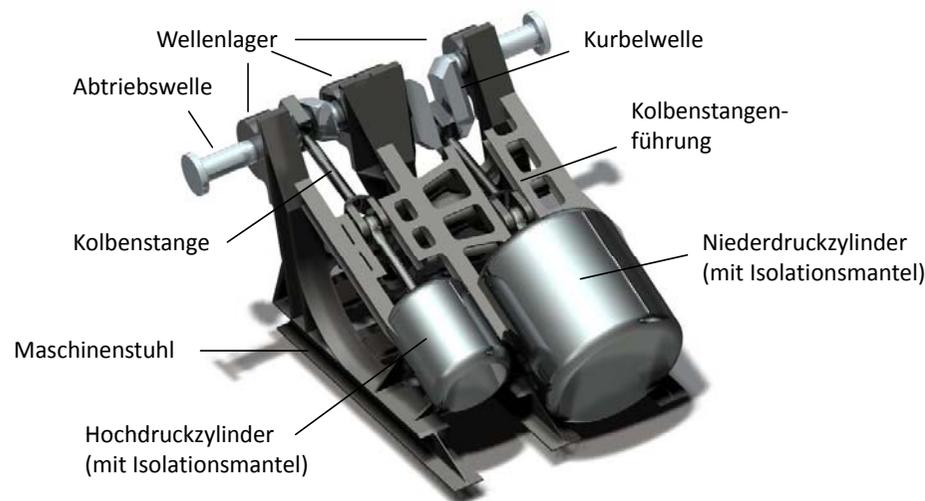
Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 11: Dampftrieb

Der Leistungsbedarf bei voller Fahrt (25 km/h) wird mit der neuen Geometrie des Schiffskörpers auf 300 kW abgeschätzt [1].

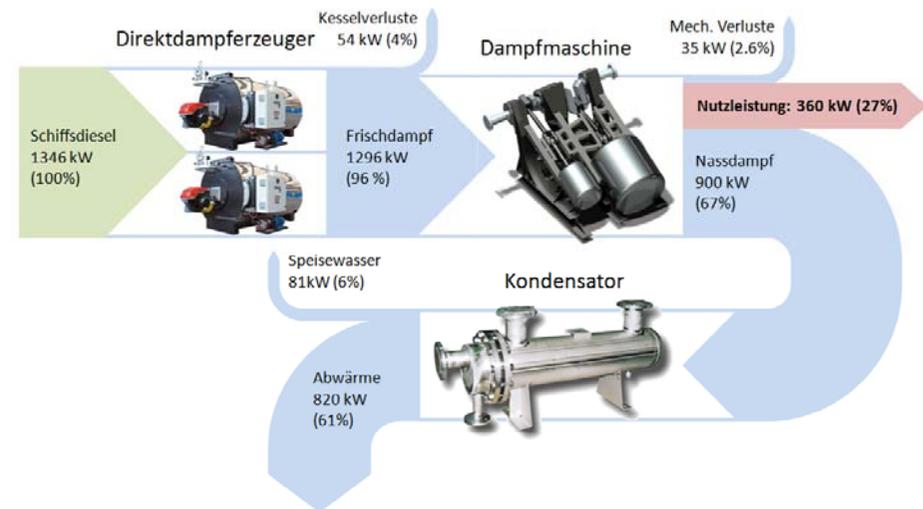
Es wurden verschiedene Antriebskonzepte analysiert und bewertet. Unter anderem wurden neben dem Dampfmotor dieselektrische und dieselhydraulische Antriebe, sowie eine Dampfturbine in Betracht gezogen, da entsprechende Aggregate und Komponenten als Standardprodukte verfügbar sind. Neben technischen und betriebswirtschaftlichen Argumenten muss die politische und gesellschaftliche Akzeptanz berücksichtigt werden, welche für den Original Dampftrieb spricht. Insbesondere das touristische Potential kann nur mit einem Dampfmotor und sichtbarem Kurbeltrieb ausgeschöpft werden.

Aus diesem Grund wird eine Dampf-Verbundmaschine mit Hoch- und Niederdruckzylinder und geschlossenem Wasserkreislauf vorgeschlagen. Die Maschine muss neu ausgelegt werden und mit moderner Technologie versehen werden, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen und einen vollautomatischen Betrieb der Maschine zu ermöglichen (kein zusätzliches Personal zum Betrieb der Maschine). Die Firma DLM in Winterthur ist in der Lage eine Neuentwicklung der Maschine durchzuführen. Im Gegensatz zum Original wird auf einen Dampfkessel verzichtet. Stattdessen werden zwei parallel arbeitende Direktverdampfer eingesetzt (Redundanz), welche deutlich weniger Platz beanspruchen und in wenigen Minuten auf Betriebstemperatur sind, d.h. ein aufwändiges Vorheizen des Dampfkessels entfällt. Die Direktverdampfer werden mit Schiffsdiesel betrieben und erfüllen die Vorgaben der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung (z.B. Babcock-Wanson VAP-LN 1000).



Anhand einer Thermodynamische Analyse wurden der Dampfverbrauch, Wirkungsgrad und die Hauptdimensionen der Verbundmaschine bei Volllast abgeschätzt [2-4]. Die Daten der Originalmaschine sind in Klammern angegeben:

– Leistung	360 kW / 490 PS	(191 / 260)
– Schiffsgeschwindigkeit	25 km/h	(21)
– Drehzahl	55 U/min	(48)
– Dampfdruck Hochdruckzylinder	26 bar	(10.5)
– Hub / Durchmesser des Hochdruckzylinders	450 / 500 mm	(800 / 520)
– Hub / Durchmesser des Niederdruckzylinders	850 / 1000 mm	(800 / 800)
– Dampfverbrauch bei Volllast	1500 kg/h	NA
– Wirkungsgrad	26.6 %	NA



Bei den gewählten Zustandsänderungen, liegt die Grenze des Wirkungsgrads bei 38% (Carnot-Faktor). Folgende Massnahmen führen zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades:

- Zwischenüberhitzung (Nach Direktverdampfer und vor Niederdruckzylinder)
- Speisewasservorwärmer (aus Abwärme)
- Regenerativer Luftvorwärmer

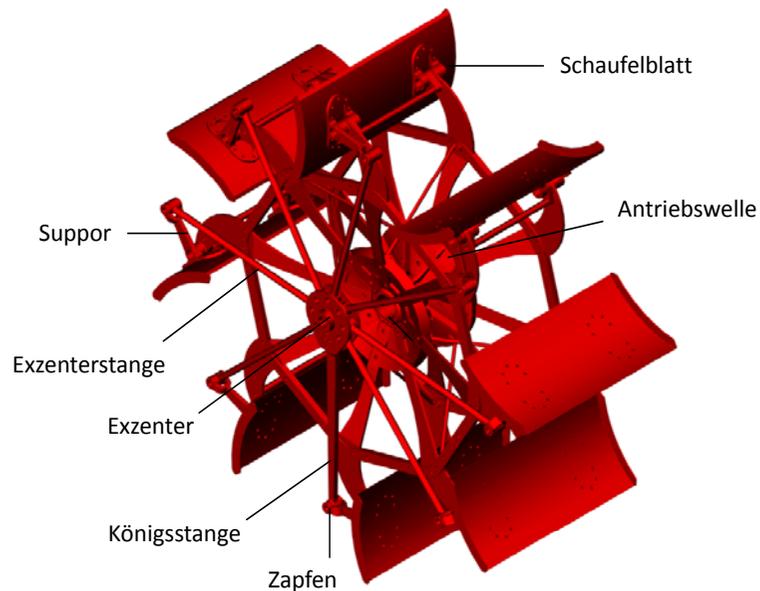
- [1] H. Schneekluth; Hydromechanik zum Schiffsentwurf; Koehler, 1988
- [2] R. Grassmann; Anleitung zur Berechnung einer Dampfmaschine, Springer, 1924
- [3] H. D. Baer, S. Kabelac; Thermodynamik; Springer Verlag, 13. Auflage, 2006
- [4] Properties of Water and Steam in SI Units, Springer Verlag, 1969

Dampfschiff Schaffhausen

Tafel 12: Schaufelrad

Die Dimensionierung des Schaufelrades folgt aus den maximalen Aussenabmessungen (Breite, Höhe) des Schiffes, der aus Stabilitätsgründen verbreiterten Geometrie des Schiffskörpers und hydrodynamischen Überlegungen [1-3]. Die Originalabmessungen sind in Klammern angegeben:

Anzahl Schaufeln	8 Stk.	(8)
– Zapfendurchmesser Schaufelrad	3100 mm	(2800)
– Breite x Höhe des Schaufelblatts	1450 mm x 700 mm	(1850 x 550)
– Abstand der Antriebswelle zum Kiel	2175 mm	(2075)
– Position Exzenter gegenüber Welle (horizontal)	185 mm	(148)
– Position Exzenter gegenüber Welle (vertikal)	0 mm	(10)
– Länge des Exzentergestänges (Bohrung - Bohrung)	1315 mm	(1240)
– Länge der Königsstange	1565 mm	(1380)
– Länge der Suppore	350 mm	(320)



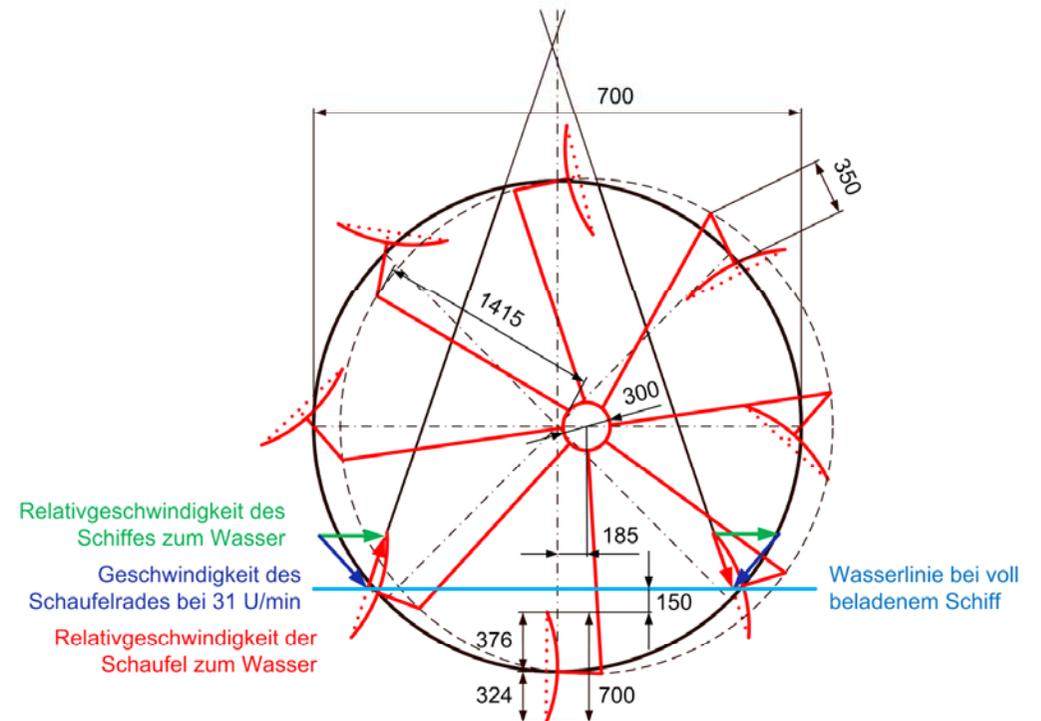
- [1] Jay M. Whitham; Steam-Engine Design; John Wiley & Sons, 1890
 [2] Friedrich Gebers; Das Schaufelrad im Modellversuch; Springer Verlag, 1952
 [3] O. Krappinger, M. Müller; Berechnungsunterlagen für Schaufelräder; Technische Universität Hamburg-Harburg TUHH, 1959

Die Abmessungen wurden anhand eines Ortsdiagramms für die drei wichtigsten drei Zustände (Ein- und Austausch, tiefster Punkt) gezeichnet. Bei den Betrachtungen bleiben hydrodynamische Randeefekte und die Krümmung der Schaufel unberücksichtigt.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Die Schaufeln sollen am tiefsten Punkt bei minimalem Tiefgang komplett eingetaucht sein (bei maximalem Tiefgang ca. 150mm unter Wasserlinie) und vertikal stehen, um einen optimalen Schub zu erzeugen.
- Die Relativbewegung der Schaufeln zum Wasser muss beim Ein- und Austausch in Richtung des Schaufelblattes erfolgen. Diese Bedingung ist bei folgenden Randbedingungen erfüllt: Geschwindigkeit des Schiffes relativ zum Wasser 15 km/h, Drehzahl Schaufelrad 31 U/min.

Die Position des Bolzens am Schaufelblatt wurde aufgrund einer Gleichgewichtsbetrachtung ermittelt. Dabei wird die Druckkraft auf eine angeströmte Platte berechnet und anhand des Momentengleichgewichts zwischen oberer und unterer Schaufelfläche die Position des Bolzens ermittelt. Folgende Grafik zeigt das Ortsdiagramm des Schaufelrades:



Dampfschiff Schaffhausen

Anhang A: Projektpartner

Schiffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein URh

Die Schweizerische Schiffahrtsgesellschaft Untersee und Rhein URh ist eine Aktiengesellschaft mit Sitz in Schaffhausen. Zweck der Gesellschaft ist der Schiffahrtsbetrieb auf dem Rhein, dem Untersee und dem Bodensee.

Die Urh leistet seit ihrer Gründung vor 145 Jahren einen wertvollen touristischen Beitrag. Mit ihren jährlich rund 400'000 Fahrgästen ist die Schiffahrt auf Untersee und Rhein auch von hohem volkswirtschaftlichen Nutzen für die ganze Region. Ihre Schiffe erfreuen sich grosser Beliebtheit bei jung und alt, bei der hiesigen Bevölkerung wie auch bei den zahlreichen Gästen aus dem In- und Ausland.

Die URh ist im Falle eines Nachbaus der Eigentümer und Betreiber des Dampfschiffes „Schaffhausen“, welches als Kursschiff auf der regulären Strecke, zwischen Schaffhausen, über Stein am Rhein nach Kreuzlingen eingesetzt werden soll.

Weitere Informationen und der Geschäftsbericht der URh ist im Internet unter www.urh.ch abrufbar.

Hochschule für Technik Rapperswil HSR

Die Hochschule für Technik Rapperswil HSR ist Mitglied der Fachhochschule Ostschweiz FHO. In der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung aF&E betreibt die HSR regen Technologie- und Wissenstransfer. Die im Markt erfolgreichen Institute machen die HSR zu einem starken Partner für Wirtschaft, Industrie und öffentliche Hand.

Das Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung IWK engagiert sich in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung, Technologietransfer und Dienstleistungen für externe Auftraggeber. Im IWK-Team arbeiten erfahrene Fachleute und Experten zusammen mit Hochschulabsolventen unkompliziert, professionell und projektorientiert an Aufgabenstellungen aus der Industrie und an öffentlich geförderten Forschungsvorhaben.

Diese Machbarkeitsstudie wurde von Prof. Dr. Markus Henne vom IWK injiziert und koordiniert. Zudem sind zwei Studienarbeiten (Auslegung Schaufelrad und Dampfmotor) und eine Masterarbeit (Dimensionierung des Schiffskörpers) zum Thema geschrieben worden.

Ingenieurbüro B. Utz

Zu den Aufgabengebieten des Ingenieurbüros Utz gehört der Entwurf, die Planung und Entwicklung von Fahrgastschiffen, Fähren, Arbeits- und Einsatzbooten. Das Ingenieurbüro Utz begleitet den gesamten Ablauf bei der Entstehung eines Schiffes, von der Ausschreibung, der technischen Beratung über die Planung, Auslegung und Konstruktion, bis hin zur Bauaufsicht, der Erstellung von Gutachten, der technischen Dokumentation und den Stabilitäts- und Festigkeitsnachweisen. Das Ingenieurbüro Utz kann auf langjährige Betätigung im Arbeitsfeld Schiffbau und Schiffstechnik zurückgreifen. Die Kombination aus Know-how und modernsten Entwicklungstechniken ermöglicht Schiffskonstruktionen, die sich äusserst wirtschaftlich und sicher betreiben lassen.

Heute sind zahlreiche Schiffe auf mitteleuropäischen Gewässern unterwegs, die im Ingenieurbüro Utz entwickelt wurden. So beweisen zum Beispiel die "MS Lindau" und die "MS Überlingen" im täglichen Einsatz auf dem Bodensee Funktionalität und Komfort für Passagiere und Bordpersonal.

StauffacherBenz Design

Seit 2003 bearbeiten Nicole Benz und Stefan Stauffacher unter dem Namen StauffacherBenz kleine und grosse Industrie-Design Projekte. Das Wirkungsfeld von StauffacherBenz ist weit gefasst und reicht von handfestem, klassischem Produktdesign bis hin zu leichtfüssigen, verspielten Design-Statements. Aus ihrem Atelier kommen Möbel und Haushaltsgeräte, Schmuck und Fahrzeuge, Messestände und Innenarchitektur. Egal an welchem Thema StauffacherBenz arbeiten, ihre Entwürfe sind funktional innovativ, formal präzise und technisch durchdacht und haben ein gemeinsames Ziel: Sie sollen Freude bereiten.

Im Rahmen dieser Studie haben StauffacherBenz das Raumkonzept inklusive der Möblierung entwickelt, im CAD digitalisiert und dargestellt sowie die Visualisierungen der Aussen- und Innenansichten erstellt.

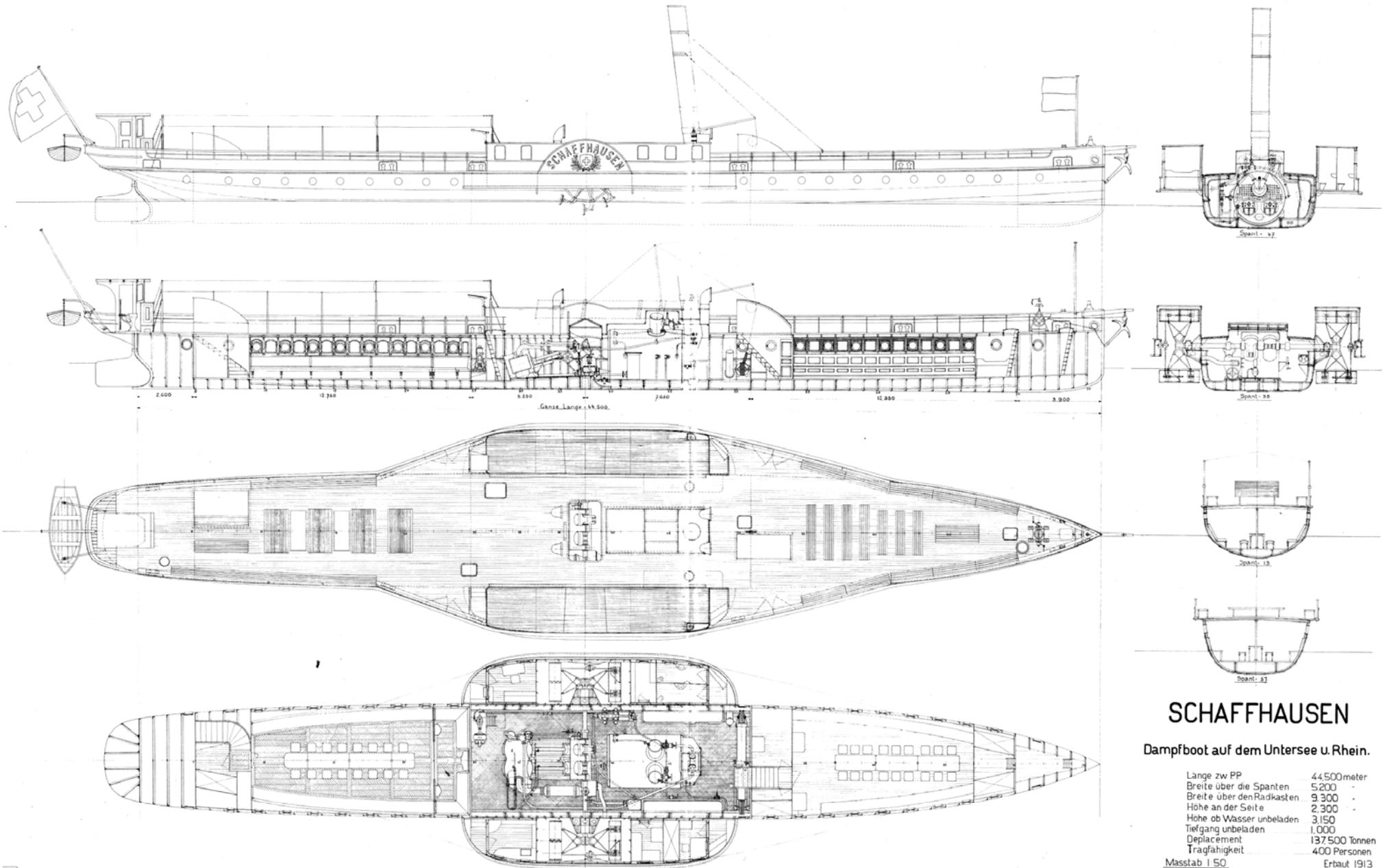
Danksagung

Ganz herzlicher Dank gilt all jenen, die dieses Projekt ermöglicht haben:

- Der Hochschule für Technik Rapperswil für die grosszügige Finanzierung des Projekts mit 35'000 CHF
- Den Studenten Roman Frei (cand. Master FHO), Vito Crameri und Kevin Nietlispach (beide cand. Bachelor FHO)
- Martin Huber-Tissi und Hans Bendel für die zur Verfügung gestellten Kopien der Sulzer-Originalpläne des Dampfschiffes „Schaffhausen“
- Jürg Zimmermann für die Kontakte und die Bereitstellung der Literatur

Dampfschiff Schaffhausen

Anhang B: Generalplan Originalschiff



SCHAFFHAUSEN

Dampfboot auf dem Untersee u. Rhein.

Länge zw PP	44.500 meter
Breite über die Spanten	5.200
Breite über den Radkasten	9.300
Höhe an der Seite	2.300
Höhe ob Wasser unbeladen	3.150
Tiefgang unbeladen	1.000
Displacement	137.500 Tonnen
Tragfähigkeit	400 Personen
Masstab 1:50	Erbaut 1913