

9 Konstruktionsvorschläge

Auf der Basis der erzielten Berechnungsergebnisse werden im folgenden Konstruktionsvorschläge erarbeitet, welche aus einer Analyse der "Schwachpunkte" in der Konstruktion resultieren. Vorwegzunehmen ist aber, daß eine Reduzierung der Plattendicken für Innenboden, Außenboden, Trogwand und Dennebaum auszuschließen ist. Aufgrund des täglichen rauen Umganges mit diesen Schiffen ist eine solche Konstruktionsänderung bei den Reedern nicht durchsetzbar.

Zunächst ist zu erwähnen, daß die Konstruktion von Binnenschiffen und Leichtern nach den GL-Vorschriften auch im geschädigten Zustand auf der "sicheren Seite" liegen. Berücksichtigt man einen Sicherheitsbeiwert von 1,5 -2,0, so hat das nach GL zulässige Moment einen ausreichenden Abstand zu den hier betrachteten Kollapsmomenten. Aufgrund der in Kapitel 1 beschriebenen Schadensfälle ist aber anzunehmen, daß die Schiffe im täglichen Einsatz auch schon mal über diese Grenze hinweg belastet werden.

9.1 Konstruktionsvorschläge für den Schubleichter

Die Konstruktionsweise der heutigen Leichter beruht auf einer ca. 25 Jahre alten Untersuchung /Schelle74/, /FDS54/, /FDS77/. Die Querspannenbauweise des Doppelbodens und der enge Bodenwrangenabstand führen zu einer schweren Konstruktion mit einer hohen Querbiegesteifigkeit aber einer geringen, und gegenüber Imperfektionen empfindlichen, Längsbiegesteifigkeit. Da Leichter vor 20-30 Jahren vornehmlich für den Transport von Erz oder anderen schweren Schüttgütern vorgesehen waren, hatte diese Bauweise unbestreitbare Vorteile. Für andere Ladungen wie z.B. Container oder Stückgüter ist eine leichtere Bauweise sicherlich sinnvoller. Diese hätte den Vorteil, daß sich eine höhere Transportkapazität oder ein geringerer Tiefgang verwirklichen ließe.

In den Abschnitten des Kapitel 7 wird gezeigt, daß bei einer Überbelastung die Struktur nicht unbedingt sofort komplett versagen muß. Allerdings befinden sich die Spannungen sehr schnell im plastischen Bereich, was wiederum bleibende Verformungen zur Folge hat. In dieser Arbeit wird u.a. rechnerisch nachgewiesen, daß auch ohne besondere Vorschädigungen schwere Schäden im Außenboden verursacht werden (Arbeitsfalten durch die Beladung mit Erz). Diese können bei einer späteren Überbelastung die Auslöser für lokales Bauteilversagen sein, welche dann einen globalen Kollaps verursachen können.

1. Die Berechnungen verdeutlichen, daß die Abrostung mit Abstand den größten negativen Einfluß auf das Strukturverhalten der Schiffe hat. Dieses zeigt die Bedeutung eines guten Korrosionsschutzes am Schiff. Ähnliches gilt für übermäßig starke Verformungen am Dennebaum und Außenboden. Der effektivste Schutz gegen den globalen Kollaps der Schiffe ist somit eine regelmäßige Wartung und ein schonender Umgang.
2. Zukünftige Binnenschiffe sind so zu konstruieren, daß eine Überschreitung der Streckgrenze unbedingt vermieden wird. Aufgrund dieser Aussage wird der Konstrukteur versucht sein, die Plattendicke in einem lokalen Bereich (mittschiffs) zu erhöhen. Dies führt aber zu unerwünschter Gewichtszunahme und Steifigkeitssprüngen. Ein besserer Weg ist die Verwendung von höherfesten Stählen. Häufig wird argumentiert, daß solche Stähle zwar eine höhere Streckgrenze bieten aber keinen größeren E-Modul. Da nur dieser das Stabilitätsverhalten beeinflusst, könnte somit keine erhöhte Kollapslast der Strukturstabilität erreicht werden. Diese Aussage ist aber nur für die Beullast gültig, wenn sich der Stahl im elastischen Bereich befindet. Bei einsetzender Plastizierung ist statt des E-Modul der wesentlich kleinere Tangentenmodul maßgebend, der bei höherfesten Stählen entsprechend später einzusetzen ist. Die Verwendung von höherfesten Stählen hat bisher im Binnenschiffbau allenfalls für das Dennebaumprofil (zum Teil nur im Mittschiffsbereich) Verwendung gefunden. Da die hohen Spannungen und die plastischen Verformungen im Ladefall 3 und 4 im wesentlichen in der oberen Gurtung des Mittschiffbereiches auftreten, ist hier eine breitere Anwendung sicherlich sinnvoll. Anzuraten ist jene für den Dennebaum, das Gangbord und ggf. für den oberen Teil der Trogwand (Abb. 9-1).

3. Naturgemäß wird das Tragverhalten einer versteiften Struktur durch den Abstand der Steifen bestimmt. Wie auch schon in /Lehmann1/ untersucht, können Trapezprofile dieses Verhalten verbessern. Es ist auch anzunehmen, daß der Einfluß der Druckeigenspannungen aus Schweißvorgängen /V22/ geringer wird, da die Feldweiten kleiner werden. Die Verwendung von Trapezprofilen im Binnenschiff verspricht Vorteile an der Trog- und Außenwand sowie ggf. im Doppelboden (Abb. 9-2).
4. Eine eigentlich sehr nahe liegende Konstruktionsänderung bezieht sich auf den Einsatz von gesickten Wänden, wie sie im Seeschiffbau schon seit längerem für Querschotte verwendet werden. Deren Einsatz bietet sich überall dort an, wo Versteifungen auf Platten gesetzt werden und nicht unbedingt ebene Fläche erforderlich sind. In einem Binnenschiff wäre dies z.B. die Trogwand.
Gesickte Wände haben den Vorteil, daß die Fertigungskosten für das Aufschweißen der Steifen eingespart werden. Außerdem ist zu erwarten, daß die Längsbiegesteifigkeit weniger anfällig für Imperfektionen ist (kein Abrosten oder Abreißen der Steifen). Ein angenehmer Nebeneffekt ergibt sich für Massengüter, da das nutzbare Laderaumvolumen vergrößert wird. Zu beachten ist aber, daß die Begehbarkeit des Wallganges gewährleistet bleibt (Abb. 9-2).
5. Wie die Berechnungen gezeigt haben, leidet die Längsbiegefestigkeit eines Schubleichters sehr unter dem Fehlen eines Längsträgers. Mit den aus der Querspantenbauweise resultierenden Arbeitsfalten und einem großen Biegemoment kann es im Ladefall 3 (Aufbiegung) zu einem globalen Kollaps kommen. Von Vertretern einer Duisburger Binnenschiffswerft wurde bereits angeregt, die Trogwand bis auf den Außenboden herunterzuziehen, um so eine zusätzliche Längsversteifung zu erhalten. Dies hat aber den Nachteil, daß die Bodenwrangen interkostal eingeschweißt werden müssen. Da der Wallgang und die Kimm im Vergleich zum übrigen Doppelboden schon über eine große Längssteifigkeit verfügen, ist es sicherlich nicht sinnvoll, diese noch weiter zu erhöhen. Besser wäre dagegen ein interkostaler Mittellängsträger. Das beste Ergebnis erreicht man aber über zwei Längsträger, welche den Doppelboden in drei gleich große Segmente einteilen. Sofern der Transport von Containern vorgesehen ist, ist die Position der Längsträger auf deren Abmaße auszulegen. Ein weiterer Effekt ist, daß die Ausbreitung von Arbeitsfalten unterbunden wird. Die zusätzlichen Massen der Längsträger können durch Einsparungen bei den folgenden Punkten wieder ausgeglichen werden (Abb. 9-3).
6. Anhand der geringen (elastischen!) Verformungen des Dennebaums kann von einer großen Querbiegesteifigkeit der Schubleichter ausgegangen werden. Um Gewicht und Fertigungskosten zu sparen, ist es denkbar, den Abstand der Bodenwrangen zu erhöhen. Statt der bisher 15 Bodenwrangen in einem 9 m Segment ($a = 0,6$ m) ist ein Abstand von 0,75 m oder auch 0,9 m ausreichend.
Die bisherige Überlegung, ob eine Quer- oder Längsspantenbauweise Vorteile bietet /ISD80/, sollte dahingehend ersetzt werden, inwieweit sich eine sinnvolle Kombination aus beiden Bauweisen erreichen läßt.
7. Da auch Schubleichter zunehmend für einen Containertransport genutzt werden (Abb. 3-17), ist zu überlegen, ob nicht eine Verbreiterung des Laderaums sinnvoll ist, um 4 Containerstapel nebeneinander fahren zu können. Unter Berücksichtigung der vorgenannten Punkte ist aus Sicht der Schiffsfestigkeit ein entsprechender Hauptspant möglich.

Fazit:

Die bisherige Konstruktionsweise der Schubleichter ist für die nach GL zugelassenen Momente ausreichend. Andererseits besteht durch einige konstruktive Änderungen ein nennenswertes Potential, die Belastbarkeit bzw. Kapazität der Leichter zu erhöhen bzw. deren Eigengewicht zu senken.

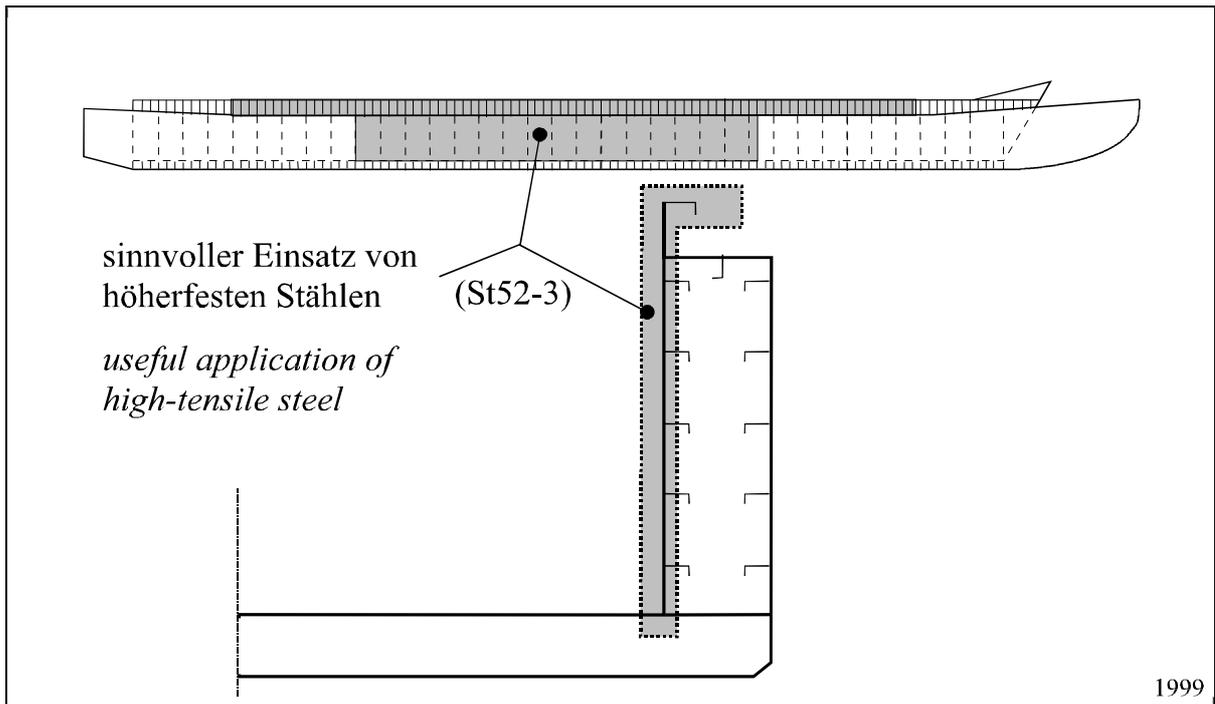


Abb. 9-1: Verwendung von höherfesten Stählen

Fig. 9-1: Application of high-tensile steel

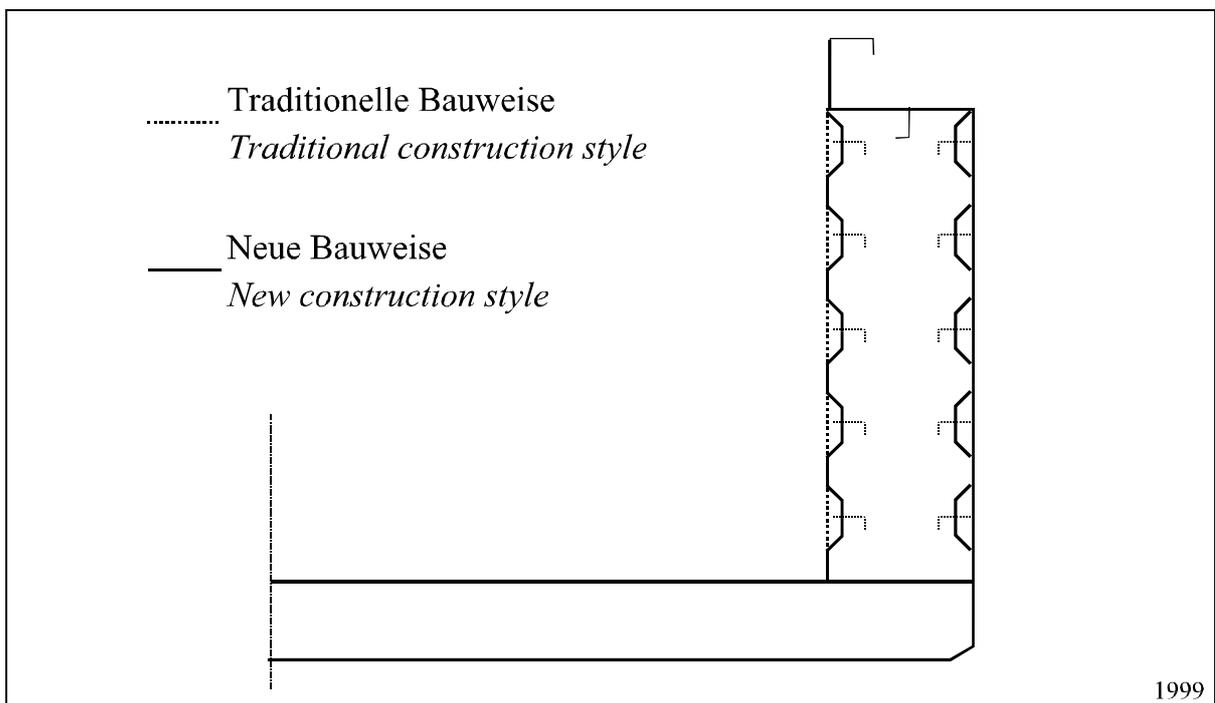


Abb. 9-2: Trapezprofile und gesickte Wände

Fig. 9-2: Sheet with trapezoidal corrugations and bead trough side

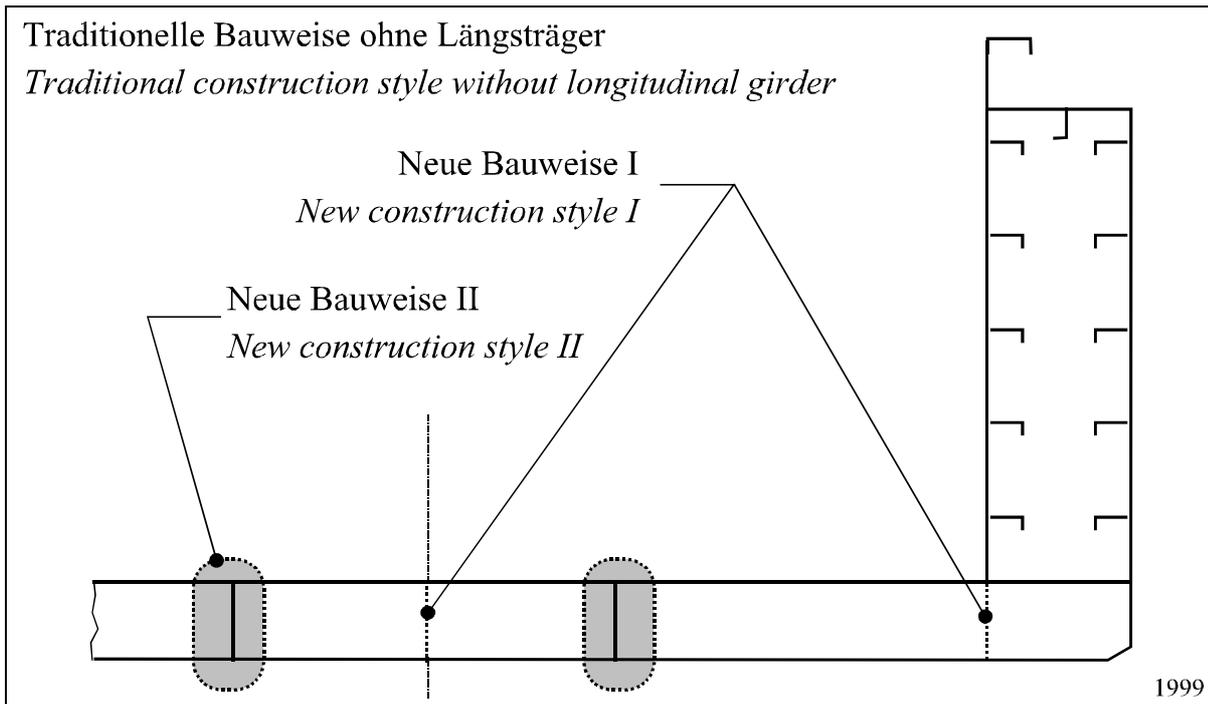


Abb. 9-3: Einbau von Längsträgern

Fig. 9-3: Assembly of longitudinal girder

9.2 Konstruktionsvorschläge für das Containerbinnenschiff

Zunächst ist zu bemerken, daß der Abstand der Bodenwrangen im Containerbinnenschiff ($a = 1,5 \text{ m}$) deutlich größer ist als im Schubleichter ($a = 0,6 \text{ m}$). Durch eine erhöhte Anzahl von Rahmenspanten wird eine ausreichende Querbiegesteifigkeit erreicht. Diese Bauweise führt zu einer harmonischeren Verformung des Wallgangs und der Vermeidung von Spannungsspitzen.

1. Der größte Schwachpunkt der untersuchten Hauptspantkonstruktion des Containerbinnenschiffes ist der Dennebaum. Steht dieser wie im Id3 unter Zug, überschreitet die Mises-Vergleichsspannungen sehr schnell die Streckgrenze von St37-2. Zurückzuführen ist dies darauf, daß die Belastungen bei einem großen Randfaserabstand auf eine relativ kleine Fläche verteilt werden. Noch ungünstiger erscheint diese Konstruktionsweise für den Ladefall 4 (Durchbiegung), in welcher der Dennebaum unter Druck steht. Dieser reagiert dann sehr empfindlich auf Imperfektionen (z.B. Greiferschäden). Ein seitliches Ausweichen bzw. Knicken dieses Bauteils kann zum Kollaps des gesamten Schiffes führen oder macht zumindest eine Reparatur notwendig. Die bisherige Konstruktionsweise des Dennebaumes beruht (wahrscheinlich) in einem großen Maße auf einer "geschichtlichen" Entwicklung als Geländer ^{und/oder} Laufschiene der Lukendeckel. Beide Funktionen können aber auch durch eine andere Konstruktionsweise übernommen werden. Erste Untersuchungen hierzu wurden am ISD in einer Diplomarbeit angefertigt /B16/. Hierin sollte für die vorgegebenen Bedingungen (Brückendurchfahrthöhe, max. Tiefgang) eine optimierte Seitenhöhe gefunden werden, wobei eine hohes Maß an Querbiege- und Torsionssteifigkeit bei minimalem Eigengewicht zu berücksichtigen war.

So ist zum Beispiel eine Konstruktion denkbar, in der auf den Dennebaum ganz verzichtet wird. Als obere Gurtung wird statt dessen der Wallgang weiter nach oben gezogen. Eine aufgesetzte Schiene bietet den Lukendeckeln genügend Halt (Abb. 9-4). Ein Geländer im herkömmlichen Sinne ist vollkommen ausreichend, um zu verhindern, daß Personal in den Laderaum stürzt. Dieses ist ggf. klappbar zu gestalten, um Brückendurchfahrten des leeren Schiffes zu ermöglichen. Durch diesen vergrößerten, geschlossenen Kasten wird zusätzlich eine erhöhte Torsionssteifigkeit erreicht.

Desweiteren ist zu bedenken, daß in der bisherigen Konstruktionsweise ein nicht unbeträchtlicher Teil der Seitenhöhe "verschenkt" wird /Schlüter95/. Diese läßt sich entweder zugunsten einer höheren Kapazität oder

eines reduzierten Eigengewichtes nutzen. In ähnlicher Weise kann die Höhe des Doppelbodens behandelt werden.

2. In den Diagrammen des Kapitels 7 und 8 wird u.a. die Einbiegung des Dennebaums über der Schiffslänge abgetragen. Je nach Beladungsfall zeichnet sich hier sehr deutlich die Quersteifigkeit der eingesetzten Schotte ab. Deren Einfluß ist in Schiffsmitte sehr groß und nimmt zu den Schiffenden hin ab. In der jetzigen Konstruktionsweise werden die Schotte oder auch Rahmenspanten in regelmäßigen Abständen über der Schiffslänge verteilt. Für die Querbiegesteifigkeit hätte es Vorteile, wenn dieser Abstand zur Schiffsmitte hin verkleinert und im vorderen und achteren Bereich vergrößert wird. Hierdurch werden auch die Steifigkeitssprünge an diesen Stellen entschärft, wodurch die Spannungsspitzen abgemildert sind (Abb. 9-5).
3. Um die Durchbiegung der Schiffe im beladenen Zustand (ld2, ld4 und ld7) zu reduzieren, ist es sinnvoll, diese mit einer Vorkrümmung zu bauen. Dieses wird auf den Werften (fallweise auch Seeschiffe) bereits praktiziert. Die Größe dieser Krümmung läßt sich anhand einer Parameteruntersuchung mit der erstellten Software optimieren. Allerdings ist zu beachten, daß diese Maßnahme die Aufbiegung im ld 3 vergrößert (Abb. 9-6).

Fazit:

Beenden läßt sich dieser Abschnitt mit der Feststellung, daß es sich bei dem untersuchten Containerbinnenschiff um eine recht ausgewogene Konstruktion handelt. Bezüglich ihrer Längsbiege- und Querbiegesteifigkeit ist sie relativ weich. Da dadurch aber kaum plastische Verformungen auftreten, sind auch nach einigen Betriebsjahren nur relativ geringe Schäden zu erwarten. Verbessern läßt sich die Konstruktion aber noch, wenn von traditionellen Bauweisen abgewichen und ggf. unkonventionelle Lösungen genutzt werden.

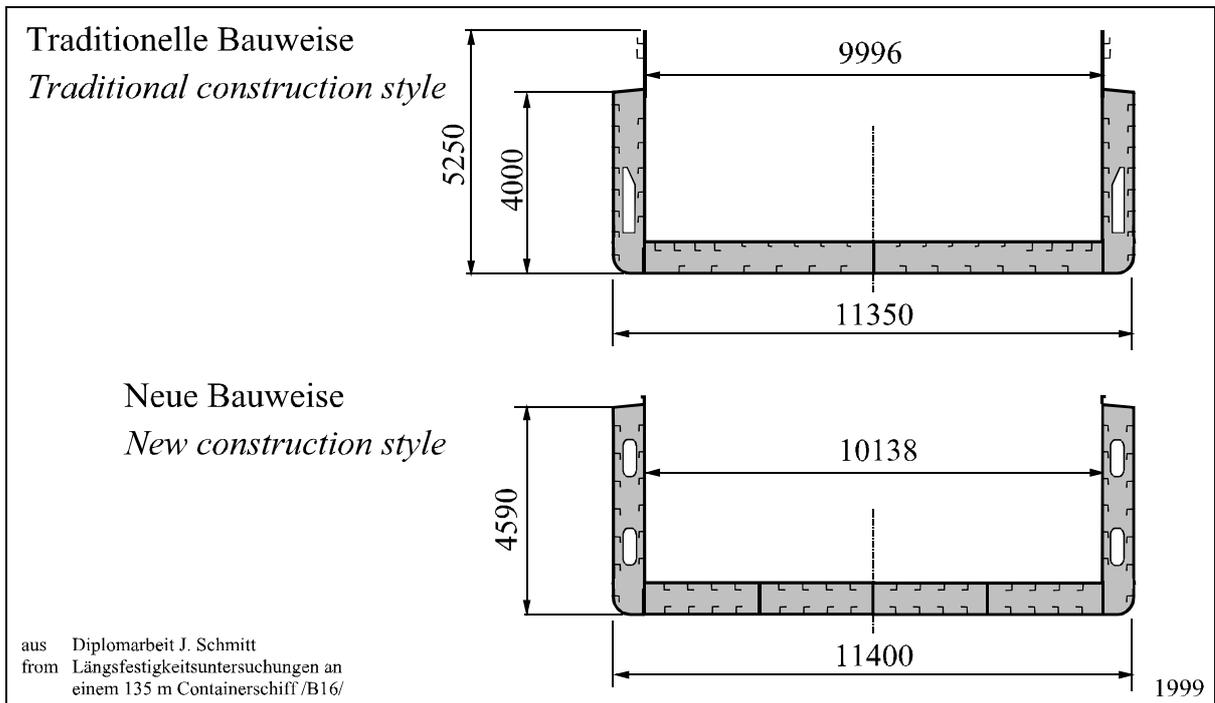


Abb. 9-4: Hochgezogener Wallgang

Fig. 9-4: Draw up wing passage

