

GEMEINSAME EXPERTENTAGUNG FÜR DIE DEM
ÜBEREINKOMMEN ÜBER DIE INTERNATIONALE BEFÖRDERUNG
VON GEFÄHRLICHEN GÜTERN AUF BINNENWASSERSTRASSEN
BEIGEFÜGTE VERORDNUNG (ADN) ¹
(12. Tagung, Genf, 21.-25. Januar 2008)
Punkt 4 c) zur Tagesordnung

VERSCHIEDENE ÄNDERUNGSVORSCHLÄGE²

ALTERNATIVE BAUWEISEN (TANKSCHIFFE)

Vorschlag der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR)

1. Die ZKR schlägt vor, in die dem ADN beigefügte Verordnung neue Vorschriften einzubringen mit dem Ziel, alternative Bauweisen für den Bau von Tankschiffen (z.B. für größere Ladetanks, andere Abstände zwischen den Seitenwänden und der Ladetanks) zu gestatten sowie die in diesen Fällen einzuhaltenden Verfahren.
2. Die Vorschläge zur Änderung des Teils 9 der Vorschriften sind beigefügt.

¹ Diese Sitzung ist gemeinsam von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa und der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt organisiert.

² Von der UN-ECE in Englisch, Französisch und Russisch unter dem Aktenzeichen TRANS/WP.15/AC.2/2008/7 verteilt.

- 9.3.1.11.1 a)
9.3.2.11.1 a)
9.3.3.11.1 a) Unter der Tabelle einfügen:
„Alternative Bauweisen nach 9.3.4 sind jedoch zulässig.“

In der Fußnote¹⁾ zu 9.3.1.11.2 am Ende anfügen:
„Alternative Bauweisen nach 9.3.4 sind jedoch zulässig.“

- 9.3.2.11.7 Am Ende einfügen :
„Alternative Bauweisen nach 9.3.4 sind jedoch zulässig.“

Folgende neuen Abschnitt 9.3.4 einfügen:

9.3.4 Alternative Bauweisen

Der höchstzulässige Inhalt des Ladetanks ~~gemäß~~ 9.3.1.11.1, 9.3.2.11.1 und 9.3.3.11.1 darf überschritten werden und von den Mindestabständen ~~gemäß~~ 9.3.1.11.2 a) und 9.3.2.11.7 darf abgewichen werden, wenn den Bestimmungen dieses Abschnitts entsprochen wird. Der Inhalt eines Ladetanks darf ~~höchstens~~ 1000 m³ betragen.

Wenn ein Schiff ~~gemäß~~ diesem Abschnitt gebaut wird, dokumentiert eine anerkannte Klassifikationsgesellschaft die Anwendung des Berechnungsverfahrens ~~gemäß~~ Nr. 9.3.4.3, Schritte 1 bis 13, und ~~übermittelt~~ die Ergebnisse ~~zur Genehmigung~~ an die ~~zuständige~~ Behörde. Die zuständige Behörde kann zusätzliche Berechnungen oder Nachweise verlangen.

Diese Bauweise wird von der zuständigen Behörde in das Zulassungszeugnis ~~gemäß~~ 8.6.1 eingetragen.

9.3.4.1. Allgemeines

- Tankschiffe, bei denen die Ladetanks den höchstzulässigen Inhalt, gemäß 9.3.1.11.1, 9.3.2.11.1 oder 9.3.3.11.1 überschreiten, oder bei denen der Abstand zwischen der Außenhaut des Schiffes und des Ladetanks gemäß 9.3.1.11.2 a), 9.3.2.11.7 unterschritten wird, müssen durch eine kollisionssichere Seitenkonstruktion geschützt sein.
- Dies ist nachzuweisen, indem das Risiko, einer konventionellen Konstruktion (Referenzkonstruktion), die den ADN-Bestimmungen entspricht, mit dem Risiko einer kollisionssichereren Seitenstruktur (neue Konstruktion) verglichen wird.
- Wenn das Risiko der neuen Konstruktion mit kollisionssicherer Seitenstruktur dem Risiko der Referenzkonstruktion entspricht oder dieses sogar unterschreitet, ist die äquivalente oder höhere Sicherheit nachgewiesen.
- Nachfolgend wird erläutert, wie eine gleiche oder höhere Sicherheit nachgewiesen werden muss.

9.3.4.2. Vorgehensweise

Die Wahrscheinlichkeit eines bei einer Kollision auftretenden Tankrisses und die Oberfläche des durch das Auslaufen des darin enthaltenen gefährlichen Stoffes betroffenen Gebietes sind die bestimmenden Parameter bei der Risikobeurteilung. Das Risiko wird wie folgt beschrieben:

$$R = P \times C$$

Darin sind:

- R: Risiko,
P: Wahrscheinlichkeit eines Tankrisses [],
C: Konsequenzen (Schadensausmaß) eines Tankrisses [m²].

Formatted: Font: Bold, German (Germany)

Formatted: German (Germany)

Formatted: Indent: Left: 56.7 pt, Tabs: Not at 54 pt

Deleted: gemaess

Formatted: German (Germany)

Formatted: German (Germany)

Deleted: ae

Formatted: German (Germany)

Deleted: gemaess

Formatted: German (Germany)

Formatted: German (Germany)

Deleted: hoechstens

Formatted: German (Germany)

Formatted: German (Germany), Superscript

Formatted: German (Germany)

Formatted: Indent: Left: 56.7 pt, Tabs: Not at 54 pt

Deleted: gemaess

Formatted: German (Germany)

Deleted: gemaess

Formatted: German (Germany)

Deleted: [

Formatted: German (Germany)

Deleted:]

Deleted: uebermittelt

Formatted: German (Germany)

Deleted: zustaendige

Deleted: zum genehmigung

Formatted: German (Germany)

Formatted: Indent: Left: 56.7 pt, Tabs: Not at 54 pt

Deleted: gemaess

Formatted: German (Germany)

Formatted: German (Germany)

Die Wahrscheinlichkeit „ P “ eines Tankrisses hängt von der voraussichtlichen Verteilung der durch die Schiffskörper repräsentierten vorhandenen Kollisionsenergie ab, die das Kollisionsoffer trifft, sowie von der Fähigkeit des Schiffes, diese Kollisionsenergie ohne Tankriss zu absorbieren.

Die Konsequenzen „ C “, der durch einen Tankriss ausgetretenen Ladung werden durch ein betroffenes Gebiet um das Schiff ausgedrückt. Hierzu wird die Auswirkung „ C “ im Verhältnis zum betroffenen Gebiet ausgedrückt. Eine Reduzierung der Wahrscheinlichkeit „ P “ lässt sich durch eine verstärkte seitliche Außenhautkonstruktion des Schiffes erzielen.

Das nachstehende Verfahren zeigt, wie die Wahrscheinlichkeiten eines Tankrisses zu berechnen sind, wie die Kollisionsenergie-Absorptionsfähigkeiten der seitlichen Schiffsstrukturen bestimmt werden können und wie sich ein Anstieg der Unfallfolgen festlegen lässt.

9.3.4.3 **Berechnungsverfahren**

Das Berechnungsverfahren setzt sich grundsätzlich aus 13 Schritten zusammen.

Die Tabelle in Abb. 1 enthält Angaben zur Berechnung der gewichteten Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Tankrisses.

Schritt 1

Neben der neuen Konstruktion, die für die größeren Ladetanks oder den geringeren Abstand und die kollisionssichere Außenhautstruktur kennzeichnend ist, ist eine Referenzkonstruktion eines Tankschiffes mit [mindestens] denselben Abmessungen [(Länge, Breite, Seitenhöhe, Verdrängung)] anzufertigen. Diese muss den Vorschriften des Kapitels 9.3.1 (Typ G), 9.3.2 (Typ C) oder 9.3.3 (Typ N) und den Mindestanforderungen einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft entsprechen.

Die Schritte 2 bis 10 sind sowohl für die Referenzkonstruktion als auch für die neue Konstruktion durchzuführen.

A	B	C	D	E	F	G	H(FxG)	I	J	K(IxJ)	L	M	N(LxM)	O
Identifizierung Kollisionsstellen und zugehörige Gewichtungsfaktoren Szenario I	Loc1	FEA Analyse	Eloc1	Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 50%	P50%	wf50%	Pw50%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 66%	P66%	wf66%	Pw66%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
				total			Ploc1	wf loc1	Pwloc1					
	↓													
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 50%	P50%	wf50%	Pw50%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 66%	P66%	wf66%	Pw66%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
	↓													
				total			Ploci	wf loci	Pwloci	+				
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 50%	P50%	wf50%	Pw50%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 66%	P66%	wf66%	Pw66%							
	↓			Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
				total			Plocn	wf locn	Pwlocn	+				
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 30%	P30%	wf30%	Pw30%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
	↓													
				total			Plocn	wf locn	Pwlocn	+				
				total			PpszenI	wf pszenI	PwpszenI					
				total			PpszenI	wf pszenI	PwpszenI					

A	B	C	D	E	F	G	H(FxG)	I	J	K(IxJ)	L	M	N(LxM)	O
Identifizierung Kollisionsstellen und zugehörige Gewichtungsfaktoren Szenario II	Loc1	FEA Analyse	Eloc1	Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 30%	P30%	wf30%	Pw30%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
				total			Ploc1	wf loc1	Pwloc1					
	↓													
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 30%	P30%	wf30%	Pw30%							
				Berechnete Wahrscheinlichkeit durch CPDF 100%	P100%	wf100%	Pw100%	+						
				total			Plocn	wf locn	Pwlocn	+				
	↓													
				total			PpszenII	wf pszenII	PwpszenII	+				
				total			PpszenII	wf pszenII	PwpszenII	+				
				total			PpszenII	wf pszenII	PwpszenII	+				

Abb. 1 Tabelle zur Berechnung der gewichteten Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Tankschadens

Schritt 2

Feststellung der relevanten, typischen Kollisionsstellen $i=1$ bis n . In Abb. 1 wird der allgemeine Fall vorausgesetzt, bei dem es „ n “ typische Kollisionsstellen gibt.

Die Anzahl der Kollisionsfälle ist abhängig vom Entwurf der Schiffskonstruktion.

Die Annahme der Kollisionsstellen muss von der anerkannten Klassifikationsgesellschaft genehmigt werden.

Senkrechte Kollisionsstellen**Typ C- und Typ N-Tankschiff**

Die Festlegung der Kollisionsstellen in senkrechter Richtung hängt von den Tiefgangsdifferenzen zwischen dem stoßenden und dem getroffenen Schiff ab, begrenzt durch den maximalen und minimalen Tiefgang der beiden Schiffe und die bauliche Gestaltung des getroffenen Schiffes.

Dies kann graphisch durch eine rechteckige Fläche dargestellt werden, die von den Werten der maximalen und minimalen Tiefgänge des stoßenden und des getroffenen Schiffes eingerahmt wird. Siehe

Abb. 2. Jeder Punkt in dieser Fläche stellt eine mögliche Kombination der Tiefgänge dar. $T_{1\max}$ ist der Konstruktionstiefgang und $T_{1\min}$ der Ballasttiefgang des stoßenden Schiffes, während $T_{2\max}$ und $T_{2\min}$ der entsprechende Konstruktions- und Ballasttiefgang des getroffenen Schiffes sind. Eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung wird über alle möglichen Tiefgangskombinationen angenommen.

Die Punkte auf einer jeden schrägen Linie, siehe

Abb. 2, haben dieselbe Tiefgangsdifferenz und darum stellt jeder dieser Linien eine senkrechte Kollisionsstelle dar.

In diesem Beispiel werden drei senkrechte Kollisionsstellen festgelegt, die in der Abb. 2 durch drei Flächen graphisch dargestellt sind.

Der Punkt P_1 ist der Punkt, wo die untere Ecke des senkrechten Teils des Schubleichter- bzw. V-Bugs die Decksebene des getroffenen Schiffes berührt. Die Dreiecksfläche für den Kollisionsfall 1 ist durch den Punkt P_1 begrenzt. Dies entspricht der senkrechten Kollisionsstelle "Kollision über Deck". Der Punkt P_2 ist der Punkt, wo der obere senkrechte Teil des Schubleichter- bzw. V-Bugs den oberen Teil der Bergplatte berührt. Die Fläche die durch die Punkte P_1 und P_2 begrenzt wird, entspricht der senkrechten Kollisionsstelle "Kollision auf Höhe Deck". Die dreieckige, obere linke Ecke des Rechtecks entspricht der senkrechten Kollisionsstelle "Kollision unter Deck". Die Tiefgangsdifferenz ΔT_i , $i=1,2,3$, ist in den Kollisionsberechnungen zu benutzen. Siehe

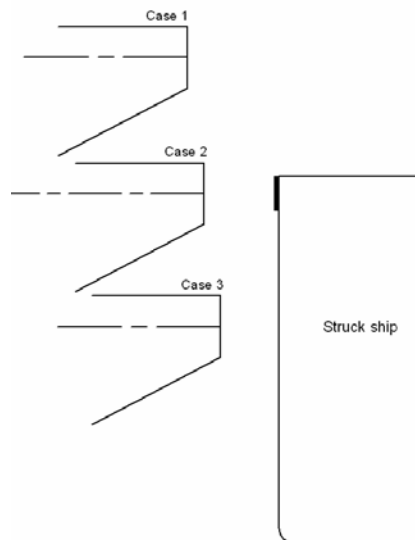


Abb. 3. Die maximal möglichen Massen für das stoßende und das getroffene Schiff sind auszuwählen (der höchste Punkt einer Diagonalen ΔT_i).

Formatted: Right: 0 pt

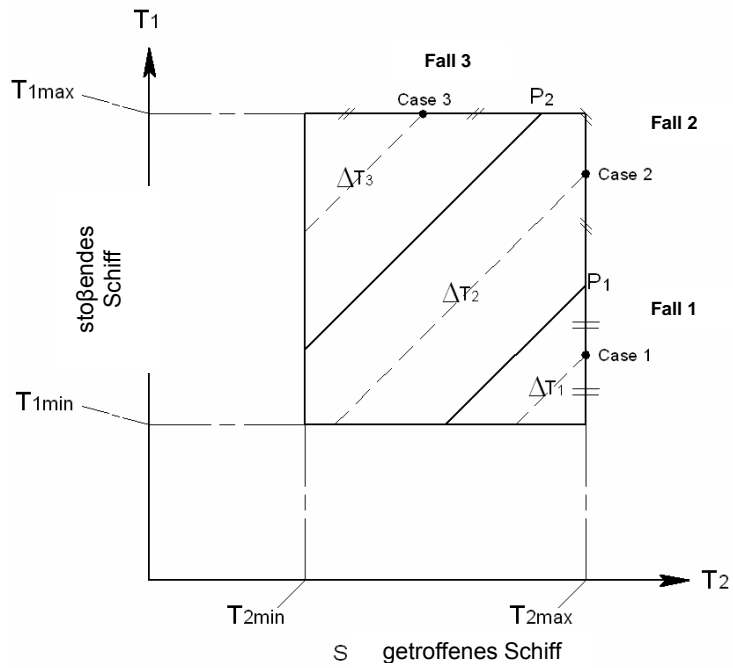


Abb. 2 **Definition der Kollisionsstellen in senkrechter Richtung**

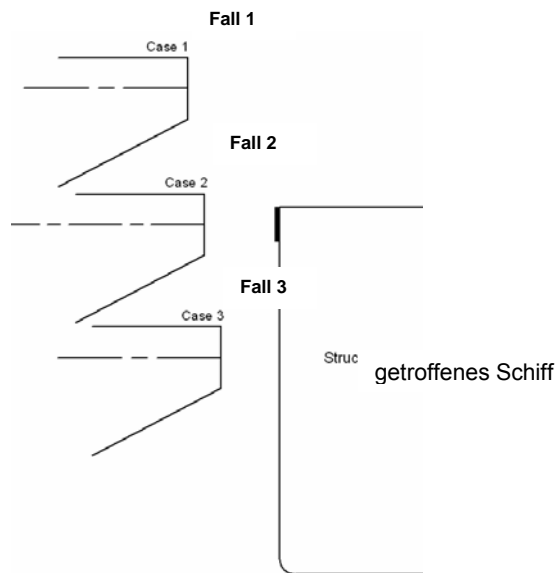


Abb. 3 **Beispiele von Kollisionsstellen**

Typ C- und Typ N-Tankschiff

Abhängig von der Schiffskonstruktion können zusätzliche Kollisionsstellen durch die Klassifikationsgesellschaft gefordert werden.

Typ G-Tankschiff

Für ein Typ G Tankschiff ist von einer Kollision auf halber Tankhöhe auszugehen. Kollisionen auf anderen Höhen können von der Klassifikationsgesellschaft gefordert werden. Dies ist mit der Klassifikationsgesellschaft abzustimmen.

Kollisionsstellen in Längsrichtung

Typ C- und Typ N-Tankschiff

Es lassen sich drei typische Szenarien unterscheiden, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Kollisionsstelle 1 am Schott
- Kollisionsstelle 2 zwischen Rahmenspanten
- Kollisionsstelle 3 am Rahmenspanten

Typ G-Tankschiff

Es lassen sich drei typische Szenarien unterscheiden, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Kollisionsstelle 1 am Ladetankende
- Kollisionsstelle 2 zwischen Rahmenspanten
- Kollisionsstelle 3 am Rahmenspanten

Die Kombination der senkrechten und wagerechten Kollisionsstellen ergibt für das oben genannte

Beispiel: $1 \times 3 = 3$ Kollisionsstellen.

Allgemeine Bemerkungen für Typ G-Tankschiff

Um nachzuweisen, dass die Tanksättel und die Aufschwimmsicherungen nicht der Grund für einen vorzeitigen Tankbruch sind, sind zusätzliche Berechnungen notwendig. Diese Kollisionsstellen sind mit der Klassifikationsgesellschaft abzustimmen.

Schritt 3

Festlegung eines Gewichtungsfaktors für jede typische Kollisionsstelle, der die relative Wahrscheinlichkeit wiedergibt, ob eine solche Kollisionsstelle auftritt. In Abb. 1 werden diese Faktoren als $wloc(i)$ (Spalte J) bezeichnet. Die Annahme muss von der Klassifikationsgesellschaft genehmigt werden.

Der Wichtungsfaktor für jede Stelle ist das Produkt aus dem Wichtungsfaktor für die senkrechte Kollisionsstelle mit dem Wichtungsfaktor für die wagerechte Kollisionsstelle.

Senkrechte KollisionsstelleTyp C- und Typ N-Tankschiff

Die Wichtungsfaktoren für die unterschiedlichen senkrechten Kollisionsstellen sind durch den Quotienten aus der Teilfläche für den entsprechenden Kollisionsfall und der gesamten Fläche des in

Abb. 2 gezeigten Rechtecks festgelegt.

Zum Beispiel, für den Kollisionsfall 1 ist der Wichtungsfaktor der Quotient aus der Dreiecksfläche begrenzt durch den Punkt P_1 und der Rechteckfläche, die mit den Werten der maximalen und minimalen Tiefgänge des stoßenden und des getroffenen Schiffes eingerahmt ist.

Typ G-Tankschiff

Der senkrechte Wichtungsfaktor ist gleich eins, da nur ein senkrechter Kollisionsfall definiert wird.

Wagerechte KollisionsstelleTyp C- und Typ N-Tankschiff

Der wagerechte Wichtungsfaktor für jede Stelle ist definiert als Quotient aus der "getroffenen Spannweite" und der Tanklänge. Die "getroffene Spannweite" für jede Kollisionsstelle ist wie folgt definiert:

- Kollision am Schott:
- 0,2 x Rahmenspantabstand hinter und/oder vor dem Schott mit nicht mehr als 450 mm,
- Kollision am Rahmen:
- 0,2 x Rahmenspantabstand hinter und/oder vor dem Rahmen mit nicht mehr als 450 mm,
- Kollision zwischen den Rahmen:
- Tanklänge minus Länge der Stellen, definiert als „Kollision am Schott“ sowie minus der Länge definiert als „Kollision am Rahmen“.

Typ G-Tankschiff

Der wagerechte Wichtungsfaktor für jede Stelle ist definiert als Quotient aus der "getroffenen Spannweite" und der Abteilungslänge. Die „getroffene Spannweite“ für jede Kollisionsstelle ist wie folgt definiert:

- Kollision am Tankende:
- Abstand zwischen Schott und Anfang des zylindrischen Tankkörpers,
- Kollision am Rahmen:
- 0,2 x Rahmenspantabstand hinter und/oder vor dem Rahmen aber nicht mehr als 450 mm,
- Kollision zwischen den Rahmen:
- Tanklänge minus Länge der Stellen, definiert als „Kollision am Tankende“ sowie minus der Länge definiert als „Kollision am Rahmen“.

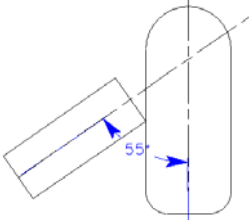
Schritt 4

Für jede Kollisionsstelle ist die Energie-Absorptionsfähigkeit festzulegen, d. h. die von der Schiffskonstruktion bis zum Tankriss absorbierte Aufprallenergie. In Abb. 1 werden diese Energien $Eloc(i)$ (Spalte D) genannt. Hierzu ist eine finite Elementanalyse zu verwenden. Es wird dabei auf Punkt 4.1 verwiesen, in dem dargelegt wird, wie diese finite Elementanalyse durchzuführen ist.

Diese Berechnungen sind für zwei Kollisionsszenarien laut Tabelle 1 durchzuführen. Kollisionsszenario I ist unter der Voraussetzung einer Schubleichter-Bugform zu analysieren. Kollisionsszenario II ist unter der Voraussetzung einer V-förmigen Bugform zu analysieren.

Diese Bugformen sind in Punkt 4.6 spezifiziert.

Tabelle 1 Geschwindigkeits Reduktionfaktoren für Fall I oder II

Gewählte schlechteste Fälle Szenarios		Ursachen					
		Kommunikationsfehler und schlechte Sicht	Technische Fehler	Menschliches Verhalten			
		0,50	0,20	0,30			
I		Schubleichter- Bugform, 55°	0,80	0,66	0,50	0,20	0,30
		V-förmiger Bug, 90°	0,20	0,30	0,50	1,00	1,00

Schritt 5

Für jede Energie-Absorptionsfähigkeit $E_{loc(i)}$ ist die damit zusammenhängende Wahrscheinlichkeit eines Tankrisses zu berechnen, indem der $E_{loc(i)}$ -Wert in der entsprechenden, in nachstehender Formel spezifizierten kumulativen Wahrscheinlichkeits-dichtefunktion (Cumulative Probability Density Function, CPDF), eingesetzt wird. Die entsprechenden Koeffizienten sind aus Tabelle 2 für die effektive Masse des getroffenen Schiffs zu übernehmen. Die effektive Masse sollte der Maximalverdrängung multipliziert mit 1,4 entsprechen. Beide Kollisionsszenarien (Tabelle 1) sind in Betracht zu ziehen.

Im Falle von Kollisionsszenario I (Schubleichter-Bugform, 55°) sind folgende CPDF-Kurven zu verwenden.

- CPDF 50% (Geschwindigkeit 0,5 V_{max}),
- CPDF 66% (Geschwindigkeit 2/3 V_{max}),
- CPDF 100% (Geschwindigkeit V_{max}).

Im Falle von Kollisionsszenario II (V-förmiger Bug, 90°) ist dies für zwei Kurven zu tun.

- CPDF 30% (Geschwindigkeit 0,3 V_{max}),
- CPDF 100% (Geschwindigkeit V_{max}).

In Abb. 1 (Spalte F) werden diese Wahrscheinlichkeiten $P_{50\%}$, $P_{66\%}$, $P_{100\%}$ bzw. $P_{30\%}$, $P_{100\%}$ genannt.

$$P_{x\%} = C_1 E_{loc(i)}^3 + C_2 E_{loc(i)}^2 + C_3 E_{loc(i)} + C_4$$

- mit: $P_{x\%}$ Wahrscheinlichkeit eines Tankrisses,
- C_{1-4} Koeffizienten aus Tabelle 2,
- $E_{loc(i)}$ Energie-Absorptionsfähigkeit.

Tabelle 2 Koeffizienten für die CPDF-Formel

Effektive Masse des getroffenen Schiffes in Tonnen	Geschwindigkeit = 1 x Vmax				
	Koeffizienten				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	Gebiet
14000	4.106E-05	-2.507E-03	9.727E-03	9.983E-01	4<E<39
12000	4.609E-05	-2.761E-03	1.215E-02	9.926E-01	4<E<36
10000	5.327E-05	-3.125E-03	1.569E-02	9.839E-01	4<E<33
8000	6.458E-05	-3.691E-03	2.108E-02	9.715E-01	4<E<31
6000	7.902E-05	-4.431E-03	2.719E-02	9.590E-01	4<E<27
4500	8.823E-05	-5.152E-03	3.285E-02	9.482E-01	4<E<24
3000	2.144E-05	-4.607E-03	2.921E-02	9.555E-01	2<E<19
1500	-2.071E-03	2.704E-02	-1.245E-01	1.169E+00	2<E<12

Effektive Masse des getroffenen Schiffes in Tonnen	Geschwindigkeit = 2/3 x Vmax				
	Koeffizienten				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	Gebiet
14000	4.638E-04	-1.254E-02	2.041E-02	1.000E+00	2<E<17
12000	5.377E-04	-1.427E-02	2.897E-02	9.908E-01	2<E<17
10000	6.262E-04	-1.631E-02	3.849E-02	9.805E-01	2<E<15
8000	7.363E-04	-1.861E-02	4.646E-02	9.729E-01	2<E<13
6000	9.115E-04	-2.269E-02	6.285E-02	9.573E-01	2<E<12
4500	1.071E-03	-2.705E-02	7.738E-02	9.455E-01	1<E<11
3000	-1.709E-05	-1.952E-02	5.123E-02	9.682E-01	1<E<8
1500	-2.479E-02	1.500E-01	-3.218E-01	1.204E+00	1<E<5

Effektive Masse des getroffenen Schiffes in Tonnen	Geschwindigkeit = 0,5 x Vmax				
	Koeffizienten				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	Gebiet
14000	2.621E-03	-3.978E-02	3.363E-02	1.000E+00	1<E<10
12000	2.947E-03	-4.404E-02	4.759E-02	9.932E-01	1<E<9
10000	3.317E-03	-4.873E-02	5.843E-02	9.878E-01	2<E<8
8000	3.963E-03	-5.723E-02	7.945E-02	9.739E-01	2<E<7
6000	5.349E-03	-7.407E-02	1.186E-01	9.517E-01	1<E<6
4500	6.303E-03	-8.713E-02	1.393E-01	9.440E-01	1<E<6
3000	2.628E-03	-8.504E-02	1.447E-01	9.408E-01	1<E<5
1500	-1.566E-01	5.419E-01	-6.348E-01	1.209E+00	1<E<3

Effektive Masse des getroffenen Schiffes in Tonnen	Geschwindigkeit = 0,3 x Vmax				
	Koeffizienten				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	Gebiet
14000	5.628E-02	-3.081E-01	1.036E-01	9.991E-01	1<E<3
12000	5.997E-02	-3.212E-01	1.029E-01	1.002E+00	1<E<3
10000	7.477E-02	-3.949E-01	1.875E-01	9.816E-01	1<E<3
8000	1.021E-02	-5.143E-01	2.983E-01	9.593E-01	1<E<2
6000	9.145E-02	-4.814E-01	2.421E-01	9.694E-01	1<E<2
4500	1.180E-01	-6.267E-01	3.542E-01	9.521E-01	1<E<2
3000	7.902E-02	-7.546E-01	5.079E-01	9.218E-01	1<E<2
1500	-1.031E+00	2.214E-01	1.891E-01	9.554E-01	0.5<E<1

Das Gültigkeitsgebiet ist in der Spalte 6 angegeben.
Energie unterhalb des Gültigkeitsgebiets, P_{x%} = 1.
Energie oberhalb des Gültigkeitsgebiets, P_{x%} = 0.

Schritt 6

Berechnung der gewichteten Risswahrscheinlichkeiten durch Multiplikation jeder Risswahrscheinlichkeit $P(\#\#)\%$ (Abb. 1 Spalte F) mit den Gewichtungsfaktoren, wie in der Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3 Gewichtungsfaktoren für Kollisionsgeschwindigkeiten

			Gewichtungsfaktor
Szenario I	CPDF 50%	wf50%	0,2
	CPDF 66%	wf66%	0,5
	CPDF 100%	wf100%	0,3
Szenario II	CPDF 30%	wf30%	0,7
	CPDF 100%	wf100%	0,3

In Abb. 1 (Spalte H) werden die Wahrscheinlichkeiten mit $Pw50\%$, $Pw66\%$ usw. bezeichnet.

Schritt 7

Addition aller gewichteten Wahrscheinlichkeiten $Pw(\#\#)\%$ (Abb. 1 Spalte H) für jede untersuchte Kollisionsstelle, um die daraus resultierenden Wahrscheinlichkeiten $Ploc(i)$ (Abb. 1, Spalte I) zu erhalten.

Formatted: Font color: Auto, German (Germany)

Schritt 8

Multiplikation der Tankrisswahrscheinlichkeiten $Ploc(i)$ jeder Kollisionsstelle mit den Gewichtungsfaktoren $wf loc(i)$ (Abb. 1 Spalte J), in Verbindung mit den Kollisionsstellen. Ergebnisse addieren. Man erhält die gewichteten Bruchwahrscheinlichkeiten $Pwloc(i)$ für beide Kollisionsszenarien.

Schritt 9

Addition der gewichteten Wahrscheinlichkeiten $Pwloc(i)$ für die Kollisionsszenarien I und II, resultierend in $PszenI$ und $PszenII$ (Abb. 1 Spalte L).

Schritt 10

Zum Schluss sind die gewichteten Durchschnittswerte beider Szenarien mit Hilfe folgender Formel zu ermitteln (Abb. 1 Spalte O):

$$Pw = 0,8 \times PszenI + 0,2 \times PszenII$$

Schritt 11

Pw für die neue Konstruktion, bezeichnet als Pn .
 Pw für die Referenzkonstruktion, bezeichnet als Pr .

Schritt 12

Berechnung der Auswirkungen (C_n) beim Leckschlagen der größeren Ladetanks im Vergleich zu den Auswirkungen (C_r) beim Leckschlagen der Ladetanks im Referenzschiff.

Für Ladetankinhalte zwischen 380 m^3 und 1000 m^3 kann für entzündbare, giftige und ätzende Flüssigkeiten bzw. Gase angenommen werden, dass für einen zweimal größeren Ladetank mit doppelt so großen Auswirkungen wie bei dem Referenzschiff gerechnet werden kann (Proportionalitätsfaktor 1,00).

Es gilt die Formel:

$$\frac{C_n}{C_r} = \frac{V}{V_r}$$

Darin sind: C_n mit der neuen Konstruktion verbundene Konsequenz,
 C_r mit der Referenzkonstruktion verbundene Konsequenz,
 V höchster Inhalt des vergrößerten Ladetanks,
 V_r Ladetankinhalt Referenzschiff.

Formatted: Right: 0 pt

Die Formel wurde für repräsentative Stoffe laut Tabelle 4 abgeleitet.

Tabelle 4 Repräsentative Stoffe

	UN	Beschreibung
Benzen	1114	Entzündbare Flüssigkeit Verpackungsgruppe II gesundheitsgefährdend
Acrylnitril ACN	1093	Entzündbare Flüssigkeit Verpackungsgruppe I giftig, stabilisiert
n-Hexan	1208	Entzündbare Flüssigkeit Verpackungsgruppe II
Nonane	1920	Entzündbare Flüssigkeit Verpackungsgruppe III
Ammoniak	1005	giftiges, ätzendes Gas unter Druck verflüssigt
Propan	1978	Entzündbares Gas unter Druck verflüssigt

Wenn man in Tankschiffen, die nach diesem Berechnungsverfahren analysiert werden, Stoffe befördern will, bei denen ein größerer Proportionalitätsfaktor als 1,00, wie in Schritt 12 angenommen, zwischen Tankvolumen und betroffenem Gebiet zu erwarten ist, ist für diese Stoffe die Größe des betroffenen Gebietes neu zu bestimmen. Mit diesem abweichenden Wert für die Größe des betroffenen Gebietes ist der Vergleich gemäß Schritt 13 durchzuführen.

Deleted: [

Deleted:]

Schritt 13

Vergleich der Tankriss-Wahrscheinlichkeitsrate $\frac{P_r}{P_n}$ mit der Wirkungsrate $\frac{C_n}{C_r}$.

Wenn $\frac{C_n}{C_r} \leq \frac{P_r}{P_n}$, dann erfüllt die neue Konstruktion die Anforderungen.

9.3.4.4 Berechnung der Energieabsorptionsfähigkeit bei Kollisionen

Die Berechnung der Energieabsorptionskapazität im Fall von Kollisionen hat mittels der finiten Elementanalyse (Finite Element Analysis, FEA) stattzufinden. Die Analyse ist anhand eines gebräuchlichen finiten Elemente Programms durchzuführen (z. B. LS-DYNA, PAM-CRASH, ABAQUS), mit dem sowohl geometrische als auch materielle, nichtlineare Effekte sowie eine realistische Rissimulation von Elementen dargestellt werden können. Das aktuelle Programm und das Niveau der zu berücksichtigen Details in den Berechnungen müssen mit der Klassifikationsgesellschaft vereinbart werden.

4.1 Erzeugung von finiten Elementmodellen (FE)

Zuerst sind zwei FE-Modelle herzustellen, und zwar sowohl für die kollisions sicherere Konstruktion als auch für die Referenzkonstruktion. Mit dem FE-Modell müssen sämtliche relevanten plastischen Verformungen für alle in Betracht kommenden Kollisionsfälle erfasst werden können. Grundsätzlich ist die Gesamtlänge des Ladebereichs zu modellieren.

An beiden Enden des Ladebereiches werden allen drei Freiheitsgrade der Verschiebungen unterdrückt. Da, in den meisten Kollisionsfällen, die globale horizontale Biegung des Hauptspantes für die Bewertung der plastischen Verformungsenergie nicht von signifikanter Bedeutung ist, reicht es aus, nur die halbe Breite des Schiffes in

Betracht zu ziehen. In diesen Fällen muss die Querverschiebung an der Mittellinie (Centreline, CL) eingeschränkt werden. Nach der Fertigstellung eines FE-Modells ist eine versuchsweise Kollisionsberechnung auszuführen, um sicherzustellen, dass keine plastischen Verformungen in der Nähe der einschränkenden Begrenzungen auftreten, da ansonsten der modellierte FE-Bereich vergrößert werden muss.

Im Allgemeinen sind bei Kollisionen in Mitleidenschaft gezogene konstruktive Bereiche ausreichend genau auszugestalten, während andere Bereiche gröber modelliert werden können. Die Feinheit der Vernetzung muss für eine angemessene Beschreibung lokaler Faltungsverformungen sowie zur Bestimmung realistischer Risse von Elementen ausreichen. Die Berechnung der Rissbildung muss auf geeigneten Bruchkriterien für die verwendeten Elemente basieren. Erfahrungswerte bei der Berechnung zeigen, dass die maximale Elementgröße im Allgemeinen in den Kollisionsbereichen < 200 mm sein sollte. Schalenelemente müssen ein Flächenverhältnis größer als 1/3 besitzen. Die Elementgröße L für ein Schalenelement ist definiert als die maximale Länge der beiden Seiten des Elements: $L = \max\{L_1, L_2\}$. Der Quotient aus Elementlänge und Elementdicke sollte nicht größer als 5 sein. Andere Werte sind mit der Klassifikationsgesellschaft abzustimmen.

Plattenstrukturen wie beispielsweise Außenhaut, Innenhülle (Tankhaut im Falle von Gastanks), Rahmen und Träger können als Schalenelemente idealisiert, Versteifungen als Balkenelemente dargestellt werden. Ausschnitte und Mannlöcher in Kollisionsbereichen sind zu berücksichtigen.

Es ist die „the node on segment penalty“ Methode zu verwenden:

- contact_automatic_single_surface LS-DYNA,
- selfimpacting PAMCRASH,
- similar contact types other FE-programs.

4.2 Materialeigenschaften

Da eine Berechnung einer Kollision extreme strukturelle Vorgänge mit geometrischen und materiellen, nichtlinearen Effekten beinhaltet, wirkt sich die Eingabe der Materialeigenschaften in signifikanter Weise auf die Größe der Energieabsorptionsfähigkeit aus. Es wird empfohlen, genaue Spannungs-/ Dehnungs-Beziehungen zu verwenden, die mittels eines Zugversuchs auf folgende Weise ermittelt werden können:

$$\sigma = C \cdot \varepsilon^n$$

darin ist

$$n = \ln(1 + A_g)$$

und

$$C = R_m \cdot \left(\frac{e}{n}\right)^n$$

A_g ist die maximale Gleichmaßdehnung die bei der maximalen Zugspannung R_m auftritt. Beide Werte lassen sich mittels eines Zugversuchs ermitteln. e ist die Eulersche Zahl. In zahlreichen Fällen ist jedoch nur die maximale Zugspannung R_m verfügbar. In diesen Fällen kann folgende Näherung für Schiffsbaustahl mit einem Höchstwert R_eH von 355 N/mm² verwendet werden, um den exakten A_g -Wert aus dem bekannten R_m ([N/mm²]) - Wert zu erhalten:

$$A_g = \frac{1}{0.24 + 0.01395 \cdot R_m}$$

Oft sind die Materialeigenschaften von Zugversuchen zum Beginn der Berechnungen noch nicht verfügbar. Wenn dies der Fall ist, sind die Mindestwerte für A_g und R_m , wie sie in den Bauvorschriften definiert sind, zu benutzen. Für Stahl mit einer Streckgrenze größer 355 N/mm² oder anderen Materialien als Stahl, sind die Materialeigenschaften mit der Klassifikationsgesellschaft zu abzustimmen.

4.3 Bruchkriterien

Wie bereits erwähnt ist der wichtigste Bezugswert für die Energieäquivalenz verschiedener Konstruktionen der Energiewert, bei dem die Tankhülle des betroffenen Schiffes reißt. In einer FEA wird diese kritische Situation durch den ersten Riss eines finiten Elements dargestellt, das zu diesem Zeitpunkt eine extrem hohe plastische Dehnung besitzt.

Gewöhnlich wird der erste Riss eines Elementes in einer FEA durch eine kritische Bruchdehnung definiert. Wenn die in diesem Element errechnete plastische effektive Dehnung oder für Schalenelemente die Dehnung in Dickenrichtung ihren definierte Bruchdehnung überschreitet, wird das Element aus den FE-Modellen gelöscht und die Verformungsenergie in diesem Element in den folgenden Berechnungsschritten konstant gehalten.

Berechnungen mit einem anerkannten FE-Code haben gezeigt, dass die Verformungsenergie äußerst sensibel auf die definierten Bruchkriterien reagiert. Es ist bekannt, dass die Definition des Bruchdehnungswertes ein äußerst wichtiges Schlüsselkriterium für die Vorhersage einer realistischen Energieabsorptionskapazität darstellt. Eine nicht korrekte Definition der Bruchdehnung kann zu äußerst ungenauen Berechnungen der Energieabsorption führen.

Das Reißen einer strukturellen Komponente stellt einen äußerst komplizierten Vorgang dar, der durch zahlreiche Faktoren beeinflusst wird. Dieser Prozess hängt unmittelbar von den Materialcharakteristik-Parametern ab, wie beispielsweise der Fließspannung, der maximalen Gleichmaßdehnung und der Bruchdehnung sowie der maximale Zugspannung.

Weiterhin ist aus zahlreichen praktischen Experimenten und theoretischen Untersuchungen bekannt, dass die Bruchdehnung ebenso von dem Spannungszustand abhängt, der aus den komplizierten Konstruktionsbelastungen resultiert. Außerdem wird sie durch den Produktionsprozess und die Fertigungsqualität beeinflusst.

Für eine FEA spielt die Feinheit der Vernetzung sowie die Form und Größe des Elementes eine ebenso wichtige Rolle, da die Entwicklung eines Rissprozesses von einer Gleichmaßverformung über die gesamte Komponente bis hin zu einer äußerst lokal begrenzten Einschnürung in einem sehr kleinen Bereich mit extrem hohen Dehnungswerten reicht.

Basierend auf einer Analyse von Dickenmessungen wird folgende Definition der Bruchverformung empfohlen:

$$\varepsilon_f(l_e) = \varepsilon_g + \varepsilon_e \cdot \frac{t}{l_e}$$

wobei ε_g für die Gleichmaßdehnung und ε_e für die Einschnürung, t und l_e für die Plattendicke bzw. eine individuelle Elementlänge steht.

Die Werte der Gleichmaßdehnung und der Einschnürung, die aus den Dickenmessungen für Schiffsbau Stahl mit einem Höchstwert ReH von 355 N/mm² gewonnen worden sind, beziehen sich auf den errechneten Spannungszustand und wurden in die folgende Tabelle eingetragen:

Tabelle 5

Spannungszustand	1-D	2-D
ε_g	0,079	0,056
ε_e	0,76	0,54
Element Typ	Stab, Balken	Schalenelement

Sehr viel realistischere ε_g und ε_e -Werte erhält man durch zusätzliche Dickenmessungen aus modellhaften Havariefällen und Experimenten, die ausgewertet worden sind.

Andere Bruchkriterien können akzeptiert werden, wenn in ausreichenden Tests deren Eignung nachgewiesen werden kann.

G-Tankschiff spezifisch

Das Bruchkriterium für den Gastank basiert auf der äquivalenten plastischen Dehnung. Ein typischer Wert für die Bruchdehnung ist 0,15. Äquivalente plastische Dehnungen verbunden mit Stauchungen sind zu ignorieren.

Ermittlung der Energieabsorptionskapazität

Die Energieabsorptionskapazität ist die Summe der inneren Energie (Energie aufgrund der Verformung von Material) und der Reibungsenergie (Energie aufgrund von Reibung).

Der Reibungskoeffizient μ_c ist wie folgt definiert:

$$\mu_c = FD + (FS - FD) \cdot e^{-DC|v_{rel}|}$$

mit

FD	=	0.1,
FS	=	0.3,
DC	=	0.01
$ v_{rel} $	=	Relative Reibungsgeschwindigkeit.

Eine Kurve, die die Kollisionskraft mit der Eindringtiefe vergleicht ist der anerkannten Klassifikationsgesellschaft vorzulegen.

Typ G-Tankschiff spezifisch

Um für das Typ G-Tankschiff die gesamte Menge an aufgenommener Energie zu erhalten, sollte die Energie, die aufgrund der Gaskompression während der Kollision aufgenommen wird, berechnet werden.

Die Energie die durch das Gas aufgenommen wird ist gleich:

$$E = \frac{p_1 \cdot V_1 - p_0 \cdot V_0}{1 - \gamma}$$

mit:

γ	c_p/c_v (1.4)
c_p	spezifische Wärmekapazität bei Konstantem Druck [J/(kgK)]
c_v	spezifische Wärmekapazität bei Konstantem Volumen [J/(kgK)]
p_0	Druck zu Beginn der Kompression [Pa]
p_1	Druck am Ende der Kompression [Pa]
V_0	Volumen zum Beginn der Kompression [m ³]
V_1	Volumen zum Ende der Kompression [m ³]

4.4 Voraussetzung des stoßenden Schiffs und Definition rammender Bug

Es sind mindestens zwei Arten von Bugformen des stoßenden Schiffs für die Berechnung der Kollisionsenergie-Absorptionskapazität zu verwenden:

- Bugform I: Schubleichter-Bug (*siehe 4.6*).
- Bugform II: V-förmiger Bug ohne Wulst (*siehe 4.6*).

Da in den meisten Kollisionsfällen der Bug des stoßenden Schiffes im Vergleich zur Seitenkonstruktion des getroffenen Schiffes nur leichte Deformationen aufweist, wird ein rammender Bug im Allgemeinen als starr definiert. Ausschließlich in speziellen Situationen, in denen das getroffene Schiff über eine äußerst feste Seitenstruktur im Vergleich zum rammenden Bug verfügt, und das strukturelle Verhalten des getroffenen Schiffes durch die plastische Deformation des rammenden Bugs beeinflusst wird, ist der rammende Bug als verformbar anzusehen. In diesem Falle sollte die Struktur des rammenden Bugs ebenfalls modelliert werden. Dies ist mit einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft abzustimmen.

4.5 *Definition von Kollisionsfällen*

Bezüglich der Definitionen von Kollisionsfällen werden folgende Annahmen getroffen:

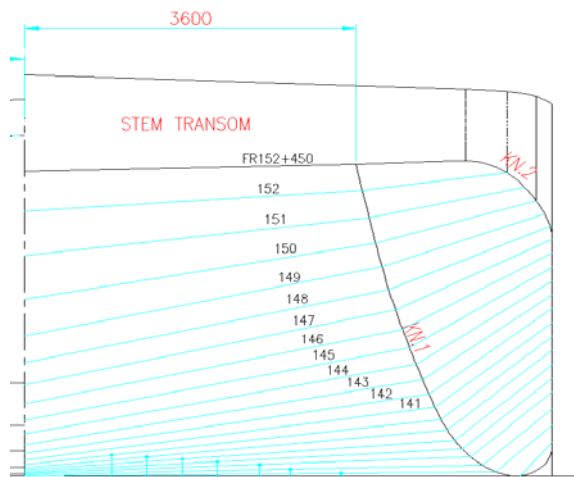
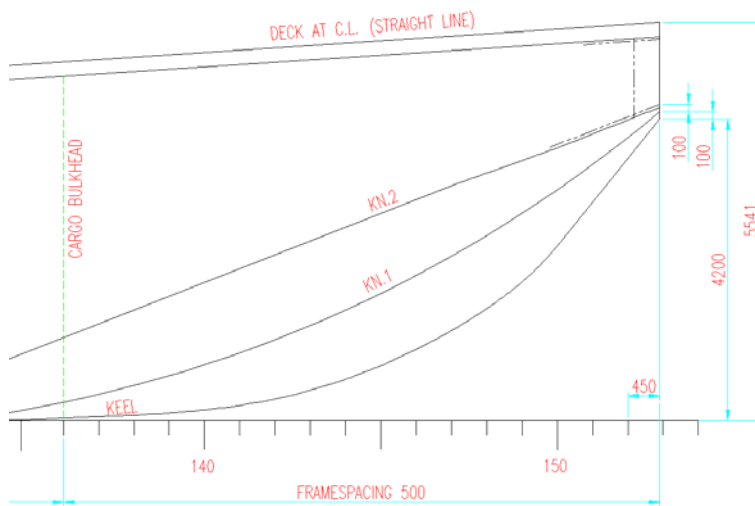
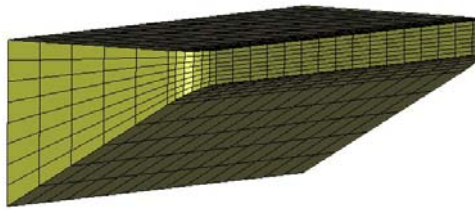
- Als Rammwinkel zwischen rammendem und getroffenerm Schiff werden 90° bei der V-förmiger Bug ohne Wulst und 55° bei der Schubleichterbug zugrunde gelegt;
- Das getroffene Schiff macht keine Fahrt, während das rammende Schiff die Seite des getroffenen Schiffs bei einer konstanten Geschwindigkeit von 10 m/s anfährt.

Die Geschwindigkeit von 10 m/s ist nur ein Wert für die FE-Analyse.

Die umgewandelte Deformationsenergie des gerammten Schiffs hängt von den Kollisionspositionen der Schiffe in vertikaler Richtung ab, die von den skizzierten Unterschieden des rammenden und getroffenen Schiffs abhängen. Die Deformationsenergie wird darüber hinaus von der Kollisionsposition in Längsrichtung bestimmt, die vom seitlichen Strukturaufbau des getroffenen Schiffs abhängt.

4.6 Zeichnungen

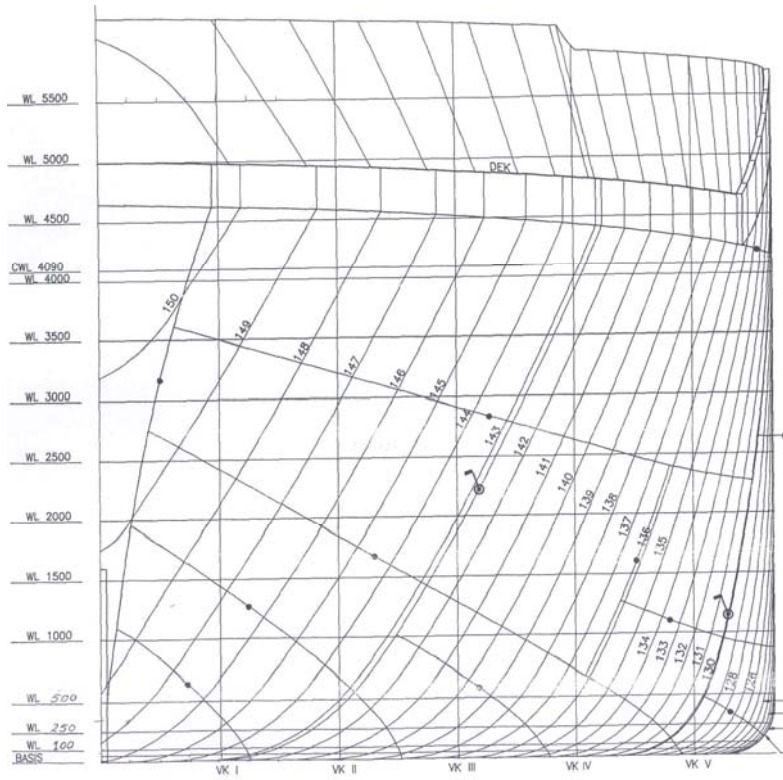
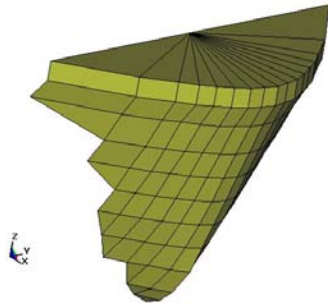
Schubleichterbug



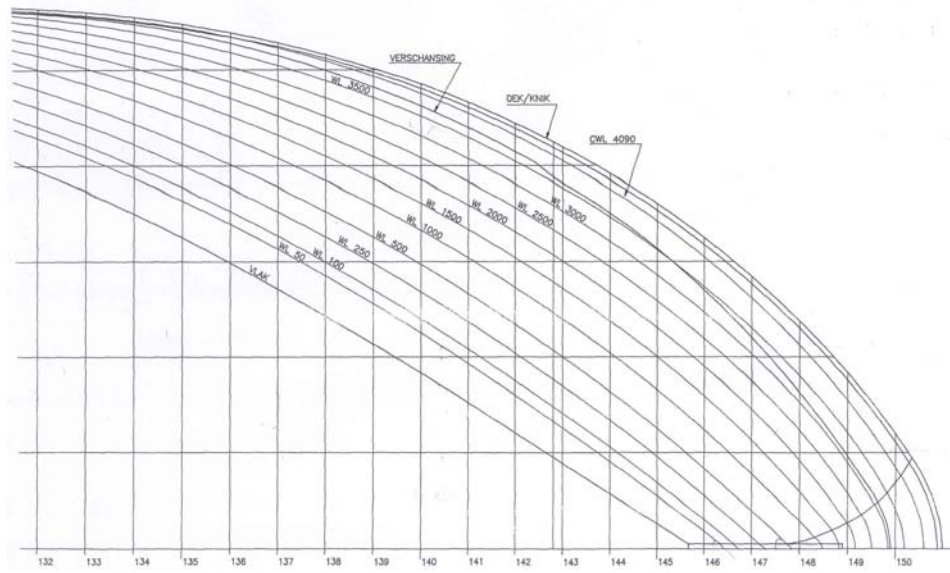
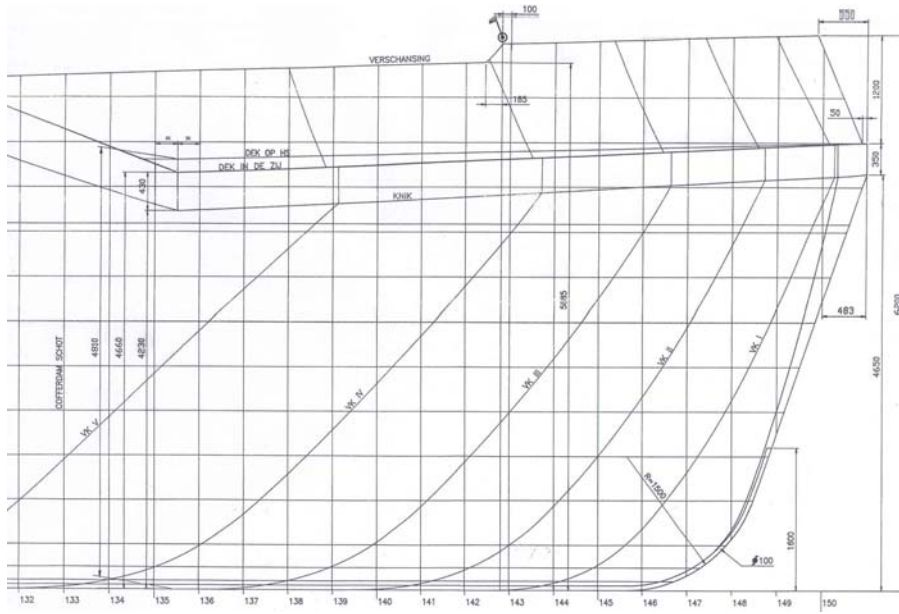
Breite: 11,50 m

Formatted: Right: 0 pt

V-förmiger Bug



Breite: 11,35 m
Spantabstand: 500 mm



VK-Abstand: 1000 mm“

Formatted: Right: 0 pt