

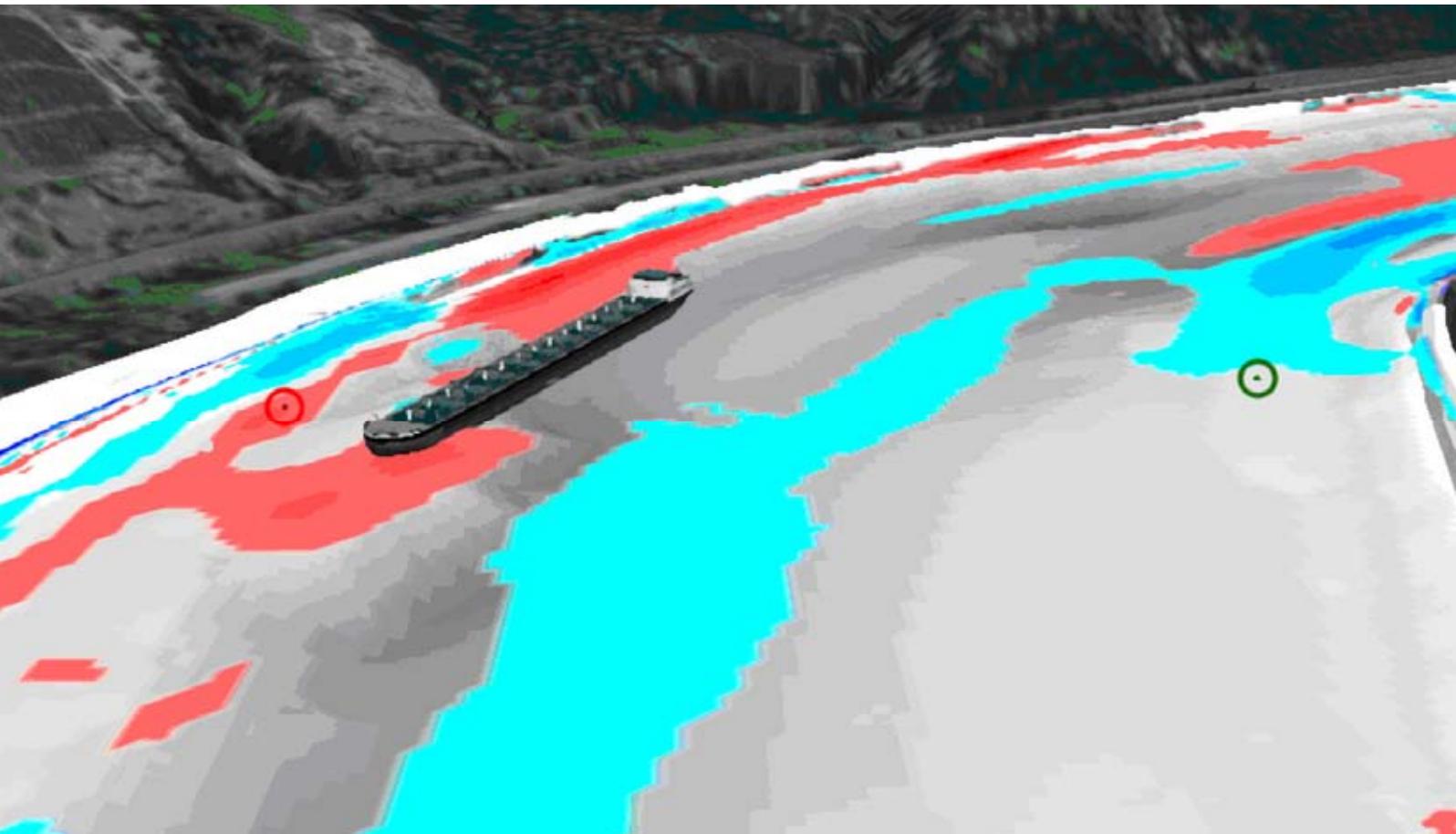


WSV.de

Wasser- und
Schiffahrtsverwaltung
des Bundes

Bericht

über den Ablauf und die Ursachen der Havarie des
Tankmotorschiffes „Waldhof“ am 13. Januar 2011 auf
dem Mittelrhein (Rhein-km 553,75)



Inhaltsverzeichnis

0	Vorbemerkung	5
1	Zusammenfassung	7
2	Darstellung der ermittelten Tatsachen	13
2.1	Schiff	13
2.1.1	Grunddaten	14
2.1.2	Schiffseichung	15
2.1.3	Ladetanks	15
2.1.4	Kraftstofftanks	16
2.1.5	Stabilitätsnachweis	17
2.1.6	Zulassung nach ADNR und Stoffliste	20
2.2	Besatzung und Befähigungszeugnisse	21
2.2.1	Besatzung	21
2.2.2	Befähigungszeugnisse (Patente und Sachkundenachweise)	22
2.3	Ladung	23
2.3.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften der Ladung	24
2.3.2	Verteilung der Ladung in den Tanks	25
2.3.3	Transport von Ladung mit hoher Dichte auf früheren Reisen	25
2.4	Beladung und Besatzungswechsel am 12. Januar 2011	26
2.5	Talfahrt am 12. und 13. Januar 2011 von Ludwigshafen bis Oberwesel	26
2.5.1	Hydrologische und hydraulische Verhältnisse	27
2.5.2	Meteorologische Verhältnisse	28
2.5.3	Nautische Verhältnisse	29
2.6	Inspektion des TMS „Waldhof“ nach der Bergung	30
2.7	Vorschriften über den Gefahrguttransport auf dem Rhein	31
2.8	Schiffahrtspolizeiliche Regelungen auf dem Rhein	31
3	Ablauf der Havarie	33
3.1	Merkmale des Radarsystems der Revierzentrale Oberwesel	33
3.1.1	Radarstationen zur Erfassung des Schiffsverkehrs	33
3.1.2	Darstellung des Schiffsverkehrs in der Revierzentrale Oberwesel	33
3.1.3	Identifizierung von Schiffen	35
3.1.4	Aufzeichnung des Schiffsverkehrs	35
3.1.5	Erfassungsbereiche der Radarstationen	35
3.1.6	Typische Echoflächenverzerrungen bei Radarzielen	36
3.1.7	Entstehung von Scheinzielen im Radarbild	37
3.1.8	Besonderheiten in der Darstellung von AIS-Daten	37
3.2	Auswertung der Radaraufzeichnungen der Revierzentrale	38
3.2.1	Darstellung und Bewertung ausgesuchter Radarbilder	38
3.2.2	Detailanalyse der von der Radarstation R3 (gegenüber der „Loreley“) gewonnenen Radarechos des TMS „Waldhof“	54
3.2.3	Tabellarische Darstellung der Spurpunkte des TMS „Waldhof“	62

3.2.4	Darstellung aller Spurpunkte des TMS „Waldhof“	64
3.3	Einzelne Phasen des Ablaufs der Havarie	66
3.3.1	Schiffsbegegnungen von Rhein-km 547 bis zum „Kammereck“	66
3.3.2	Begegnung am „Betteck“ mit dem GMS „Acropolis“	67
3.3.3	Havarie des TMS „Waldhof“	68
3.3.4	Begegnung mit dem Schubverband „Vera“	70
3.3.5	Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“	71
3.3.6	Kollision mit dem linken Rheinufer	72
3.3.7	Begegnung mit dem TMS „Emma“	75
3.3.8	Begegnung mit dem SV „Colombia“ und Festkommen des TMS „Waldhof“	76
4	Folgen der Havarie	81
4.1	Menschliche Verluste, Personen- und Sachschäden	81
4.1.1	Menschliche Verluste und Personenschäden	81
4.1.2	Sach- und Vermögensschäden	81
4.2	Sperrung des Rheins für die Schifffahrt	82
4.3	Produktaustritt und Wassereintritt in die Ladetanks	84
4.3.1	Hochgeschwindigkeitsventile (High Jet Ventile)	85
4.3.2	Hochgeschwindigkeitsventile des TMS „Waldhof“	86
4.3.3	Ladungsaustritt	86
4.3.4	Wassereintritt in die Ladetanks	87
5	Unfallanalyse	89
5.1	Stabilität des TMS „Waldhof“	89
5.1.1	Allgemeines	89
5.1.2	Stabilitätsvorschriften der RheinSchPV und des ADN/ADNR	89
5.1.3	Berechnungen der Stabilität am Unfalltag	90
5.1.3.1	Berechnungen der Intaktstabilität	91
5.1.3.2	Löcher in der Backbordkimm - Feuerwehrschräume	92
5.1.4	Stabilitätsnachweis - ADNR-Bescheinigung - Zulassungszeugnis	93
5.2	Untersuchung der Kenterung des TMS „Waldhof“	95
5.2.1	Einsatz des Binnenschiffsführungssimulators	95
5.2.2	Bewertung der Verkehrssituation vor der Kenterung (Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“)	100
5.2.2.1	Festlegung des Begegnungs- und Havariebereiches	101
5.2.2.2	Schiffsgeschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ und des GMS „Acropolis“	104
5.2.2.3	Bewertung der Schiffsgeschwindigkeit	108
5.2.2.4	Zwischenergebnis I	110
5.2.2.5	Einfluss der Strömung auf den Ort der Begegnung	111
5.2.2.6	Kurswege des TMS „Waldhof“ und des GMS „Acropolis“	112
5.2.2.7	Zwischenergebnis II	115
5.2.2.8	Betriebszustand der Hauptantriebsanlage des TMS „Waldhof“	115
5.2.2.9	Zwischenergebnis III	120
5.2.2.10	Schiffahrtspolizeiliche Bewertung der Begegnung am „Betteck“	120
5.2.2.11	Nautische Bewertung der Begegnung am „Betteck“	122
5.2.3	Untersuchung der Kenterung des TMS „Waldhof“ am Schiffsführungssimulator	123
5.2.3.1	Schiffsstabilität	123

5.2.3.2	Simulation der Fahrt des TMS „Waldhof“	125
5.2.3.3	Bewertung der Simulationsergebnisse	128
5.2.4	Erweiterte dreidimensionale Strömungsuntersuchungen des Rheins	129
5.2.4.1	Aufbau des 3D-HN-Modells	131
5.2.4.2	Verifizierung des 3D-HN-Modells	132
5.2.4.3	Strömungsverhältnisse des Rheins zum Zeitpunkt der Kentierung	134
5.2.4.4	Analyse der Fließgeschwindigkeiten entlang der simulierten Fahrspur	137
5.2.5	Dreidimensionale kinetische Untersuchungen zum Kentervorgang unter Berücksichtigung der Ladung (freie Oberfläche) in den teilgefüllten Tanks	142
5.3	Simulation des Havarieszenarios nach der Kentierung bis zur Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“	151
5.4	Menschliche Faktoren (human factors)	156
5.5	Zusammenfassung der Unfallanalyse	157
6	Ablauf und Ursachen der Havarie	159
6.1	Ablauf der Havarie	160
6.2	Ursachen der Havarie	162
7	Vorschläge und Empfehlungen	163
7.1	Änderungen des ADN	163
7.2	Änderungen der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung	163
7.3	Prüfungen zum Erwerb des Großen Rheinpatents	163
7.4	Ausbildung der Binnenschiffer	163
7.5	Schulung des Personals der Tankschiffsreedereien	163
7.6	Weitere Vorschläge	164
8	Schlussbemerkung	165
	Abkürzungsverzeichnis	166
	Begriffserläuterungen	167
	Abbildungsverzeichnis	169
	Tabellenverzeichnis	173
	Quellenangaben	174
	Verzeichnis der Anlagen	175
	Anlage 1	177
	Anlage 2	181
	Anlage 3	191
	Anlage 4	199
	Anlage 5	201
	Anlage 6	203
	Anlage 7	205
	Anlage 8	219

o Vorbemerkung

Mit Erlass vom 31.01.2011 hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest als zuständiger Schifffahrtspolizeibehörde den Auftrag erteilt, die Ursachen für die Havarie des Tankmotorschiffes „Waldhof“ am 13. Januar 2011 im Rahmen eines unabhängigen und weisungsfreien Verwaltungsverfahrens zu untersuchen. Da es im Bereich der Binnenschifffahrt in Deutschland keine gesonderten gesetzlichen Grundlagen für eine amtliche Unfalluntersuchung gibt, wird diese Untersuchung in Anlehnung an die Bestimmungen des Seesicherheits-Untersuchungs-Gesetzes durchgeführt. Das bedeutet insbesondere, dass die Untersuchung ausschließlich folgenden Zwecken dient:

- der Ermittlung der Umstände des Unfalles, der unmittelbaren und mittelbaren Ursachen, durch die es zu dem Unfall gekommen ist, und der Faktoren, die den Schadenseintritt begünstigt haben - einschließlich von Schwachstellen des Sicherheitssystems,
- der Erstellung eines Untersuchungsberichts und gegebenenfalls von Sicherheitsempfehlungen zur Verhütung künftiger schaden- oder gefahrverursachender Vorkommnisse sowie
- im Interesse erhöhter Sicherheit der Stärkung der Zusammenarbeit und der Sicherheitspartnerschaft der für die Sicherheit auf dem Rhein verantwortlichen Behörden.

Die Untersuchung dient hingegen weder der Ermittlung von Tatsachen zum Zwecke der Zurechnung von Fehlern, noch dient sie der Feststellung von Verschulden, Haftung oder Ansprüchen. Die Untersuchung dient ebenfalls nicht dem Zweck, die Folgen der Havarie (Abwicklung der Havarie, Sperrung des Rheins, wirtschaftliche Auswirkungen etc.) zu untersuchen und zu bewerten.

Aufgrund der Komplexität des Unfalls und der weit reichenden Havariefolgen hat sich zur Klärung der Unfallursache eine interdisziplinäre Expertengruppe konstituiert, die ein breites Spektrum an Fachwissen abbildet und in einer Untersuchungskommission bündelt. Die Kommission zur Untersuchung der Havarie des Tankmotorschiffes „Waldhof“ setzte sich aus folgenden Fachleuten zusammen:

Igor Alexander	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest – Mainz (Nautik)
Hans-Josef Braun	Berufsgenossenschaft für Verkehr und Transportwirtschaft (Sachverständiger für Schiffbau und Schiffsmaschinenbau, ADN)
Thorsten Dettmann	Bundesanstalt für Wasserbau – Karlsruhe (Schiffsführungssimulation)
Hanno Fimmen	Bundesanstalt für Wasserbau – Hamburg (Schiffbau)
Hermann Haberkamp	Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken – Koblenz (Funk- und Verkehrssicherungstechnik, Radar)
Heiner Katz	Bundesanstalt für Wasserbau – Hamburg (Schiffbautheorie)
Frank Krischok	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung – Berlin (Gefahrgüter/-stoffe, Chemie)

Frank Otremba	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung - Berlin (Gefahrgut tanks und Unfallmechanik)
Michael Pötzsck	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung - Berlin (Gefahrgut tanks und Unfallmechanik)
Rolf Zentgraf	Bundesanstalt für Wasserbau – Karlsruhe (Flusssysteme)
Michael Putzsckke	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest – Mainz (Schifffahrtspolizei - Recht).

Bei der Kenterung des Tankmotorschiffes „Waldhof“ hat ein Binnenschiffer sein Leben verloren; ein weiterer Schiffmann wird bis auf den heutigen Tag vermisst. Die Mitglieder der Untersuchungskommission sprechen den Angehörigen der Schifflente ihr aufrichtig empfundenes Mitgefühl und Beileid zu diesem tragischen Verlust aus.

Die Untersuchungskommission verleiht der Hoffnung Ausdruck, dass die Ergebnisse der Unfalluntersuchung und die Empfehlungen des Untersuchungsberichtes dazu beitragen mögen, dass sich ein derart schwerer und folgenreicher Unfall, wie er sich in den Morgenstunden des 13. Januar 2011 nahe der „Loreley“ zugetragen hat, nie wieder ereignen wird.

Mainz, den 8. Januar 2013



Igor Alexander



Hans-Josef Braun



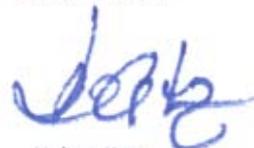
Thorsten Dettmann



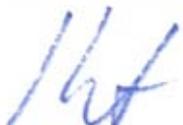
Hanno Fimmen



Hermann Haberkamp



Heiner Katz



Frank Krischok



Frank Otremba



Michael Pötzsck



Rolf Zentgraf



Michael Putzsckke

1 Zusammenfassung

Ablauf der Havarie

Das TMS „Waldhof“ verließ am 12. Januar 2011 gegen 21:30 Uhr mit einer Ladung von 2378 Tonnen 96 %iger Schwefelsäure (UN-Nummer 1830) Ludwigshafen/Rhein und begab sich auf Talfahrt zum beabsichtigten Löschhafen Antwerpen.

Nach Anmeldung bei der Revierzentrale Oberwesel am 13. Januar 2011 um 04:29 Uhr fuhr das Schiff um 04:32 Uhr in die radarüberwachte „Wahrschaustrecke“ des Rheins zwischen Oberwesel und St. Goar ein. Nach Begegnungen mit einem zu Berg fahrenden Schubverband und einem Tankmotorschiff passierte das TMS „Waldhof“ um 04:41 Uhr am „Betteck“ bei Rhein-km 553,43 ein zu Berg fahrendes Containerbinnenschiff. Um 04:42:19 Uhr kenterte das TMS „Waldhof“ kurz unterhalb des „Bettecks“ im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 um 180 Grad über die Steuerbordseite, verschwand von den Radarbildschirmen der Revierzentrale Oberwesel und trieb kieloben zu Tal.

Das gekenterte Fahrzeug trieb (Bug zu Tal) an einem bergfahrenden Schubverband vorbei, kollidierte um 04:46 Uhr bei Rhein-km 554,55 mit einem ebenfalls zu Berg fahrenden Tankmotorschiff und wurde dann um 04:48 Uhr bei Rhein-km 554,85 von der Strömung mit dem Bug in das linke Rheinufer (Vorland) gedrückt.

Anschließend löste sich das TMS „Waldhof“ wieder aus dem linksrheinischen Ufer, trieb weiterhin kieloben quer in der Strömung und in der Fahrrinne liegend zu Tal und passierte um 04:49 Uhr ein weiteres zu Berg fahrendes Tankmotorschiff. Um 04:51 Uhr begegnete das gekenterte TMS „Waldhof“ einem zu Berg fahrenden Schubverband und kam anschließend um 04:52 Uhr bei Rhein-km 555,33 zuerst mit dem Heck fest, richtete sich aufgrund des Strömungsdrucks auf, wurde von der Strömung zum rechten Fahrrinnenrand gedrückt, und kam - Bug zu Tal - auf der Backbordseite liegend zum Stillstand.

Folgen der Havarie

Aufgrund des Kenterns des TMS „Waldhof“ verlor ein Schiffmann sein Leben, ein weiterer Schiffmann wird bis zum heutigen Tage vermisst. Zwei Besatzungsmitglieder wurden bei dem Unglück zum Teil erheblich verletzt und konnten gerettet werden.

Der Rhein war bis zum Abschluss der Bergungsmaßnahmen über einen Zeitraum von 32 Tagen für den Schiffsverkehr partiell oder vollständig gesperrt, so dass insbesondere oberhalb der Unfallstelle bis zu 450 Schiffe an einer weiteren Talfahrt gehindert waren.

Als unmittelbare Folge des Kenterns und der Lage des TMS „Waldhof“ auf der Backbordseite nach dem Festkommen sind nach Schätzungen zwischen 343 Tonnen und 523 Tonnen Schwefelsäure über die Hochgeschwindigkeitsventile des Schiffes in den Rhein geflossen. Ungefähr 555 Tonnen Schwefelsäure sind vor der Bergung in ein anderes Tankschiff geleichtert worden. Darüber hinaus sind im Zuge der Bergungsmaßnahmen vom 7. Februar 2011 bis zum 10. Februar 2011 ca. 1150 bis 1330 Tonnen Schwefelsäure kontrolliert in den Rhein eingeleitet worden. Nach der Bergung sind ca. 150 Tonnen von Bord des TMS „Waldhof“ als Restladung abgepumpt und fachgerecht entsorgt worden.

Analyse der Havarie

Die Untersuchung zur Kentern des TMS „Waldhof“ erbrachte folgende Ergebnisse:

- Aufgrund der Auswertungen der Radaraufzeichnungen, der durchgeführten Simulationen am Schiffsführungssimulator sowie der ergänzenden dreidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (3D-HN-) Simulationen steht fest, dass das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 über die Steuerbordseite um 180 Grad kenterte;
- Bau und Ausrüstung des TMS „Waldhof“ entsprachen den zum Unfallzeitpunkt (bzw. den zum Zeitpunkt des Baus/Umbaus des Tankmotorschiffes) einschlägigen Vorschriften des Schifffahrtspolizei- und des Gefahrgutrechts;
- Qualifikation und Anzahl der an Bord befindlichen Besatzung entsprachen den Vorschriften der Rheinschiffsuntersuchungsordnung und der Rheinpatentverordnung;
- Geschulte und geprüfte Sachkundige für die „Chemie-Tankschiffahrt“ im Sinne der Gefahrgutvorschriften befanden sich an Bord;
- Die Talfahrt des TMS „Waldhof“ am 13.01.2011 bei erhöhtem Wasserstand über der Hochwassermarke I, bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten und bei einem besonders hohen Verkehrsaufkommen während der Nacht entsprach den allgemeinen und besonderen schifffahrtspolizeilichen Verkehrsvorschriften der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung;
- Der Transport von 96 %iger Schwefelsäure (Dichte = 1,84 t/m³) durch das TMS „Waldhof“ war nach dem für das Schiff erteilten ADNR-Zulassungszeugnis i. V. mit der von der Klassifikationsgesellschaft ausgestellten „Stoffliste“ qualitativ zulässig;
- Nach den von der Klassifikationsgesellschaft geprüften, ergänzten und genehmigten Stabilitätsberechnungen, die Bestandteil der nach Unterabschnitt 8.1.2.3 c ADN 2011 mitzuführenden Stabilitätsunterlagen des TMS „Waldhof“ geworden sind,
 - war die Leckstabilität für das TMS „Waldhof“ nur für Ladefälle bis zu einer Dichte der Ladung von 1,62 t/m³ mit einem maximalen Tiefgang von 3,11 m nachgewiesen;
 - durften andere Ladefälle als die von der Klassifikationsgesellschaft geprüften nur gefahren werden, wenn sich ein vom Germanischen Lloyd zugelassener Ladungsrechner an Bord befunden hätte, der in der Lage gewesen wäre, Ergebnisse basierend auf der Längsfestigkeit, Intakstabilität und Leckstabilität zu erstellen; ein derartiger zugelassener Ladungsrechner befand sich allerdings nicht an Bord des TMS „Waldhof“;
- Die zulässige maximale Füllhöhe der sieben Ladetanks (70,8 %) war mit Füllungsgraden zwischen 50 % bis 61 % nicht überschritten, so dass die Längsfestigkeit des Schiffskörpers nicht gefährdet war;
- Zum Havariezeitpunkt erfüllte das TMS „Waldhof“ weder die Stabilitätskriterien des ADNR 2003 noch die des ADN 2011 und genügte nicht den Vorgaben der allgemeinen Stabilitätsvorschrift des § 1.07 Nr. 3 RheinSchPV;
- Die Untersuchungen auf dem Schiffsführungssimulator haben ergeben, dass bei Rhein-km 553,75 im Bereich der Havariestelle die krängenden Rollmomente ein Maximum aufweisen;

- Aus den Ergebnissen der 3D-HN-Modellierung ist zu ersehen, dass etwa bei Rhein-km 553,7 im Bereich neben der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne innerhalb der Fahrrinne Strömungen existieren, die für einen Talfahrer ein krängendes Moment in Richtung Steuerbord erzeugen;
- Die erweiterten dreidimensionalen kinetischen Berechnungen mit den Eingangsdaten aus dem Schiffsführungssimulator zeigen, dass die Summe aller krängenden Momente im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 zum Kentern des TMS „Waldhof“ führen.

Ursachen der Havarie

Die Ursachen für die Havarie lagen darin, dass

- das TMS „Waldhof“ die Fahrt angetreten und durchgeführt hat, obgleich eine ausreichende und vorschriftenkonforme Stabilität (Schwimmstabilität) des Fahrzeugs aufgrund unzulässiger Beladung (Teilfüllung aller sieben Ladetanks) nicht vorgelegen hat.

Darüber hinaus trugen zur Havarie bei

- die hohen Querbeschleunigungen infolge der Kurvenfahrt am „Betteck“ mit einem sehr kleinen Radius;
- die krängenden Momente aus den dynamischen Effekten bei der Bewegung der Ladung in den Tanks;
- die krängenden Momente infolge der örtlichen Umströmung des Schiffskörpers und sich herausbildender Unterdruckgebiete an der Steuerbordkimm des Schiffes im Bereich der Havariestelle bei Rhein-km 553,75.

In der Summe überschritten die krängenden Momente insbesondere aus der Kurvenfahrt, der Ladungsverschiebung inkl. Sloshing und der dreidimensionalen Umströmung des Schiffskörpers mit den sich herausbildenden Unterdruckgebieten an der Steuerbordkimm des Schiffes das maximal mögliche aufrichtende Moment, so dass das unzulässig beladene Schiff über Steuerbord um 180 Grad kenterte.

Faktoren, die das Geschehen beeinflusst haben können, sind außerdem

- die schwierige und für die Schiffsführung des TMS „Waldhof“ ungewohnte Strömungssituation infolge des Hochwassers im Streckenabschnitt unterhalb des „Bettecks“;
- der Einfluss der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ (Einfluss der Kurslinie) bei Nacht;
- das hohe Verkehrsaufkommen (Bergfahrt);
- die fehlenden Möglichkeiten an Bord, von den im „Stabilitätsbuch“ geprüften und genehmigten Ladefällen abweichende Ladefälle zu berechnen und hinsichtlich der Einhaltung der Stabilitätskriterien des ADN zu überprüfen;
- die fehlende Ausrüstung des TMS „Waldhof“ mit AIS.

Die Unfalluntersuchung hat hingegen keine belastbaren Anhaltspunkte dafür ergeben, dass bei TMS „Waldhof“ Bau- oder Ausrüstungsmängel, technische Defekte, Ausfälle der Maschinen- oder Ruderanlage, Leckagen oder nautische Fahrfehler der Schiffsführung vorgelegen hätten.

Als Ursache oder Mitursache der Kenterung sind diese Faktoren ebenso auszuschließen wie Grundberührungen oder Uferanfahrungen .

Vorschläge und Empfehlungen

In Auswertung der während des Unfalluntersuchungsverfahrens gewonnenen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der zum 1. Januar 2013 in Kraft tretenden Änderungen und Ergänzungen des ADN werden folgende weitere Maßnahmen vorgeschlagen und empfohlen:

- Die Regelung des Absatzes 7.2.4.21.3 ADN 2011 (Berechnung des maximal zulässigen Füllungsgrades der Ladetanks) erscheint im Hinblick auf die inhaltlichen Erweiterungen des ADN 2013 überflüssig und sollte mit dem Ziel überprüft werden, die Vorschrift zukünftig zu streichen.
- Auf dem Rhein sollte
 - eine verpflichtende Ausrüstungs- und Benutzungspflicht von AIS mit Inland-ECDIS beschlossen und zügig umgesetzt werden;
 - am „Betteck“, am „Bankeck“ und am „Tauberwerth“ ab Erreichen der Hochwassermarkte I in Anbetracht der hohen Strömungsgeschwindigkeiten sowie der Regelung des § 10.01 Nr. 1 a und b RheinSchPV ein Begegnungsverbot für Fahrzeuge und Verbände (ausgenommen Kleinfahrzeuge) eingeführt werden.
- Die Prüfungen zum Erwerb des Großen Rheinpatents nach der Verordnung über das Schiffspersonal auf dem Rhein sollten dahingehend erweitert werden, dass Fragen zur Schwimmstabilität (Intakt- und Leckstabilität) in der Trockengüterschifffahrt, der Tankschifffahrt und der Containerschifffahrt in erweiterter Form in das Prüfungsprogramm mit aufgenommen werden.
- Die Ausbildungsinhalte der verschiedenen Schifferberufsschulen sollten insoweit überprüft und ggf. dahingehend erweitert werden, dass den angehenden Binnenschiffern ausreichende Kenntnisse über die Schwimmstabilität in der Trockengüterschifffahrt, der Tankschifffahrt und der Containerschifffahrt sowie über die allgemeine Funktionsweise, die Möglichkeiten und die Grenzen von Ladungsrechnern vermittelt werden.
- Die Eigentümer und/oder Betreiber von Tankschiffen sollten sowohl das eigene nautische Personal an Bord als auch das nicht nautische Personal an Land (Disponenten) regelmäßig im Rahmen interner oder externer Schulungen zu Fragen der Schwimmstabilität und Schiffssicherheit fortbilden. Das nautische Personal an Bord sollte darüber hinaus regelmäßig im Umgang und der Anwendung der speziellen Ladungsrechner an Bord der reedereieigenen Tankschiffe eingewiesen und geschult werden.
- Die für die Erteilung eines Schiffsattestes zuständigen Behörden sollten - soweit möglich - den Eintrag des größten Tiefgangs im Schiffsattest unter Berücksichtigung des kleinsten der maximal zulässigen Tiefgänge aus Stabilität, Festigkeit und Freibord vornehmen.
- Die zuständigen Gremien sollten die Möglichkeit prüfen, in der Inland-ENC des Rheins für den Bereich der Gebirgsstrecke zwischen Oberwesel und St. Goar eine „Caution Area“ auszuweisen, die die Schiffsführungen auf die Besonderheiten dieser Strecke (z.B. Strömungsverhältnisse über der Hochwassermarkte I etc.) hinweist und besonders darauf aufmerksam macht.

Die im Kontext der Kenterung des TMS „Waldhof“ in Fachkreisen und in der interessierten Öffentlichkeit viel diskutierte Frage über die Notwendigkeit von Mittellängsschotten bei Doppelhüllenschiffen bewertet die Unfalluntersuchungskommission wie folgt:

Doppelhüllenbinnentankschiffe mit sog. Centertanks sind grundsätzlich sicher, soweit die bestehenden Stabilitätsvorschriften des ADN strikt beachtet und angewendet sowie die von der Klassifikationsgesellschaft geprüften und zum jeweiligen Schiff gehörenden Stabilitätsberechnungen („Stabilitätshandbuch“) bei der Beladung des Schiffes umfassend berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund erachtet die Untersuchungskommission eine Änderung der Bauvorschriften des ADN dahingehend, dass bei Doppelhüllentankschiffen zwingend sog. Mittellängsschotte einzubauen sind, nicht für erforderlich. Die Bestimmungen des ADN 2011 über die Schwimmstabilität - bzw. die Vorschriften des in dieser Hinsicht erweiterten ADN 2013 - stellen im Vergleich zum Einbau von Mittellängsschotten in Centertanks ein vergleichbares Sicherheitsniveau dar, so dass es dem jeweiligen Eigentümer des Tankschiffes überlassen bleiben sollte, ob die eine oder die andere Variante gewählt wird.

2 Darstellung der ermittelten Tatsachen

2.1 Schiff

Das TMS „Waldhof“ wurde am 1. September 1993 auf der niederländischen Werft „K. Damen Scheepswerf B.V.“ in Hardinxveld-Giessendam (Südholland) auf Kiel gelegt und ist am 1. Februar 1994 als Chemikalientankschiff in Doppelhüllenbauweise mit Centertanks unter der Aufsicht der anerkannten Klassifikationsgesellschaft „Lloyd’s Register of Shipping“ fertig gestellt worden. Die ursprünglichen Abmessungen des Fahrzeugs betragen 86 m Länge und 10,50 m Breite mit fünf Ladetanks aus Edelstahl, wobei das TMS „Waldhof“ für die Beförderung von Stoffen bis zu einer max. Dichte von 1,800 t/m³ zugelassen war, die in späteren Zulassungszeugnissen auf 1,200 t/m³ reduziert worden ist.

Im Jahr 2004 ist das Fahrzeug auf der Duisburger „Neuen Ruhrorter Schiffswerft“ unter der Bauaufsicht des Germanischen Lloyd (GL) um 24 m verlängert und in die Klasse des GL aufgenommen worden, wobei zwei weitere Edelstahlladetanks eingebaut wurden. 2007 erfolgte der Einbau einer neuen Hauptantriebsmaschine.



Abbildung 2-1: TMS „Waldhof“ (Photo © Michael Harms - www.micharms.de)

2.1.1 Grunddaten

Tabelle 2-1: Grunddaten des TMS „Waldhof“

Name des Schiffes	„Waldhof“
Art des Schiffes	Tankmotorschiff
Typ	Tankschiff Typ C - Doppelhülle
ENI	04607590
Ort der Registrierung	Binnenschiffsregister Mannheim
Heimatort	Mannheim
Baujahr	1993
Jahr des Umbaus	2004
Länge (über alles)	109,95 m
Breite (über alles)	10,50 m
Tiefgang	3,15 m (gemäß Schiffsattest)
Tragfähigkeit	2426,491 t
Freibord	46 cm
Leergewicht	766 t (gemäß Berechnung Ingenieurbüro - 2005)
Hauptmotor	1 mit 1104 kW Leistung - 800 U/min
Propeller	1 mit 5 Flügeln in Düse - rechts drehend - 1700 mm Ø
Ruderblätter	2
Bugstrahlruder	1 (200 kW)
Buganker	2
Heckanker	1
Laderäume	7 Centertanks, 1 Sloptank
Fahrtzulassung	Rhein zwischen Basel und dem offenen Meer
Betriebsformen	zugelassen für A1, A2 und B-Fahrt
Schiffsattest	DU 4342 der ZSUK (Mainz) vom 25.05.2009 - gültig bis 31.03.2015
Eichschein	DUD 2323 der ZSUK (Mainz) vom 12.11.2004 - gültig bis 11.11.2019
Klassenzertifikat	Nr. 101872 des Germanischen Lloyd vom 31. März 2010 - gültig bis 31.03.2015
Klassenzeichen	 100 A5 I IZ D 21 - „Tanker“ Typ C, Doppelhülle, integrierter Ladetank, geschlossen
ADNR-Bescheinigung	Nr. 41094 des Germanischen Lloyd vom 29.03.2010
ADNR-Zulassung	Zulassungszeugnis ZZ-MZ-2786 der ZSUK (Mainz) vom 30.03.2010 - gültig bis 31.03.2015
Rheinschiffahrts-Zugehörigkeitsurkunde	ausgestellt am 15.12.2009 - ZBBD (Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei) - Mainz
Sonstiges	Radar-Einmannsteuerstand mit 2 Radargeräten Typ Furuno RHRS 2005RC und Swiss Radar JFS 364 C integriertes Navigationssystem (Radarpilot 720°) Fahrtenschreiber (NUFATRON „Nautic-Tachograph“) Wendeanzeiger (Delta 500)

Mit einem Transponder für das „Automatische Identifikationssystem“ (AIS), einem Schiffsdatenschreiber (Voyage Data Recorder) und einem Ladungsrechner war das TMS „Waldhof“ nicht ausgerüstet (eine entsprechende Ausrüstungspflicht besteht auf dem Rhein nicht). Der Fahrtenstreifen NUFATRON „Nautic-Tachograph“ und das integrierte Navigationssystem Radarplot 720° standen für die Untersuchung der Havarie nicht zur Verfügung, da sie nach der Bergung des TMS „Waldhof“ am 13. Februar 2011 im zerstörten Steuerhaus nicht mehr aufgefunden wurden.

2.1.2 Schiffseichung

Nach der Verlängerung des TMS „Waldhof“ im Jahre 2004 auf eine Länge von 109,95 m fand am 12. November 2004 in Duisburg eine Neueichung des Fahrzeugs durch einen Eichsachverständigen der ZSUK Mainz statt. Die ermittelten Werte sind im Eichschein wie folgt dokumentiert (Auszug):

Tabelle 2-2: Eichschein des TMS „Waldhof“

gemittelte Eintauchung in cm	Tragfähigkeit in t
305	2316,856
306	2327,808
307	2338,760
308	2349,712
309	2360,664
310	2371,616
311	2382,591
312	2393,566
313	2404,541
314	2415,516
315	2426,491

2.1.3 Ladetanks

Tabelle 2-3: Ladetanks des TMS „Waldhof“

Ladetanks	7 (Edelstahl)	
Tankmessbrief	200411-48-B der Federale Overheidsdienst Economie (Gent - Belgien) vom 10.11.2004 - gültig bis 31.11.2016	
	Tanklänge	max. Fassungsvermögen (100 %)
Tank 1	11,61 m	329157 Liter
Tank 2	11,61 m	334457 Liter
Tank 3	11,99 m	345044 Liter
Tank 4	11,99 m	345432 Liter
Tank 5	11,61 m	334806 Liter
Tank 6	11,61 m	320842 Liter
Tank 7	11,61 m	336954 Liter
Tankinhalt (gesamt)	2346,692 m ³	
Breite der Tanks	8,44 m	
Höhe der Tanks (max)	3,54 m	

Die sieben Ladetanks des TMS „Waldhof“ sind den Bauvorschriften für Tankschiffe des Typs „C“ entsprechend (Abschnitt 9.3.2 ADNR 2003/ADN 2011 – Anlage 2) als sog. Centertanks ausgestaltet, d. h. sie verfügen über keine Mittellängs- oder Schwallischotte. Die Tanks sind untereinander durch Querschotte aus gesicktem Edelstahl getrennt.

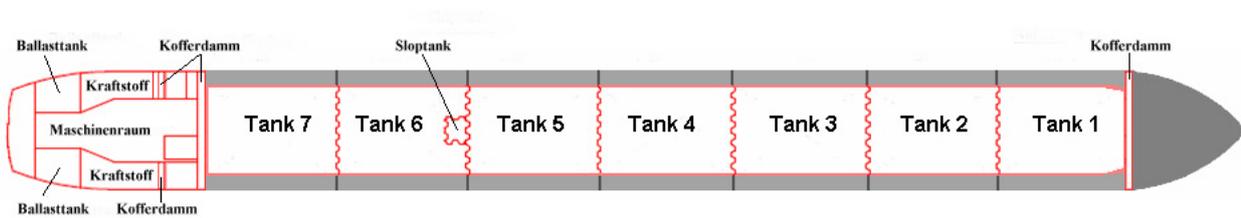


Abbildung 2-2: Schematischer Tankplan des TMS „Waldhof“

Die Doppelböden und die Wallgänge können abschnittsweise als Ballastzellen (Ballasttank 1 bis 7) für die Aufnahme von Ballastwasser genutzt werden.

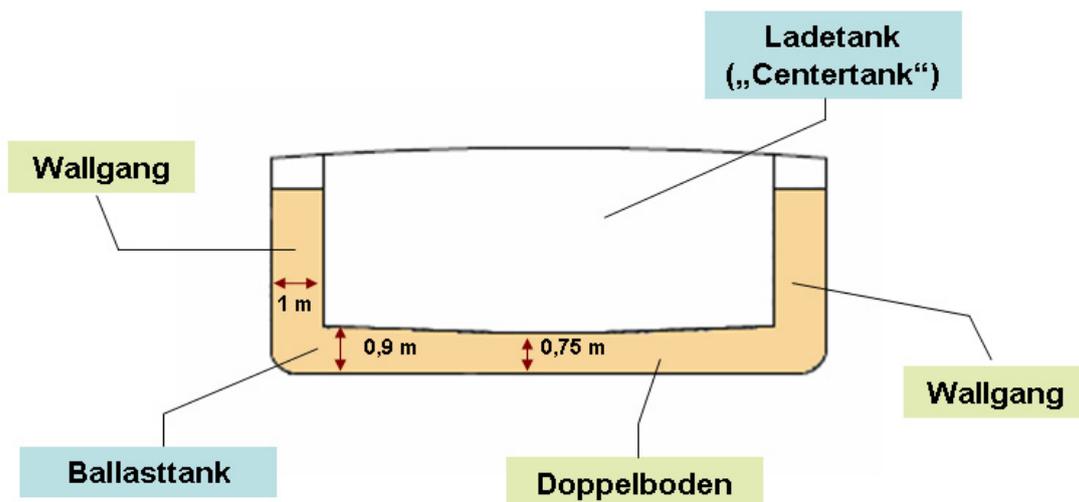


Abbildung 2-3: Schematischer Querschnitt des TMS „Waldhof“

2.1.4 Kraftstofftanks

Das TMS „Waldhof“ ist mit drei Kraftstofftanks ausgestattet: Im Achterschiff für die Hauptmaschine je ein Kraftstofftank an der Steuerbord- und der Backbordseite (Abbildung 2-2); im Vorschiff ein Kraftstofftank für das Bugstrahlruder.

Die letzte Bebungung vor der Havarie fand am 07.01.2011 in Millingen (Niederlande) statt, wobei bei einem vorhandenen Restbestand von 22800 Liter Kraftstoff weitere 17506 Liter Gasöl gebunkert worden sind.

2.1.5 Stabilitätsnachweis

Nach Absatz 9.3.2.13.1 ADNR 2003/ADN 2011 ist für Tankschiffe des Typs „C“ eine ausreichende Stabilität einschließlich Leckstabilität nachzuweisen, wobei eine ausreichende Intakstabilität für alle Stadien des Be- und Entladens und für den Endbeladungszustand nachgewiesen werden muss (Absatz 9.3.2.13.3 ADNR 2003/ADN 2011).

Der nach der Verlängerung des TMS „Waldhof“ auf 110 m Länge notwendig gewordene neue Nachweis der Stabilität ist von einem Ingenieurbüro für Schiffstechnik am 12.12.2004 erstellt und seitens des Germanischen Lloyd aus klassifikatorischer Sicht geprüft worden. Der geprüfte Nachweis enthält u. a. folgende Aussagen (Zitat):

„Nachweis der Leckstabilität
Resümee

Ausgangsdaten
Stabilitätsrechnung für das Tankmotorschiff „Waldhof“
Verlängerung um 24,00 m

Ausgangsdaten:

Hauptabmessungen

Länge

~~Vor dem Umbau~~ ————— ~~85,95 m~~

Nach dem Umbau 110,00 m

Breite 10,45 m

Seitenhöhe 4,10 m

Tiefgang (maximal zulässig)

~~Vor dem Umbau~~ ————— ~~2,80 m~~

Nach dem Umbau 3,15 m 3,11 m

Vorhandener Stabilitätsnachweis für Schiff vor dem Umbau

Stabilitätsberechnung

Bauwerft Scheepswerf K. Damen

Datum 9. Februar 1995

Ladungsdichte 1,8 t/m³ — zulässig

Tiefgang maximal 2,80 m

Füllmenge ca. 1455 t

Verteilung der Ladung

2 Ladetanks leer

3 Ladetanks je ca. 485 t

Die Ladetanks des Fahrzeugs sind für eine 100 % Füllung mit einer Produktdichte von 1,3 t/m³ ausgelegt. Sie werden allerdings nur zu 95 % gefüllt.

...

Die Berechnungen sollen u. a. die größte mögliche Ladungsmenge mit der größten möglichen Ladungsdichte ermittelt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Es wurden berechnet:

LZ – 1,05	
Dichte 1,05 t/m ³	Alle Ladetanks gefüllt zu 95 %
LZ – 1,30	
Dichte 1,30t/m ³	5 Ladetanks gefüllt zu 95 %; 1 Ladetank gefüllt zu 62 %; 1 Ladetank leer
LZ – 1,70	
Dichte 1,70 t/m ³	5 Ladetanks gefüllt zu 95 %; 2 Ladetanks leer

(Dieser Fall kann **nicht** gefahren werden, da die örtliche Festigkeit nur für eine Dichte von 1,3 t/m³ ausgelegt ist)

LZ – 1,62	
Dichte 1,62 t/m ³	5 Ladetanks gefüllt zu 80,2 %; 2 Ladetanks leer

Diese Dichte ergibt sich aus der Umrechnung der zulässigen Füllung durch Interpolation. Bei 2 leeren Tanks ist dann die zulässige Ladungsmenge unabhängig vom spezifischen Gewicht ziemlich genau 2200 t.

...

Bemerkung:

Die Längsfestigkeit für die Ladefälle mit „leeren Tanks“ wurde überprüft.“

Der Germanische Lloyd, unter dessen Bauaufsicht der Umbau des TMS „Waldhof“ stattfand, hat diese Stabilitätsberechnungen überprüft, teilweise korrigiert¹ und am 24.01.2005 mit den Hinweisen „Bemerkungen im Brief sind zu beachten“, „Eintragungen in rot sind zu beachten“ sowie für den Ladefall „LZ – 1,70“ mit dem Stempel „NOT APPLICABLE“ (nicht anwendbar) genehmigt.

Mit Begleitschreiben vom 24.01.2005 teilte der GL zu den Stabilitätsberechnungen ergänzend und erläuternd u. a. mit (Zitat):

„1. Allgemein

Lpp	= 110,00 m
Breite ü. a.	= 10,45 m
Seitenhöhe	= 4,10 m
Maximaler Tiefgang	= 3,11 m (von der Leckrechnung abgedeckt)

...

¹ die Anmerkungen, Unterstreichungen und Durchstreichungen des Germanischen Lloyd im originalen Leckstabilitätsnachweis des Ingenieurbüros sind in diesem Unfalluntersuchungsbericht in rotem Schriftbild wiedergegeben

4. Intaktstabilität

Zur Beurteilung der Stabilität sind die Kriterien des ADNR angewendet worden. Folgende Ladefälle entsprechen den Intaktkriterien des ADNR 9.3.2.14 für Tank-schiffe des Typs „C“:

Ladefall 1:

T= 3,10 m Displ.= 3155,3 t KG= 2,40 m Ladung mit rho=1,05 t/m³

Ladefall 2:

T= 3,11 m Displ.= 3160,6 t KG= 2,35 m Ladung mit rho=1,30 t/m³

Ladefall 3:

T= 2,96 m Displ.= 2998,2 t KG= 2,21 m Ladung mit rho=1,62 t/m³

Die Ladetanks sind breiter als 0,7B. ADNR 9.3.2.14.2 ist unseren Abschätzungen zufolge erfüllt. Bauartbedingt ist nur durch die Vorräteverteilung eine Krängung erzeugbar.

Stabilitätsmindernde Effekte durch freie Flüssigkeitsoberflächen bei teilgefüllten Tanks sind, unter Einhaltung der Anforderungen aus der Längsfestigkeit, so gering wie möglich zu halten.

5. Leckstabilität

Die unter Punkt 4. aufgeführten ... Ladefälle erfüllen für den Betriebszustand 50 % Vorräte die Leckstabilitätskriterien des ADNR 9.3.2.15.

Seitenlecks entsprechen den eingereichten Bodenlecks, da die Tanks der Doppelhülle als U-Tanks ausgeführt sind.

Der maximal in der Leckrechnung berücksichtigte Tiefgang beträgt 3,11 m.

Von dem Stabilitätsbuch abweichende Ladefälle werden vom Germanischen Lloyd nicht akzeptiert, es sei denn, ein vom Germanischen Lloyd zugelassener Ladungsrechner befindet sich an Bord, der in der Lage ist, Ergebnisse basierend auf der Längsfestigkeit, Intaktstabilität und Leckstabilität zu erstellen.

6. Lecksicherheitsplan

Der Lecksicherheitsplan stellt eine genehmigungspflichtige Bordunterlage dar (ADNR 1.2.1 und ADNR 8.1.2.3). Unsere Korrekturen haben wir in rot angebracht. Der Plan wurde in das Stabilitätsbuch auf Seite 4 eingeklebt.

7. Ergebnisse

Für die oben genannten Ausgangsfälle (siehe unter Punkt 4) wird ausreichende Intakt- und Leckstabilität nachgewiesen.

Sofern die Punkte unter 3 [Eingabedaten] ... vom Besichtiger bestätigt sind, sehen wir die Prüfung der Intakt- und Leckstabilität gemäß ADNR 9.3.2.15 aus klassifikatorischer Sicht als abgeschlossen an, solange sich keine Änderungen an den dokumentierten Randbedingungen oder an den Eingabedaten ergeben.“

Mit „ADNR-Bescheinigung für Tankschiffe/Tankschubleichter“ Nr. 62449 D vom 12.11.2004 hatte der Germanische Lloyd bereits bescheinigt, dass das TMS „Waldhof“ (Zitat)

„vom unterzeichnenden Besichtiger des Germanischen Lloyd anhand seiner Prüfliste Fo82D für Binnentankschiffe auf Einhaltung der ADNR-Vorschriften in der Fassung vom 01.01.2003 untersucht worden ist.“

2.1.6 Zulassung nach ADNR und Stoffliste

Gemäß Unterabschnitt 8.1.8.1 ADNR 2009 (Absatz 1.16.1.1.1 ADN 2011) müssen Tankschiffe, die gefährliche Güter befördern, mit einem auf sie ausgestellten Zulassungszeugnis versehen sein. Ferner wird gemäß Absatz 7.2.2.8.3 ADNR 2009 (Absatz 1.16.1.2.5 ADN 2011) von der Klassifikationsgesellschaft eine Bescheinigung ausgestellt, die alle gefährlichen Stoffe beinhaltet, die in dem Schiff befördert werden dürfen (Stoffliste²).

Nach dem Zulassungszeugnis der ZSUK vom 30.03.2010 ist das TMS „Waldhof“ aufgrund einer vorgelegten ADNR-Bescheinigung des GL vom 29.03.2010 (Unterabschnitt 8.1.8.3 ADNR 2009) zur Beförderung gefährlicher Güter zugelassen. Die zugelassene Dichte beträgt 1,300 t/m³. Die für den Transport gefährlicher Güter erforderliche „Stoffliste“ für das TMS „Waldhof“ hat der GL am 29.06.2010 ausgestellt. Sie beinhaltet u. a. auch „Schwefelsäure mit mehr als 51 % Säure (UN-Nr. 1830)“, gibt den maximalen Tankfüllungsgrad mit „97 %“ vor und enthält u. a. folgende ergänzende Bestimmungen (Ziffern 8, 22, 115 und 133 der „Zusätzlichen Anforderungen oder Bemerkungen“ des GL):

- „Wallgänge, Doppelböden und Heizschlangen dürfen kein Wasser enthalten.
- Die Dichte der Ladung muss im Beförderungspapier angegeben werden.
- Der Stoff ist nur für den Transport zugelassen, wenn der maximale Füllungsgrad nach Abschnitt 7.2.4.21.3 reduziert wird. Vor Anwendung des Art. 7.2.4.21.3 des ADNR sind die Ergebnisse der strukturellen Festigkeitsberechnungen des Schiffes sowie die in den geprüften Stabilitätsunterlagen vorge schlagenen Beladungsfälle zu berücksichtigen.
- Für den Transport dieses Produktes ist das Wasser aus den Heizschlangen vollständig zu entfernen.“

² bei der Erstellung der Stoffliste werden keine Stabilitätskriterien berücksichtigt

2.2 Besatzung und Befähigungszeugnisse

2.2.1 Besatzung

Die für die Fahrt auf dem Rhein an Bord erforderliche Besatzungsstärke (Mindestbesatzung) richtet sich nach den Vorgaben der Rheinschiffsuntersuchungsordnung der ZKR, die in Deutschland im Rahmen der Binnenschiffsuntersuchungsordnung (BinSchUO) in nationales Recht umgesetzt worden ist. Danach ist die Mindestbesatzung zum einen abhängig von der Betriebsform (A1, A2 oder B), in der das jeweilige Schiff fährt, zum anderen von der Länge des Fahrzeugs. Da das TMS „Waldhof“ nach Anhang XI § 2.05 der Anlage zur BinSchUO in der Betriebsform B betrieben worden ist (24 Stunden Fahrt), ergibt sich aus der Tabelle des Anhangs XI § 2.10 Nr. 1 der Anlage zur BinSchUO für Motorschiffe folgende Mindestbesatzung:

Tabelle 2-4: Besatzungstabelle (BinSchUO)

Stufe	Besatzungsmitglieder	Anzahl der Besatzungsmitglieder in der Betriebsform A1, A2 oder B und für den Ausrüstungsstandard S1, S2						
		A1		A2		B		
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	
1	L ≤ 70 m	Schiffsführer	1		2		2	2
		Steuermann	–		–		–	–
		Bootsmann	–		–		–	–
		Matrose	1		–		1	–
		Leichtmatrose	–		–		1 ⁽¹⁾	2 ^{(1) (3)}
2	70 m < L ≤ 86 m	Schiffsführer	1 oder 1	1	2		2	2
		Steuermann	–	–	–		–	–
		Bootsmann	1	–	–		–	–
		Matrose	–	1	1	–	2	1
		Leichtmatrose	–	1	1	1 ⁽¹⁾	–	1
3	L > 86 m	Schiffsführer	1 oder 1	1	2	2	2 oder 2	2
		Steuermann	1	1	–	–	1	1 ⁽²⁾
		Bootsmann	–	–	–	–	–	–
		Matrose	1	–	–	1	–	1
		Leichtmatrose	–	2	1	1 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾	–

⁽¹⁾ Der Leichtmatrose oder einer der Leichtmatrosen darf durch einen Decksmann ersetzt werden.
⁽²⁾ Der Steuermann muss das nach der Rheinpatentverordnung erforderliche Patent besitzen.
⁽³⁾ Einer der Leichtmatrosen muss über 18 Jahre alt sein.

An Bord des TMS „Waldhof“ befanden sich zum Zeitpunkt des Unfalls vier Besatzungsmitglieder: Zwei Schiffsführer, ein Steuermann mit Patent sowie ein Steuermann ohne Patent. Die Besatzung entsprach damit den geltenden Besatzungsvorschriften.

Eine Erhöhung der Mindestbesatzung gemäß Anhang XI § 2.13 der Anlage zur BinSchUO war nicht vorgeschrieben.

2.2.2 Befähigungszeugnisse (Patente und Sachkundenachweise)

Die zum Havariezeitpunkt an Bord befindliche Besatzung war im Besitz folgender Binnenschiff-fahrtspatente, Sachkunde- und Qualifikationsnachweise:

Schiffsführer A

Großes Rheinpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	1996
von Rhein-km bis Rhein-km:	412 - 1035
Erweiterung:	2006
von Rhein-km bis Rhein-km:	166 - 412

Radarpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	1997

ADN(R) – Sachkundenachweis Chemie	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2001 (nach Erneuerung gültig bis 2016)

Sprechfunkzeugnis	
ausstellende Behörde:	nicht bekannt
erworben:	nicht bekannt

Schiffsführer B

Großes Rheinpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2004
von Rhein-km bis Rhein-km:	769 - 1035
Erweiterung:	2004/2005/2006
von Rhein-km bis Rhein-km:	769 - 668/668 - 556/556 - 424

Radarpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2005

ADN(R) – Sachkundenachweis Chemie	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2006 (gültig bis 2011)

Sprechfunkzeugnis	
ausstellende Behörde:	Bundesamt für Post und Telekommunikation
erworben:	1997

Steuermann C (mit Patent)

Großes Rheinpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2007
von Rhein-km bis Rhein-km:	412 - 1035

Radarpatent	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2009

ADN(R) – Sachkundenachweis Chemie	
ausstellende Behörde:	WSD West
erworben:	2009 (gültig bis 2014)

UKW Sprechfunkzeugnis für den Binnenschiffahrtfunk (UBI)	
ausstellende Behörde:	Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken
erworben:	2006

Steuermann D (ohne Patent)

Schifferdienstbuch	
ausstellende Behörde:	WSA Duisburg-Rhein
ausgestellt:	2007
Qualifikation:	Steuermann

Die für die verantwortliche Führung eines Tankschiffes Typ „C“ von 110 m Länge auf dem Rhein erforderlichen Patentinhaber (§ 1.03 Nr. 1, § 1.04 Nr. 1 RheinPatV, § 1.02 Nr. 1 RadarPatV – Anlage 3) sowie der Sachkundige (Chemie) nach Unterabschnitten 7.2.3.15, 8.2.1.2 und 8.2.1.7 ADN 2011 (Anlage 2) waren somit an Bord. Sowohl die beiden Schiffsführer als auch der Steuermann mit Patent hatten darüber hinaus die erforderliche Streckenkenntnis für die am Unfalltag befahrene Rheinstrecke.

2.3 Ladung

Nach den Transportpapieren, dem vorliegenden Ladungsaufmass/Kontrollbericht und den an die Revierzentrale Oberwesel übermittelten Angaben im Rahmen des Melde- und Informationssystems Binnenschiffahrt (MIB) befand sich folgende Ladung an Bord:

Tabelle 2-5: Ladung an Bord des TMS „Waldhof“

Stoff	Schwefelsäure
UN-Nummer	1830
Klasse	8 (ätzende Stoffe)
Verpackungsgruppe	II (Stoffe mit mittlerer Gefahr)
Konzentration	96 %
Dichte	1,8410 t/m ³ (bei 20 °C); 1,8390 t/m ³ (bei 18,6 °C)
Beförderungsmenge	2 377 988 kg
Temperatur der Schwefelsäure beim Laden	18,6 °C

2.3.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften der Ladung

Schwefelsäure ist eine starke Säure und hat die Summenformel H_2SO_4 . Konzentrierte Schwefelsäure ist eine farb- und geruchlose Flüssigkeit von zähflüssiger, öligler Konsistenz. Die leicht braune Färbung von technischer Schwefelsäure beruht auf Verunreinigungen organischen Ursprungs. Der Schmelzpunkt liegt bei etwa $10\text{ }^\circ\text{C}$ und das Sieden erfolgt bei $338\text{ }^\circ\text{C}$ unter Bildung hustenreizender Schwefeltrioxid-Nebel.

Schwefelsäure ist stark hygroskopisch und in beliebigem Verhältnis mit Wasser mischbar. Bei der Mischung mit Wasser (Verdünnen) tritt eine starke Erwärmung auf. Aufgrund der starken Affinität zu Wasser ist Schwefelsäure in der Lage, organischen Stoffen die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Wasser zu entziehen. Durch diesen Entzug werden die organischen Stoffe schwarz (zurückbleibender Kohlenstoff).

Konzentrierte Schwefelsäure greift Metalle erst beim Erhitzen an und wirkt dabei oxidierend. Reines, unedles Eisen wird bedingt durch Passivierung nicht angegriffen. Verdünnte Schwefelsäure löst die in der Spannungsreihe oberhalb des Wasserstoffs stehenden unedlen Metalle. Dabei bildet sich gasförmiger Wasserstoff.

An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wurden Laborversuche zum Schwallverhalten von Schwefelsäure bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt. Als Vergleichsflüssigkeit kam Wasser bei Raumtemperatur zum Einsatz. Die beiden Flüssigkeiten wurden in die in den Abbildungen (Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5) gezeigten Behälter eingefüllt und durch eine äußere Kraft angeregt. Es handelt sich jeweils um 300 ml Schwefelsäure mit einer Konzentration von 96 %. Zunächst erfolgte der Vergleich zwischen 96 %iger Schwefelsäure und Wasser, jeweils bei Raumtemperatur (Abbildung 2-4). Im Ergebnis des Versuches hat sich gezeigt, dass unmittelbar nach der Anregung das Verhalten zwischen den beiden Flüssigkeiten nahezu gleich ist, d. h. es gab keinen Unterschied in der Frequenz und der Amplitude. Aufgrund der höheren Viskosität der Schwefelsäure gegenüber dem Wasser zeigte sich jedoch ein schnelleres Abklingverhalten bei dieser. In einem zweiten Versuch kam jeweils 96 %ige Schwefelsäure zum Einsatz (Abbildung 2-5), wobei die Temperatur unterschiedlich war. Die Temperaturdifferenz betrug vor dem Einfüllen $15\text{ }^\circ\text{C}$, war jedoch nach dem Einfüllen geringer. Ein Unterschied hinsichtlich der Frequenz sowie der Amplitude konnte nicht beobachtet werden.

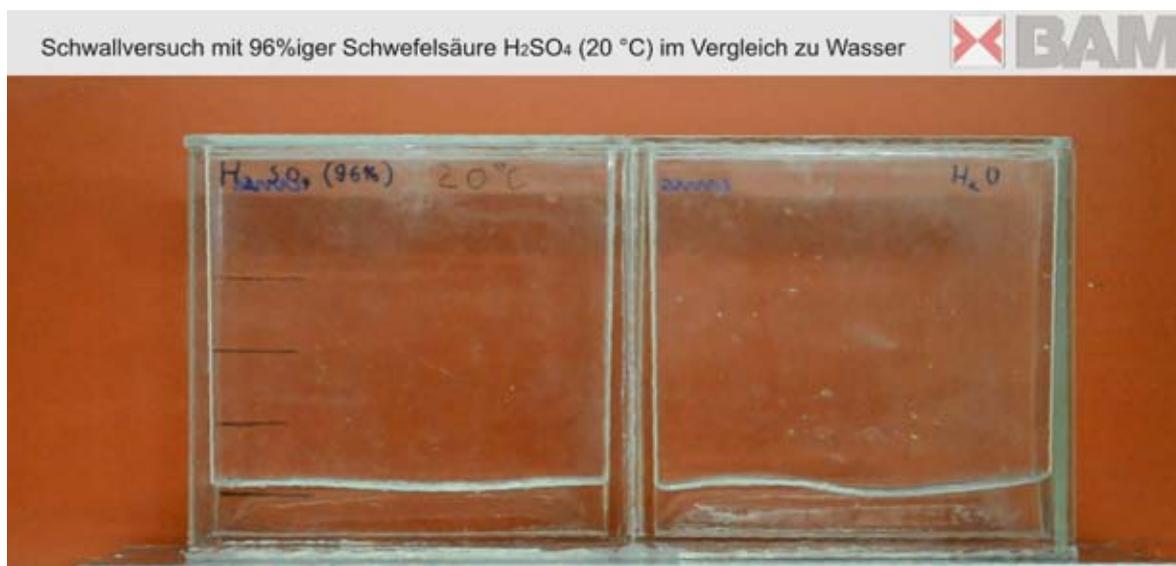


Abbildung 2-4: Vergleich zwischen Schwefelsäure (96 %) und Wasser

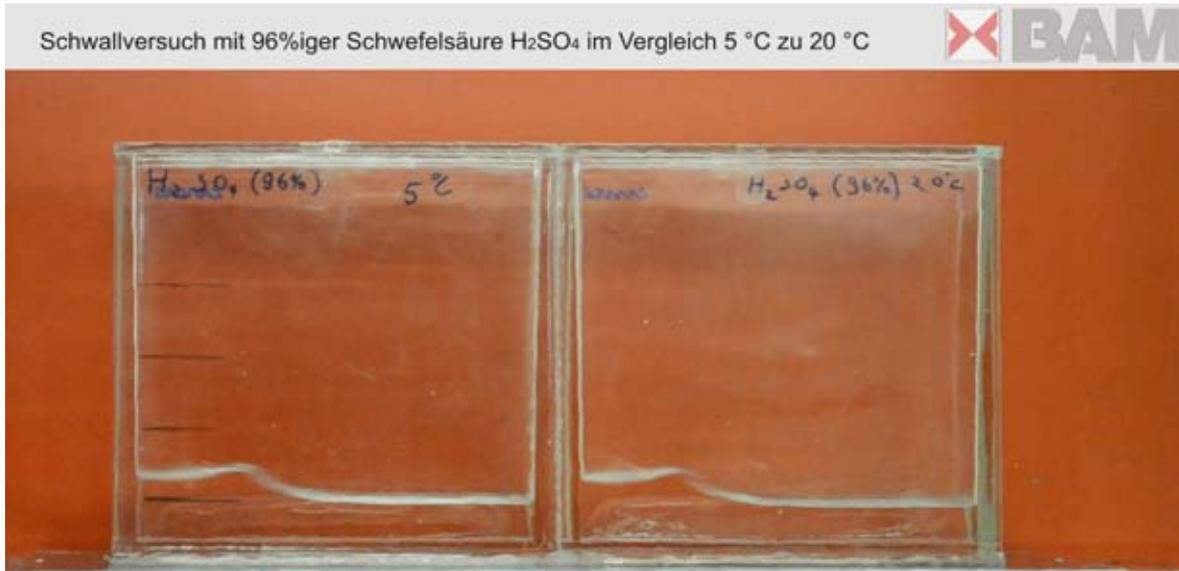


Abbildung 2-5: Vergleich zwischen Schwefelsäure (96 %) unterschiedlicher Temperatur

2.3.2 Verteilung der Ladung in den Tanks

Die in Ludwigshafen geladene Schwefelsäure war nach dem Ladungsaufmass/Kontrollbericht wie folgt auf die sieben Ladetanks verteilt:

Tabelle 2-6: Verteilung der Ladung in den Tanks des TMS „Waldhof“

Tank	Liter	Füllhöhe in cm	Füllhöhe in %
1	164941	180	49,5
2	187147	200	55,5
3	202963	210	58,3
4	202974	210	58,3
5	188198	201	55,8
6	179807	200	55,4
7	168818	180	49,4

2.3.3 Transport von Ladung mit hoher Dichte auf früheren Reisen

In den Jahren 2005 bis 2010, d. h. nach dem Umbau und der Verlängerung des Schiffes auf 110 m, hat das TMS „Waldhof“ des Öfteren auch Ladungen mit höherer Dichte ($>1,3 \text{ t/m}^3$) befördert. Aus den der Unfalluntersuchungskommission vorliegenden Transportunterlagen des TMS „Waldhof“ aus diesen Jahren ergibt sich, dass das Tankschiff häufig Schwefelsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure und Natronlauge mit einer Dichte von $1,4 \text{ t/m}^3$ bis $1,85 \text{ t/m}^3$ befördert hat, wobei bei einigen Reisen mit sieben teilgefüllten Ladetanks gefahren worden ist. Eine mit den Verhältnissen am Unfalltag vergleichbare Reise (Stoff mit sehr hoher Dichte, sieben teilgefüllte Ladetanks, Talfahrt, Hochwasser) konnte in den Bordunterlagen des TMS „Waldhof“ allerdings nicht gefunden werden.

Tabelle 2-7: Fahrten des TMS „Waldhof“ mit sieben teilgefüllten Ladetanks und Stoffen mit hoher Dichte (exemplarisch)

Ladung	Dichte (t/m ³)	beförderte Menge	angegebener Tiefgang	beladene Tanks	Berg-/Talfahrt
Natronlauge	1,5	2 411 t	3,15 m	1 bis 7	Talfahrt
Natronlauge	1,5	2 407 t	3,15 m	1 bis 7	Talfahrt
Salpetersäure	1,4	2 317 t	3,10 m	1 bis 7	Talfahrt
Phosphorsäure	1,68	2 382 t	3,15 m	1 bis 7	Bergfahrt
Phosphorsäure	1,68	999 t		2, 4, 6	
Schwefelsäure	1,85	1 400 t		1, 3, 5, 7	Bergfahrt
		= 2 399 t	3,15 m		

2.4 Beladung und Besatzungswechsel am 12. Januar 2011

Das TMS „Waldhof“ traf am 11. Januar 2011 gegen 15:30 Uhr in Ludwigshafen ein, um vom dortigen Werk der BASF Schwefelsäure zum BASF-Werk nach Antwerpen zu transportieren. Das Fahrzeug legte gegen 23.45 Uhr am werkseigenen Schwefelsäuresteiger „A 230“ im Stromhafen der BASF an und begann am 12. Januar 2011 um 00:30 Uhr an dieser Umschlagsanlage mit dem Ladevorgang.

Laut Zeugenaussagen habe die Besatzung während des Beladens den achterlichen Kofferdamm von restlichem Ballastwasser der vorangegangenen Reise gelenzt. Nach Abschluss des Lenzens sei eine steuerbordseitige Krängung des TMS „Waldhof“ festgestellt worden, die durch Umpumpen der achterlichen Trimmzellen wieder ausgeglichen werden sollte. Da diese Maßnahme nicht den erwünschten Erfolg zeitigte (TMS „Waldhof“ habe immer noch erheblich nach Steuerbord gekrängt), hätten die Schiffsführer die Mannlöcher der Ballastzellen 5, 6 und 7 auf der Steuerbordseite geöffnet und seien in die Wallgänge gestiegen, um diese auf (Rest-) Ballastwasser zu kontrollieren. In der Ballastzelle 5 habe sich keinerlei Wasser befunden, während sich in den Ballastzellen 6 und 7 Restwasser angesammelt hätte. Mit Hilfe einer Tauchpumpe sei dieses Ballastwasser bis auf geringe Restmengen vollständig aus den Ballastzellen entfernt worden. Danach habe TMS „Waldhof“ wieder gerade gelegen. Anschließend hätten die Schiffsführer noch versucht, über die backbordseitigen Injektorleitungen Wasser aus allen Ballastzellen herauszupumpen. Bis auf geringen Restmengen soll sich danach kein Wasser mehr in den Ballastzellen befunden haben.

Am Nachmittag des 12.01.2011, noch während der laufenden Beladung, fand ein teilweiser Besatzungswechsel statt, bei dem ein Schiffsführer und ein Steuermann von Bord gingen, während ein anderer Schiffsführer und ein weiterer Steuermann an Bord kamen und das Schiff gegen 17:00 Uhr übernahmen.

Gegen 20:00 Uhr war die Beladung beendet. Um 21:30 Uhr verließ das TMS „Waldhof“ die BASF-Umschlagsanlage zu Tal in Richtung Antwerpen. Nach den Aufzeichnungen der Schiffsführung im bordeigenen Computer betrug der Tiefgang des Schiffes 3,15 m.

2.5 Talfahrt am 12. und 13. Januar 2011 von Ludwigshafen bis Oberwesel

Am 13. Januar 2011 um 04:21 Uhr befand sich das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 547,0 (Kaub), erschien zu diesem Zeitpunkt auf den Radarschirmen der Revierzentrale Oberwesel und fuhr um 04:32 Uhr in die Wahrschaustrecke Oberwesel – St. Goar ein. Während der Fahrt durch die Gebirgsstrecke des Rheins befanden sich beide Schiffsführer des TMS „Waldhof“ im Steuerhaus. Die beiden Steuermänner hielten sich in ihren Kajüten im achterlichen Wohnbereich auf und schliefen.

2.5.1 Hydrologische und hydraulische Verhältnisse

Zum Zeitpunkt der Fahrt des TMS „Waldhof“ in der Wahrschaustrecke zeigte der Pegel Kaub bei Rhein-km 546,23 einen Wert von 572 cm an (Abbildung 2-6). Dies entspricht einem Abfluss von 4360 m³/s. Der Wasserstand am Pegel Kaub schwankte zwischen dem 11.01.2011 und dem Zeitpunkt der Havarie nur um wenige Zentimeter, so dass von einem Beharrungszustand ausgegangen werden kann. Für den Bereich von Rhein-km 547,0 bis Rhein-km 556,0 wurde folglich eine stationäre Wasserspiegellagenberechnung mit einem 2D-HN-Modell durchgeführt und daraus die Fließgeschwindigkeitsverteilung und die Wassertiefen ermittelt. Diese sind in Abbildung 2-7 getrennt dargestellt.

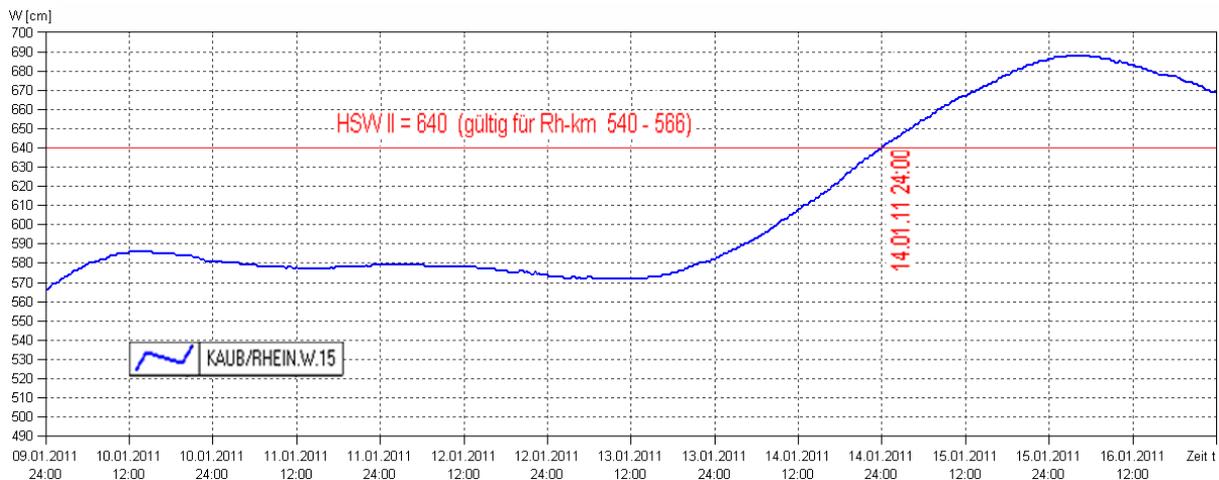


Abbildung 2-6: Wasserstände am Pegel Kaub (Rhein-km 546,23)

Zwischen Rhein-km 551,9 und Rhein-km 553,0 („Geisenrücken“, „Kammereck“) sind Fließgeschwindigkeiten von 1,6 m/s bis 2,0 m/s berechnet worden. In diesem Teilstück sind Wassertiefen von 7 m bis 10 m und größer (weiße Bereiche im Flussverlauf) vorhanden.

Im Bereich Rhein-km 553,0 bis Rhein-km 554,5 („Betteck“, „Loreley“) wurden Fließgeschwindigkeiten von 2 m/s bis 2,8 m/s bestimmt. Große Flussbereiche des Rheins weisen hier eine Wassertiefe von größer 10 m auf.

Weiter talwärts, Rhein-km 554,5 bis Rhein-km 555,6 („Loreley“ bis „Bankeck“), steigen die Fließgeschwindigkeiten auf 2,4 m/s bis 2,8 m/s an, am „Bankeck“ werden lokal sogar 3,2 m/s erreicht. Die Wassertiefe wird in diesem Bereich mit 6 m bis 10 m bestimmt, am rechten Rheinufer sind nur 6 m bis 8 m (grün-gelber Bereich) vorhanden, am linken Rheinufer dagegen 8 m bis 10 m.

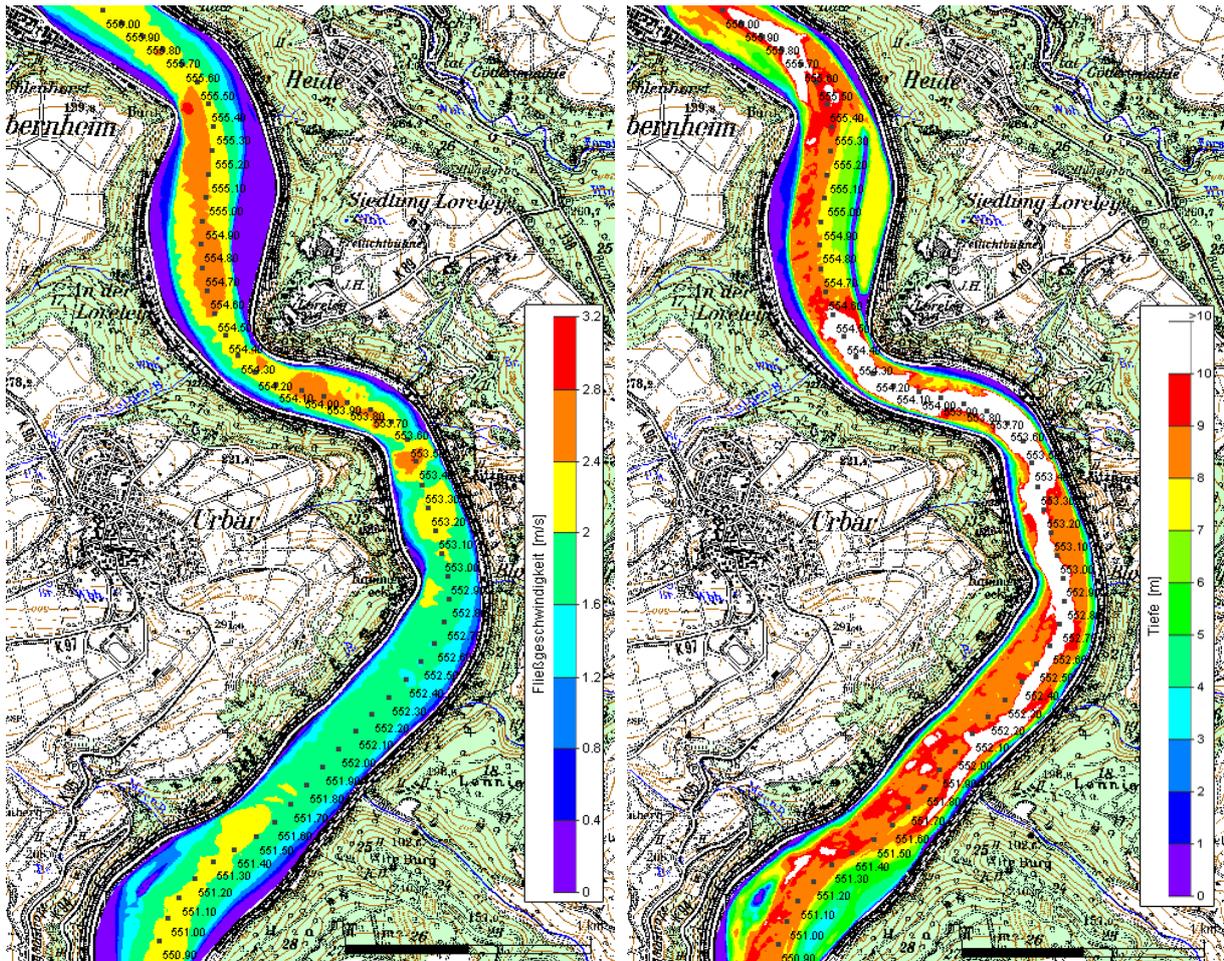


Abbildung 2-7: Fließgeschwindigkeiten (links) und Tiefeninformationen (rechts) aus dem 2D-HN-Modell

2.5.2 Meteorologische Verhältnisse

Wetterlage und Wetterverhältnisse am 12. und 13.01.2011 im Raum Oberwesel - St. Goar

Nach Angaben aus dem amtlichen Gutachten des Deutschen Wetterdienstes überquerten Störungsausläufer eines umfangreichen Tiefdruckgebietes über dem östlichen Nordatlantik am 12. und 13.01.2011 den Südwesten Deutschlands und führten gleichzeitig sehr milde Atlantikluft heran.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden meteorologischen Aufzeichnungen ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass es am 13.01.2011 zwischen 04:30 Uhr und 05:00 Uhr bei St. Goarshausen bei bedecktem Himmel und einer Lufttemperatur von ca. 10 °C bis 11 °C mit schwacher Intensität regnete. Trotz des Niederschlags herrschten noch Sichtweiten um 10 km. In diesem Zeitraum lag die natürliche Helligkeit bei weniger als 0,001 lx (Sonnenuntergang am 12.01.2011: 16:50 Uhr; Sonnenaufgang am 13.01.2011: 07:23 Uhr – Monduntergang am 13.01.2011: 01:56 Uhr; Mondaufgang am 13.01.2011: 11:32 Uhr – 7 Tage vor Vollmond).

Der Wind war schwach und kam – aufgrund der topographischen Gegebenheiten – sehr wahrscheinlich aus südlichen Richtungen. Dabei lag die durchschnittliche Windgeschwindigkeit bei

1 bis 2 m/s (Beaufort 1 und 2) und die Geschwindigkeit der Windböen geringfügig höher bei 2 bis 3 m/s (Beaufort 2).

Wassertemperaturen

An der Messstation Mainz (Theodor-Heuss-Brücke) des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht des Landes Rheinland-Pfalz wurden folgende Wassertemperaturen des Rheins gemessen:

12. Januar 2011:

Messleitung 1: 7,2 °C

Messleitung 2: 7,0 °C

13. Januar 2011:

Messleitung 1: 7,6 °C

Messleitung 2: 7,5 °C

2.5.3 Nautische Verhältnisse

Die Gebirgsstrecke des Rheins zwischen Oberwesel und St. Goar stellt den nautisch schwierigsten und anspruchsvollsten Abschnitt des gesamten Rheinstroms dar. Auf Grund der schmalen Flussbreite, der oft wechselnden Wasserspiegellagen und der vielen Kurven auf einer relativ kurzen Strecke, ist beim Befahren dieses Abschnitts höchste Konzentration des Schiffsführers erforderlich. Eine Reihe von Vorschriften, wie insb. das strikte „Rechtsfahrgebot“ (§ 9.07 Nr. 3 a RheinSchPV), müssen besonders beachtet und eingehalten werden. Bei erschwerten Bedingungen wie Hochwasser oder Dunkelheit gelten je nach Lage ergänzende (§ 9.08 RheinSchPV) oder abweichende (§ 10.01 RheinSchPV) Vorschriften (siehe Anlage 3).

Insbesondere in der Talfahrt können die Fahrzeuge an bestimmten Stellen, meistens sind das die Kurvenbereiche oder die Stromschnellen, nicht anhalten. Daher sind die Talfahrer auf Kooperation und Fachwissen der bergfahrenden Schiffsführerkollegen angewiesen. In der Regel halten die bergfahrenden Fahrzeuge dann an, wenn voraussichtlich eine sichere Begegnung nicht möglich zu sein scheint oder ein ausdrückliches Verlangen des Talfahrers dies erfordert. Eine besondere Herausforderung ist die Talfahrt bei den Wasserständen am Pegel Kaub von 4,60 m (HWM I) bis 6,40 m (HWM II). Eine wesentliche Rolle für die leichte und sichere Fahrt spielen dabei die Abmessungen der Fahrzeuge und der Beladungszustand. Die Talfahrer können in bestimmten Situationen meist nur mit Verringerung der Geschwindigkeit reagieren. Aber nicht nur das Anhalten ist problematisch, sondern auch das Einhalten der vorgeschriebenen max. Geschwindigkeit von 20 km/h gegenüber dem Ufer. Bei den hohen Fließgeschwindigkeiten bis zu 11 km/h ist es sehr schwierig eine gute Steuerfähigkeit des Schiffes zu erreichen. Aufgrund der topografischen Gegebenheiten und bei fehlendem Mondschein herrscht nachts in der Gebirgsstrecke nahezu völlige Dunkelheit. Die Strecke darf daher zu Tal in diesem Zeitraum nur in Radarfahrt befahren werden.

Nicht zu vernachlässigen ist der menschliche Faktor. Um in bestimmten Situationen schnelle und richtige Entscheidungen treffen zu können, müssen die Schiffsführer sich mit der Strecke und den dort geltenden schiffahrtspolizeilichen Vorschriften sehr gut auskennen. Allgemein kann ausgesagt werden, dass das Befahren dieser Strecke zu Tal bei Hochwasser, gleichzeitig in der Nacht und hohem Verkehrsaufkommen, für einen unerfahrenen Schiffsführer eine sehr große Herausforderung darstellt.

Nach Auswertung der Radarbilder und unter Berücksichtigung der Abflussverhältnisse vom 13.01.2011 wurde festgestellt, dass das TMS „Waldhof“ auf der Fahrt ab Oberwesel einen typi-

schen und unauffälligen Fahrweg zurückgelegt hat. Die Vorschriften über die Beschränkungen der Schifffahrt bei Hochwasser (§ 10.01 RheinSchPV) wurden eingehalten.

2.6 Inspektion des TMS „Waldhof“ nach der Bergung

Mitglieder der Untersuchungskommission haben das TMS „Waldhof“ nach der Bergung am 14. und 15. Februar 2011 im Loreleyhafen sowie am 25. Februar 2011 in Duisburg auf Helling inspizieren können.

Der Zustand des geborgenen Fahrzeugs, insb. des zerstörten Steuerhauses und des Decks des TMS „Waldhof“ am 15. Februar 2011 ist exemplarisch aus den Abbildungen 6 bis 11 der Anlage 7 ersichtlich. In den backbordseitigen Entlüftungsrohren („Schwanenhäse“) der Ballasttanks 2 und 5 wurden nach der Hebung des Fahrzeugs mehrere Schläuche aufgefunden (Abbildungen 24, 25 und 26 der Anlage 7), die dort ohne erkennbare Funktion deponiert waren.

Bei der Besichtigung des TMS „Waldhof“ am 25. Februar 2011 auf Helling in Duisburg konnten folgende Feststellungen getroffen werden:

- Die Ruderblätter, der Propeller sowie die Düse waren intakt und ohne sichtbare Beschädigungen (Abbildung 19 der Anlage 7);
- Der Außenboden, die Außenhaut und die Kimm auf der Steuerbordseite einschließlich der Eichmarkierungen waren intakt (Abbildungen 16, 17 und 18 der Anlage 7);
- Die Untersuchung des Bugbereichs hat ergeben, dass es bis auf einige Beulen, die aus dem Betrieb des Schiffes resultieren, keine Beschädigungen gibt. Außerdem gibt es weder Durchbrüche, noch Risse (Abbildung 17 der Anlage 7);
- Die Backbordseite ist zwischen den Spanten 68 und 80 großräumig auf einer Fläche von ca. 9 m x 4 m und einer Tiefe von ca. 80 cm eingedrückt (Abbildungen 13, 14 und 15 der Anlage 7). Der Schaden ist dort aufgetreten, weil das Schiff in diesem Bereich längere Zeit bis zur Bergung mit seiner Backbordseite auf Grund lag;
- Auf der Backbordseite befinden sich zwei Löcher (Ballasttank Nr. 5) an der Unterseite der Kimm im Bereich des 77. und 74. Spants nahe am Übergang zur Bodenplatte (Abbildungen 21, 22 und 23 der Anlage 7). Die Löcher sind etwa 4 bis 6 cm groß. Es sind keine Kratzspuren an den Lochrändern feststellbar;
- Alle Ladetanks wurden von innen besichtigt. Dabei konnten keine Feststellungen getroffen werden, die auf eine Undichtigkeit der Ladetanks hingedeutet hätten (Abbildung 20 der Anlage 7);
- Der Zustand der verschiedenen Hochgeschwindigkeitsventile des TMS „Waldhof“ ist aus den Abbildungen 27, 28 und 29 der Anlage 7 zu ersehen.

2.7 Vorschriften über den Gefahrguttransport auf dem Rhein

Für die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein gilt seit dem 1. Januar 2011 das „Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN 2011)“, welches an die Stelle der bis dahin geltenden „Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein (ADNR)“ der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) getreten ist. Beide Regelwerke sind jedoch fast identisch, da das ADNR für den Rhein das Vorbild für das europäische ADN gewesen ist.

Die für die (rechtliche) Beurteilung des vorliegenden Havariefalles maßgeblichen Vorschriften des ADN und des ADNR werden in der Anlage 2 zu diesem Untersuchungsbericht dargestellt. Da die ZKR das ADNR regelmäßig alle zwei Jahre überarbeitet hat, wird in diesem Bericht nach den relevanten Fassungen dieser Vorschrift - je nach Zeitpunkt des zu beurteilenden Ereignisses (Umbau, Erteilung der Zulassungszeugnisse etc.) - differenziert (ADNR 2003/ADNR 2009 sowie ADN 2011).

2.8 Schifffahrtspolizeiliche Regelungen auf dem Rhein

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer auf dem Rhein ist im wesentlichen geregelt durch die von der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt erlassene Rheinschifffahrtspolizeiverordnung nebst den von den zuständigen Behörden (WSD und WSA) erlassenen schifffahrtspolizeilichen Rechtsverordnungen und schifffahrtspolizeilichen Anordnungen.

Die für die (rechtliche und nautische) Beurteilung des vorliegenden Havariefalles maßgeblichen Vorschriften der RheinSchPV sowie der Patentvorschriften werden in der Anlage 3 zu diesem Untersuchungsbericht dargestellt.

3 Ablauf der Havarie

3.1 Merkmale des Radarsystems der Revierzentrale Oberwesel

3.1.1 Radarstationen zur Erfassung des Schiffsverkehrs

Der Schiffsverkehr in der Wahrschaustrecke des Gebirgsrheins wird durch vier Radarstationen erfasst:

Tabelle 3-1: Referenznummern, Namen und Standorte der vier Radarstationen

Nr.	Name	Geogr. Position Lat (WGS 84)	Geogr. Position Lon (WGS 84)	Höhe ü. Gr. bzw. ü. NN	Rheinseite und km
R4	An der „Bank“	50° 8' 51,85" N	7° 43' 22,77" E	7,5 m, 85,1 m	Li, 555,43
R3	Gegenüber der „Loreley“	50° 8' 17,05" N	7° 43' 30,88" E	10 m / 87,3 m	Li, 554,33
R2	Gegenüber dem „Kammereck“	50° 7' 49,83" N	7° 44' 27,72" E	15 m / 85,8 m	Re, 552,82
R1	„Oberwesel“	50° 6' 46,89" N	7° 43' 16,16" E	13 m / 88,3 m	Li, 550,58

Als Radaranlagen werden zugelassene Navigationsradaranlagen für die Binnenschifffahrt eingesetzt. Die Antennen der Radarstationen R1 bis R4 sind typgleich. Sie besitzen einen horizontalen Öffnungswinkel (-3-dB-Keulbreite) von 0,8°, einen vertikalen Öffnungswinkel (-3-dB-Keulbreite) von etwa 20,0° und senden mit einer Sendepulsdauer von 50 ns. Der Entfernungsfehler in der Darstellung einer Zielvorderkante liegt unter 5 m. Die folgenden Abbildungen (Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2) zeigen zwei der vier Radarstationen.



Abbildung 3-1: Radarstation R1 an der Revierzentrale in Oberwesel (Rhein-km 550,58)



Abbildung 3-2: Radarstation R4 am „Bankeck“ (Rhein-km 555,43)

3.1.2 Darstellung des Schiffsverkehrs in der Revierzentrale Oberwesel

In der Revierzentrale Oberwesel wird mit Rücksicht auf den Verlauf des Rheins vor der Revierzentrale der zu beobachtende Rheinabschnitt als elektronische Flusskarte nach dem Inland-ECDIS-Standard mit Norden nach links auf mehreren nebeneinander stehenden Bildschirmen

dargestellt (Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4). Auf einem weiteren Bildschirm werden die Lichtsignale angezeigt und gesetzt.



Abbildung 3-3: Darstellung der Verkehrssituation am Arbeitsplatz des Wahrschauers in der Revierzentrale Oberwesel

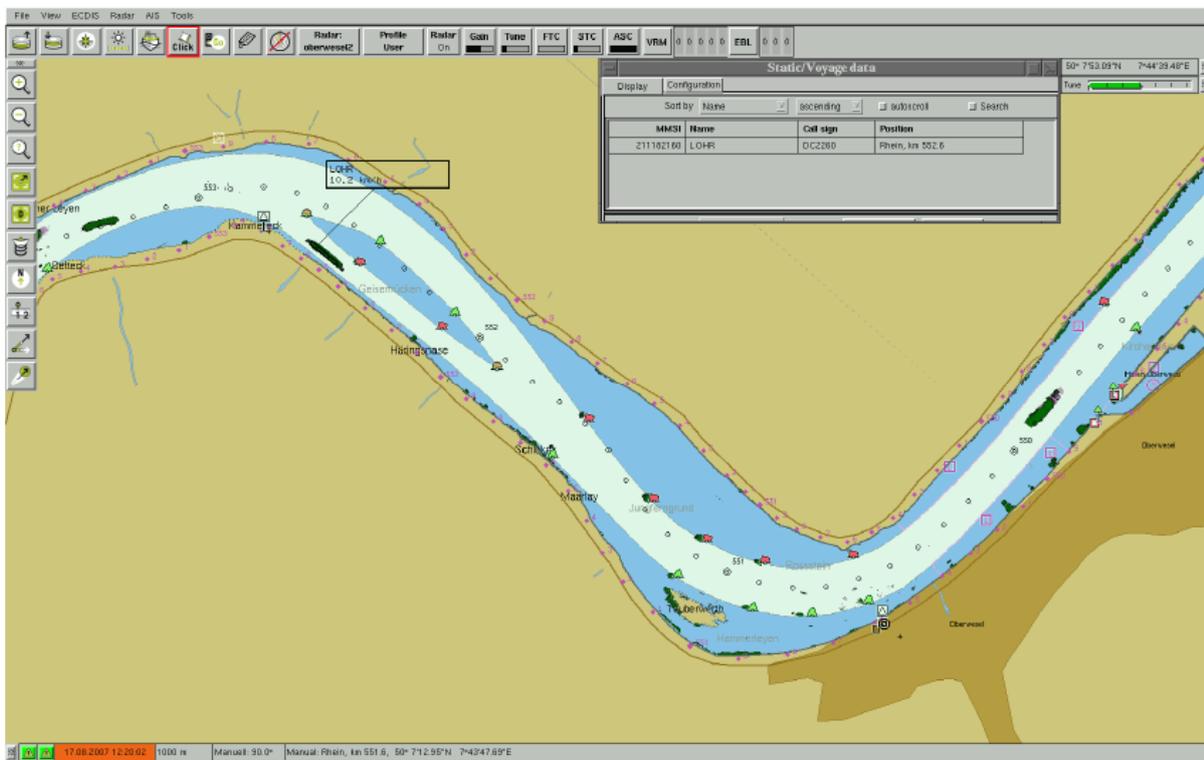


Abbildung 3-4: Typisches Monitorbild des Wahrschauers in der Revierzentrale Oberwesel mit elektronischer Flusskarte IENC, Radarechos der Stationen R1 und R2 sowie Inland-AIS-Daten

3.1.3 Identifizierung von Schiffen

Radar ist zwar in der Lage, Objekte zu detektieren und zu lokalisieren, nicht jedoch zu identifizieren. Daher wurde im Jahr 2007 der Funktionsumfang der Radarsignalverarbeitung einschließlich der Darstellung und Bedienung um die Radarzielverfolgung und um die Nutzung der Daten des Inland-AIS ergänzt.

AIS-Transponder gehören auf Seeschiffen zur Pflichtausrüstung und gewinnen in der Binnenschifffahrt immer mehr an Bedeutung. Sie senden in regelmäßigen Zeitabständen nicht nur die Position und Identität des Schiffs, sondern auch reisespezifische Daten wie Ladung und Zielhafen.

Inland AIS-Transponder besitzen gegenüber maritimen AIS-Transpondern einige Funktionserweiterungen, die sich im Datenumfang und in der Visualisierung bemerkbar machen. Ein Beispiel hierfür ist die blaue Tafel, die auf Seeschiffen nicht vorhanden ist. Das Vessel Traffic Monitoring (VTM) System der Revierzentrale Oberwesel kann die AIS-Daten beider Transpondertypen verarbeiten und visualisieren.

Während bisher zum Radarecho eines Schiffs dessen Identität oder Ladung mit Hilfe anderer Kommunikationswege in Erfahrung gebracht werden musste, erfolgt die Identifizierung eines mit dem Inland-AIS ausgerüsteten Schiffs automatisch, und eine tabellarische Darstellung von Ladungsdaten, z. B. von Gefahrgut, ist verfügbar.

3.1.4 Aufzeichnung des Schiffsverkehrs

Das VTM-System in der Revierzentrale Oberwesel ist mit einem Ringspeicher ausgerüstet, der alle Schiffsverkehrsdaten (Radarziele, Karten- und AIS-Daten sekundengenau und systemweit mit der aktuellen Ortszeit (DCF77-Funkuhr)) über mehrere Wochen aufzeichnet. Wenn der Ringspeicher gefüllt ist, werden die ältesten Daten von den neuen überschrieben. Bei Bedarf können gespeicherte Schiffsverkehrsdaten in Minutenblöcken mit sekundengenaue Auflösung auf externe elektronische Datenträger kopiert und mit geeigneten Werkzeugen wiedergegeben werden. Die Wiedergabe ist jedoch nur mit Programmen des Herstellers des Originalsystems möglich.

Auf Grund der Havarie des TMS „Waldhof“ wurden die aufgezeichneten Daten vom 13.01.2011 aus dem Ringspeicher kopiert und mehrfach gesichert. Diese Daten gehören zu den wichtigsten Eingangsdaten dieser Untersuchung.

3.1.5 Erfassungsbereiche der Radarstationen

Auf Grund der von den hohen Uferfelsen verursachten Abschattungen sind die Erfassungsbereiche der Radarstationen eingeschränkt. Aus Abbildung 3-5 und Tabelle 3-2 geht hervor, welcher Rheinabschnitt (Zone) mit welchen Radarsensoren eingesehen werden kann. Darüber hinaus treten zusätzlich temporäre Abschattungssektoren in den Radarbildern auf, wenn hohe oder hoch beladene Schiffe im Strahlungsbereich einer Radaranlage verkehren.

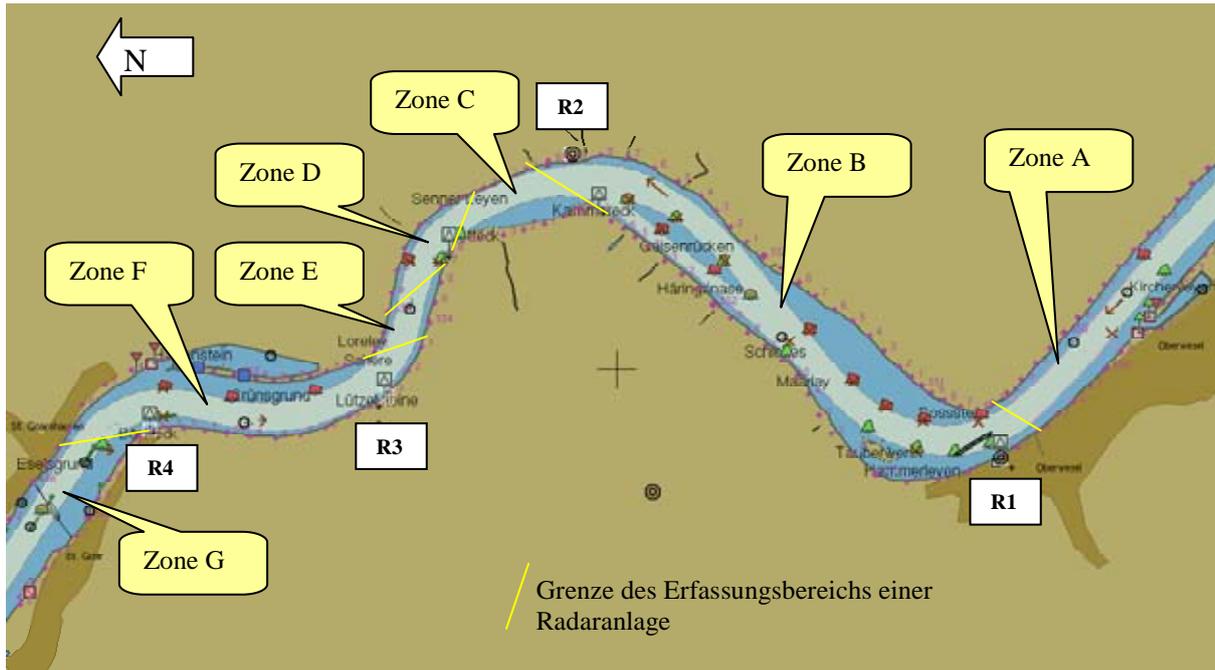


Abbildung 3-5: Karte des Rheinabschnitts von Rhein-km 556,0 bis Rhein-km 549,0

Tabelle 3-2: Erfassungsbereiche (Zonen) der Radarstationen R1 bis R4

	Zone G	Zone F	Zone E	Zone D	Zone C	Zone B	Zone A
R4							
R3							
R2							
R1							

3.1.6 Typische Echoflächenverzerrungen bei Radarzielen

Zur Ermittlung der zweidimensionalen Lage eines Schiffs bzw. der Schiffsumrisse aus einem Radarecho ist die radartypische Echoflächenverzerrung in azimuthaler und radialer Richtung zu berücksichtigen.

Das Echo eines reflektierenden Ziels wird im Radarbild grundsätzlich breiter dargestellt als es in Wirklichkeit ist, und zwar verbreitert um die Breite der Antennenkeule in der Zielentfernung (auf jeder Seite um eine halbe Antennenkeule). Die azimuthale Keulenbreite der verwendeten Antennen ist proportional zur Zielentfernung und beträgt in 1.000 m Entfernung 14 m. Die Richtung des Ziels mit Bezug zu Norden wird winkeltreu wiedergegeben. Daher wird ein 10 m breites Schiff auf radialem Kurs in 500 m Entfernung im Radarbild als 17 m breites Radarecho dargestellt, sofern die volle Breite des Schiffs reflektiert. In Abbildung 3-6 ist die Zielflächenverbreiterung skizziert.

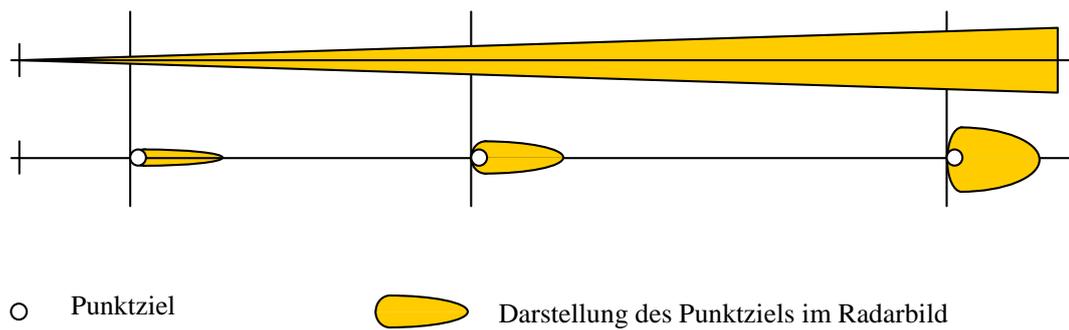


Abbildung 3-6: Entfernungabhängige Zielflächenverbreiterung eines Punktziels

Grundsätzlich wird einzig die der Radarstation zugewandte Kante eines Ziels bzgl. der Entfernung richtig dargestellt. Der radiale Beginn des Radarechos ist identisch mit der Entfernung des Ziels von der Radarantenne. Das radiale Ende des Echos stimmt in den meisten Fällen nicht mit dem radialen Ende des Ziels überein. Bei kurzen Zielen kann das Radarecho eine größere radiale Ausdehnung vortäuschen, bei langen Zielen kann das Radarecho kürzer sein als die wahre Ausdehnung des Ziels oder aus mehreren Einzelechos bestehen.

3.1.7 Entstehung von Scheinzielen im Radarbild

Das Sichtgerät erzeugt aus den vom Radarsendeempfänger in Polarform gelieferten Speichen (alle Echos, die der Radarempfänger in Folge eines Sendeimpulses empfängt) und dem Azimutwinkel, in dem die Antenne momentan sendet, ein zweidimensionales Radarbild der Umgebung. Wird ein Sendeimpuls beim Auftreffen auf ein Objekt abgelenkt und von einem dann getroffenen Objekt wieder zurück zur Antenne reflektiert, dann entsteht im Radarbild ein Scheinziel auf der aktuellen Speiche in einer der Laufzeit des Sendeimpulses entsprechenden Entfernung. Aufgrund der geringen Abstände zwischen den Schiffen sowie zwischen den Schiffen und dem Land treten Scheinziele in der Binnenschifffahrt häufig auf. Die Unterscheidung zwischen Nutz- und Scheinzielen ist unter Berücksichtigung der reflektierenden Strukturen in der Umgebung des betrachteten Radarziels möglich und spielt bei der Auswertung der aufgezeichneten Radarbilder eine wichtige Rolle.

3.1.8 Besonderheiten in der Darstellung von AIS-Daten

AIS-Transponder auf Schiffen senden periodisch die Identität, die Position und weitere Schiffs-, Reise- und Ladungsdaten. Bei der georeferenzierten Darstellung eines Schiffs auf einem VTM-Bildschirm kann der Wahrschauer wählen, ob das Schiff als Symbol oder mit seinen maßstäblichen Umrissen dargestellt werden soll. Für die richtige Orientierung (azimutale Ausrichtung) des Symbols oder des Schiffsumrisses benötigt das VTM-System den Kurs des Schiffs. Da dieser aufgrund des Fehlens eines Kompasses auf Binnenschiffen oft nicht verfügbar ist, benutzt das VTM-System den Kurs über Grund (COG) als Richtungsinformation und orientiert die Symbole mittels dieser Information. Sofern das Schiff ausreichend Fahrt macht, ist diese Vorgehensweise geeignet. Verharrt das Schiff hingegen an einer Position oder fährt es langsam, dann dreht der COG unvorhersehbar in verschiedene, nicht der wahren Lage des Schiffs entsprechende Richtungen. Dies erklärt, weshalb in den aufgezeichneten Radarbildern oft die Schiffsumrisse falsch orientiert sind. Bei VTM-Systemen mit Radar, so wie in Oberwesel der Fall, wird diese Methode trotz ihrer Mängel verwendet, weil sie in vielen Fällen Vorteile bringt und die wahre Lage eines Schiffs aus der Lage des Radarechos erkennbar ist. Eine weitere Ursache für die

fehlerhafte Darstellung der Schiffsumrisse können unvollständig oder unzutreffend eingegebene Gerätekonfigurationsdaten im AIS-Gerät an Bord des jeweiligen Schiffs sein, in diesem Fall eine fehlerhafte Eingabe der Schiffsumrisse bezogen auf die Position des Positionssensors an Bord. Dies fällt meistens nur beim direkten Vergleich der georeferenziert dargestellten AIS-Daten und dem Radarecho des Schiffs auf. Trotz dieses Mankos sind die AIS-Daten zur Identifizierung der beteiligten Schiffe sehr hilfreich.

3.2 Auswertung der Radaraufzeichnungen der Revierzentrale

Im ersten Schritt wurden die Radaraufzeichnungen für den Zeitraum von 04:21:00 Uhr bis 04:53:00 Uhr mit dem Vessel Traffic Service Radarpilot der FVT in Echtzeit wiedergegeben, um einen Eindruck über die Gesamtsituation zu gewinnen. Während der Wiedergabe wurden zyklisch Screenshots von den Radarbildern der vier Stationen erstellt und gespeichert. Zusätzlich wurden für den Rheinabschnitt von km 553,4 („Betteck“) bis km 555,6 („Bankeck“) von der Firma „innovative navigation“ GmbH aufbereitete Screenshots benutzt, in denen die Radarbilder von jeweils zwei benachbarten Radarstationen überlagert sind.

Im zweiten Schritt wurden die Zeitpunkte und Orte der Begegnungen des TMS „Waldhof“ mit anderen Schiffen ermittelt.

Im dritten Schritt wurden anhand der Screenshots und, falls erforderlich, anhand von Farbausdrucken die Spurpunkte (Position und Kurs) des TMS „Waldhof“ in Abhängigkeit von der Zeit vom Eintritt in den Erfassungsbereich der Radarstation R1 („Oberwesel“) bis zum Festkommen an der Molenspitze der Loreleyhafenmole ermittelt. Dort, wo die Radarbilder nur Fragmente oder kein Echo des TMS „Waldhof“ lieferten, wurden die Schiffposition und die Orientierung durch Interpolation aus den bekannten Nachbarwerten gewonnen.

Im vierten Schritt wurden im Abstand von 10 s maßstäbliche Umriss des TMS „Waldhof“ in zeitlich zugeordnete Bilder eingezeichnet.

Im fünften Schritt wurden die Schiffsumrisse aller Einzelbilder in eine Karte integriert, so dass die komplette Spur des TMS „Waldhof“ vom „Betteck“ (Begegnung mit dem GMS „Acropolis“) bis zum Festkommen bei Rhein-km 555,33 auf einen Blick erkennbar ist.

3.2.1 Darstellung und Bewertung ausgesuchter Radarbilder

Auf den folgenden Seiten sind, chronologisch geordnet, relevante Radarbilder dargestellt und kommentiert. Zunächst werden Radarbilder für einzelne Ereignisse (z. B. Schiffsbegegnungen des TMS „Waldhof“) interpretiert. Der Fahrweg des TMS „Waldhof“ im Bereich des „Kammerecks“ und die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ werden mit Radarbildern im Abstand von 15 s beschrieben. Vom „Betteck“ bis zum Festkommen wird die Positionsveränderung des TMS „Waldhof“ mit Radarbildern im Abstand von 10 s dargestellt. In den nachfolgenden Abbildungen weist der geographische Norden nach links.

Die folgenden Bilder sind Screenshots vom Radarbild der Station „Oberwesel“ R1. Der Abstand der Messringe beträgt 400 m.

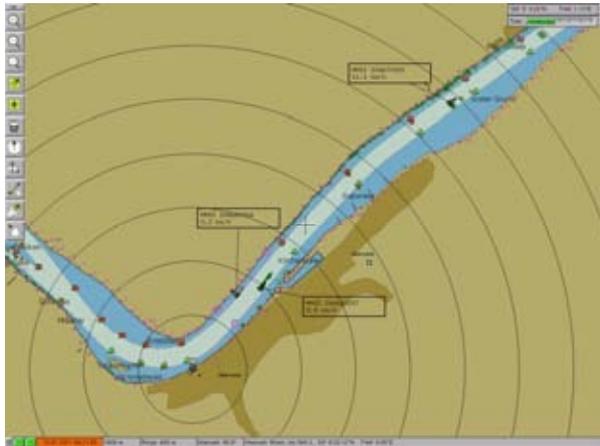


Abbildung 3-7: Radarbild R1 um 04:21:55 Uhr

Das TMS „Waldhof“ befindet sich in Zone A. Um 04:21:55 Uhr taucht das Radarecho des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 547,0 auf. Die Echofläche entspricht dem Normalfall.

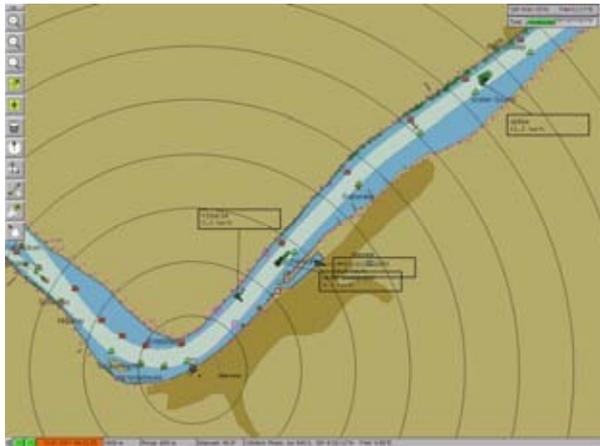


Abbildung 3-8: Radarbild R1 um 04:23:25 Uhr

Bei Rhein-km 547,6 begegnet das TMS „Waldhof“ dem SV „Gerda“ Backbord (Bb) an Backbord. Die Radarechos beider Schiffe verschmelzen erwartungsgemäß aufgrund der azimuthalen Keulenbreite der Antenne und der großen Entfernung.

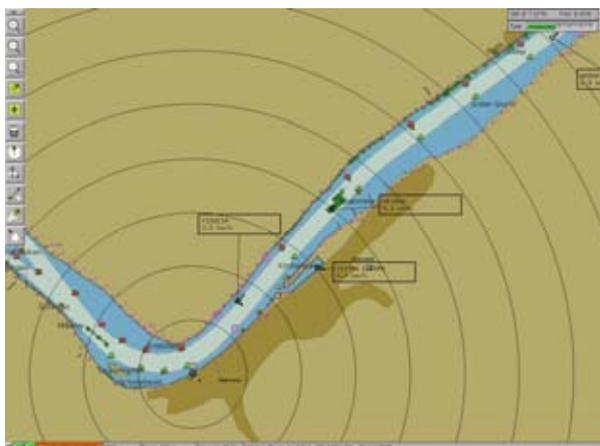


Abbildung 3-9: Radarbild R1 um 04:27:26 Uhr

Bei Rhein-km 549 um etwa 04:27:26 Uhr begegnet das TMS „Waldhof“ dem GMS „Mejana“ Bb an Bb. Die Radarechos werden schwach wahrnehmbar getrennt dargestellt, was aufgrund der Entfernung normal ist.

Die folgenden Bilder sind ebenfalls Screenshots vom Radarbild der Station „Oberwesel“ R1. Der Abstand der Messringe beträgt hier 200 m.



Abbildung 3-10: Radarbild R1 um 04:30:11 Uhr

Um etwa 04:30:11 Uhr bei Rhein-km 550 fährt das TMS „Waldhof“ an dem vor Anker liegenden TMS „Fiducia“ vorbei. Die Abmessungen der Radarechos liegen im Normbereich.

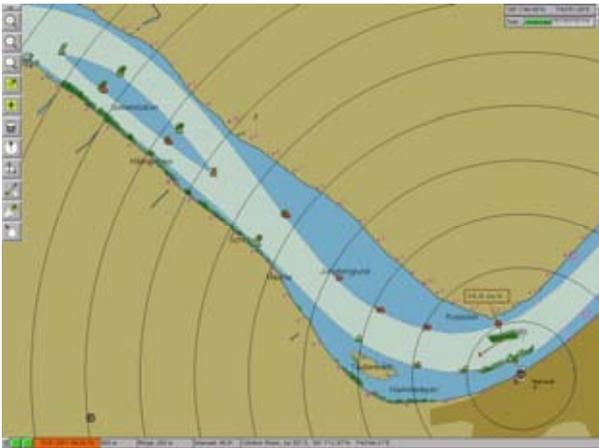


Abbildung 3-11: Radarbild R1 um 04:32:10 Uhr

Um 04:32:10 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ auf der rechten Fahrrippenseite an der Revierzentrale Oberwesel (Rhein-km 550,6) vorbei und begegnet einem namentlich unbekanntem Schubverband Bb an Bb. Das Radarecho des TMS „Waldhof“ tritt in Zone B ein.

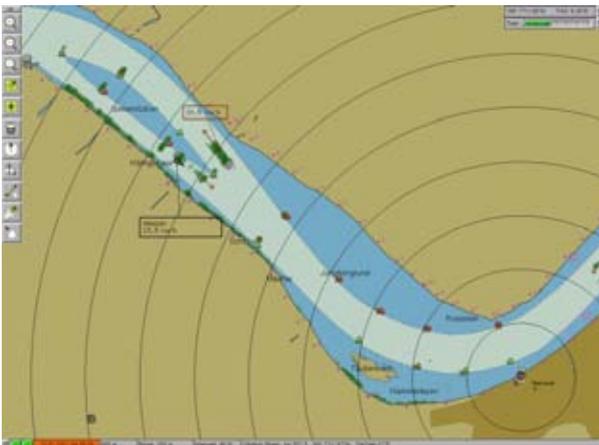


Abbildung 3-12: Radarbild R1 um 04:36:26 Uhr

Um ca. 04:36 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ in die rechte Fahrrippe am „Geisenrücken“ ein. Zu diesem Zeitpunkt fährt das zu Berg fahrende GMS „Aragon“ etwa in gleicher Höhe aus der linken Fahrrippe des „Geisenrückens“ heraus. Die Radarechos zeigen keine Unregelmäßigkeiten.

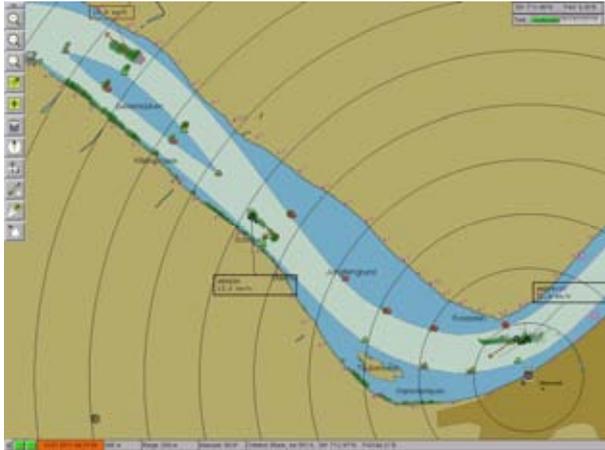


Abbildung 3-13: Radarbild R1 um 04:37:56 Uhr

Um ca. 04:38 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 552,45 mit einer von der Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 19,9 km/h (etwa 200 m oberhalb der Vereinigung der vom „Geisenrücken“ gespaltenen Fahrrinne). Die Radarechos des TMS „Waldhof“ und der Fahrinnenbegrenzungstonnen am „Geisenrücken“ sind regulär verbreitert.

Die folgenden Bilder sind Screenshots vom Radarbild der Station gegenüber dem „Kammereck“ R2. Der Abstand der Messringe beträgt 200 m.

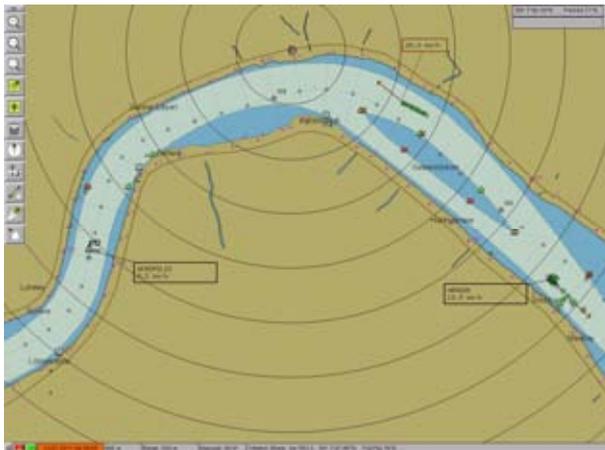


Abbildung 3-14: Radarbild R2 um 04:38:00 Uhr

Im Radarbild der Station R2 wird das Radarecho des TMS „Waldhof“ entsprechend der kürzeren Entfernung schmaler als in Abbildung 3-13 dargestellt.

Aufgrund der Information des AIS wird festgestellt, dass bei Rhein-km 554 das GMS „Acropolis“ zu Berg kommt. Vom Radar R2 wird es noch nicht erfasst.



Abbildung 3-15: Radarbild R2 um 04:38:30 Uhr

Bei Rhein-km 553,8 ist das Radarecho des GMS „Acropolis“ bereits erkennbar. Das TMS „Waldhof“ besitzt nach einer Bb-Drehung einen Kurs von etwa 5°.

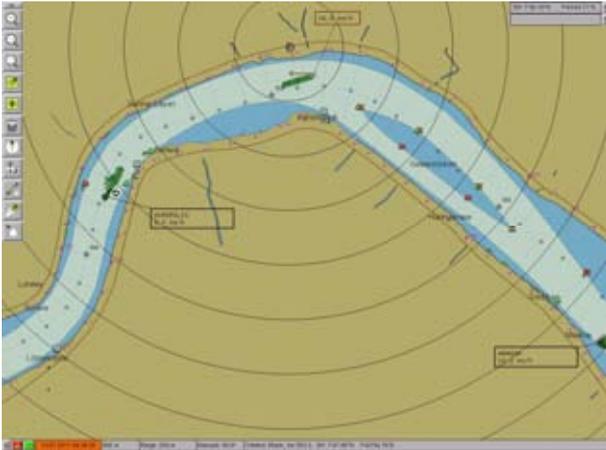


Abbildung 3-16: Radarbild R2 um 04:39:30 Uhr

Um ca. 04:39:30 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 552,9 mit einer von der Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 16 km/h und einem Kurs von etwa 344°. Die Radarechfläche ist normgemäß.

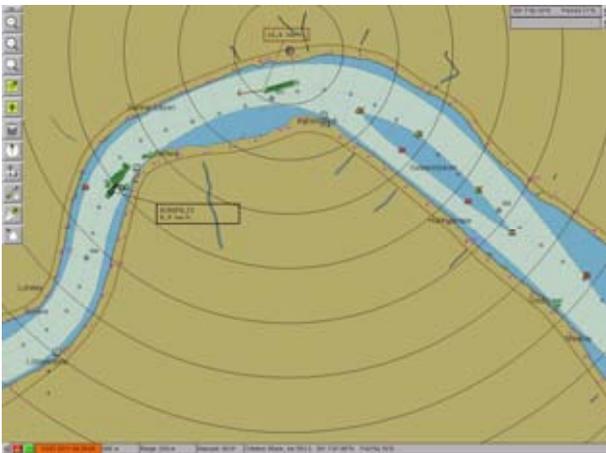


Abbildung 3-17: Radarbild R2 um 04:39:45 Uhr

Bei Rhein-km 552,95 um ca. 04:39:45 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ mit einer berechneten Geschwindigkeit von 16,6 km/h und einem Kurs von etwa 345°. Der Eintritt in die Radarzone C erfolgt. Die Radarechfläche ist normgemäß.

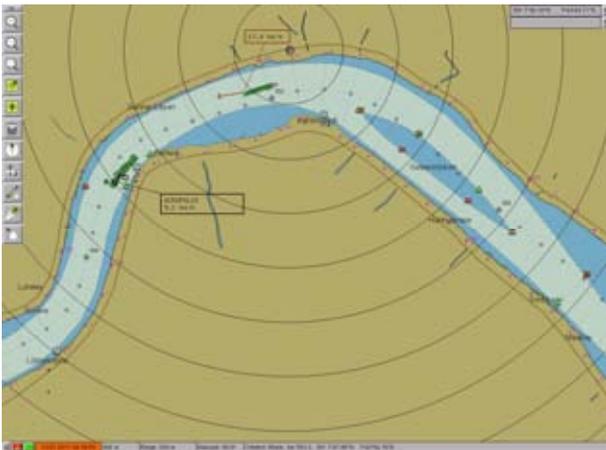


Abbildung 3-18: Radarbild R2 um 04:40:00 Uhr

Um ca. 04:40:00 Uhr (Rhein-km 553,05) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 17,4 km/h und mit einem Kurs von etwa 344°. Die Radarechfläche ist normgemäß.

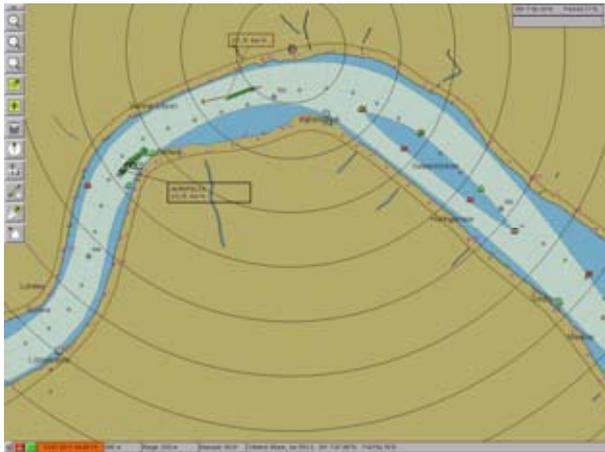


Abbildung 3-19: Radarbild R2 um 04:40:15 Uhr

Um ca. 04:40:15 Uhr (Rhein-km 553,1) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 17,5 km/h und mit einem Kurs von etwa 340°.

Die Radarechofläche ist normgemäß.

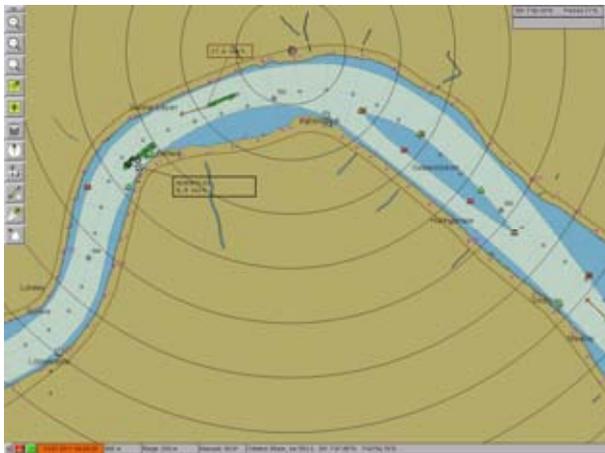


Abbildung 3-20: Radarbild R2 um 04:40:30 Uhr

Um ca. 04:40:30 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,15 mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 17,6 km/h und mit einem Kurs von etwa 338°.

Die Radarechofläche ist normgemäß.

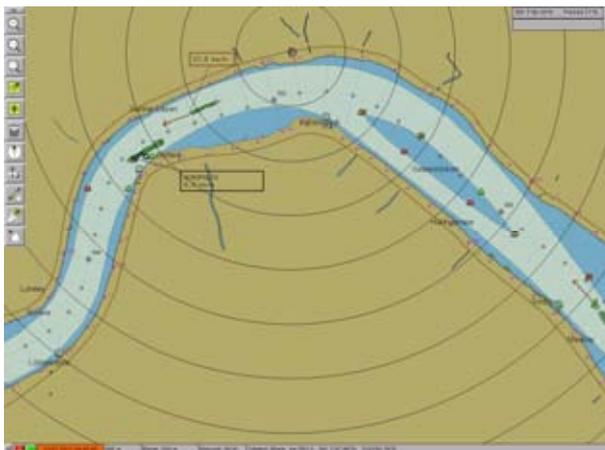


Abbildung 3-21: Radarbild R2 um 04:40:45 Uhr

Um ca. 04:40:45 Uhr (Rhein-km 553,25) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 17,5 km/h und mit einem Kurs von etwa 337°.

Die Radarechofläche ist normgemäß.

Das GMS „Acropolis“ ist noch etwa 200 m entfernt.

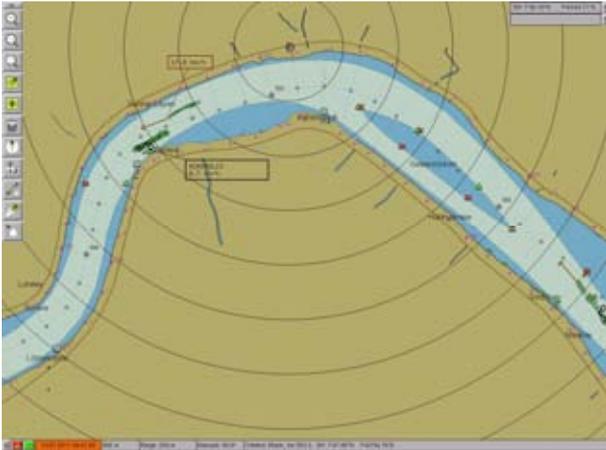


Abbildung 3-22: Radarbild R2 um 04:41:00 Uhr

Um ca. 04:41:00 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ mit einer berechneten Geschwindigkeit von 17,8 km/h bei Rhein-km 553,35 mit einem Kurs von etwa 332° in Zone D ein.

Die Radarechofläche vorne links fehlt aufgrund der Abschattung durch das Steuerhaus.

Die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ beginnt.

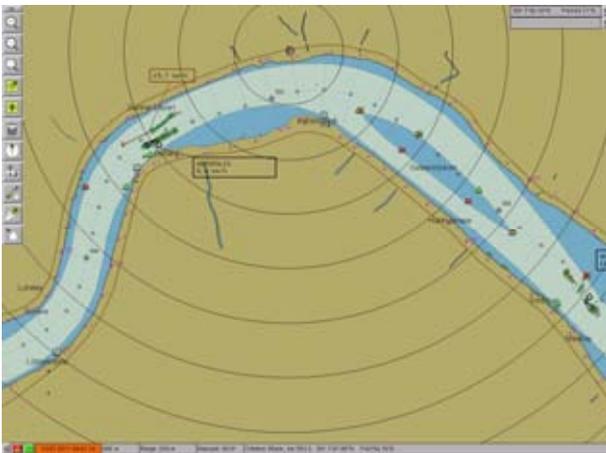


Abbildung 3-23: Radarbild R2 um 04:41:15 Uhr

Um ca. 04:41:15 Uhr (Rhein-km 553,40) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 19,7 km/h und einem Kurs von etwa 323°.

Die Radarechofläche vorne rechts fehlt auf Grund der Abschattung durch das Steuerhaus.

Das GMS „Acropolis“ passiert querab Bb an Bb.

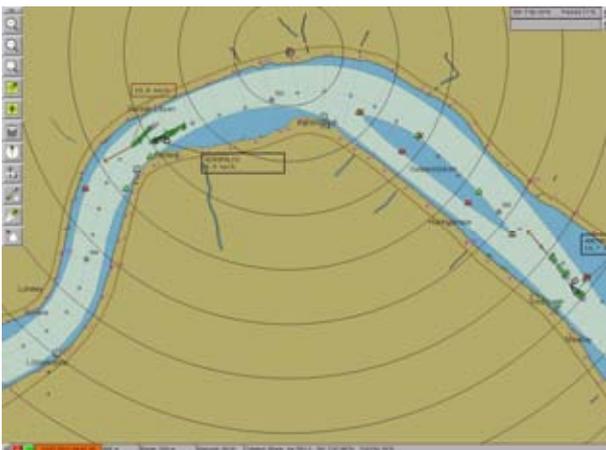


Abbildung 3-24: Radarbild R2 um 04:41:30 Uhr

Um ca. 04:41:30 Uhr (Rhein-km 553,50) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer durch die Radarzielverfolgung berechneten Geschwindigkeit von 19,0 km/h und einem Kurs von etwa 312°.

Die Radarechofläche zeigt keine Unregelmäßigkeiten.

Das GMS „Acropolis“ passiert querab Bb an Bb.

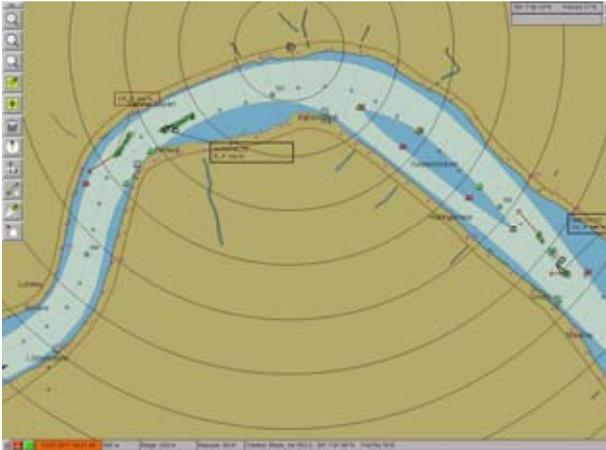


Abbildung 3-25: Radarbild R2 um 04:41:45 Uhr

Um ca. 04:41:45 Uhr fährt das TMS „Waldhof“ mit einer berechneten Geschwindigkeit von 19,5 km/h (Rhein-km 553,55). In Höhe des „Bettecks“ fährt das TMS „Waldhof“ einen Kurs von 300°.

Die Radarechofläche weist keine Unregelmäßigkeiten auf.

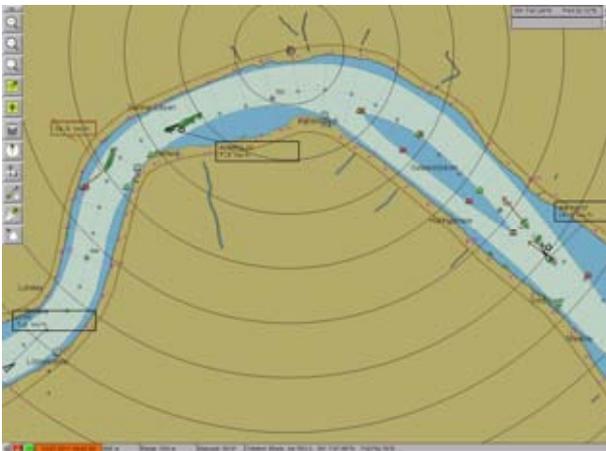


Abbildung 3-26: Radarbild R2 um 04:42:00 Uhr

Um ca. 04:42:00 Uhr (Rhein-km 553,62) fährt das TMS „Waldhof“ mit einer berechneten Geschwindigkeit von 18,5 km/h und einem Kurs von etwa 284°.

Die Radarechofläche des TMS „Waldhof“ weist am Bug Abschattungen durch das GMS „Acropolis“ auf.

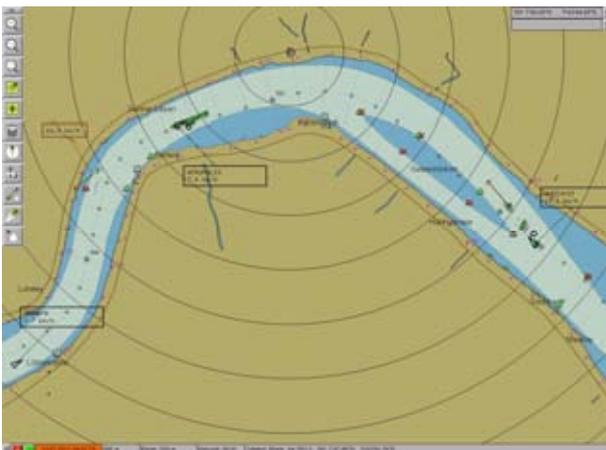


Abbildung 3-27: Radarbild R2 um 04:42:15 Uhr

Um ca. 04:42:15 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,7. Sein Radarecho besteht nur noch aus der Reflexion des Hecks. Vom restlichen Schiff wird kein Echo reflektiert. Ursache dafür können auch temporäre Abschattungen durch das GMS „Acropolis“ sein.

Die folgenden Bilder sind Screenshots vom Radarbild der Station gegenüber der „Loreley“ R3. Der Abstand der Messringe beträgt 200 m.

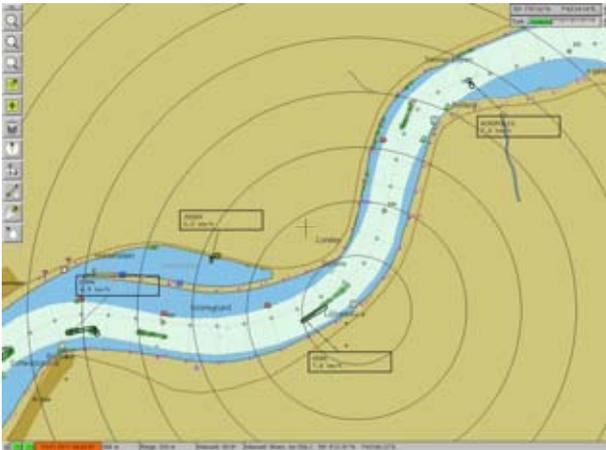


Abbildung 3-28: Radarbild R3 um 04:42:01 Uhr

Um ca. 04:42:01 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 293° bei Rhein-km 553,6. Sein Radarecho zeigt bis hier keine Unregelmäßigkeiten. Temporäre Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden (Kapitel 3.2.2 mit Abbildung 3-46 bis Abbildung 3-57).



Abbildung 3-29: Radarbild R3 um 04:42:16 Uhr

Die Auswertung aller verfügbaren Radarbilder ergab, dass das Radarecho des TMS „Waldhof“ in den 10 Sekunden von 04:42:08 Uhr an dramatisch schwächer wurde und im weiteren Verlauf, sofern keine Abschattungen auftraten, nur noch als Echo-Fragment zu erkennen war. Daher wird angenommen, dass der Kentervorgang in diesem Zeitraum begonnen hat.

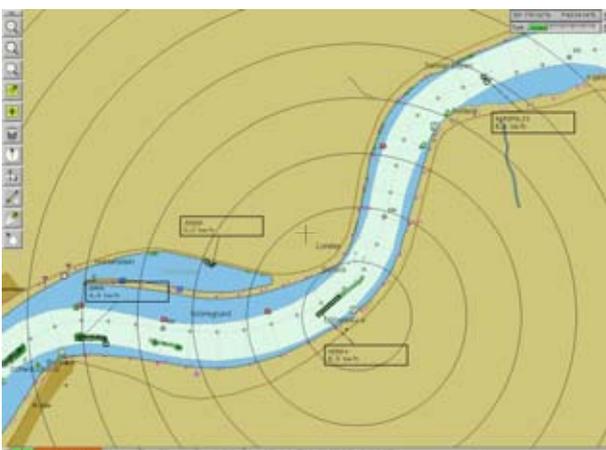


Abbildung 3-30: Radarbild R3 um 04:42:31 Uhr

Ab ca. 04:42:30 Uhr befindet sich das gekenterte TMS „Waldhof“ in der vom SV „Vera“ verursachten temporären Abschattungszone der Radarstation R3.

In den nachfolgenden Screenshots weist der geographische Norden nach oben. Sie enthalten alle Radarechos der Stationen R2 (grün), R3 (gelb) und R4 (grün). In den Abbildungen wird die aus den Radarechos und aus den interpolierten Positions- und Kurswerten ermittelte Lage des TMS „Waldhof“ als roter Schiffsumriss dargestellt.

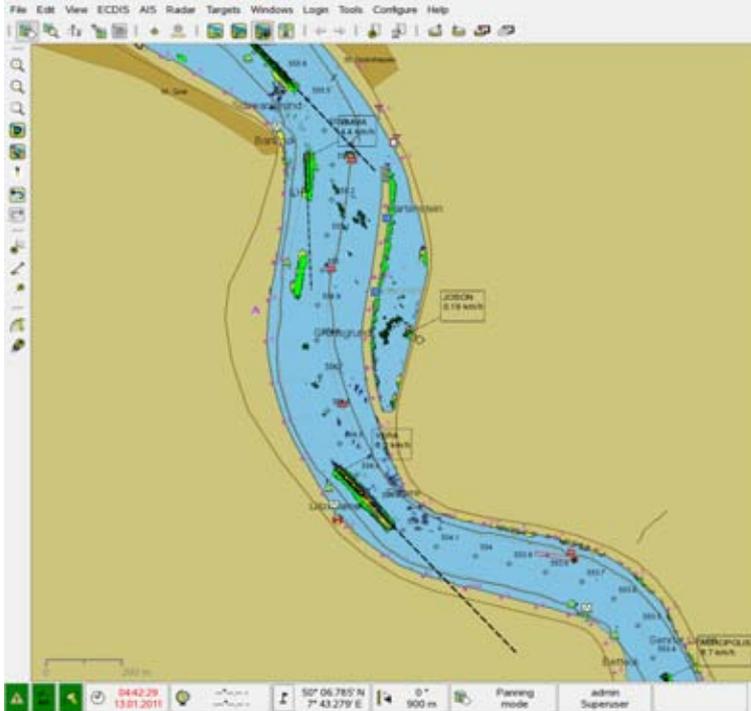


Abbildung 3-31: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:42:29 Uhr

Die Lage des gekenterten TMS „Waldhof“ um 04:42:29 Uhr wurde aus dem Radarecho der Radarstation R2 sowie aus den bekannten Werten Geschwindigkeit über Grund (SOG), Kurs über Grund (COG) und Kurs (HDG) ermittelt.



Abbildung 3-32: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:45:29 Uhr

Um 04:45:29 Uhr treibt das kieloben liegende TMS „Waldhof“ (HDG $\approx 303^\circ$) an der Radarstation R3 vorbei. Radarechos liefern die Radarstationen R3 und R4. Die unter einem rechten Winkel getroffenen Konstruktionsteile am Boden des TMS „Waldhof“ reflektieren den Radarsendeimpuls der Radarstation R3 besonders stark.



Abbildung 3-33: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:46:19 Uhr

Etwa um 04:46:16 Uhr kollidiert das kieloben treibende TMS „Waldhof“ (HDG $\approx 310^\circ$) seitlich mit dem zu Berg fahrenden TMS „Theodorus Johan“ und gleitet an dessen Backbordseite entlang zu Tal. Aus dem Radarecho geht hervor, dass das Heck des getroffenen Schiffs nach Steuerbord verschoben wird.

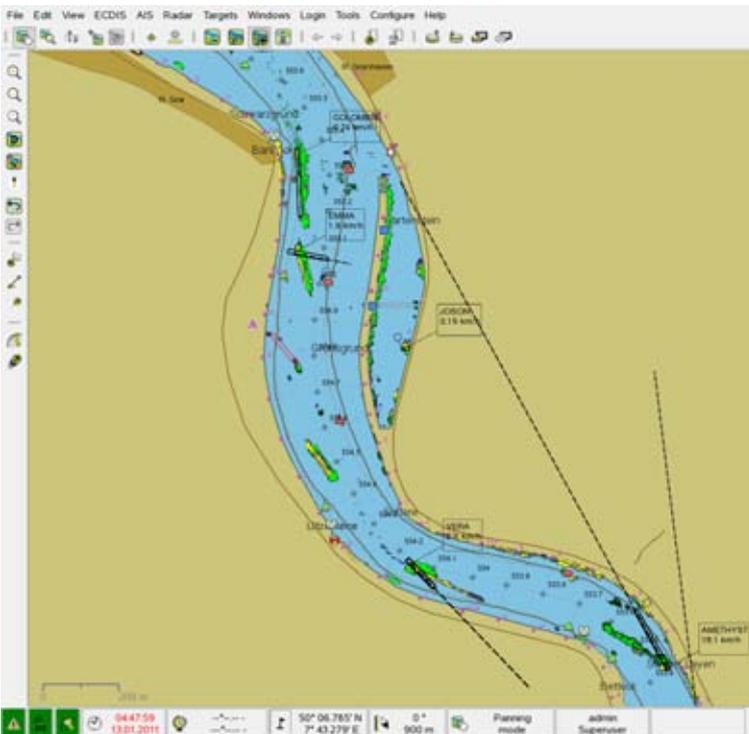


Abbildung 3-34: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:47:59 Uhr

Um 04:47:59 Uhr stößt das kieloben treibende TMS „Waldhof“ mit dem Bug bei Rhein-km 554,85 an das linke Rheinufer, (HDG $\approx 320^\circ$). Während der Bug eine Weile an Land fest hängt, bewegt sich das Heck zu Tal.



Abbildung 3-35: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:48:29 Uhr

Um 04:48:29 Uhr hat sich das kieloben treibende TMS „Waldhof“ vom Ufer gelöst und liegt nahezu quer im Rhein, (HDG $\approx 270^\circ$).



Abbildung 3-36: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:49:19 Uhr

Um 04:49:19 Uhr treibt das TMS „Waldhof“ kieloben zu Tal dicht an dem TMS „Emma“ vorbei, (HDG $\approx 258^\circ$).

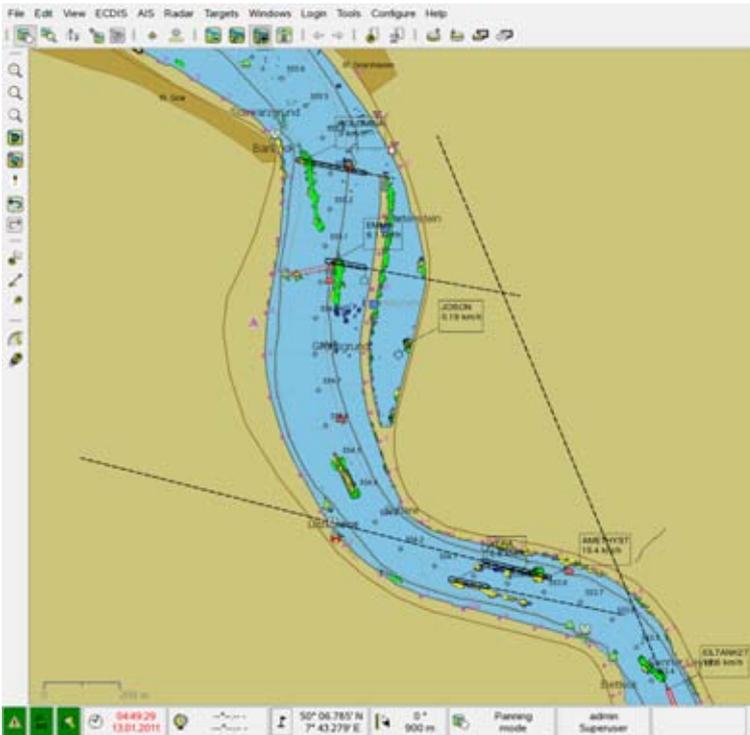


Abbildung 3-37: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:49:29 Uhr

Der Schiffsführer des TMS „Emma“ hat laut seinen Angaben eine Kollision mit dem kieloben treibenden TMS „Waldhof“ durch ein Ausweichmanöver zur rechten Rheinseite vermieden, (HDG $\approx 257^\circ$).

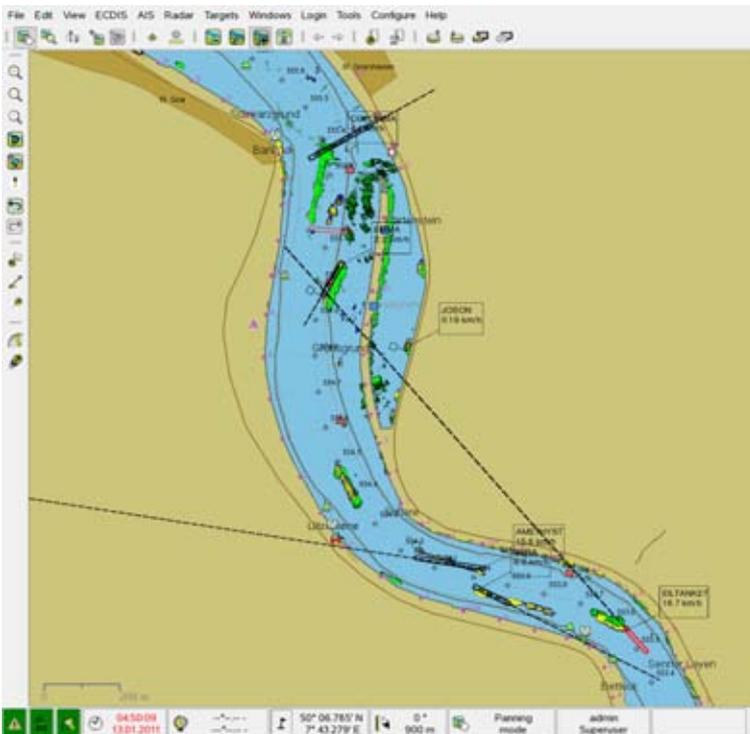


Abbildung 3-38: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:50:09 Uhr

Der Schiffsführer des SV „Colombia“ steuert sein Schiff zum linken Rheinufer und vermeidet dadurch um etwa 04:50:09 Uhr eine Kollision mit dem kieloben treibenden TMS „Waldhof“ (HDG $\approx 276^\circ$).

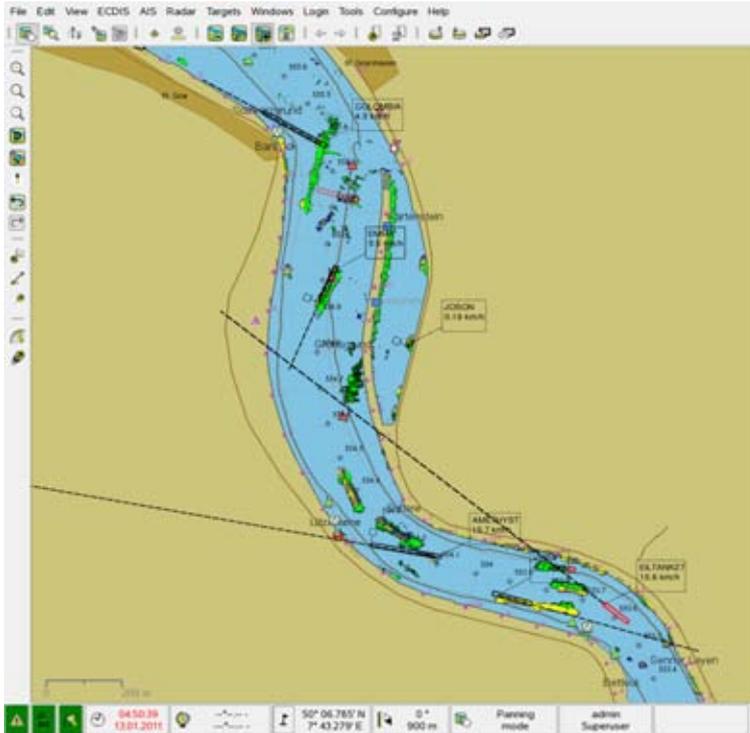


Abbildung 3-39: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:50:39 Uhr

Um 04:50:39 Uhr bei Rhein-km 555,2 treibt das gekenterte TMS „Waldhof“ nahezu quer im Rhein (HDG $\approx 285^\circ$).

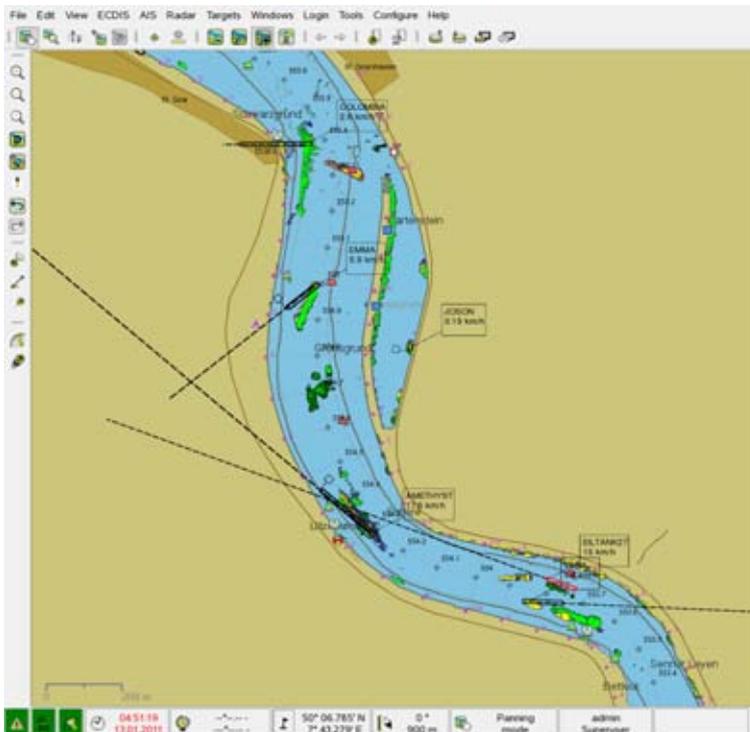


Abbildung 3-40: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:19 Uhr

Um etwa 04:51:19 Uhr läuft das kieloben treibende TMS „Waldhof“ (HDG $\approx 295^\circ$) höchstwahrscheinlich mit dem Heck auf der Flusssohle auf.

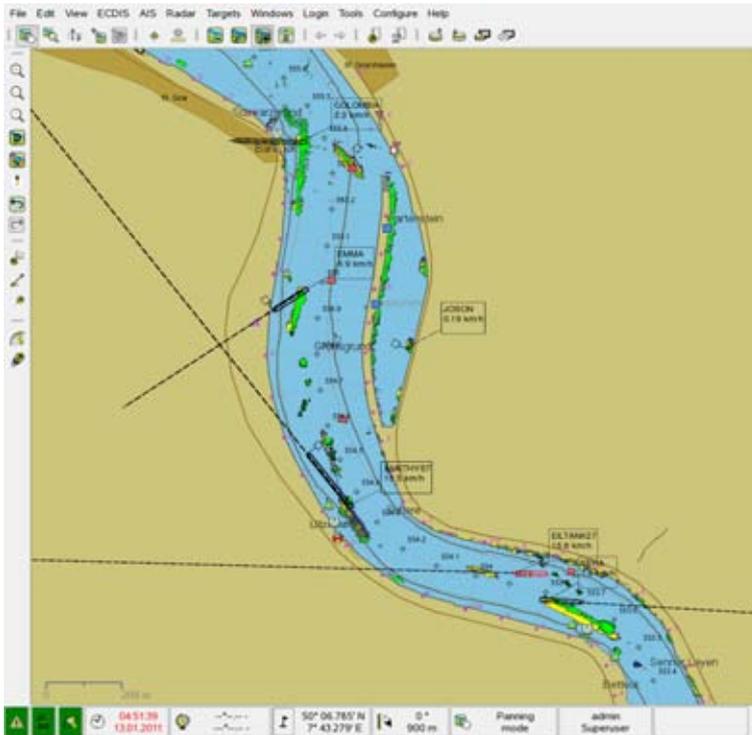


Abbildung 3-41: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:39 Uhr

Um 04:51:39 Uhr hat sich das kiel-oben treibende TMS „Waldhof“ in Fließrichtung des Rheins gedreht. Die Position des Hecks scheint unverändert. Nur der Kurs ändert sich noch (HDG $\approx 322^\circ$).

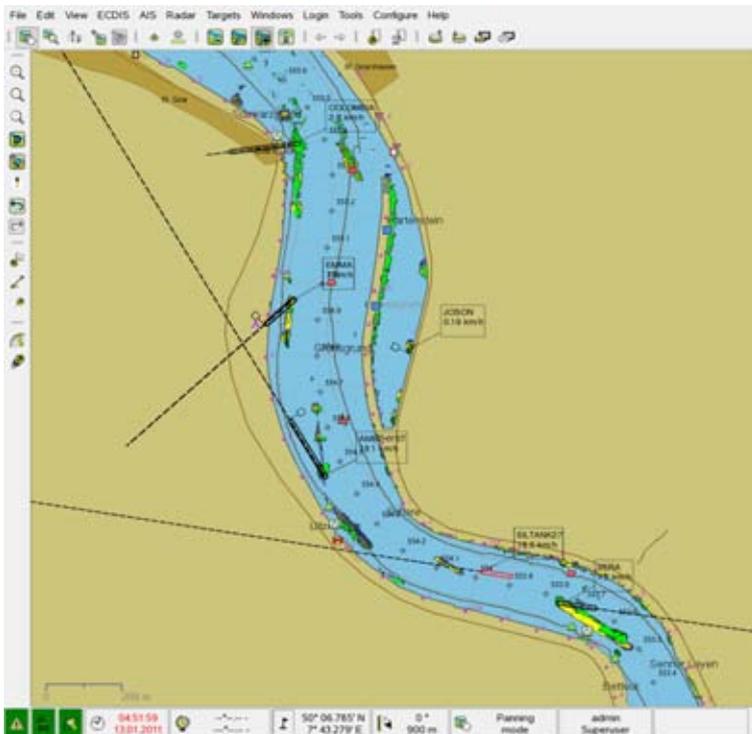


Abbildung 3-42: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:59 Uhr

Um 04:51:59 Uhr hat sich das kiel-oben treibende TMS „Waldhof“ in Fließrichtung des Rheins gedreht. Die Position des Hecks scheint unverändert. Nur der Kurs ändert sich noch (HDG $\approx 333^\circ$).

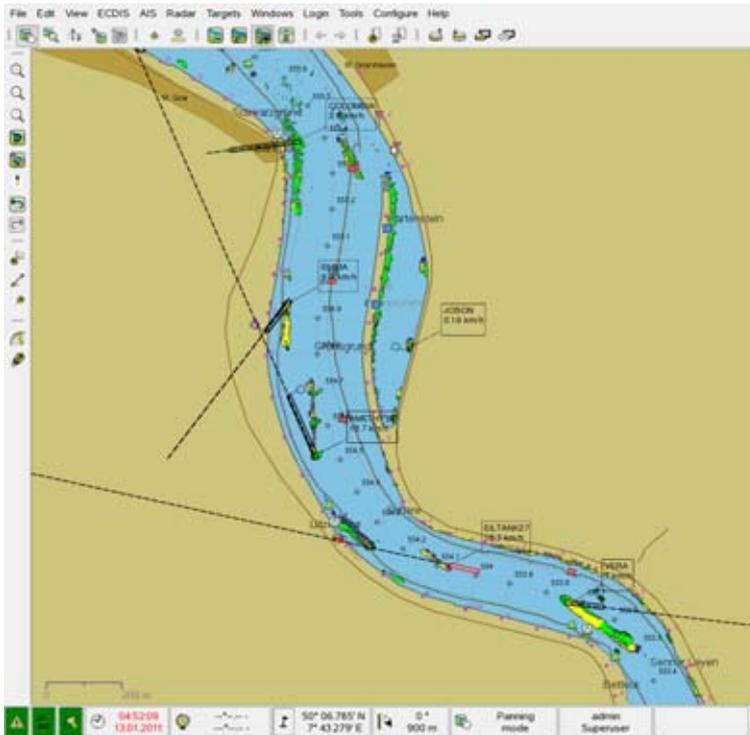


Abbildung 3-43: Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:52:09 Uhr

Um 04:52:09 Uhr sitzt das TMS „Waldhof“ (HDG $\approx 339^\circ$) auf Grund fest.

Die Drehung des Schiffs um die Längsachse und seine daraus resultierende Lage auf der Backbordseite ist aus dem Radarbild nicht zu erkennen.

3.2.2 Detailanalyse der von der Radarstation R3 (gegenüber der „Loreley“) gewonnenen Radarechos des TMS „Waldhof“

In diesem Abschnitt werden die detaillierten Auswertungsergebnisse der von der Radarstation R3 (gegenüber der „Loreley“) gewonnenen Radarechos des TMS „Waldhof“ aus der 30 Sekunden dauernden Zeitspanne vom 13.01.2011 - 04:42:00 Uhr bis 04:42:30 Uhr dargestellt. Zunächst wird aus den 15 in etwa 2-sekündlichem Abstand aufeinander folgenden Radarbildern die Position Bug („leading edge“, führende, der Radarstation zugewandte Kante des Radarechos) und Heading (Richtung der Schiffsvorauslinie) des Schiffes ermittelt (vgl. Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Positionen des Bugs und der Heading des TMS „Waldhof“

Abbildungsbezug	Uhrzeit	Rhein-km	Heading	Radarecho
Abbildung 3-46	04:42:01	553,691	293°	ja
Abbildung 3-47	04:42:03	553,695	293°	ja
Abbildung 3-48	04:42:05	553,702	288°	ja
Abbildung 3-49	04:42:07	553,718	289°	ja
Abbildung 3-50	04:42:09	553,729	285°	ja
Abbildung 3-51	04:42:11	553,740	284°	ja
Abbildung 3-52	04:42:13	553,745	284°	ja
Abbildung 3-53	04:42:15	553,762	281°	ja
Abbildung 3-54	04:42:17	553,774	278°	ja
Abbildung 3-55	04:42:18	553,779 ³		nein
Abbildung 3-56	04:42:21	553,795		ja (nur vom Bug)
Abbildung 3-57	04:42:24	553,811		nein
	04:42:26	553,821		nein
	04:42:28	553,831		nein
	04:42:30	553,842		nein
mittlere Geschwindigkeit:		5,2 m/s		

Demnach lieferte die Radaranlage von dem gekenterten TMS „Waldhof“ erstmalig in einem Antennenumlauf um 04:42:18 Uhr und in den Antennenumläufen von 04:42:24 Uhr an kein Radarecho mehr. Das lässt darauf schließen, dass das Schiff um 04:42:18 Uhr kurzzeitig und nach kurzem „Auftauchen“ um 04:42:21 Uhr anhaltend zumindest so weit untergetaucht war, dass keine orthogonal zur Radarstation verlaufenden Schiffskörperflächen aus der Wasseroberfläche herausragten. Das kurzzeitige „Auftauchen“ um 04:42:21 Uhr stammte von einem schwachen Radarecho vom Bug des TMS „Waldhof“.

Der aus den Radarbildern ermittelte zeitliche Verlauf von „Bug-Position“ und „Heading“ des TMS „Waldhof“ sind aus Abbildung 3-44 und Abbildung 3-45 ersichtlich.

³ grau unterlegte Zellen enthalten berechnete Werte

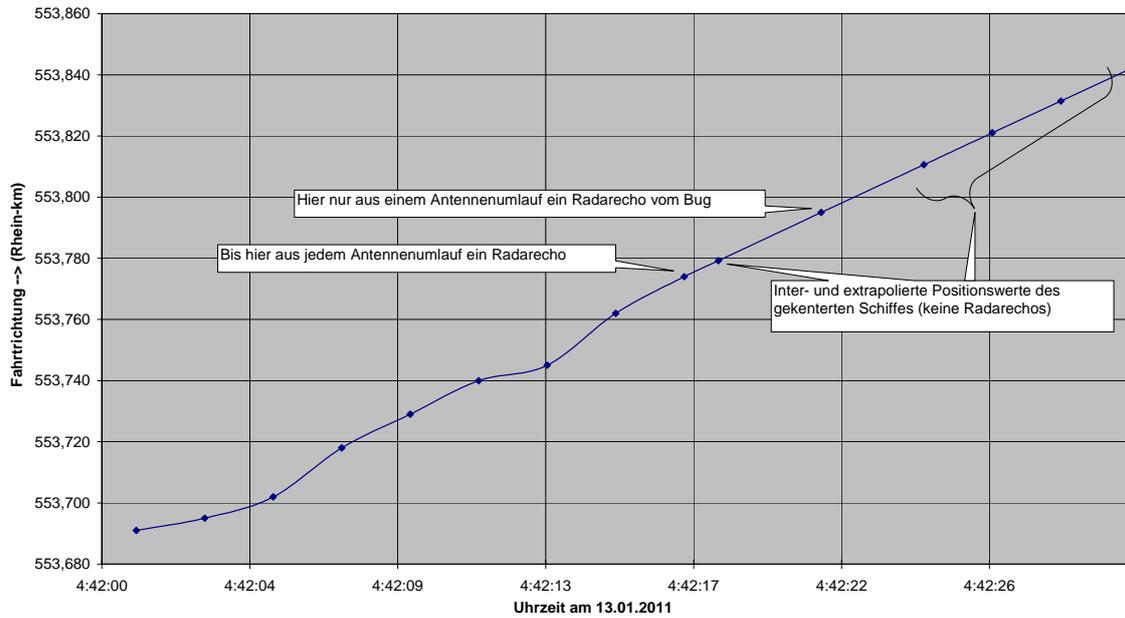


Abbildung 3-44: Bug-Positionen des TMS „Waldhof“

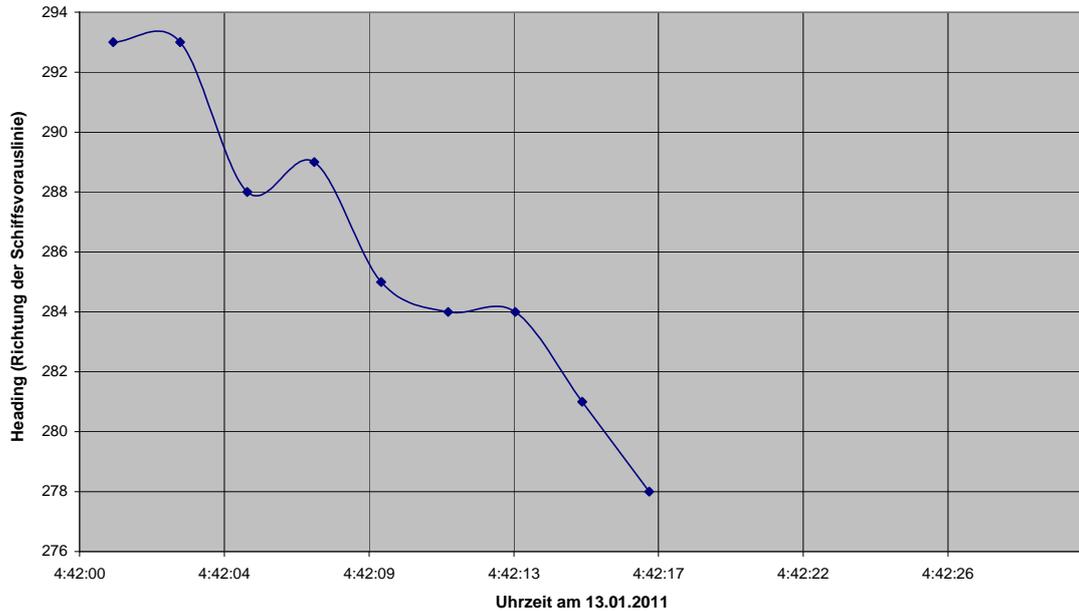


Abbildung 3-45: Heading-Werte des TMS „Waldhof“

Aus Abbildung 3-45 ist im Zeitraum zwischen 04:42:00 Uhr und 04:42:13 Uhr ein Schlingern des Kurses vor der Kenterung zu erkennen. Aus den zeitlichen Änderungen in der Struktur der Radarechos sowie dem anhaltenden kompletten Ausfall des Radarechos ist zu schließen, dass das TMS „Waldhof“ ab 04:42:18 Uhr kieloben trieb.

Die folgenden Bilder sind Ausschnitte aus dem Radarbild der Station R3 (gegenüber der „Loreley“). Der Abstand der Messringe beträgt 100 m. Zur Verdeutlichung, dass das TMS „Waldhof“ in dem hier betrachteten Zeitraum von 04:42:00 Uhr bis 04:42:30 Uhr definitiv nicht von einer

Abschattung durch den SV „Vera“ betroffen war, wurde nachträglich in die Radarbilder ein Peilstrahl (EBL) eingeblendet, der den Beginn des Abschattungssektors markiert.

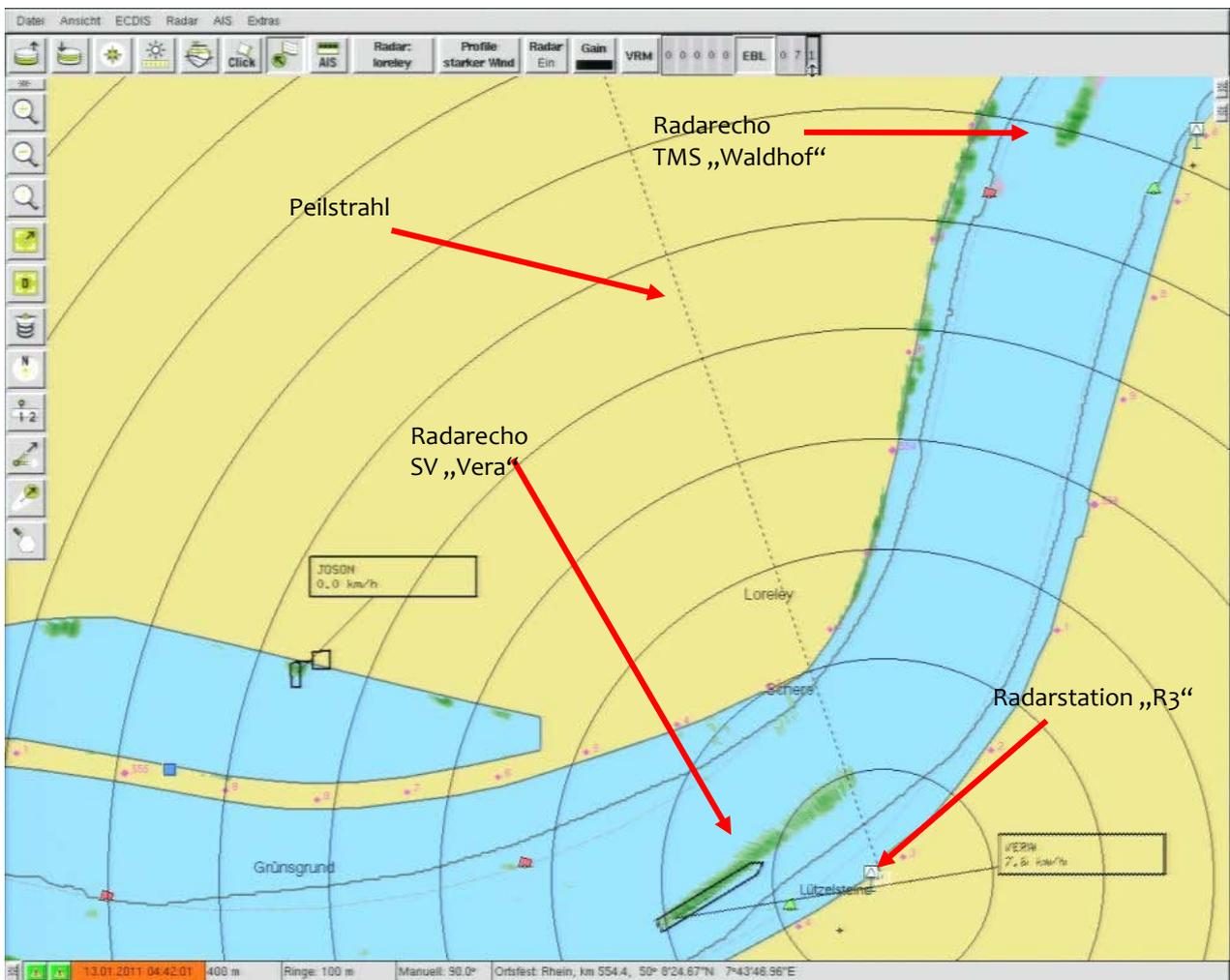


Abbildung 3-46: Radarbild R3 um 04:42:01 Uhr

Um ca. 04:42:01 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 293° bei Rhein-km 553,691 (Bug des Schiffes, Toleranzbereich etwa ± 5 m). Das Radarecho weist keine Unregelmäßigkeiten auf. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.

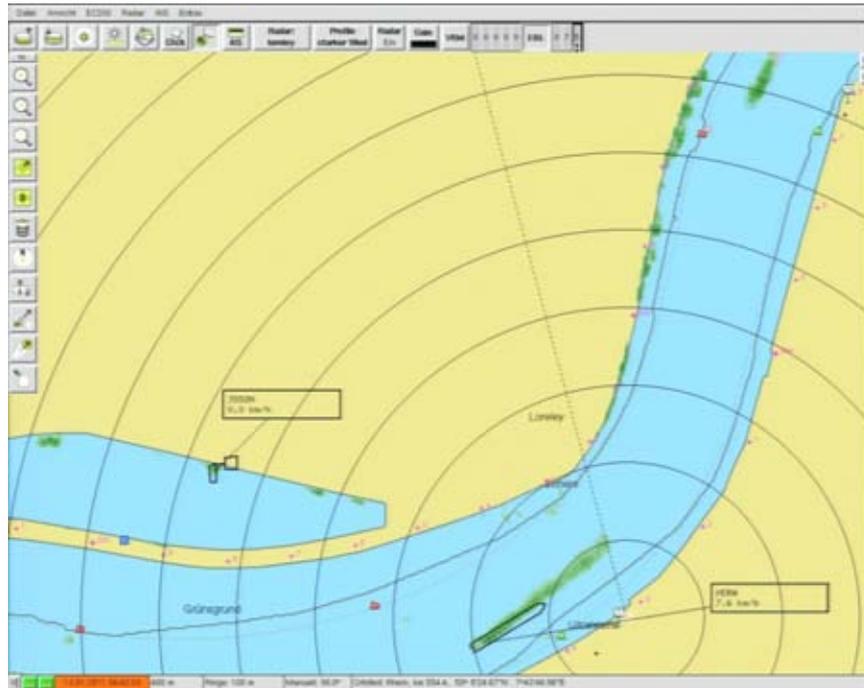


Abbildung 3-47: Radarbild R3 um 04:42:03 Uhr

Um ca. 04:42:03 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 293° bei Rheinkm 553,695. Das Radarecho weist keine Unregelmäßigkeiten auf. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.

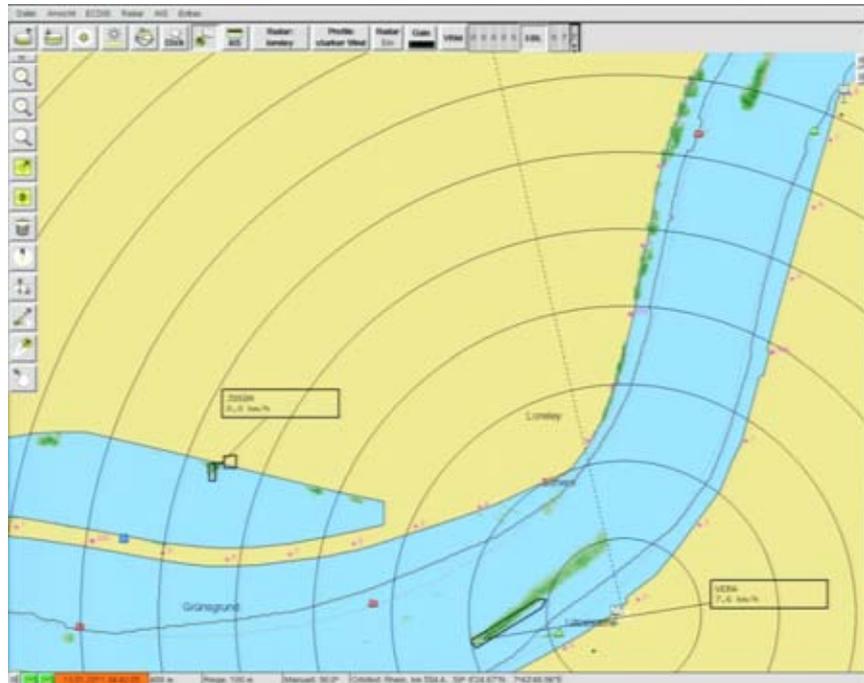


Abbildung 3-48: Radarbild R3 um 04:42:05 Uhr

Um ca. 04:42:05 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 288° bei Rheinkm 553,702. Das Radarecho weist keine Unregelmäßigkeiten auf. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.



Abbildung 3-49: Radarbild R3 um 04:42:07 Uhr

Um ca. 04:42:07 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 289° bei Rhein-km 553,702. Das Radarecho weist keine Unregelmäßigkeiten auf. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.



Abbildung 3-50: Radarbild R3 um 04:42:09 Uhr

Um ca. 04:42:09 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 285° bei Rhein-km 553,729. Das Radarecho ist ab Schiffsmittle bis zum Heck schwächer geworden. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.



Abbildung 3-51: Radarbild R3 um 04:42:11 Uhr

Um ca. 04:42:11 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 284° bei Rhein-km 553,740. Lediglich der Bug des Schiffes und ein Teil am Heck des Schiffes liefern ein Radarecho. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.

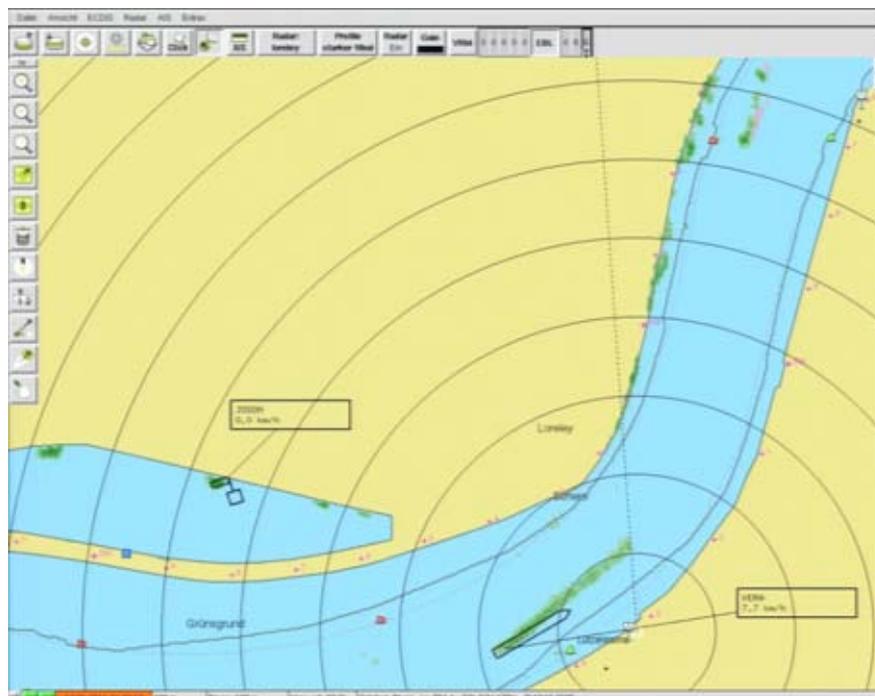


Abbildung 3-52: Radarbild R3 um 04:42:13 Uhr

Um ca. 04:42:13 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 284° bei Rhein-km 553,745. Lediglich der Bug des Schiffes und ein Teil am Heck des Schiffes liefern ein Radarecho. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.



Abbildung 3-53: Radarbild R3 um 04:42:15 Uhr

Um ca. 04:42:15 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 281° bei Rhein-km 553,762. Lediglich der Bug des Schiffes und ein Teil am Heck des Schiffes liefern ein Radarecho. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.



Abbildung 3-54: Radarbild R3 um 04:42:17 Uhr

Um ca. 04:42:17 Uhr befindet sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 278° bei Rhein-km 553,774. Lediglich der Bug des Schiffes und ein Teil am Heck des Schiffes liefern ein Radarecho. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind nicht vorhanden.

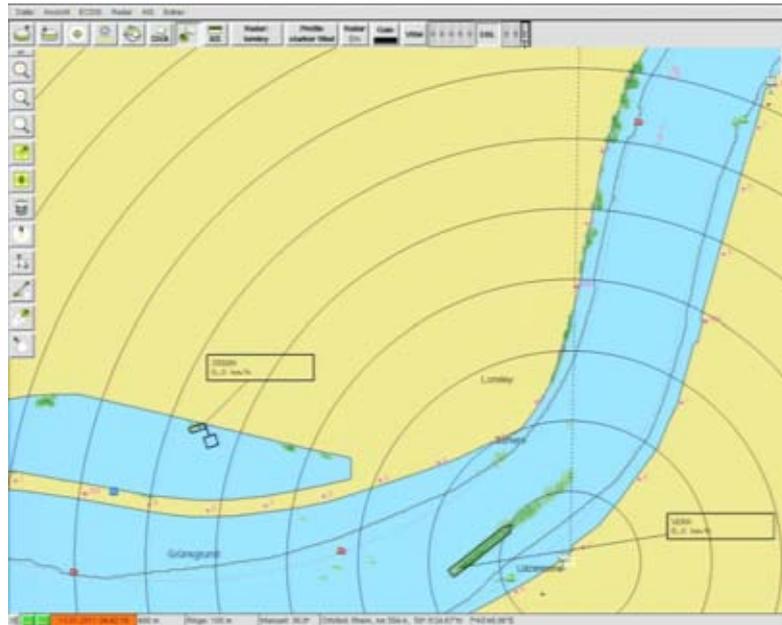


Abbildung 3-55: Radarbild R3 um 04:42:18 Uhr

Um ca. 04:42:18 Uhr liefert das TMS „Waldhof“ kein Radarecho. Im Radarbild ist lediglich die nachleuchtende Echofläche des vergangenen Antennenumlaufs zu sehen. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind definitiv nicht vorhanden. Auf Grund der Vorgeschichte muss sich das TMS „Waldhof“ mit einem Kurs von etwa 278° bei Rhein-km 553,780 befinden.

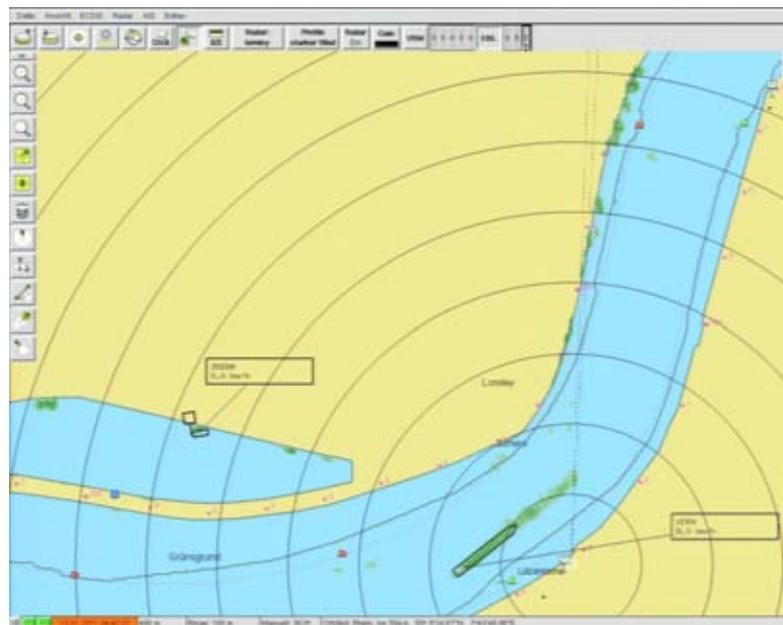


Abbildung 3-56: Radarbild R3 um 04:42:21 Uhr

Um ca. 04:42:21 Uhr tritt im Radarbild ein punktförmiges Radarecho bei Rhein-km 553,795 auf, das auf Grund des vorhergegangenen Bewegungsablaufs nur vom Bug des TMS „Waldhof“ stammen kann. Aus den zeitlichen Änderungen in der Struktur der Radarechos ist zu vermuten, dass das Hinterschiff des TMS „Waldhof“ ab 04:42:18 Uhr untergetaucht ist oder keine orthogonal zur Radarstation verlaufenden Schiffskörperflächen aus der Wasseroberfläche herausragten. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind definitiv nicht vorhanden.

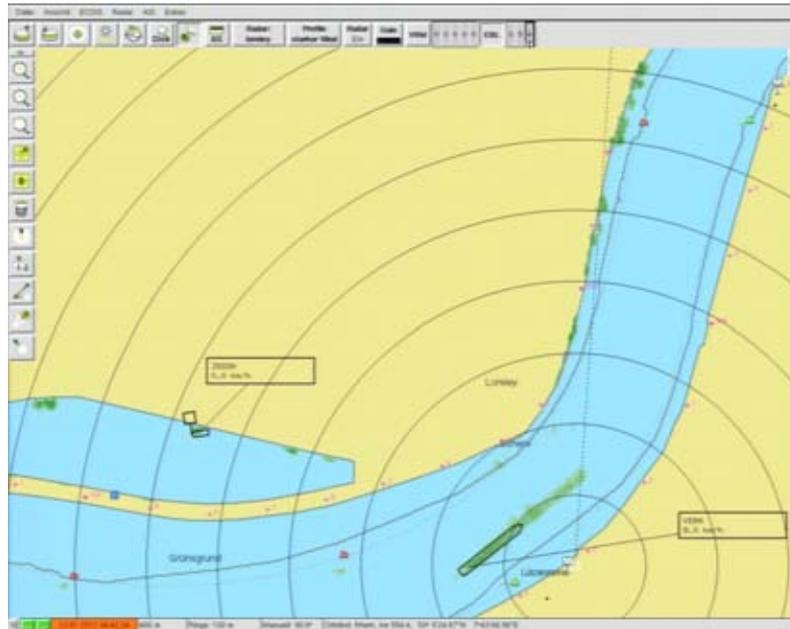


Abbildung 3-57: Radarbild R3 um 04:42:24 Uhr

Ab ca. 04:42:24 Uhr liefert das TMS „Waldhof“ kein Radarecho mehr. Das lässt darauf schließen, dass das Schiff so weit untergetaucht ist, dass keine orthogonal zur Radarstation verlaufenden Schiffskörperflächen aus der Wasseroberfläche herausragten. Abschattungen durch den SV „Vera“ sind definitiv nicht vorhanden.

3.2.3 Tabellarische Darstellung der Spurpunkte des TMS „Waldhof“

Die Positions- und Lagewerte des TMS „Waldhof“ wurden als kartesische Pixeladressen im nordorientierten Radarbild ermittelt. Alle für die Tabelle verwendeten Radarbilder zeigen denselben Kartenausschnitt und besitzen eine Auflösung von 1.120 x 1.120 Pixel. Koordinaten-Nullpunkt ($x=0 / y=0$) ist die linke obere Ecke der Bilder. Der 200 m Maßstabsbalken in der linken unteren Ecke der Bilder belegt 111 Pixel. Somit repräsentiert 1 Pixel eine Fläche von $1,8 \times 1,8 \text{ m}^2$.

Die für den Zeitraum von 04:41:09 Uhr bis 04:52:59 Uhr (Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ bis zum Festkommen bei Rhein-km 555,33) ermittelten Positions- und Lagewerte sowie die daraus ermittelten Geschwindigkeiten (SOG) und der Kurs (HDG) sind in nachfolgender Tabelle 3-4 dargestellt.

Tabelle 3-4: Lage des TMS „Waldhof“ im Radarbild (1.120 x 1.120 Pixel)

Uhrzeit	rel. Zeit	x-Pos [Pixel]	y-Pos [Pixel]	SOG [m/s]	HDG [°]
04:41:09	00:00:00	982	-1042	5,82	324
04:41:19	00:00:10	970	-1012	4,52	320
04:41:29	00:00:20	958	-990	7,32	314
04:41:39	00:00:30	933	-958	4,45	308
04:41:49	00:00:40	920	-937	5,73	301
04:41:59	00:00:50	897	-915	5,85	291
04:42:09	00:01:00	870	-897	4,20	287
Kein Radarecho vorhanden					
04:44:49	00:03:40	574	-802	2,56	298
04:44:59	00:03:50	563	-793	4,11	302
04:45:09	00:04:00	545	-779	2,50	302
04:45:19	00:04:10	538	-767	2,96	302
04:45:29	00:04:20	525	-757	2,60	303
04:45:39	00:04:30	517	-745	3,19	304
04:45:49	00:04:40	505	-732	2,96	306
04:45:59	00:04:50	495	-719	3,44	312
04:46:09	00:05:00	482	-705	3,99	310
04:46:19	00:05:10	475	-684	2,82	310
04:46:29	00:05:20	468	-670	3,21	322
04:46:39	00:05:30	457	-656	2,91	322
04:46:49	00:05:40	455	-640	3,71	322
04:46:59	00:05:50	445	-622	3,87	322
04:47:09	00:06:00	435	-603	3,02	321
04:47:19	00:06:10	430	-587	3,99	321
04:47:29	00:06:20	423	-566	1,63	320
04:47:39	00:06:30	422	-557	3,19	320
04:47:49	00:06:40	417	-540	3,06	320
04:47:59	00:06:50	417	-523	1,55	320
04:48:09	00:07:00	422	-516	0,90	300
04:48:19	00:07:10	425	-512	2,98	284
04:48:29	00:07:20	432	-497	2,01	270
04:48:39	00:07:30	437	-487	3,25	265
04:48:49	00:07:40	447	-472	3,07	265
04:48:59	00:07:50	446	-455	2,17	263
04:49:09	00:08:00	447	-443	3,25	258
04:49:19	00:08:10	457	-428	3,78	258
04:49:29	00:08:20	457	-407	2,17	257
04:49:39	00:08:30	458	-395	3,19	262
04:49:49	00:08:40	470	-382	3,42	267
04:49:59	00:08:50	470	-363	4,55	275
04:50:09	00:09:00	484	-342	2,91	276
04:50:19	00:09:10	490	-327	1,94	277
04:50:29	00:09:20	486	-317	4,33	281
04:50:39	00:09:30	493	-294	2,58	285
04:50:49	00:09:40	496	-280	2,89	289
04:50:59	00:09:50	495	-264	1,62	293
04:51:09	00:10:00	495	-255	1,70	295
04:51:19	00:10:10	503	-250	1,71	295
04:51:29	00:10:20	506	-241	0,57	305
04:51:39	00:10:30	507	-238	0,36	322
04:51:49	00:10:40	509	-238	0,18	328
04:51:59	00:10:50	510	-238	0,76	333
04:52:09	00:11:00	513	-235	0,54	339
04:52:19	00:11:10	513	-238	0,54	339
04:52:29	00:11:20	513	-235	0,00	339
04:52:39	00:11:30	513	-235	0,00	337
04:52:49	00:11:40	513	-235	0,00	338
04:52:59	00:11:50	513	-235		339

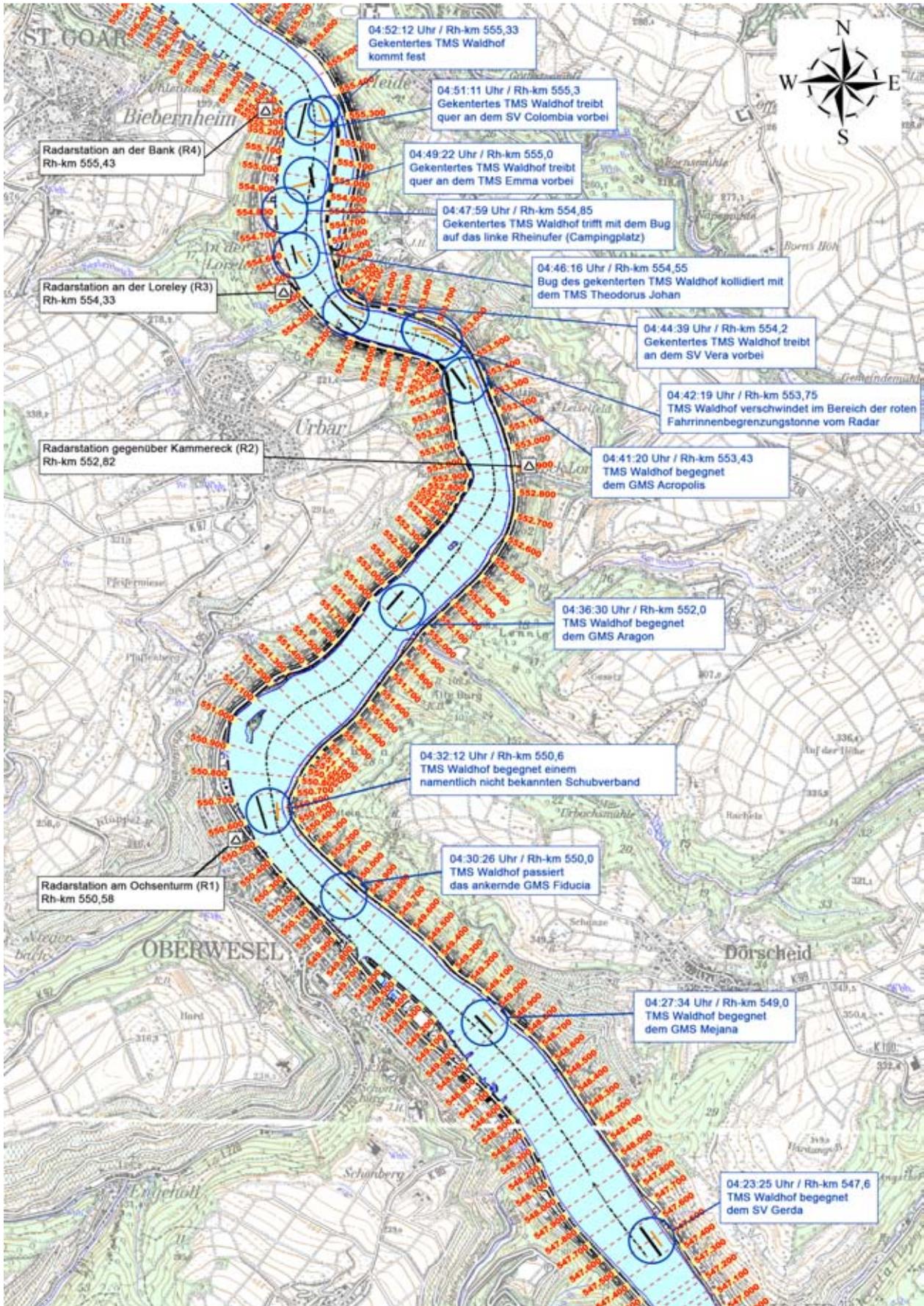


Abbildung 3-59: Lage der Radarstationen und Übersicht des chronologischen Ablaufs der Havarie des TMS „Waldhof“ am 13.01.2011

3.3 Einzelne Phasen des Ablaufs der Havarie

Auf der Grundlage der Radarbilder sowie der Auswertung der AIS-Informationen konnten Begegnungsort und -zeit der jeweiligen Schiffe mit dem TMS „Waldhof“ bestimmt werden. Darüber hinaus wurden auf freiwilliger Basis Befragungen der Schiffsführer durchgeführt, die weitere Informationen zum Begegnungsablauf lieferten. Als Begegnungspunkt wurde jeweils der Rhein-km bestimmt, bei dem der Flächenschwerpunkt des TMS „Waldhof“ mit der Position des AIS-Senders des jeweiligen Bergfahrers übereinstimmt; zusätzlich wurde die zugehörige Uhrzeit ermittelt. Die nachfolgend angegebenen Geschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ wurden aus den Radarinformationen gewonnen. Die Geschwindigkeitsangaben zu den weiteren Schiffen basieren auf AIS-Informationen.

3.3.1 Schiffsbegegnungen von Rhein-km 547 bis zum „Kammereck“

Nachdem das TMS „Waldhof“ um 04:21:43 Uhr bei Rhein-km 547,0 erstmalig auf dem Radar der Revierzentrale Oberwesel geortet wurde, erfolgte bei Rhein-km 547,6 um 04:23:25 Uhr die Begegnung mit dem SV „Gerda“. Der Schiffsführer des SV „Gerda“ hat die Begegnung als unauffällig bezeichnet. Das TMS „Waldhof“ habe eine aufrechte Schwimmelage gehabt und die Positionsleuchten seien eingeschaltet gewesen. Zum Zeitpunkt der Begegnung hatte der SV „Gerda“ eine Geschwindigkeit über Grund von 11,1 km/h. Die Geschwindigkeit des TMS „Waldhof“ wurde aus den Radarbildern ermittelt. Diese betrug ca. 20,5 km/h über Grund.

Schiffsname: SV „Gerda“

Länge: 186,50 m

Breite: 11,45 m



Bildquelle: www.micharms.de

Abbildung 3-60: Schubverband „Gerda“

Rund 1,5 km stromabwärts kam es bei Rhein-km 549,0 um 04:27:34 Uhr an Backbord des TMS „Waldhof“ zur Begegnung mit dem GMS „Mejana“. Hierbei machte das GMS „Mejana“ eine Fahrt über Grund von 9,4 km/h. Das TMS „Waldhof“ hatte eine Geschwindigkeit über Grund von ca. 17,8 km/h. Um 04:29:12 Uhr hat sich das TMS „Waldhof“ per Funk auf Kanal 18 bei der Revierzentrale in Oberwesel angemeldet. Wenig später fuhr das Fahrzeug an dem am rechtsrheinischen Ufer auf Reede liegenden GMS „Fiducia“ vorbei (04:30:26 Uhr bei Rhein-km 550,0). Die Geschwindigkeit über Grund des TMS „Waldhof“ betrug zu dieser Zeit etwa 21,4 km/h. Etwa auf der Höhe der Revierzentrale Oberwesel (Rhein-km 550,6) kam es dann um 04:32:12 Uhr zur Begegnung mit einem namentlich nicht bekannten Schubverband. Anschließend (04:36:30 Uhr) begegnete das TMS „Waldhof“ in der Nähe des „Geisenrückens“ (Rhein-km 552,0) an Backbord dem GMS „Aragon“. Im Begegnungsbereich sind getrennte Fahrinnen vorhanden. Der Schiffsführer des Bergfahrers GMS „Aragon“ hatte sich für die linksrheinische Fahrinne am „Geisenrücken“ entschieden. Der Schiffsführer beschrieb die Begegnung als normal. Das TMS „Waldhof“ habe sich über Funk gemeldet und die Positionslichter seien sichtbar gewesen. Die Schwimmelage des TMS wurde als unauffällig und aufrecht beschrieben. Zum Zeitpunkt der Begegnung wurde für das GMS „Aragon“ eine Fahrt über Grund von 13,7 km/h bestimmt. Das TMS „Waldhof“ machte eine Fahrt über Grund von ca. 20,7 km/h.

Schiffsname: GMS „Mejana“

Länge: 135,00 m

Breite: 15,00 m

Bildquelle: www.micharms.de



Abbildung 3-61: Gütermotorschiff „Mejana“

Schiffsname: GMS „Fiducia“

Länge: 80,00 m

Breite: 8,22 m

Bildquelle: www.micharms.de



Abbildung 3-62: Gütermotorschiff „Fiducia“

Schiffsname: GMS „Aragon“

Länge: 135,00 m

Breite: 14,20 m

Bildquelle: www.micharms.de



Abbildung 3-63: Gütermotorschiff „Aragon“

3.3.2 Begegnung am „Betteck“ mit dem GMS „Acropolis“

Nachdem das TMS „Waldhof“ den „Geisenrücken“ passiert hatte, folgte die Kurve am „Kammereck“ mit einem Radius bezogen auf die Einteilungslinie von rd. 500 m und einem Zentriwinkel von rd. 73°. Nach der Ausfahrt aus diesem schließt eine kurze Gerade von ca. 200 m an, ehe die Kurve am „Betteck“ mit einem Radius von ca. 288 m und einem Zentriwinkel von rd. 63° durchfahren werden muss.

Die Begegnung des zu Tal fahrenden TMS „Waldhof“ und des zu Berg kommenden GMS „Acropolis“ erfolgte zwischen Rhein-km 553,35 und Rhein-km 553,55 im Bereich der Kurve des „Bettecks“. Als Begegnungspunkt, bei dem sich der AIS-Sender des GMS „Acropolis“ etwa in gleicher Höhe mit dem Flächenschwerpunkt des TMS „Waldhof“ befand, wird Rhein-km 553,43 um 04:41:20 Uhr festgelegt. Etwa zu diesem Zeitpunkt fuhr das GMS „Acropolis“ 9 km/h und das TMS „Waldhof“ 19 km/h über Grund. Die Begegnung erfolgte Backbord an Backbord.

Schiffsname: GMS „Acropolis“

Länge: 135,00 m

Breite: 15,00 m



Bildquelle: www.micharms.de

Abbildung 3-64: Gütermotorschiff „Acropolis“

Die Phasenaufnahmen der Radarbilder lassen bei keinem der beiden Schiffe Unregelmäßigkeiten im Fahrverhalten und keine abrupten Kurswechsel erkennen. Das GMS „Acropolis“ fuhr deutlich erkennbar sehr nah ans linke Rheinufer heran, so dass eine Begegnung mit dem TMS „Waldhof“ an Backbord stattfinden konnte. Das TMS „Waldhof“ fuhr etwa in der Mitte des Rheins (Anlage 5).

3.3.3 Havarie des TMS „Waldhof“

Etwa 300 m, rund drei Schiffslängen nach der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“, etwa bei Rhein-km 553,75 um ca. 04:42:19 Uhr havarierte das TMS „Waldhof“. Abbildung 3-65 zeigt den Ablauf, wie das TMS „Waldhof“ immer schlechter vom Radar geortet werden kann. Zunächst wird das Fahrzeug noch von zwei Radarstationen (gegenüber dem „Kammereck“ R2 und gegenüber der „Loreley“ R3) ungestört geortet (04:42:09 Uhr), ehe das GMS „Acropolis“ das Radar gegenüber dem „Kammereck“ R2 verdeckt. Das TMS „Waldhof“ wird jetzt nur noch vom Radar gegenüber der „Loreley“ R3 lokalisiert (Kapitel 3.2.2). Das Echo des TMS „Waldhof“ ist um 04:42:19 Uhr sehr schwach, so dass das TMS wahrscheinlich zu diesem Zeitpunkt bereits eine deutliche Schräglage hatte. Um 04:42:29 Uhr ist auf den Radarbildern von dem TMS „Waldhof“ fast nichts mehr zu erkennen (Anlage 4 und Anlage 5).

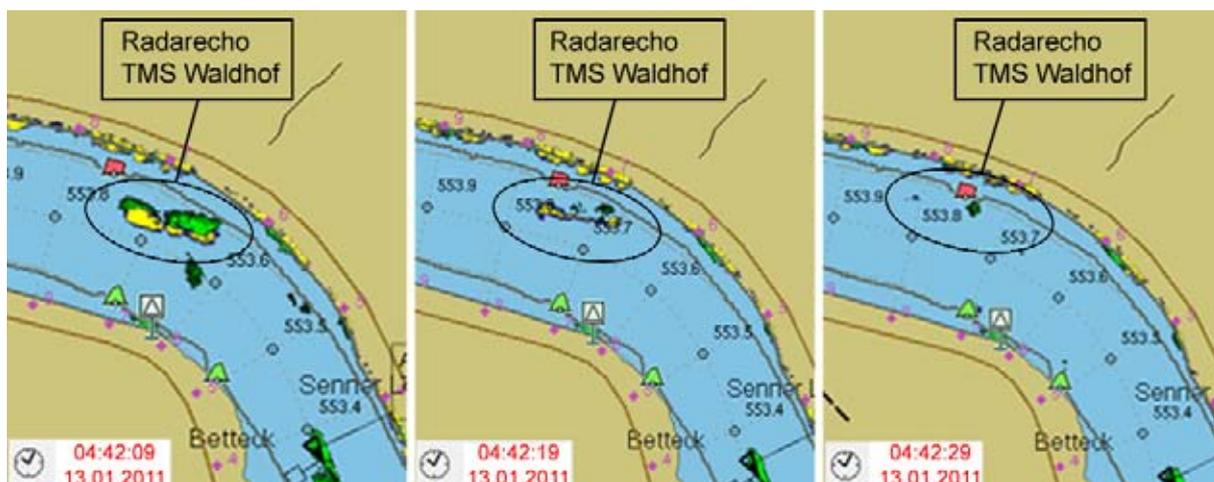


Abbildung 3-65: Das Verschwinden des TMS „Waldhof“ vom Radar

Nach dem Kentern und dem Verschwinden vom Radar trieb das TMS „Waldhof“ kieloben zu Tal. Diese Information stammt übereinstimmend von den Schiffsführern der Schiffe, an denen

das TMS „Waldhof“ bis zum Festkommen vorbei trieb. Das bedeutet ebenfalls, dass das Fahrzeug im Zeitraum zwischen dem Verschwinden vom Radar bis zur Sichtung durch den Schiffsführer des SV „Vera“ um 180 Grad gekentert ist. Berechnungen zur Stabilität des TMS „Waldhof“ - unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt der Havarie anzunehmenden Beladung - haben ergeben, dass bei einem Krängungswinkel von 90 Grad keine stabile Lage des Schiffs gegeben ist. Folglich stützen die Berechnungen die Beobachtungen, dass das Schiff um 180 Grad durchge kentert ist.

Eine Grundberührung während des Kentervorgangs kann nahezu ausgeschlossen werden, da in dem Bereich, in dem sich das Radarecho des TMS „Waldhof“ auflöst, die vorhandenen Tiefen einen Minimalwert von 8 m bis 10 m haben und das Schiff eine Höhe zwischen dem Steuerhaus ohne Dachaufbauten und dem Kiel von ca. 6,75 m besitzt. Die maximale Eintauchung während der Kenterung (Krängungswinkel 90°) ist kleiner als 8,20 m. Abbildung 3-66 zeigt die Tiefeninformation in Verbindung mit den aus den Radaraufnahmen ermittelten Schiffspeditionen des TMS „Waldhof“ bis zum Beginn der Kenterung. In dieser Betrachtung wird davon ausgegangen, dass die Fensterscheiben und das Dach des Steuerhauses⁴ beim Kentern abgerissen sind.

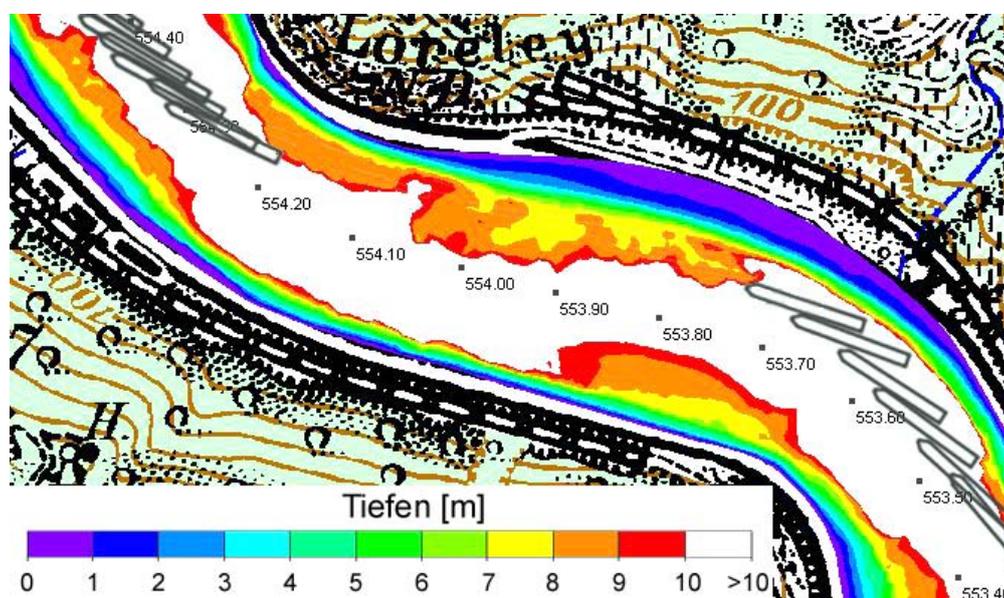


Abbildung 3-66: Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit der Fahrspur des TMS „Waldhof“ zwischen „Betteck“ und „Loreley“

Im Verlauf der Besichtigung des TMS „Waldhof“ nach dessen Bergung konnte festgestellt werden, dass sich das Querstrahlruder im Ruhezustand befand und demnach in der Kurvenfahrt nicht benutzt wurde. Abbildung 3-67 zeigt das Querstrahlruder in neutraler Stellung. Des Weiteren standen die Ruder annähernd in 0°-Stellung, wobei die Hebelstellung am Steuerstand auf 10° Backbord gelegt war (Abbildung 3-68 und Abbildung 3-69). Aufgrund eines Untersuchungsberichts eines Sachverständigenbüros kann davon ausgegangen werden, dass die Hauptmaschine zum Zeitpunkt des Kenterns ausgeschaltet war.

⁴ das (vermutliche) Steuerhausdach des TMS „Waldhof“ wurde am 24.08.2012 bei Rhein-km 575,6 (linkes Ufer) gefunden und am 29.08.2012 geborgen (siehe Abbildung 12 der Anlage 7)



Abbildung 3-67: Bugstrahlruder



Abbildung 3-68: Ruder und Propeller in Düse



Abbildung 3-69: Ruderhebelstellung

3.3.4 Begegnung mit dem Schubverband „Vera“

Nach dem Kentern trieb das TMS „Waldhof“ kieloben an der Backbordseite des SV „Vera“ vorbei. Der Schiffsführer des Schubverbands gab an, dass er zuerst den Bug und dann den Propeller des TMS „Waldhof“ erkannt hatte. Die beiden Schiffe sind nicht kollidiert. Die Radarbilder (Abbildung 3-70) lassen auf eine Begegnung am Rhein-km 554,2 um 04:44:39 Uhr schließen.

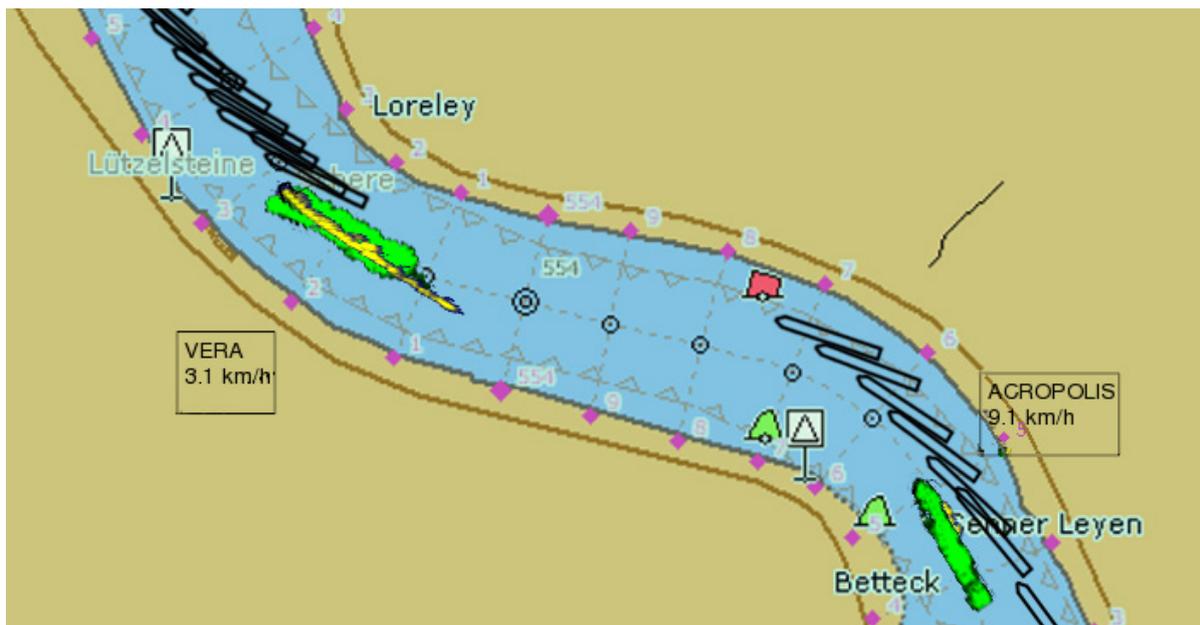


Abbildung 3-70: Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem SV „Vera“ (Radarbild)

Schiffsname: SV „Vera“

Länge: 213,00 m
Breite: 11,40 m

Bildquelle: www.micharms.de



Abbildung 3-71: Schubverband „Vera“

3.3.5 Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“

Im weiteren Verlauf der Havarie trieb das gekenterte TMS „Waldhof“ auf das TMS „Theodorus Johan“ zu und kollidierte etwa bei km 554,55 um ca. 04:46:16 Uhr (Abbildung 3-72) mit diesem. Hierdurch erfuhr das TMS „Theodorus Johan“ einen Impulsstoß, der das Heck des Schiffs nach Steuerbord versetzte. Laut Gutachten eines Sachverständigenbüros entstand im Bereich des Vorschiffs auf der Backbordseite des TMS „Theodorus Johan“ eine ca. 11,5 m lange, parallel zur Wasserlinie verlaufende Schleifspur mit einer Einbeulung ca. 0,8 m über der Wasserlinie. Die Fotos, die bei der Besichtigung des TMS „Waldhof“ auf der Werft in Duisburg gemacht wurden, geben keinen eindeutig zuzuordnenden Hinweis auf eine Kollision auf der Steuerbordseite. Im Gutachten ist ebenfalls angemerkt, dass der Schaden an dem TMS „Theodorus Johan“ nicht zwingend von dem TMS „Waldhof“ stammen muss.

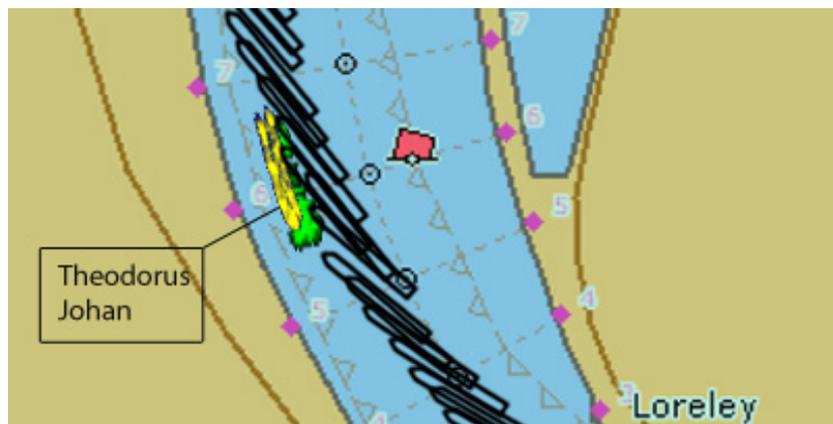


Abbildung 3-72: Kollision zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem TMS „Theodorus Johan“ (Radarbild)

Auf Nachfrage beim Schiffsführer des TMS „Theodorus Johan“ bestätigte dieser eine Kollision mit dem TMS „Waldhof“, jedoch habe er nicht erkennen können, welche Schwimmelage das Schiff hatte. Aus den Radarinformationen lässt sich eine Geschwindigkeit von 9 km/h bzw. 2,5 m/s über Grund für das TMS „Waldhof“ kurz vor der Kollision ermitteln. Dies entspricht in etwa der Fließgeschwindigkeit im Bereich zwischen Rhein-km 554,2 und Rhein-km 554,6 (Abbildung 3-74).

Schiffsname: TMS „Theodorus Johan“

Länge: 105,00 m

Breite: 11,45 m



Abbildung 3-73: Tankmotorschiff „Theodorus Johan“

Bildquelle: www.micharms.de

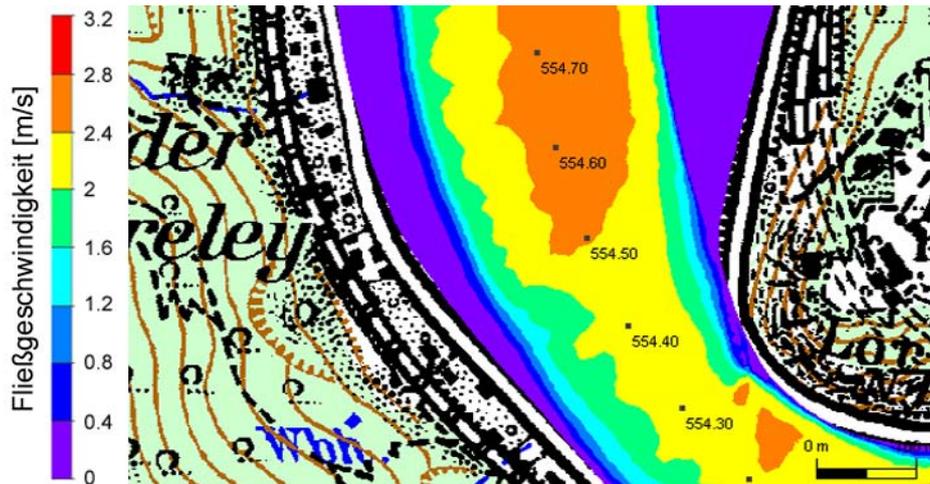


Abbildung 3-74: Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-HN-Modell zwischen Rhein-km 554,2 bis Rhein-km 554,7

3.3.6 Kollision mit dem linken Rheinufer

Bei Rhein-km 554,85 (Abbildung 3-75) erfolgte um 04:47:59 Uhr eine Anfahrung der linksrheinischen Böschung. Für das TMS „Waldhof“ kann aus den Radarbildern eine Geschwindigkeit über Grund von 5,6 km/h bzw. 1,56 m/s bestimmt werden, dies steht im Einklang mit den reinen Fließgeschwindigkeiten (Abbildung 3-76), die in Verbindung mit den Tiefen zum Ufer hin abnehmen. Die Bewegung des Schiffs wird beim Verlassen des Fahrwassers und Annäherung ans Ufer durch die geringere Wassertiefe sowie die geringeren Geschwindigkeiten in Ufernähe verlangsamt.

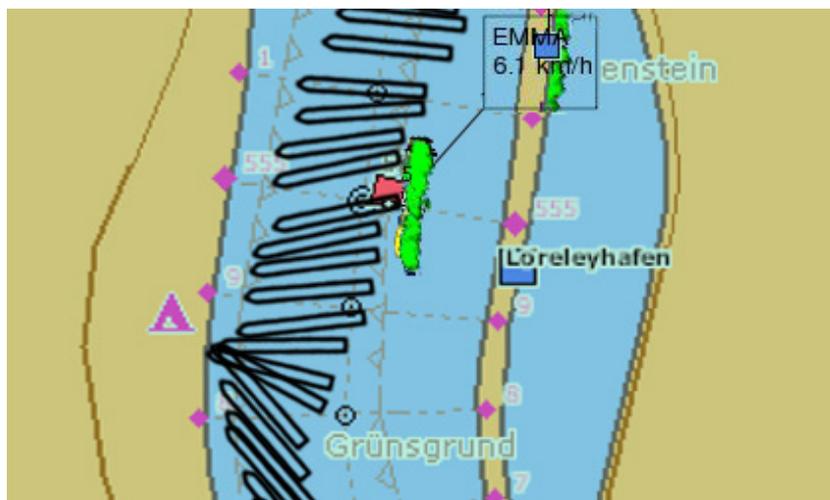


Abbildung 3-75: Uferanfahrung durch das TMS „Waldhof“ (Radarbild)

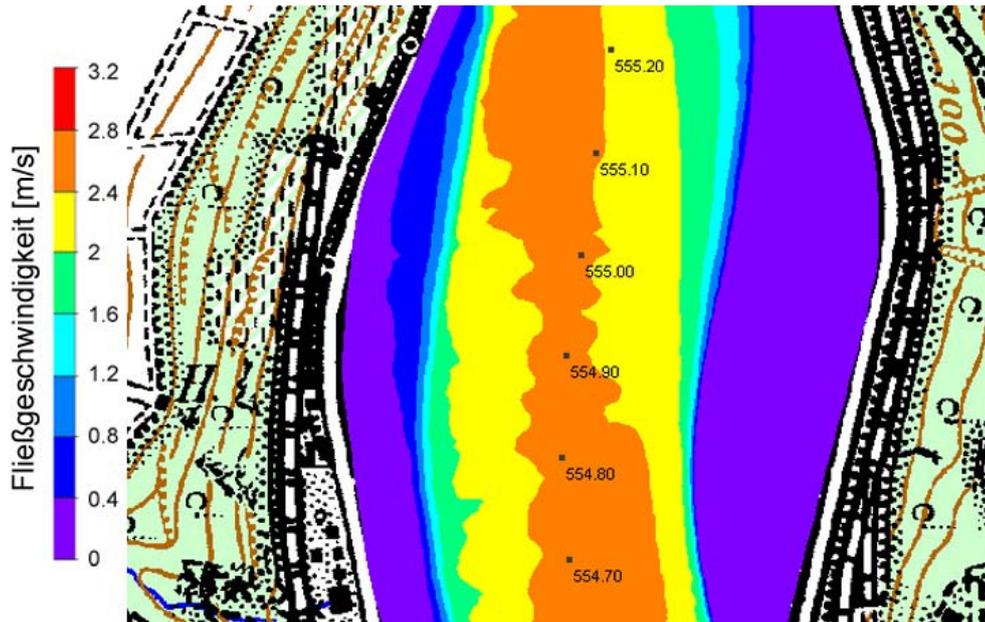


Abbildung 3-76: Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-HN-Modell zwischen Rhein-km 554,7 bis Rhein-km 555,2

Im Hinblick auf die Uferanfahrung gibt es von den Schiffsführern des TMS „Emma“ und dem SV „Colombia“ unterschiedliche Angaben. Der Schiffsführer des TMS „Emma“ gibt an, dass das TMS „Waldhof“ mit dem Bug ins Ufer eingedrungen sei, und der Schiffsführer des SV „Colombia“ meint, es wäre mit dem Heck näher am Ufer gewesen.

Mehrere Indizien deuten darauf hin, dass das Eindringen des TMS „Waldhof“ mit dem Bug erfolgte. Im Uferschaden wurde eine Videokamera gefunden, die laut der Reederei zum Havaristen gehört und am Bug des TMS „Waldhof“ auf der Oberseite des Schanzkleids befestigt war (Abbildung 3-77 und Abbildung 3-78). Weiterhin sind am Schanzkleid im Bereich des Bugs Kratz- und Schleifspuren zu erkennen (Abbildung 3-79) und die Ausbildung der Uferanfahrung (Abbildung 3-80 und Abbildung 3-81) lässt ebenfalls den Rückschluss zu, dass das TMS „Waldhof“ mit dem Bug ins Ufer getrieben ist. Für eine Anfahrung mit dem Heck müsste eine Drehung des TMS „Waldhof“ um die Schiffshochachse stattgefunden haben, dies wäre jedoch nur im Bereich zwischen Rhein-km 553,8 und Rhein-km 554,1, in dem die Auswertung der Radarbilder durch die Radarabschattung des SV „Vera“ erschwert wird, möglich. Die Radarabschattung umfasst etwa einen Zeitraum von 2 Minuten. Die zur Verfügung stehenden Tiefeninformationen (Abbildung 3-66) liegen in diesem Kilometerbereich und für die Radarpositionen des TMS „Waldhof“ zwischen 7 m bis 8 m. Unter der Annahme, dass die Fensterscheiben und das Dach des Steuerhauses beim Kentern abgerissen sind, kann eine Grundberührung in Kieloben-Lage in diesem Kilometerbereich ausgeschlossen werden. Diese wäre jedoch eine für eine Drehung um die Schiffshochachse notwendige Voraussetzung. Eine Anfahrung mit dem Heck wird aufgrund des mittels der Radarbilder skizzierten Fahrwegs des TMS „Waldhof“ (Abbildung 3-85 und Abbildung 3-86) nach der Uferanfahrung ausgeschlossen.



Abbildung 3-77: Vorschiff des TMS „Waldhof“ (links; Bildquelle: binnenschifferforum.de), Videokamera vom Bug des TMS „Waldhof“ (rechts)



Abbildung 3-78: Oberseite des Schanzkleids



Abbildung 3-79: Schanzkleid am Bug

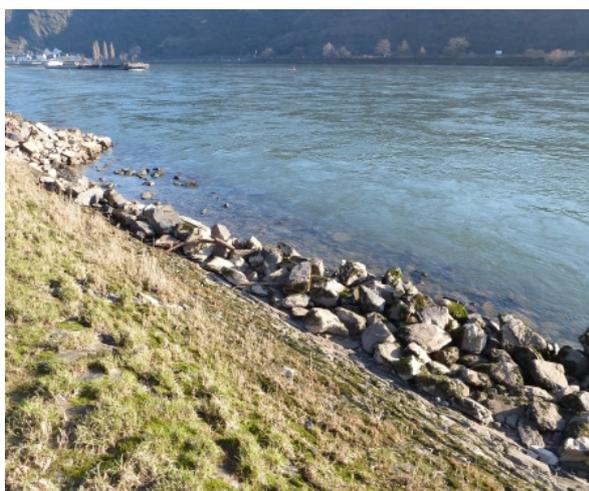


Abbildung 3-80: Uferanfahrt noch unter Wasser



Abbildung 3-81: Freigelegte Uferanfahrt

Aufgrund der vorgenannten Tatsachen wird eine Uferanfahrt des TMS „Waldhof“ in Kiel-oben-Lage mit dem Bug angenommen. Abbildung 3-82 zeigt die Tiefeninformationen überlagert mit den Positionen des TMS „Waldhof“, die den Radarinformationen entnommen wurden. In

Verbindung mit der geometrischen Betrachtung der Uferanfahrung kann der folgende Ablauf skizziert werden. Das TMS „Waldhof“ ist in einem Winkel von etwa 30° auf das Ufer getroffen, hat die Steine der Deckschicht mit der Steuerbordseite aufgeschoben und ist schließlich mit dem Bug in der Deckschicht kurzzeitig festgekommen (Abbildung 3-83 – Eintritt). Anschließend hat die starke Strömung das TMS „Waldhof“ über den Bug um die Schiffshochachse gedreht (Abbildung 3-83 - Zwischenschritt). Hierdurch wurde mit der Backbordseite ebenfalls die Deckwerksschicht aufgeschoben. Schlussendlich hat die Strömung das Schiff mitgerissen (Abbildung 3-83 - Austritt).

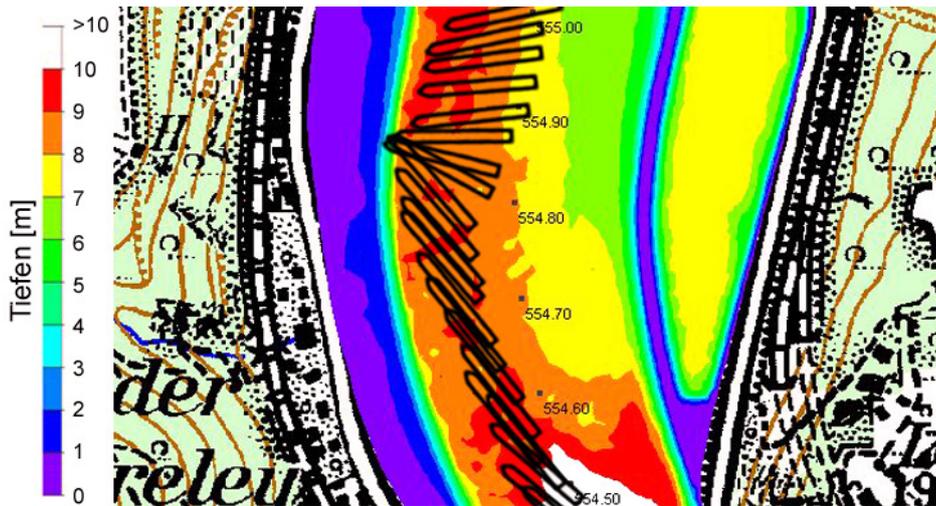


Abbildung 3-82: Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit dem Schiffssymbol des TMS „Waldhof“ im Bereich der Uferanfahrung



Abbildung 3-83: Skizze zum Ablauf der Uferanfahrung

3.3.7 Begegnung mit dem TMS „Emma“

Nachdem das TMS „Waldhof“ wieder vom linksrheinischen Ufer freigekommen war, lag es kieloben quer (ca. 90°) zur Strömung und trieb auf das TMS „Emma“ zu. Die Begegnung fand etwa bei Rhein-km 555,0 um 04:49:22 Uhr statt (Abbildung 3-85). Das TMS „Emma“ hatte frühzeitig

ein Ausweichmanöver zum rechtsrheinischen Ufer gefahren, so dass das TMS „Waldhof“ an Steuerbord begegnen konnte. Eine Kollision konnte verhindert werden, den Abstand hat der Schiffsführer des TMS „Emma“ auf 0,5 m geschätzt. Als das havarierte Schiff mit dem Heck (der Bug des TMS „Waldhof“ zeigte zum linksrheinischen Ufer) in der Nähe des Hecks des TMS „Emma“ war, schwenkte diese das Heck nach Backbord, um den Gefahrenbereich zu verlassen. Bei diesen Ausweichmanövern wurde die rote Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rheinkm 555,0 abgefahren. Der Schiffsführer des TMS „Emma“ berichtet weiter, dass er keine Personen an Bord des havarierten Schiffes gesehen habe. Aus den Radarbildern konnte die Geschwindigkeit über Grund, mit der das TMS „Waldhof“ auf das TMS „Emma“ zu trieb, abgeleitet werden. Diese betrug rund 8,7 km/h bzw. 2,42 m/s.

Schiffsname: TMS „Emma“

Länge: 110,00 m

Breite: 11,45 m



Bildquelle: www.micharms.de

Abbildung 3-84: Tankmotorschiff „Emma“



Abbildung 3-85: Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem TMS „Emma“ (Radarbild)

3.3.8 Begegnung mit dem SV „Colombia“ und Festkommen des TMS „Waldhof“

Nach der Begegnung mit dem TMS „Emma“ bewegte sich das kieloben liegende TMS „Waldhof“ immer weiter in Richtung rechtes Rheinufer, immer noch nahezu quer zur Strömung (Abbildung 3-86). Der Schiffsführer des SV „Colombia“ gab an, dass das TMS „Waldhof“, als es quer in der Strömung lag, starke Rollbewegungen um die Schiffslängsachse gemacht habe. Dies lässt darauf schließen, dass es sich unter den gegebenen Bedingungen (kieloben, quer in der Strömung) um eine stabile Schwimmlage des TMS „Waldhof“ gehandelt hat. Das havarierte Schiff rollte, vermutlich angeregt durch die Strömung oder durch in das Schiff eindringendes Wasser und parallel ausströmende Luft, immer wieder auf die Steuer- bzw. Backbordseite. Es ist jedoch in allen Fällen immer wieder in eine stabile Kieloben-Lage zurückgefallen.

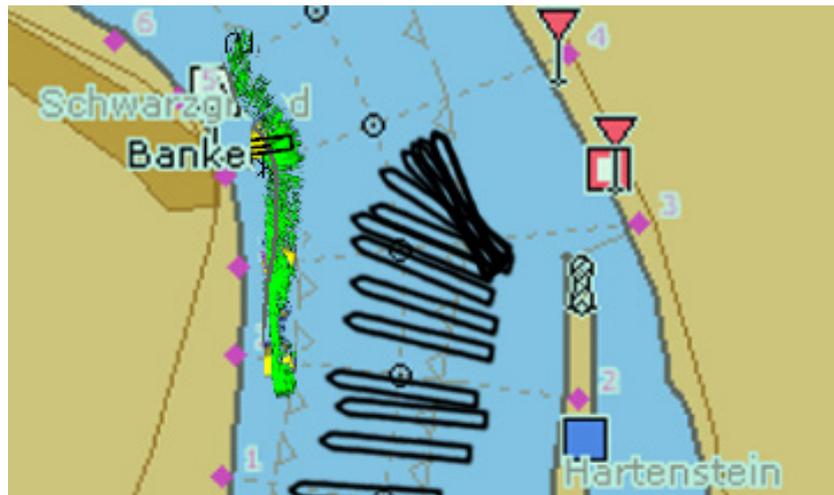


Abbildung 3-86: Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem SV „Colombia“ (Radarbild)

Zum Zeitpunkt der Begegnung zwischen dem SV „Colombia“ und dem TMS „Waldhof“ um 04:51:11 Uhr machte der Schubverband eine Fahrt über Grund von 1,2 km/h bzw. 0,33 m/s. Als sich das TMS „Waldhof“ noch quer in der Strömung vor dem Bug des Verbands befand, bewegte sie sich mit ca. 9 km/h bzw. 2,5 m/s. In diesem Bereich sind Fließgeschwindigkeiten zwischen 2,4 m/s und 2,8 m/s vorhanden (Abbildung 3-88). Folglich stehen Fließgeschwindigkeit und Fortschrittgeschwindigkeit im Einklang.

Schiffsname: SV „Colombia“

Länge: 192,00 m
Breite: 11,45 m



Bildquelle: www.micharms.de

Abbildung 3-87: Schubverband „Colombia“

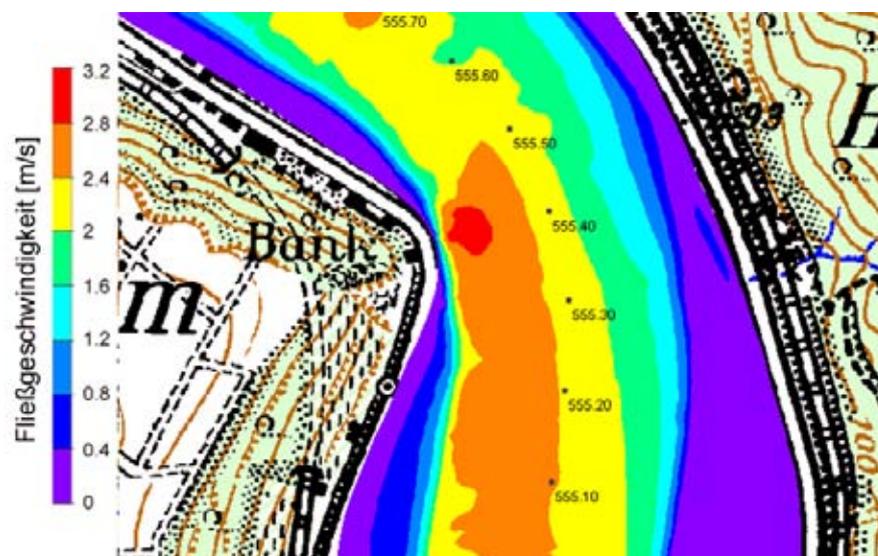


Abbildung 3-88: Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-HN-Modell im Bereich der „Bank“

Der Schiffsführer des SV „Colombia“ berichtete, dass es keine Kollision mit dem TMS „Waldhof“ gegeben habe. Er schätzte den Abstand zwischen beiden Schiffen auf etwa 5 m. Für das Ausweichmanöver benutzte der Schiffsführer die drei vorhandenen Querstrahlruder (je 440 kW) am Bug und Heck des Leichters, sowie am Schiffsbug. Das TMS „Waldhof“ trieb auf der Backbordseite des Verbands vorbei. Die Radarbilder liefern keine Indizien für eine Kollision. Eine Richtungsänderung der Schiffe, die aus einem Impuls durch eine Berührung beider resultiert, ist nicht zu erkennen. Nachdem die beiden Schiffe ohne Kollision begegneten, trieb das TMS „Waldhof“ weiter Richtung rechtes Ufer. Am rechtsrheinischen Ufer wird der Rhein flacher, in diesem Bereich besitzt er eine Tiefe zwischen 6 m und 8 m (Abbildung 3-89). Da das Schanzkleid am Steuerhaus einen Abstand zum Schiffsboden von etwa 6,75 m besitzt, war bei Rhein-km 555,3 im Bereich der rechtsrheinischen Trennmole die Möglichkeit zum Festkommen des TMS „Waldhof“ mit dem Heck vorhanden. Aufgrund der Strömungsverhältnisse wurde es um die Hochachse gedreht, so dass es nunmehr mit dem Bug talwärts zeigte. Anschließend drehte sich das Fahrzeug um die Schiffslängsachse auf die Backbordseite (Abbildung 3-90 und Abbildung 3-91). Beim Festkommen oder dem Aufstellen wurde die rote Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 555,3 abgerissen. Um 04:52:12 Uhr kommt das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 555,33 fest.

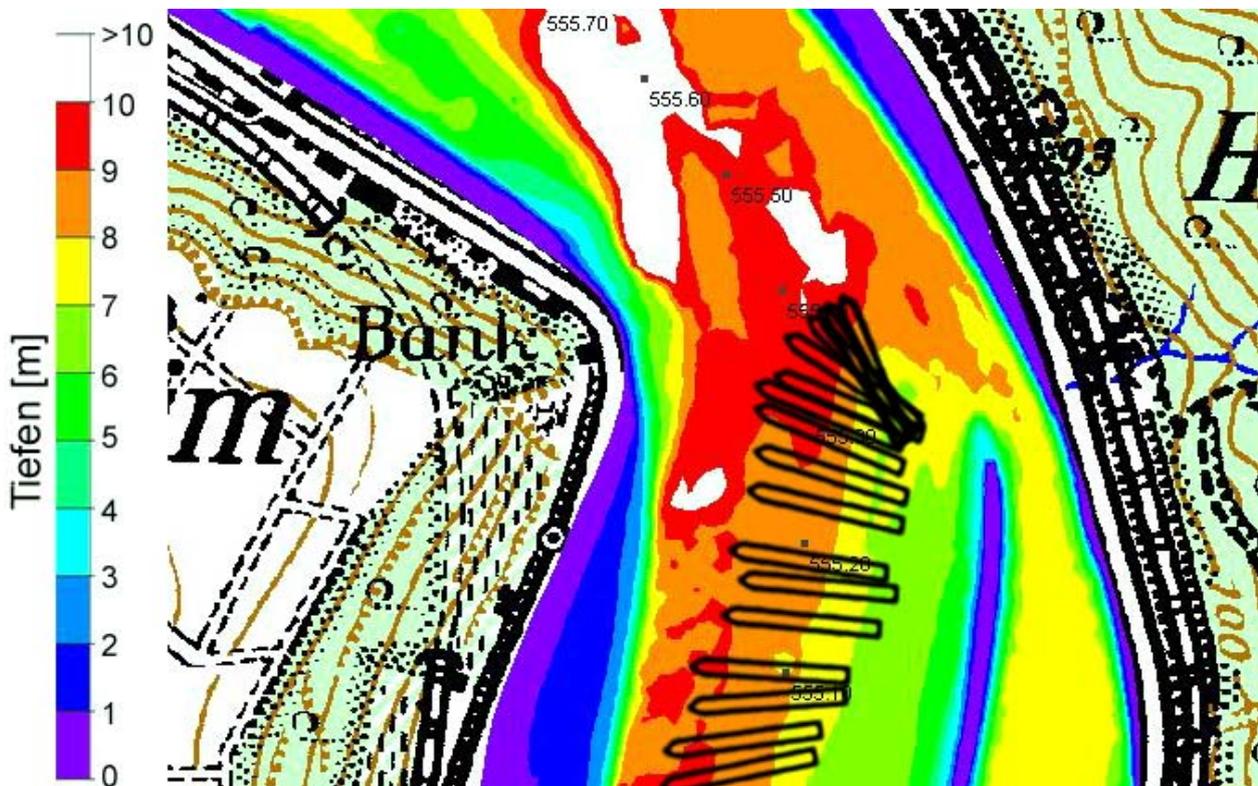


Abbildung 3-89: Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit dem Schiffssymbol des TMS „Waldhof“ im Bereich des Festkommens



Abbildung 3-90: Gekentertes TMS „Waldhof“ - 13.01.2011

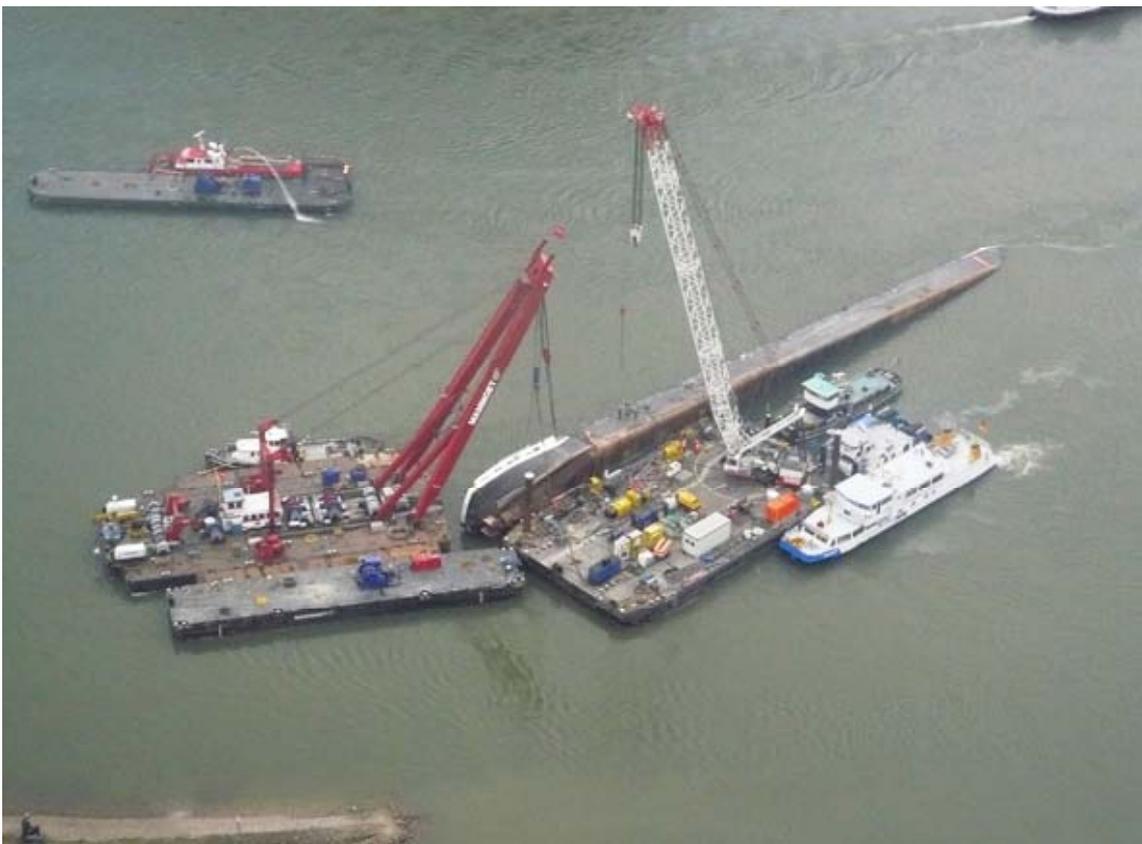


Abbildung 3-91: Gekentertes TMS „Waldhof“ - 02.02.2011

4 Folgen der Havarie

4.1 Menschliche Verluste, Personen- und Sachschäden

4.1.1 Menschliche Verluste und Personenschäden

Aufgrund der Kenterung des TMS „Waldhof“ und der damit verbundenen Zerstörung des oberen Teils des Steuerhauses sind die beiden im Steuerhaus befindlichen Schiffsführer in den Rhein gerissen worden. Einer der beiden Schiffsführer konnte etwa drei Kilometer unterhalb der Unfallstelle (St. Goar) von der Besatzung eines talfahrenden Schubverbandes schwer verletzt aus dem Wasser geborgen und zu einem späteren Zeitpunkt der Obhut eines Notarztes übergeben werden. Vom zweiten Schiffsführer des TMS „Waldhof“ fehlt nach wie vor jegliche Spur; er wird bis auf den heutigen Tag vermisst.

Von den beiden Steuermännern an Bord TMS „Waldhof“, die sich in ihren Kajüten im achterlichen Wohnbereich des TMS „Waldhof“ aufhielten, konnte nur einer gerettet werden. Der gerettete Steuermann ist in dem gekenterten TMS „Waldhof“ im Wohnbereich verblieben und nach dem Festkommen des Fahrzeugs bei Rhein-km 555,3 über die zerbrochenen steuerbordseitigen Kajütfenster auf die Bordwand geklettert. Dort wurde er kurze Zeit später schwer verletzt von einem Boot der Wasserschutzpolizei Rheinland-Pfalz abgehoben.

Der zweite Steuermann ist nach der Bergung des TMS „Waldhof“ am 13. Februar 2011 im Wohnbereich des Schiffes tot aufgefunden worden.

4.1.2 Sach- und Vermögensschäden

Neben dem nicht quantifizierbaren durch die Sperrung der wichtigsten europäischen Binnenschiffahrtsstraße entstandenen „Image-Schaden“ sind eine Reihe von unmittelbaren und mittelbaren Schäden eingetreten, die sich im Detail und in ihrer Gesamtheit monetär nur unzureichend beziffern lassen.

Von den unmittelbar eingetretenen Schäden sind insb. zu nennen:

- Bergungskosten und Kosten für die Sicherung des Havaristen,
- Kosten der Sicherheits- und Rettungsbehörden (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasserschutzpolizei, Feuerwehr, Technisches Hilfswerk, Landkreise),
- Verlust der Ladung des TMS „Waldhof“,
- Schäden am TMS „Waldhof“,
- weitere Sachschäden (Kollisionsschäden an einem bergfahrenden Tankmotorschiff, Schäden an der linksrheinischen Böschung, beschädigte Fahrrinntonnen);

Von den mittelbaren Schäden sind exemplarisch aufzuzählen:

- Wartezeiten für die Schifffahrt im Rheinstromgebiet (Einnahmeausfall),
- Schäden der Verloader (Umdispositionen auf andere Verkehrsträger),
- Schäden der Empfänger (verzögerte Lieferung der Güter, Produktionsengpässe),
- Schäden der Versicherungen (Versicherungsleistungen).

4.2 Sperrung des Rheins für die Schifffahrt

Im Zeitraum vom 13. Januar 2011 (Havarie) bis zum 14. Februar 2011 (Abschluss der Bergung) war der Rhein für Schiffe nur eingeschränkt befahrbar. Der Umfang der Sperrungen bzw. die temporären Freigaben des Schiffsverkehrs (Bergfahrt – Talfahrt) für Fahrzeuge und/oder Verbände sowie die Überschreitung der Hochwassermarke II am Pegel Kaub sind aus nachfolgender Übersicht (Tabelle 4-1) ersichtlich:

Tabelle 4-1: Sperrungen/Freigaben des Schiffsverkehrs vom 13.01.2011 bis zum 14.02.2011

Datum	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00			
13. Jan Do	4:45 Uhr																										
14. Jan Fr																											
15. Jan Sa																											
16. Jan So																											
17. Jan Mo																											
18. Jan Di																											
19. Jan Mi																↑ F											
20. Jan Do									↑ F				↑ F														
21. Jan Fr									↑ F																		
22. Jan Sa									↑ F+V																		
23. Jan So									↑ F+V																		
24. Jan Mo									↑ F+V																		
25. Jan Di									↑ F+V																		
26. Jan Mi									↑ F + V																		
27. Jan Do																											
28. Jan Fr									↑ F + V																		
29. Jan Sa																											
30. Jan So									↑ F + V																		
31. Jan Mo									↑ F + V																		
01. Feb Di									↑ F + V																		
02. Feb Mi									↓ F																		
03. Feb Do									↓ F																		
04. Feb Fr									↓ F																		
05. Feb Sa									↓ F								↓ V		↑ F + V								
06. Feb So									↓ F + V																		
07. Feb Mo									↓ V		↓ F										↑ F + V						
08. Feb Di									↓ V		↓ F										↑ F + V						
09. Feb Mi									↓ V		↓ F										↑ F + V						
10. Feb Do									↓ V		↓ F										↑ F + V						
11. Feb Fr									↓ V		↓ F										↑ F + V						
12. Feb Sa									↓ V		↓ F										↑ F + V						
13. Feb So																			↑ F + V								
14. Feb Mo													13:00 Uhr														

	vollständige Sperrung		Bergfahrt zugelassen	F	Fahrzeuge	↑	Bergfahrt
	HWM II überschritten		Talfahrt zugelassen	V	Verbände	↓	Talfahrt
	Versuchsfahrten						

Die lange Sperrung des Rheins, insbesondere für die Talfahrt, führte besonders oberhalb der gesperrten Rheinstrecke zu erheblichen Schiffsansammlungen und Wartezeiten für die Schifffahrtstreibenden, wie nachfolgende Abbildung 4-1 verdeutlicht (nicht berücksichtigt sind dabei allerdings die Fahrzeuge und Verbände, die im Main, Main-Donau-Kanal oder der Donau bereits ihre Fahrt eingestellt haben):

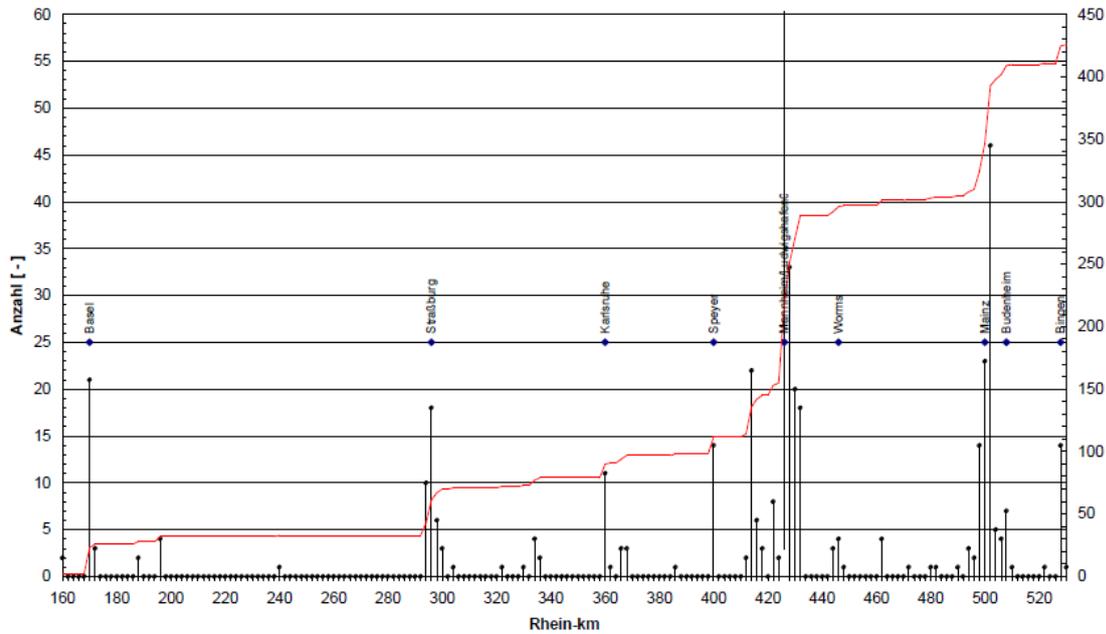


Abbildung 4-1: Stilllieger von Basel bis Bingen vor Freigabe der Talfahrt am 03.02.2011

4.3 Produktaustritt und Wassereintritt in die Ladetanks

Aufgrund des Kenterns (Schwimmlage kieloben) und der Lage des TMS „Waldhof“ auf der Backbordseite über einen Zeitraum von 32 Tagen kam es sowohl zu einem Produktaustritt als auch zu einem Wassereintritt in die Ladetanks.

Die Abbildung 4-2 verdeutlicht, dass an der Messstation Koblenz der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) bei Rhein-km 590,3 am 13. Januar 2011 gegen 10:00 Uhr ein plötzliches, signifikantes Abfallen des pH-Wertes des Rheinwassers von ca. 7,9 auf ca. 7,7 beobachtet werden konnte. Mithin musste es oberhalb der Messstelle zu einem größeren Eintrag von Säure in den Fluss gekommen sein.

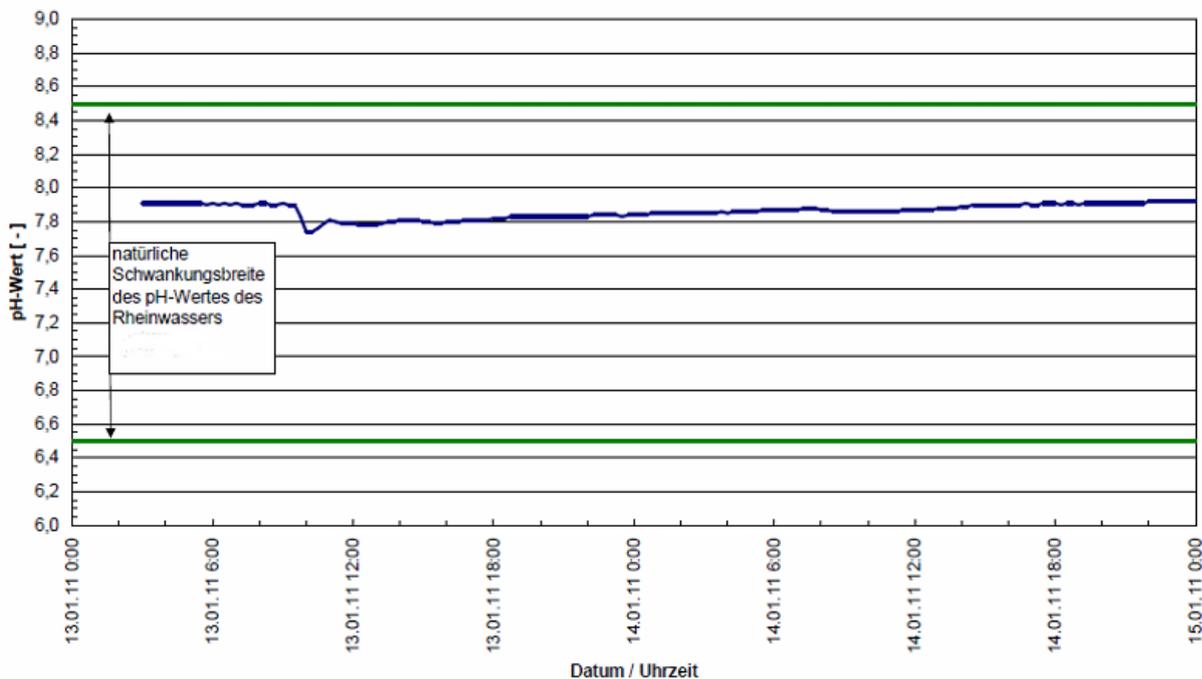


Abbildung 4-2: Veränderung des pH-Wertes des Rheins in Koblenz am 13. und 14.01.2011 (Quelle: BfG)

Die Distanz zwischen dem Ort des Kenterns des TMS „Waldhof“ und der Messstation der BfG beträgt 36,5 Wasserstraßenkilometer. Bei einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit des Rheins zum Unfallzeitpunkt von ≈ 7 km/h ist die Annahme daher schlüssig und plausibel, dass es durch die Kenterung des TMS „Waldhof“ zu einem Austritt von Schwefelsäure in den Rhein gekommen ist.

Da es durch die Kenterung und das Festkommen des TMS „Waldhof“ keinerlei Beschädigungen der sieben Ladetanks gegeben hat, kann der Ladungsaustritt (bzw. das Eindringen von Wasser in die Ladetanks) nach Auffassung der Untersuchungskommission im Wesentlichen nur über die sog. Hochgeschwindigkeitsventile (High Jet Ventile) des TMS „Waldhof“ erfolgt sein (siehe Abbildungen 27, 28 und 29 der Anlage 7).

4.3.1 Hochgeschwindigkeitsventile (High Jet Ventile)

Nach Erläuterungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig sind Hochgeschwindigkeitsventile autonome Schutzsysteme und werden als flammendurchschlagsichere Entlüftungsarmaturen eingesetzt und oft mit flammendurchschlagsicheren Unterdruckventilen kombiniert. Ihre Haupteinsatzgebiete sind Tankschiffe sowohl in der Binnenschifffahrt wie in der Seeschifffahrt. Abbildung 4-3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Hochgeschwindigkeitsventils im Querschnitt. Die linke Hälfte des Bildes zeigt das Ventil in geschlossenem Zustand, die rechte Hälfte im geöffneten Zustand. Im geöffneten Zustand beruht die Flammendurchschlagsicherheit auf einer ausreichend großen Strömungsgeschwindigkeit durch den Ventilspalt. Da während des Öffnens und Schließens Strömungsgeschwindigkeiten kleiner als die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit auftreten, muss nun der Ventilspalt flammendurchschlagsicher sein. Da Hochgeschwindigkeitsventile nicht vollständig gasdicht schließen, gilt dies auch für den "geschlossenen" Zustand.

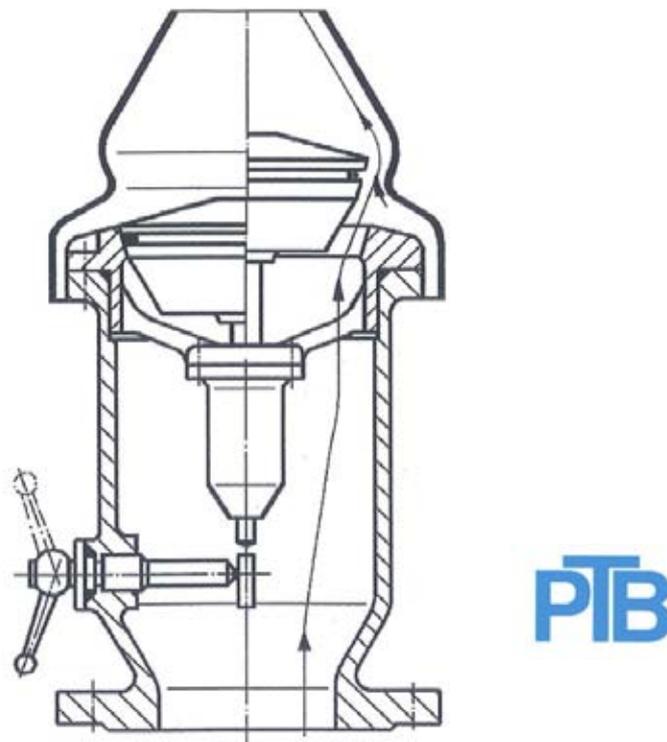


Abbildung 4-3: Hochgeschwindigkeitsventil im Querschnitt (Quelle: PTB)

Hochgeschwindigkeitsventile sind flammendurchschlagsichere Armaturen zur Entlüftung zur Atmosphäre und damit grundsätzlich endständige Armaturen. Eingesetzt werden sie überwiegend auf Tanks und Behältern, in denen brennbare Flüssigkeiten gelagert, behandelt oder transportiert werden. Sie werden auch auf Entspannungsöffnungen von Prozessbehältern eingesetzt, in denen entzündbare Gemische entstehen können. Hochgeschwindigkeitsventile *haben nicht die Aufgabe, unter allen Umständen, insb. in nicht bestimmungsgemäßen Betriebslagen, angeschlossene Anlagenteile gas- und flüssigkeitsdicht zu verschließen*. Ihre Betriebslage ist vertikal und wird nach den Vorgaben der einschlägigen DIN-Normen auch mit einer Abweichung von 10° aus der Senkrechten geprüft. Alle anderen Positionen oder Verwendungen führen zu undefinierten Zuständen des Ventils und entsprechen nicht dem bestimmungsgemäßen Gebrauch.

4.3.2 Hochgeschwindigkeitsventile des TMS „Waldhof“

Das TMS „Waldhof“ war mit verschiedenen Hochgeschwindigkeitsventilen der dänischen Firma PRES-VAC Engineering A/S (Typ HS-IMO2 und HS 2293) ausgerüstet (Abbildungen 27, 28 und 29 der Anlage 7). Bei diesen Hochgeschwindigkeitsventilen des Typs „HS“ handelt es sich um sog. „gewichtsbelastete“ Konstruktionen, die nach dem Schwerkraftprinzip arbeiten. Bei einem Überdruck im Tank wird das im Gehäuse befindliche Gewicht (Abbildung 4-4) angehoben, so dass die Gase in die Atmosphäre entweichen können. Nach Unterschreiten des definierten Ansprechdrucks schließt das Ventil wieder, indem der Ventilteller unter dem Einfluss des Gewichts in seine Ausgangsposition zurückfällt.

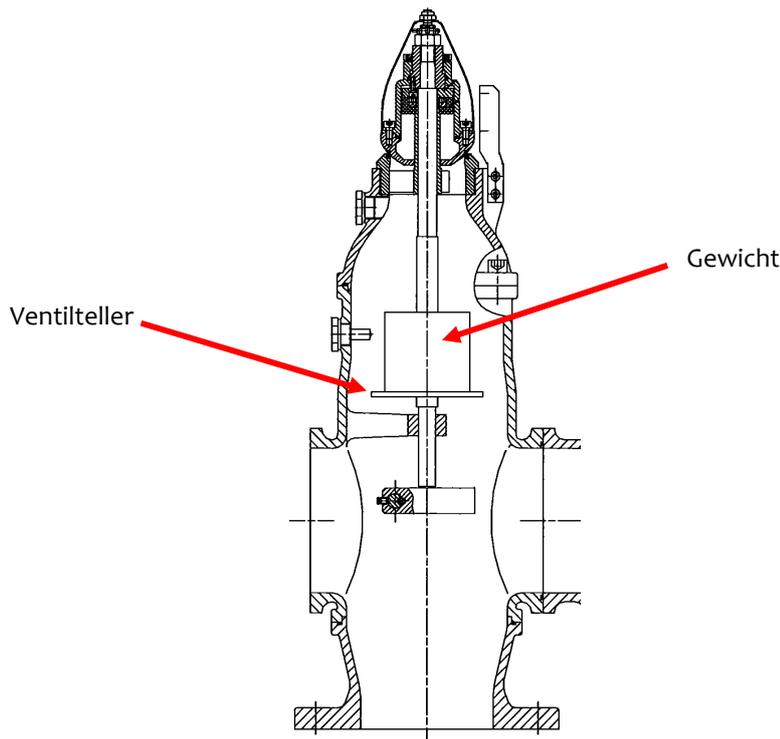


Abbildung 4-4: Hochgeschwindigkeitsventil Typ HS (© PRES-VAC Engineering A/S)

4.3.3 Ladungsaustritt

In Anbetracht der dargestellten Funktionsweise der verwendeten Hochgeschwindigkeitsventile sowie deren Spezifikation ist es evident, dass bei einer Kenterung eines Schiffes um 180 Grad (und der sich anschließenden Backbord-Seitenlage nach dem Festkommen des TMS „Waldhof“) die Ventilmgewichte aufgrund der Schwerkraft ansprechen und es zu einer Öffnung der Ventile mit Produktaustritt (bzw. von Wassereintritt in die Ladetanks) kommt. Ein entsprechender Produktaustritt über die High-Jet-Ventile ist während der Bergungsphase auch von verschiedenen Mitarbeitern der Bergungsfirma beobachtet worden.

Nach Schätzungen des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz sowie der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord sind als unmittelbare Folge des Kenterns und der Lage des TMS „Waldhof“ auf der Backbordseite nach dem Festkommen zwischen 343 Tonnen und 523 Tonnen⁵ Schwefelsäure über die Hochgeschwindigkeitsventile des Schiffes in den Rhein geflossen. Ungefähr 555 Tonnen Schwefelsäure sind vor

⁵ bezogen auf die ursprüngliche Säurekonzentration von 96 % vor Wassereintritt in die Ladetanks

der Bergung in ein anderes Tankschiff geleichtert worden. Darüber hinaus sind im Zuge der Bergungsmaßnahmen vom 7. Februar 2011 bis zum 10. Februar 2011 ca. 1150 bis 1330 Tonnen Schwefelsäure kontrolliert in den Rhein eingeleitet worden. Nach der Bergung sind ca. 150 Tonnen von Bord des TMS „Waldhof“ als Restladung abgepumpt und fachgerecht entsorgt worden.

4.3.4 Wassereintritt in die Ladetanks

Wie schon zuvor beschrieben, funktionieren die verwendeten Hochgeschwindigkeitsventile bei der Kenterung eines Schiffes und in der Seitenlage nicht mehr bestimmungsgemäß. Neben dem Produktaustritt kann es dabei auch zum Eindringen von Wasser in die Ladetanks kommen.

Konzentrierte Schwefelsäure ist in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar. Die Mischung mit Wasser (Verdünnung) verläuft stark exotherm, das heißt, es tritt eine Erwärmung ein. Diese Erwärmung war in den Aufnahmen mit einer Wärmebildkamera der Polizei Rheinland-Pfalz erkennbar (Abbildung 4-5).



Abbildung 4-5: Wärmebildphoto (Luftaufnahme) des TMS „Waldhof“ am 14.01.2011; Wärmeentwicklung (grün) in den Tanks 6 und 7

Konzentrierte Schwefelsäure greift Metalle bei Umgebungstemperaturen nur in geringem Maße an. Eisen wird auf Grund der Passivierung der Oberfläche nicht angegriffen, was die Beförderung in Ladetanks aus Stahl ermöglicht. Wird die Säure jedoch verdünnt, so werden unedle Metalle wie Eisen gelöst. Bei dieser Reaktion wird gasförmiger Wasserstoff freigesetzt. Die Menge des Wasserstoffs hängt dabei von der Konzentration der Säure ab und die Geschwindigkeit der Gasbildung erhöht sich mit steigender Temperatur. Wasserstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses und entzündbares Gas mit einem sehr weiten Explosionsbereich (4 bis 77 Vol%) und einer sehr geringen Mindestzündenergie.

5 Unfallanalyse

5.1 Stabilität des TMS „Waldhof“

5.1.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Berechnungen zur Stabilität des TMS „Waldhof“ am Unfalltag beschränken sich auf eine Überprüfung der Kriterien für die Intaktstabilität, da das TMS „Waldhof“ gekentert ist. Berechnungen zur Leckstabilität oder zur Festigkeit des Schiffskörpers sind hingegen nicht durchgeführt worden, da das TMS „Waldhof“ weder gesunken, noch durchgebrochen ist.

5.1.2 Stabilitätsvorschriften der RheinSchPV und des ADN/ADNR

Nach den allgemeinen schiffahrtspolizeilichen Vorschriften der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung darf die Ladung die Stabilität des Fahrzeugs und die Festigkeit des Schiffskörpers nicht gefährden (§ 1.07 Nr. 3 RheinSchPV).

Nach den einschlägigen Regelungen der binnenschiffahrtsrechtlichen Gefahrgutvorschriften des ADN/ADNR (Bauvorschriften für Tankschiffe Typ C) müssen hinsichtlich der Stabilität der Schiffe folgende Forderungen erfüllt sein (Anlage 2):

ADNR 2003, ADNR 2005

- a) eine ausreichende Stabilität muss nachgewiesen sein (Absatz 9.3.2.13.1 ADNR 2003);
- b) ausreichende Intaktstabilität muss für alle Stadien des Be- und Entladens und für den Endbeladungszustand nachgewiesen werden. Die Schwimmfähigkeit im Leckfall muss für den ungünstigsten Beladungszustand nachgewiesen werden. Hierbei muss für die kritischen Zwischenzustände und für den Endzustand der Flutung der rechnerische Nachweis der genügenden Stabilität erbracht werden. Treten in Zwischenzuständen negative Stabilitätswerte auf, können sie akzeptiert werden, wenn der weitere Verlauf der Leckhebelarmkurve ausreichende positive Stabilitätswerte aufweist (Absatz 9.3.2.13.3 ADNR 2003);
- c) die sich aus der Leckrechnung ergebenden Intaktstabilitätsforderungen dürfen nicht unterschritten werden (Absatz 9.3.2.14.1 ADNR 2003);
- d) für Schiffe mit Tankbreiten von mehr als $0,70 \cdot B$ ist nachzuweisen, dass bei einem Winkel von 5° oder, sofern dieser kleiner ist, bei dem Neigungswinkel, bei dem eine Öffnung zu Wasser kommt, ein aufrichtender Hebel von $0,10$ m vorhanden ist. Der stabilitätsmindernde Einfluss freier Oberflächen von Tanks mit einer Füllung von weniger als 95 % ist hierbei zu berücksichtigen (Absatz 9.3.2.14.2 ADNR 2003)⁶.

⁶ die Stabilitätsanforderungen nach Absatz 9.3.2.14.2 des ADNR 2003 waren bis zum 31.12.2006 in Kraft; die Arbeitsgruppe „Beförderung gefährlicher Güter“ der ZKR hatte bereits im September 2004 eine Modifizierung der Regelung angeregt; der formelle Änderungsbeschluss der ZKR ist hingegen erst im Rahmen der ZKR-Frühjahrssitzung 2006 getroffen worden; zum 01.01.2007 trat dann die Regelung in Kraft, wie sie jetzt auch im ADN 2011 (Absatz 9.3.2.14.2) zu finden ist

ADNR 2007, ADNR 2009, ADN 2011

- a) eine ausreichende Stabilität muss nachgewiesen sein (Absatz 9.3.2.13.1 ADN 2011);
- b) ausreichende Intaktstabilität muss für alle Stadien des Be- und Entladens und für den Endbeladungszustand nachgewiesen werden. Die Schwimmfähigkeit im Leckfall muss für den ungünstigsten Beladungszustand nachgewiesen werden. Hierbei muss für die kritischen Zwischenzustände und für den Endzustand der Flutung der rechnerische Nachweis der genügenden Stabilität erbracht werden. Treten in Zwischenzuständen negative Stabilitätswerte auf, können sie akzeptiert werden, wenn der weitere Verlauf der Leckhebelarmkurve ausreichende positive Stabilitätswerte aufweist (Absatz 9.3.2.13.3 ADN 2011);
- c) die sich aus der Leckrechnung ergebenden Intaktstabilitätsforderungen dürfen nicht unterschritten werden (Absatz 9.3.2.14.1 ADN 2011);
- d) für Schiffe mit Tankbreiten von mehr als $0,70 \cdot B$ sind folgende Stabilitätsanforderungen nachzuweisen:
- aa) innerhalb des positiven Bereiches der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung muss ein aufrichtender Hebelarm (GZ) von mindestens 0,10 m vorhanden sein,
 - bb) die Fläche des positiven Bereichs der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung, jedoch vor einem Neigungswinkel $\leq 27^\circ$ darf $0,024 \text{ m} \cdot \text{rad}$ nicht unterschreiten,
 - cc) die metazentrische Höhe (MG) muss mindestens 0,10 m betragen.

Diese Anforderungen müssen eingehalten werden unter Berücksichtigung des Einflusses aller freien Flüssigkeitsoberflächen in Tanks für alle Stadien des Be- und Entladens (Absatz 9.3.2.14.2 ADN 2011).

5.1.3 Berechnungen der Stabilität am Unfalltag

Die folgenden Berechnungen zur Intaktstabilität basieren auf den zur Verfügung stehenden Unterlagen zur Erstellung eines eigenen hydrostatischen Berechnungsmodells sowie den zur Verfügung stehenden Stabilitäts- und Beladungsinformationen. Vorwegnehmend ist festzustellen, dass der untersuchte Ladefall gemäß den geprüften und genehmigten Stabilitätsunterlagen nicht zulässig war, da die Leckstabilität nur für Ladefälle bis zu einer Dichte von $1,62 \text{ t/m}^3$ nachgewiesen ist (die Einzelheiten und die Detailberechnungen sind in Anlage 6 dargestellt).

Die Berechnung basiert auf den Ladetankfüllungen gemäß Beladungsprotokoll (Kapitel 2.3.2 - „Verteilung der Ladung in den Tanks“) sowie der Annahme, dass Verbrauchsstoffe (Treibstoff, Trinkwasser, Schmieröl und Vorräte) zu 50 % an Bord waren. Die Verbrauchstanks sowie der Sloptank haben jedoch aufgrund ihrer Geometrie und Kapazität unabhängig von ihrer Füllung nur einen geringen Einfluss auf die Stabilität. Die Berechnung basiert ferner auf der Annahme, dass die Ballasttanks – bis auf vernachlässigbare Restmengen – zum Zeitpunkt des Kenterns leer waren. Diese Annahmen führen zu einem berechneten mittleren Tiefgang von 3,12m.

5.1.3.1 Berechnungen der Intaktstabilität

Die Berechnungen aufgrund der Vorschriften des ADN 2011 zeigen, dass zwei von drei Intaktstabilitätskriterien nicht erfüllt werden. Das TMS „Waldhof“ verfügte zwar über ausreichende Anfangsstabilität (GM), jedoch nur über eine sehr kleine dynamische Reserve (Fläche unter der Hebelarmkurve) und einen sehr kleinen aufrichtenden Hebelarm (Anlage 6).

Die Anforderungen (Intaktstabilität) des ADN 2003 an den aufrichtenden Hebelarm wurden ebenfalls nicht erfüllt. Die Hebelarmkurve wurde einmal über die vereinfachte Rechenweise mit einer virtuellen Schwerpunkterhöhung durch freie Tankoberflächen und einmal über die direkte Berechnung der freien Oberflächenmomente über Tankpantokarenen berechnet. Beide Herangehensweisen zeigen bis zu einem Krängungswinkel von ca. 25° gute Übereinstimmung. Darüber hinaus ergibt die Berechnung der freien Oberflächenmomente über Tankpantokarenen erwartungsgemäß etwas bessere Ergebnisse. Beide Kurven zeigen jedoch, dass von 20° bis 90° kein positiver aufrichtender Hebelarm vorhanden ist und damit die um 90° gedrehte Lage unabhängig von eindringendem Wasser keine stabile Schwimmlage darstellt. Leckstabilitätsuntersuchungen der Beladungssituation am Unfalltag werden im Rahmen dieses Berichtes nicht dargestellt, da ein Leckfall als Ursache des Kenterns ausgeschlossen werden kann.

Auf die Darstellung und Berechnung „zulässiger hypothetischer“ Ladefälle wurde verzichtet. Diese weitergehenden Stabilitätsuntersuchungen würden nicht dem Zwecke der Ursachenforschung der Kenterung dienen. Darüber hinaus würden sich insbesondere durch die Leckstabilitätsanforderungen aufgrund der unterschiedlichen Eingabedaten (Aufmassmodellen, Öffnungstypen und Positionen) sowie den anzuwendenden Vorschriften ADN 2003 bzw. ADN 2011 sehr uneinheitliche Ergebnisse ergeben.

Aus Gründen der anschaulichen Darstellung wurden die Stabilitätsanforderungen (Intaktstabilität) aus dem ADN 2003 und dem ADN 2011 (Leckanforderungen können über diese hinausgehen, sind jedoch nicht als Grenzkurve darstellbar) sowie der Stabilität in der Unfallnacht und den durch die Firma „FutureShip“ GmbH mit Hilfe numerischer Simulationen dargestellten Variationen (Kapitel 5.2.5) in einer „GM-Grenzkurve“ aufgetragen:

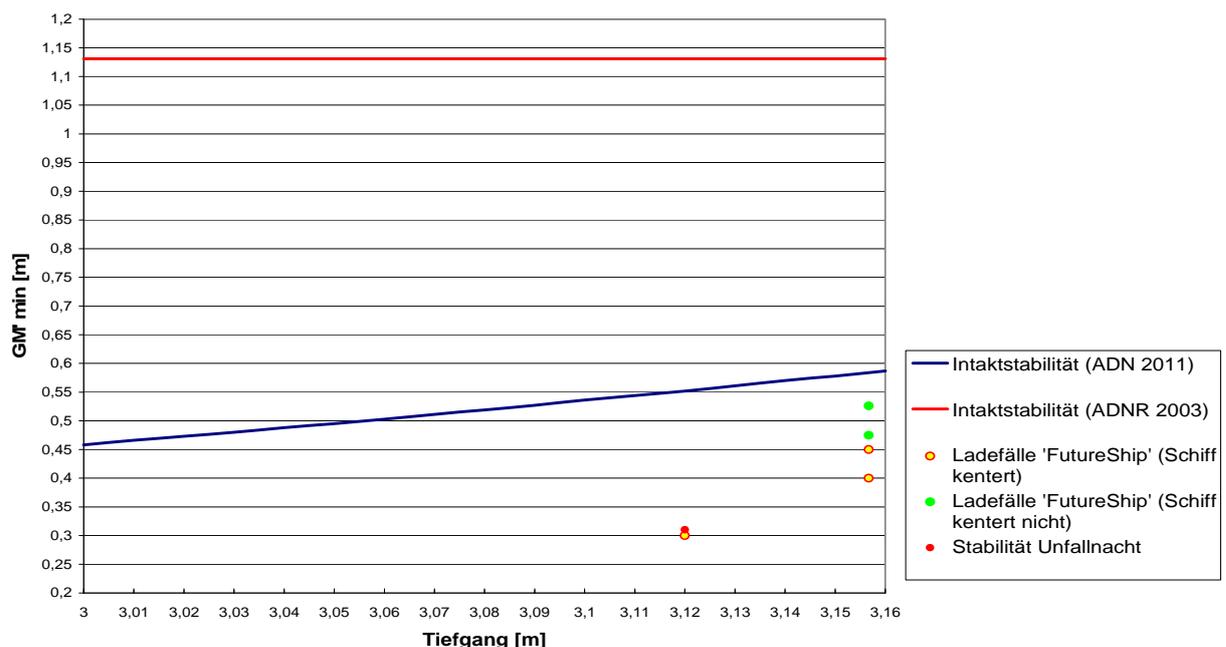


Abbildung 5-1: Intaktgrenzkurve nach ADN 2003 und ADN 2011

Die GM-Grenzkurven zeigen, dass die Einhaltung der Hebelarmkriterien des ADNR 2003 und des ADN 2011 für das TMS „Waldhof“ ein deutlich höheres GM (1,13 m / 0,55 m) als das nach diesen Vorschriften geforderte Mindest-GM von 0,10 m erforderlich machen. Die Simulationen der „FutureShip“ GmbH ergeben bei einer Variation der GM-Werte, dass ab GM = 0,48 m keine Kenterung mehr erfolgt. Dies spricht dafür, dass es bei Einhaltung der vorhandenen Vorschriften nicht zu einer Kenterung des TMS „Waldhof“ gekommen wäre.

5.1.3.2 Löcher in der Backbordkimm - Feuerwehrschräuche

Im Rahmen der Unfalluntersuchung ist die Untersuchungskommission auch den Fragen im Zusammenhang mit den beiden Löchern in der Backbordkimm (Ballasttank 5) und den Schläuchen in den Entlüftungsrohren der Ballasttanks nachgegangen, um zu klären, ob sich während der Talfahrt am 12. und 13. Januar 2011 Wasser im Ballasttank 5 befunden und ggf. welche Auswirkungen dieses Ballastwasser auf die Stabilität des Tankmotorschiffes gehabt hätte (siehe Kapitel 2.6).

Um zu klären, wie die Löcher in der Backbordkimm entstanden sind, bzw. ob sie schon vor der Havarie vorhanden und für die Kenterung der „Waldhof“ (mit-) ursächlich waren, sollte eine materialtechnische Untersuchung der Stahlbleche im Bereich der Löcher durchgeführt werden. Eine derartige Untersuchung hätte die Möglichkeit eröffnet, den ungefähren Zeitpunkt der Beschädigung festzustellen und damit Rückschlüsse auf die (Mit-) Ursächlichkeit für die Havarie zu erzielen. Zum Zeitpunkt der Anforderung der entsprechenden Bleche für eine materialtechnische Untersuchung befand sich TMS „Waldhof“ bereits zur Generalüberholung auf einer Werft. Die Schäden an der Backbordkimm waren bereits beseitigt, und die entsprechenden herausgetrennten Bleche mit den Löchern seien auf der Werft nicht mehr auffindbar gewesen. Eine Materialuntersuchung zur exakten Feststellung des Zeitpunkts des Schadenseintritts konnte mithin nicht mehr durchgeführt werden.

Mehrere Indizien deuten jedoch darauf hin, dass die fraglichen Löcher in der Backbordkimm erst nach der Kenterung entstanden sind, mithin keinen Einfluss auf den Unfall hatten:

Nach Angaben der Besatzungsmitglieder des TMS „Waldhof“ seien die Ballasträume 5 bis 7 vor bzw. während des Ladens in Ludwigshafen über die steuerbordseitigen Mannlöcher bestiegen und kontrolliert worden. Dabei sei festgestellt worden, dass sich in der Ballastzelle 5 kein Wasser befunden hätte, während sich in den Ballastzellen 6 und 7 aus einer vorherigen Ballastierung Restwasser befunden hätte, das mit Hilfe einer Tauchpumpe entfernt worden wäre. Zum Zeitpunkt der Abfahrt aus Ludwigshafen seien auch diese Ballastzellen bis auf Restmengen leenz gewesen.

Bei der Besichtigung des Havaristen auf der Werft in Duisburg konnten im Bereich der Löcher in der Backbordkimm und der Bodenplatte des Schiffes keinerlei Schleifspuren festgestellt werden (Abbildungen 21, 22 und 23 der Anlage 7), so dass die Löcher nicht während der Fahrt - etwa durch eine Grundberührung - entstanden sein können. Eine eindeutige Klärung ist zum jetzigen Zeitpunkt allerdings nicht mehr möglich.

Hinsichtlich der auf TMS "Waldhof" in den backbordseitigen Entlüftungsrohren der Ballasttanks 2 und 5 aufgefundenen Schläuche hat die Untersuchungskommission die Überzeugung gewonnen, dass diese Schläuche in keinem kausalen Zusammenhang mit der Havarie bzw. einem Lenzen der Ballasträume aufgrund eindringenden Wassers während der Fahrt gestanden haben.

Zum einen hätten die aufgefundenen Schläuche nicht ohne weiteres zum Lenzen der Ballasttanks verwendet werden können. Die Feuerwehrschräuche, die auf TMS „Waldhof“ in den Entlüftungsrohren aufgefunden wurden, waren Feuerwehr-Druckschräuche nach DIN 14811. Um

mit derartigen Feuerwehrdruckschläuchen Flüssigkeiten aus Ballasttanks zu befördern (Saugbetrieb), muss eine zusätzliche Tauchpumpe an die tiefste Stelle des Ballasttanks eingebracht werden. Das Ansaugen von Flüssigkeiten mit Feuerwehrdruckschläuchen ohne tief liegende Ansaugpumpen ist nicht möglich, da sich Druckschläuche bei Unterdruck zusammenziehen und dadurch den Flüssigkeitstransport verhindern würden. Eine derartige Pumpe wurde in der Ballastzelle 5 hingegen nicht vorgefunden. Zu diesem Zweck hätten die entsprechenden backbordseitigen Mannlöcher geöffnet werden und während der Talfahrt auch geöffnet bleiben müssen. Die Mannlöcher waren dagegen verschlossen und wurden nach der Bergung erst durch die Bergungsfirma geöffnet.

Aufgrund vorgenannter Indizien und Argumentationen wird deshalb für die weiteren Berechnungen und Untersuchungen von der Prämisse ausgegangen, dass die Ballastzellen des TMS „Waldhof“ zum Havariezeitpunkt lenz bzw. annähernd lenz waren.

5.1.4 Stabilitätsnachweis - ADN-Bescheinigung - Zulassungszeugnis

Ein Fahrzeug darf am Schiffsverkehr nur teilnehmen, wenn es auf Antrag des Eigentümers oder dessen Bevollmächtigten zum Verkehr technisch zugelassen worden ist und den Voraussetzungen der technischen Zulassung entspricht. Die technische Untersuchung von Binnenschiffen einschließlich der formalen Zulassung zum Verkehr erfolgt in der Bundesrepublik Deutschland durch die Zentralstelle Schiffsuntersuchungskommission/Schiffseichamt (ZSUK) bei der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest mit den bei ihren Außenstellen gebildeten Schiffsuntersuchungskommissionen.

Neben der Erlaubnis zur Fahrt auf den Bundeswasserstraßen (Fahrtauglichkeitsbescheinigung), auf dem Rhein ist das ein Schiffsattest, müssen die Tankschiffe, die für den Transport von gefährlichen Gütern gebaut sind, im Besitz einer Erlaubnis zum Transport gefährlicher Güter (ADN-Zulassungszeugnis) sein. Die Erteilung des Zulassungszeugnisses erfolgt auf Grundlage des ADN nach einer gesonderten Untersuchung durch einen anerkannten Sachverständigen und obliegt in Deutschland der ZSUK. Das Zulassungszeugnis ist höchstens fünf Jahre gültig. Zusätzlich zum Zulassungszeugnis muss für Tankschiffe gemäß ADN(R) eine Liste aller in diesem Tankschiff zur Beförderung zugelassenen gefährlichen Stoffen (Stoffliste) ausgefertigt und an Bord mitgeführt werden. Die Stoffliste wird von der Klassifikationsgesellschaft erstellt, die das Schiff klassifiziert und die Bescheinigung zur Ausstellung eines Zulassungszeugnisses ausgestellt hat.

Bei der Erstellung der Stoffliste werden keine Stabilitätskriterien berücksichtigt. Dabei muss die Konstruktion der Ladetanks so ausgelegt sein, dass die relative Dichte der beförderten Stoffe berücksichtigt ist. Nach den Bestimmungen des ADN ist es darüber hinaus zulässig, dass Stoffe mit einer höheren Dichte als im Zulassungszeugnis angegeben befördert werden, sofern der Füllungsgrad in den (einzelnen) Ladetanks nach einer speziellen Formel verringert wird (Absatz 7.2.4.21.3 ADN 2011). Die von den Tankschiffen zu erfüllenden Stabilitätskriterien ergeben sich darüber hinaus aus Abschnitt 9.3.2 des ADN 2011 und sind bereits in Kapitel 5.1.2 dieses Berichtes dargestellt worden.

Hinsichtlich der danach erforderlichen Schiffspapiere und der darin durch die ZSUK und die Klassifikationsgesellschaft festgeschriebenen Parameter ergibt sich bei TMS „Waldhof“ folgendes Bild:

geprüfte und genehmigte Stabilitätsunterlagen:	maximaler Tiefgang	3,11 m
Eichschein:	maximaler Tiefgang	3,15 m
Schiffsattest:	maximaler Tiefgang	3,15 m
ADNR-Bescheinigung:	maximale Dichte	1,300 t/m ³
Zulassungszeugnis:	maximale Dichte	1,300 t/m ³
geprüfte und genehmigte Stabilitätsunterlagen:	maximale Dichte	1,62 t/m ³
Stoffliste (u.a.):		
Schwefelsäure (UN Nr. 1830)	maximale Dichte	1,84 t/m ³
Batterieflüssigkeit (UN Nr. 2797)	maximale Dichte	2,13 t/m ³
Dibromethan (UN Nr. 1605)	maximale Dichte	2,18 t/m ³ .

Anhand der Bordunterlagen konnte festgestellt werden, dass die Schiffsführungen des TMS „Waldhof“ die Beladung des Fahrzeugs beim Transport von Stoffen mit höherer Dichte (als im Zulassungszeugnis angegeben) regelmäßig unter Beachtung der Vorschrift des Absatzes 7.2.4.21.3 ADN 2011 (= Verringerung des Füllgrades) vorgenommen haben. Sie bedienten sich dabei u.a. eines speziellen Softwareprogramms (Aufmassprogramm), das unter Berücksichtigung der aktuellen Temperatur, der spezifischen Dichte und der in den einzelnen Tanks geladenen Volumina das Gesamtgewicht „automatisch“ berechnete und somit ausschließlich der Dokumentation der einzelnen Reisen und der beförderten Ladung diene. Die Verteilung der Ladung in den einzelnen Tanks nahmen die Schiffsführungen nach den vorliegenden Erkenntnissen allein aufgrund der Erfahrungen in der Vergangenheit mit ähnlichen Vorladungen vor. Die maximale Beladung des TMS „Waldhof“ ergab sich für die Schiffsführungen aus dem Schiffsattest bzw. aus dem Eichschein mit 3,15 m.

Dagegen konnte die Unfalluntersuchungskommission keine Anhaltspunkte (z.B. schriftliche Berechnungen oder Dateien) dafür finden, dass die Schiffsführungen bei der Beladung in Ludwigshafen am 12. Januar 2011 (oder bei früheren Reisen) die Stabilitätskriterien des ADNR oder des ADN 2011 insofern berücksichtigt haben, als mit Hilfe der Stabilitätsunterlagen des TMS „Waldhof“ konkrete Stabilitätsberechnungen durchgeführt worden wären.

In diesem Kontext ist anzumerken, dass nach den Erkenntnissen der Untersuchungskommission der allgemeine Kenntnisstand der Schiffsführungen in der Tankschiffahrt zu Fragen der Stabilität von Binnentankschiffen, speziell von Tankschiffen mit Doppelhülle, zum Teil äußerst lückenhaft ist. Spezielle Schwerpunktkontrollen der Wasserschutzpolizeien der Länder zu diesem Themenkomplex haben ergeben, dass die Schiffsführer von Tankschiffen

- generell nur fragmentarische Kenntnisse über Stabilitätsfragen haben,
- sich häufig ausschließlich an vorherigen, ähnlichen Beladungsfällen orientieren,
- die für das jeweilige Schiff vorhandenen Stabilitätsunterlagen nicht kennen oder aufgrund der Komplexität nicht verstehen und interpretieren können,
- die Begrifflichkeiten, wie z.B. „Stabilität“ und „Festigkeit“ nicht differenzieren und fälschlicherweise gleichsetzen.

5.2 Untersuchung der Kenterung des TMS „Waldhof“

5.2.1 Einsatz des Binnenschiffsführungssimulators

Die BAW Karlsruhe hat im Jahr 2009 für den Bereich Binnenschiffahrt einen Schiffsführungssimulator für fahrdynamische Untersuchungen beschafft, der ursprünglich für die Ausbildung des nautischen Personals auf Seeschiffen ausgelegt war, jedoch seitens des Herstellers für die Belange der Binnenschiffahrt angepasst worden ist. Die im Simulator enthaltenen Modellverfahren werden fortlaufend durch die in der BAW entwickelten Verfahren für die fahrdynamische Begutachtung von Wasserstraßen erweitert. Darüber hinaus sind Schnittstellen zu den flussbaulichen hydrodynamisch-numerischen (HN) Modellen eingerichtet. Es lag daher nahe, die BAW mit dem Nachstellen der Havarie im Schiffsführungssimulator zu beauftragen, um nähere Erkenntnisse über den Ablauf und die Ursachen der Havarie zu erhalten.

Der Binnenschiffsführungssimulator der BAW verfügt über eine Binnenschiffsbrücke (Abbildung 5-2) mit originalen Bedienelementen für Maschine, Ruder und Querstrahlruder. Alle notwendigen Anzeigeelemente erscheinen generisch auf Bildschirmen und gewährleisten so ein Höchstmaß an Flexibilität, da die Anzeigeelemente an die verschiedenen Schiffstypen bzw. Untersuchungsziele angepasst werden können. Der Schiffsführungssimulator ist mit einem dreikanaligen Sichtsystem sowie mit Radarausrüstung ausgestattet, so dass in einer Manöverfahrt wahlweise nach Sicht oder mittels Radarnavigation gesteuert werden kann. Des Weiteren verfügt der Simulator über einen zweiten Steuerstand, bestehend aus einem Mindeststandard an Steuerelementen und einem einkanaligen Sichtsystem. Der zweite Fahrstand besitzt die minimal nötige Ausstattung für das Steuern eines Schiffs nach Sicht und ermöglicht dadurch die Realisierung einer Begegnung von zwei selbst gesteuerten Schiffen. Von einem Instruktorarbeitsplatz aus werden die Simulationen zusammengestellt und gesteuert.



Abbildung 5-2: Binnenschiffsführungssimulator der BAW in Karlsruhe

Mit dieser Anlage ist es möglich, mit zwei sog. „Eigenschiffen“ innerhalb eines Fahrtreviers zu navigieren. „Eigenschiffe“ sind voll ausgebildete Modelle von Schiffen, welche in dem Bewegungsmodell alle sechs Freiheitsgrade aufweisen und sowohl mit der Umgebung als auch mit anderen Schiffen interagieren können. Im Gegensatz dazu gibt es sog. Fremdschiffe. „Fremdschiffe“ haben einen vereinfachten Satz an Koeffizienten, die hauptsächlich die Abmessungen,

Antriebsleistung und Schiffsmasse beschreiben. Sie eignen sich dafür, Schiffe auf einem festen Kurs nach vorgegebenen Geschwindigkeiten fahren zu lassen, ohne dass sich die Schiffe durch die äußeren Randbedingungen wie Wind, Strömung oder Wechselwirkung Schiff/Schiff oder Schiff/Wasserstraße beeinflussen lassen. Sie selbst erzeugen aber Wechselwirkungen mit „Eigenschiffen“. Zur Herstellung der Einsatzbereitschaft des Binnenschiffsführungssimulators ist es zunächst notwendig, das Fahrtrevier (Abbildung 5-3) und die beteiligten Schiffe (Abbildung 5-4) je nach Anforderung als „Eigen-“ bzw. „Fremdschiff“ zu modellieren.



Abbildung 5-3: Geländemodell mit generischen Texturen für eine Simulationsfahrt

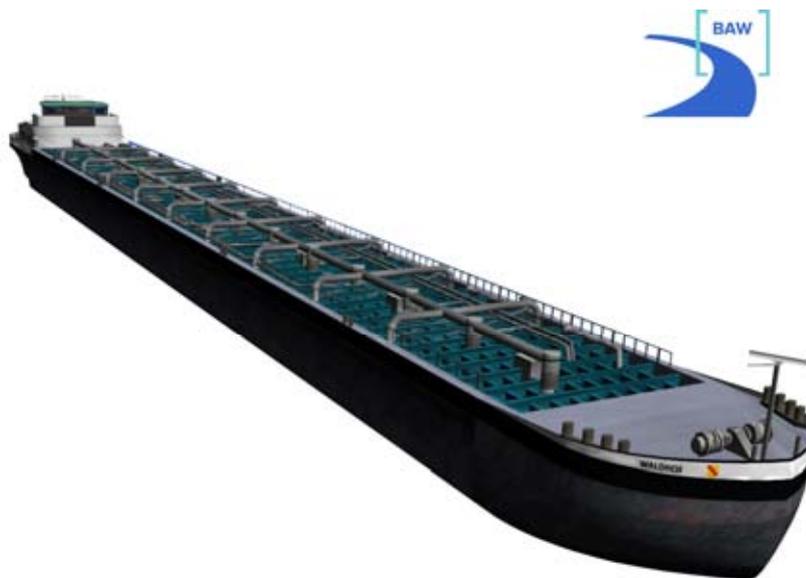


Abbildung 5-4: Schiffsmodell des TMS „Waldhof“ für den Binnenschiffsführungssimulator

Für die vorliegende Untersuchung wurde das TMS „Waldhof“ als Modell mit 6 Freiheitsgraden (DoF - Degrees of Freedom) erstellt (Abbildung 5-5). Dies umfasst die Bewegungen in der Ebene, also Bewegung voraus (surge - entlang der x-Achsen des schiffsfesten Koordinatensystems), seitlich (sway - entlang der y-Achsen des schiffsfesten Koordinatensystems) und die Drehung um die Hochachse z (yaw), sowie die Bewegung entlang der Hochachse z (heave) und die Drehungen um die Achsen x (roll) und y (pitch).

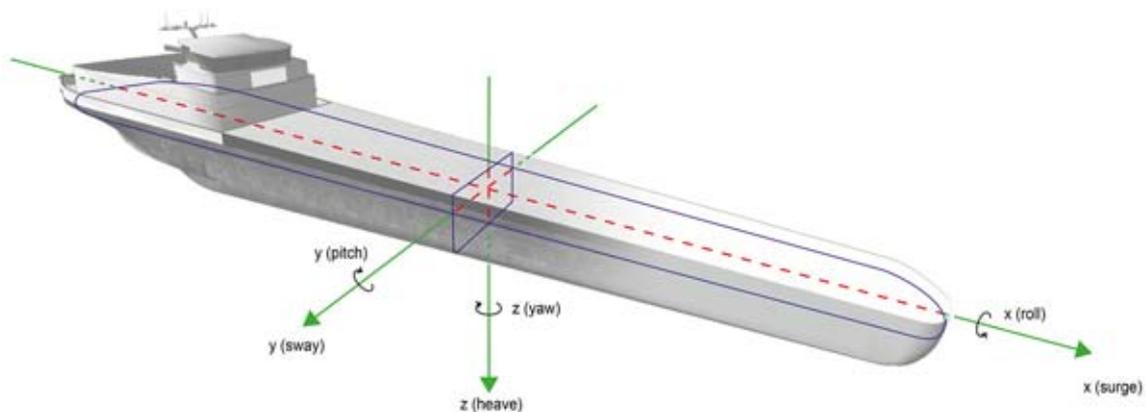


Abbildung 5-5: Freiheitsgrade der Schiffsbewegungen

Für die Ermittlung der Fahreigenschaften (Beschleunigungsverhalten, Schiffsgeschwindigkeit, Bestimmung der Abhängigkeit von der Maschinendrehzahl, Bremsweg, Schiffswiderstand, Kursstabilität, Drehfähigkeit, Wirksamkeit des Querstrahlruders, u. a.) eines Binnenschiffs werden üblicherweise in Naturversuchen unterschiedliche Schiffsmanöver (Drehkreis, Zick-Zack, u. a.) durchgeführt. Alle Schiffsbewegungen werden mittels GPS aufgenommen und parallel dazu alle notwendigen Maschinenparameter (Maschinendrehzahl, Ruderwinkel, Bugstrahlrudereinsatz, u. a.) aufgezeichnet und die Kommandos aus dem Steuerhaus fortlaufend zeitbezogen erfasst. Mit Hilfe dieser Eingangsdaten werden die Parameter des Simulatorschiffes derart kalibriert, dass bei allen Manövern die virtuellen Maschinen des Schiffes mit gleicher Verzögerung auf die Kommandos des Simulators reagieren und das Schiff die gleichen Bewegungen vollführt, wie das Originalschiff.

Derartige vorbereitende Naturuntersuchungen waren für die Modellierung des TMS „Waldhof“ aufgrund der Havarie nicht möglich. Ein validiertes Modell für ein Tankmotorschiff mit den Eigenschaften des TMS „Waldhof“ stand nicht zur Verfügung. Ersatzweise wurde der validierte Parametersatz für ein 135 m langes GMS herangezogen. Da die Koeffizienten eines Schiffsmodells zum großen Teil mit Hilfe der Schiffsabmessungen und der Schiffsmasse dimensionslos gemacht werden, wurde aus dem Parametersatz für das GMS ein Satz für das TMS „Waldhof“ abgeleitet, indem die Abmessungen, Masse und Antriebsleistungen angepasst wurden. Mit dem so erstellten Schiff wurde auf dem Simulator die durch die Revierzentrale in Oberwesel aufgezeichneten Manöver durch ortskundige Nautiker nachgefahren. Bei diesen Fahrten wurden die Parameter zum Schiffswiderstand in Längsrichtung, soweit angepasst, dass die Manöver nachvollzogen werden konnten.

Besonderes Augenmerk galt der Bewegungsgleichung für die Drehung um die Längsachse x des Schiffes. Diese Bewegungsgleichung musste an den Ladefall des TMS „Waldhof“ angepasst werden. Die in dem Binnenschiffsführungssimulator enthaltene Bewegungsgleichung ist vom Grundsatz her eine Drehschwingungsgleichung, die vom Krängungswinkel φ abhängt. Es handelt sich um eine Differentialgleichung zweiter Ordnung und besteht aus einem Trägheitsterm mit φ als zweite Ableitung nach der Zeit, einem Schwingungsdämpfungsterm mit φ als erste Ableitung nach der Zeit, einem aufrichtenden Moment in Abhängigkeit von φ und den krägenden Momenten.

Der Trägheitsterm wird in dem Schiffsführungssimulator mit Hilfe der folgenden dimensionslosen Koeffizienten

K_{pp}^2	Hydrodynamisches Trägheitsmoment	= - 0,00014
K_{ppz}^2	Flachwassereinfluss	= - 0,0000288
K_{xx}^2	Massenträgheitsmoment Schiff	= 0,1

beschrieben.

Der Dämpfungsterm enthält eine lineare Dämpfung, die sowohl die Schiffsmasse, das Gesamtträgheitsmoment um die Längsachse des Schiffes als auch die Lage des Metazentrums und des Gewichtsschwerpunktes berücksichtigt.

C_φ	Relativer Dämpfungskoeffizient	= 0,15
-------------	--------------------------------	--------

Das aufrichtende Moment wird mit Hilfe der Hebelarmkurve definiert. Verwendet wurde die Hebelarmkurve nach Abbildung 5-6 (Tanks befüllt laut Ladekontrollbericht, alle Ballastzellen leer). Darüber hinaus wurde angenommen, dass Verbrauchsstoffe (Treibstoff, Trinkwasser, Schmieröl und Vorräte) zu 50 % an Bord und die Ballasttanks bis auf vernachlässigbare Restmengen leer waren. Daraus resultiert:

- das TMS „Waldhof“ hatte einen berechneten mittleren Tiefgang von 3,12 m,
- der Abstand vom Kiel zum Massenschwerpunkt betrug 1,90 m und
- die verdrängte Wassermasse des Schiffes 3176,8 t.

Die verwendeten Parameter wurden auf der Grundlage der eigenen Stabilitätsberechnungen soweit möglich direkt entnommen und z. T. abgeschätzt (z. B. Dämpfungskoeffizient).

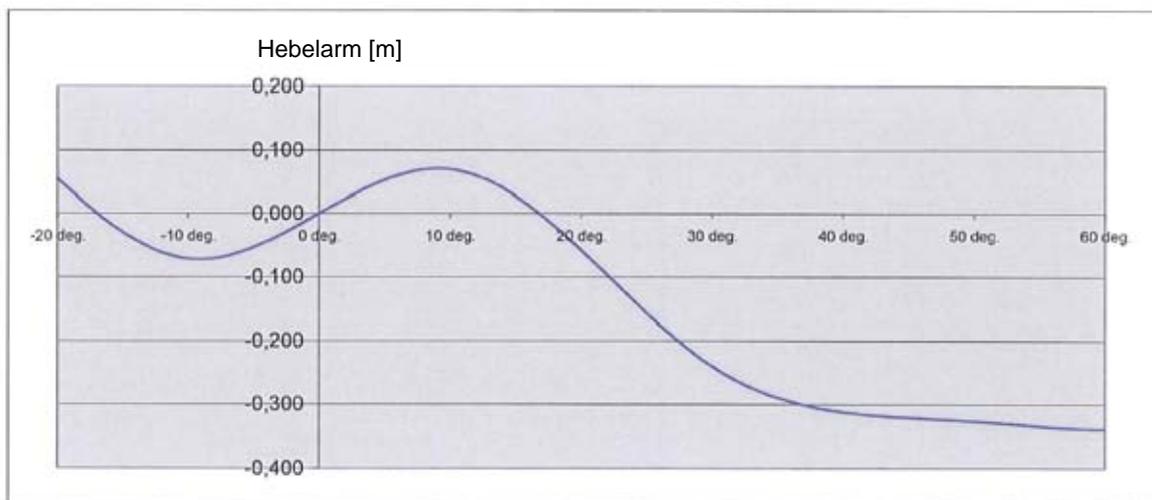


Abbildung 5-6: Für die Simulation verwendete Hebelarmkurve

Für die Simulation nutzt der Schiffsführungssimulator elektronische Flusskarten (Inland ENC) als Datenbasis (Abbildung 5-7). Allerdings sind für eine Befahrbarkeitsanalyse detailliertere Tiefen- sowie Strömungsinformationen erforderlich, als diejenigen, die in den Navigationskarten enthalten sind. Die BAW betreibt für einen großen Teil der Bundeswasserstraßen hydrodynamisch-numerische (HN) Modelle, welche für unterschiedliche Abflussszenarien hoch aufgelöste Wasserstands- und Strömungsinformationen liefern. Aufbauend auf einer Spezialsoftware wurden für den Binnenschiffsführungssimulator Schnittstellen entwickelt, die sowohl die Unterwasser- geometrie als auch die Strömungsvektoren in den Inland ENC Standard überführt. Der Schiffsführungssimulator ist somit in der Lage, Fließgeschwindigkeiten, Wassertiefen und Wasserspiegellagen aus den Strömungsmodellen zu verarbeiten.

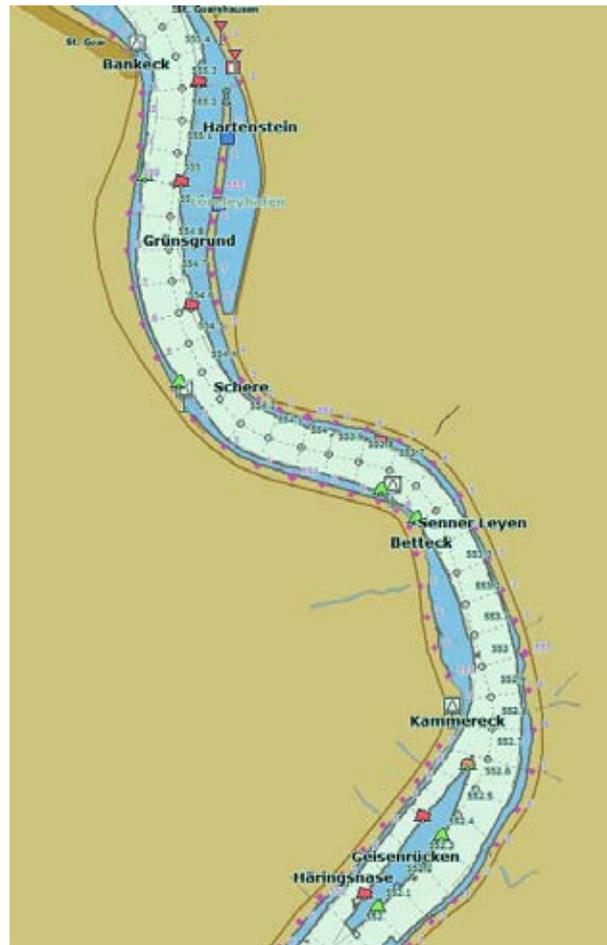


Abbildung 5-7: Elektronische Navigationskarte (Inland ENC)

Für die Untersuchung der Ursachen zur Havarie des TMS „Waldhof“ wurde ein Fahrtrevier von Rhein-km 550 bis Rhein-km 560 erstellt. Das Fahrtrevier beinhaltet die Abflusssituation am Rhein, die Morphologie des Flussbettes, die meteorologischen Randbedingungen und die Sichtbedingungen zum Zeitpunkt der Havarie. Da im Verlauf der Simulation das TMS „Waldhof“ sowohl nach Sicht als auch nach Radar durch einen Nautiker bzw. Schiffsführer gesteuert werden soll, musste bei der Erstellung des Sichtmodells großen Wert auf Vergleichbarkeit mit der Realität gelegt werden.

Alle Schiffe, die sich zur Zeit der Havarie im Fahrtrevier aufhielten (Kapitel 3.2.4), hatten mit Ausnahme des TMS „Waldhof“ und eines namentlich unbekanntem Schubverbandes, dem das TMS „Waldhof“ um 04:32:12 Uhr bei Rhein-km 550,6 begegnete, einen AIS-Sender an Bord und haben ihre Position fortlaufend gesendet. Diese Daten wurden von der Revierzentrale Oberwesel empfangen und aufgezeichnet. Aus diesen Daten wurde für jedes Schiff eine Kursachse erstellt, die dessen Bewegung beschreibt. Da für die Untersuchungen nur ihre Wirkung auf das TMS „Waldhof“ von Interesse ist, sind sie als Fremdschiffe modelliert. Die Fahrgeschwindigkeiten und die Aufenthaltsorte des TMS „Waldhof“ wurden aus den Radaraufzeichnungen abgeleitet⁷ und daraus eine Kursachse für das Fahrzeug erstellt. Für die entscheidenden letzten Manöver des TMS „Waldhof“ zwischen Rhein-km 552,5 und Rhein-km 553,8 wurden

⁷ das an Bord des TMS „Waldhof“ eingebaute integrierte Navigationssystem (RadarpiLOT 720°) konnte nach der Bergung des Schiffes (ebenso wie der Fahrtenschreiber) nicht mehr im Steuerhaus aufgefunden werden, so dass die dort aufgezeichneten Daten für die Unfallursachenermittlung nicht zur Verfügung standen; am 13.02.2011 konnte an Bord lediglich ein normaler Bürocomputer sichergestellt werden, der allerdings keinerlei Navigationsdaten enthielt

die Positionen des Schiffes in das Radarbild des Radarpiloten 720° des Schiffsführungssimulators eingetragen (Abbildung 5-8). Damit war es den Schiffsführern, welche die Fahrt des TMS „Waldhof“ am Simulator nachgefahren haben, möglich, die genauen Positionen des Schiffes auf der Inland ENC zu sehen und die Manöver möglichst exakt nachzuvollziehen.

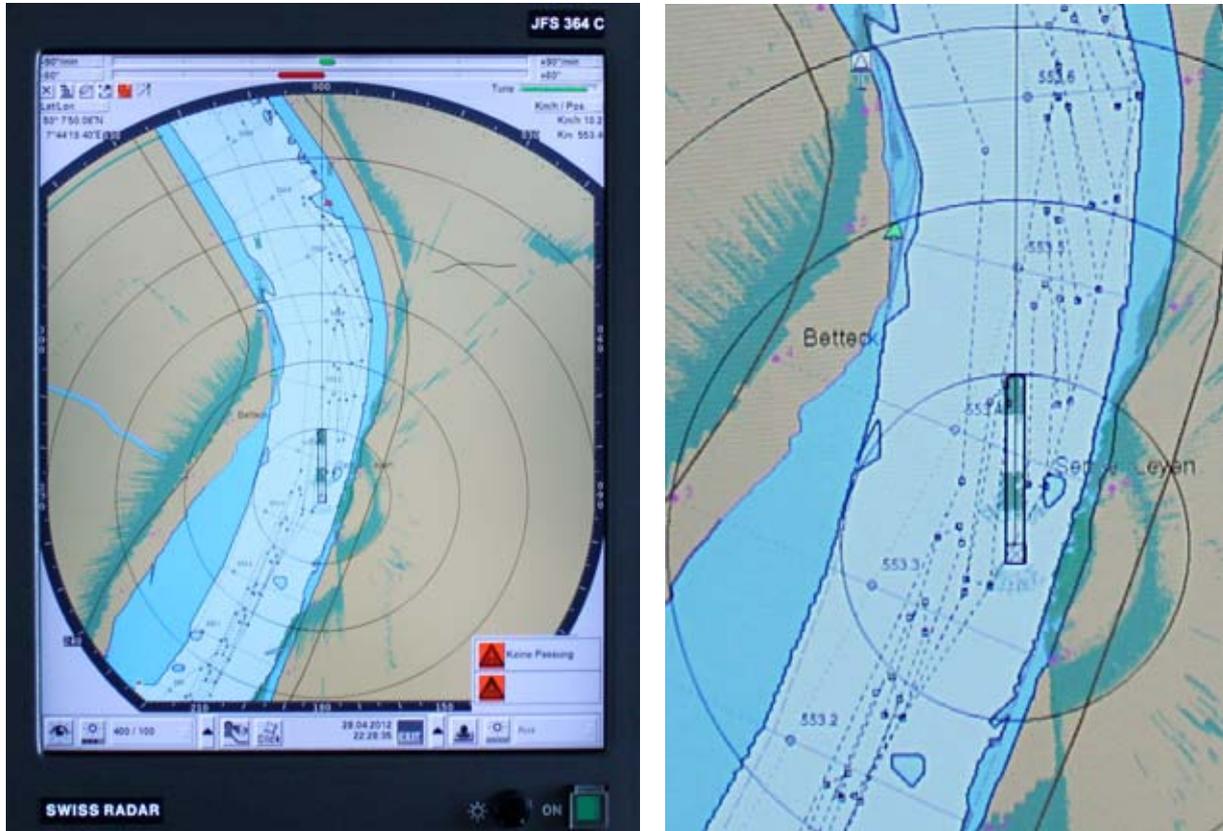


Abbildung 5-8: Phasenaufnahmen des TMS „Waldhof“ im Radarpilot 720° des Schiffsführungssimulators

5.2.2 Bewertung der Verkehrssituation vor der Kenterung (Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“)

Die Untersuchungen zur Verkehrssituation vor der Kenterung konzentrieren sich auf den Zeitraum zwischen 04:37 Uhr (unmittelbar nach der Begegnung mit dem GMS „Aragon“) bis 04:43 Uhr (nach der Kenterung des TMS „Waldhof“). In diesen Zeitraum fällt die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ (04:41:20 Uhr). Um festzustellen, ob es zwischen dieser Begegnung und der Kenterung einen ursächlichen Zusammenhang gibt, werden die Manöver des GMS „Acropolis“ in den nautischen Untersuchungen mit berücksichtigt. Hierfür wurden zunächst Abschnittsgrenzen (Begegnungs- und Havariebereich) definiert, die Schiffsgeschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ und des GMS „Acropolis“ einander gegenübergestellt und der Geschwindigkeitsverlauf des TMS „Waldhof“ hinsichtlich der mutmaßlich eingesetzten Maschinenleistung und des Fahrverhaltens analysiert.

5.2.2.1 Festlegung des Begegnungs- und Havariebereiches

Das TMS „Waldhof“ begegnet dem GMS „Acropolis“ am „Betteck“ bei Rhein-km 553,43 um 04:41:20 Uhr (Begegnungszeitpunkt und -ort bezogen auf etwa die Schiffsmittelpunkte). Für eine detaillierte Untersuchung der Begegnung wurden die zeitlichen Abschnittsgrenzen 04:41:02 Uhr und 04:41:35 Uhr festgelegt. Zu diesen beiden Zeiten befanden sich die beiden Schiffe annähernd in der Position Bug/Bug (Abbildung 5-9) bzw. Heck/Heck (Abbildung 5-10).

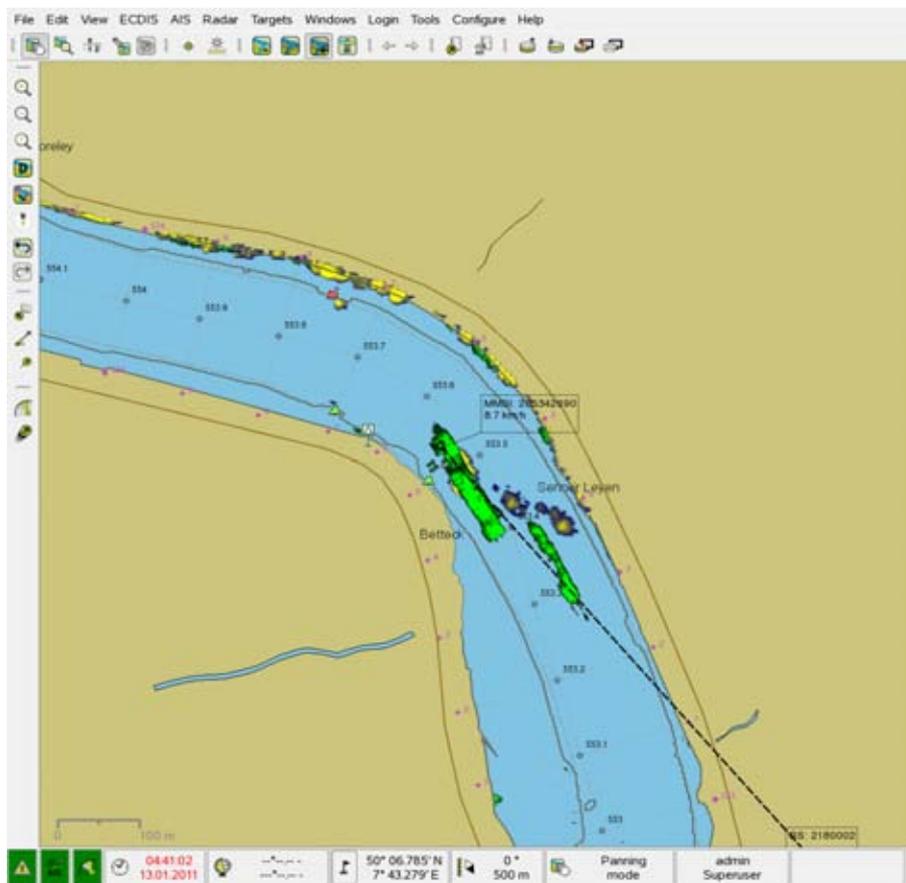


Abbildung 5-9: Beginn der Begegnung (Bug/Bug) des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ um 04:41:02 Uhr

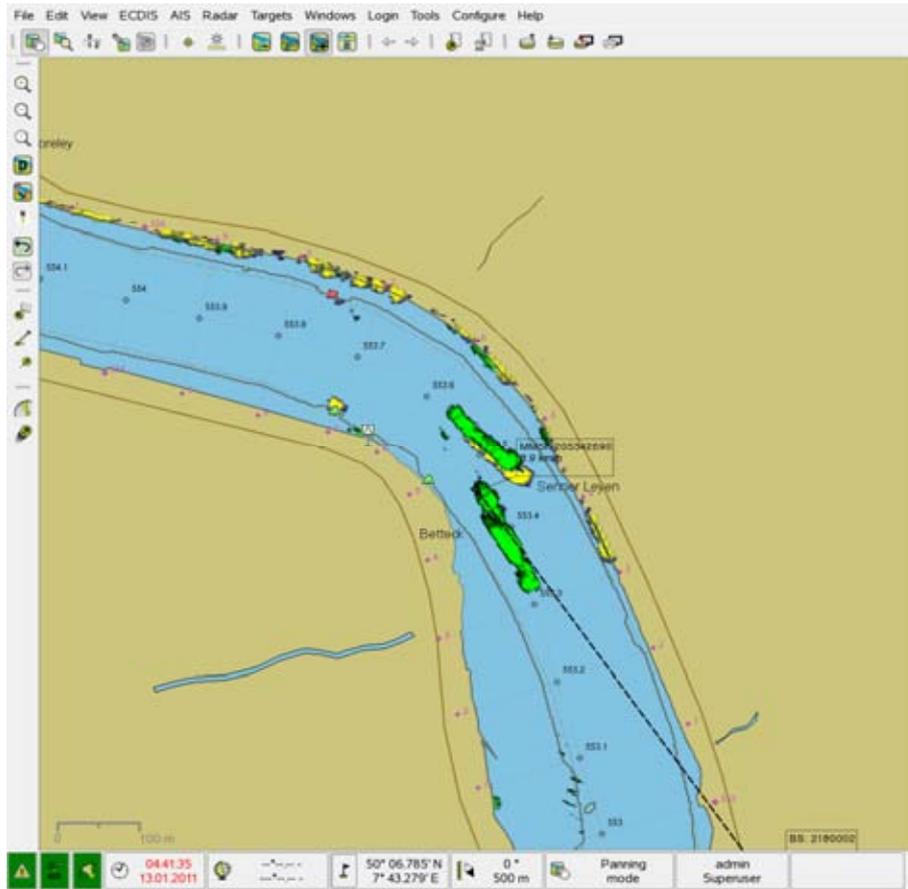


Abbildung 5-10: Ende der Begegnung (Heck/Heck) des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ um 04:41:35 Uhr

Für das TMS „Waldhof“ befindet sich der Bezugspunkt in der Mitte des Schiffes. Demnach befand es sich um 04:41:02 Uhr etwa bei Rhein-km 553,34 und um 04:41:35 Uhr etwa bei Rhein-km 553,52. Die Geschwindigkeit des TMS „Waldhof“ (rot) ist wegen der Talfahrt deutlich höher als die des Bergfahrers GMS „Acropolis“ (grün). Wegen der geringeren Schiffsgeschwindigkeit über Grund und des angenommenen Bezugspunktes der GPS-Antenne im hinteren Viertel des GMS „Acropolis“ liegen die entsprechenden Abschnittsgrenzen bei Rhein-km 553,51 und Rhein-km 553,43. Infolge der größeren Schiffsgeschwindigkeit über Grund legt das TMS „Waldhof“ im gleichen Zeitraum (z. B. bei der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“) einen größeren Streckenabschnitt zurück (Begegnungsbereiche siehe Abbildung 5-11).

Um 04:42:08 Uhr (Abbildung 5-12) begann sich das Radarecho des TMS „Waldhof“ aufzulösen, bis es um 04:42:20 Uhr (Abbildung 5-13) gänzlich auf den Radarbildern verschwunden war. Unter Beachtung der Positionen des Referenzpunktes bzw. des geschätzten Referenzpunktes im aufgelösten Radarecho und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs ergeben sich für den Havariebereich die kilometerbezogenen Abschnittsgrenzen zwischen Rhein-km 553,68 und Rhein-km 553,76. Da der Havariebereich des TMS „Waldhof“ für die Fahrt des GMS „Acropolis“ unwesentlich ist, wurden diese Abschnittsgrenzen nur für das TMS „Waldhof“ festgelegt und eingetragen (Abbildung 5-11).

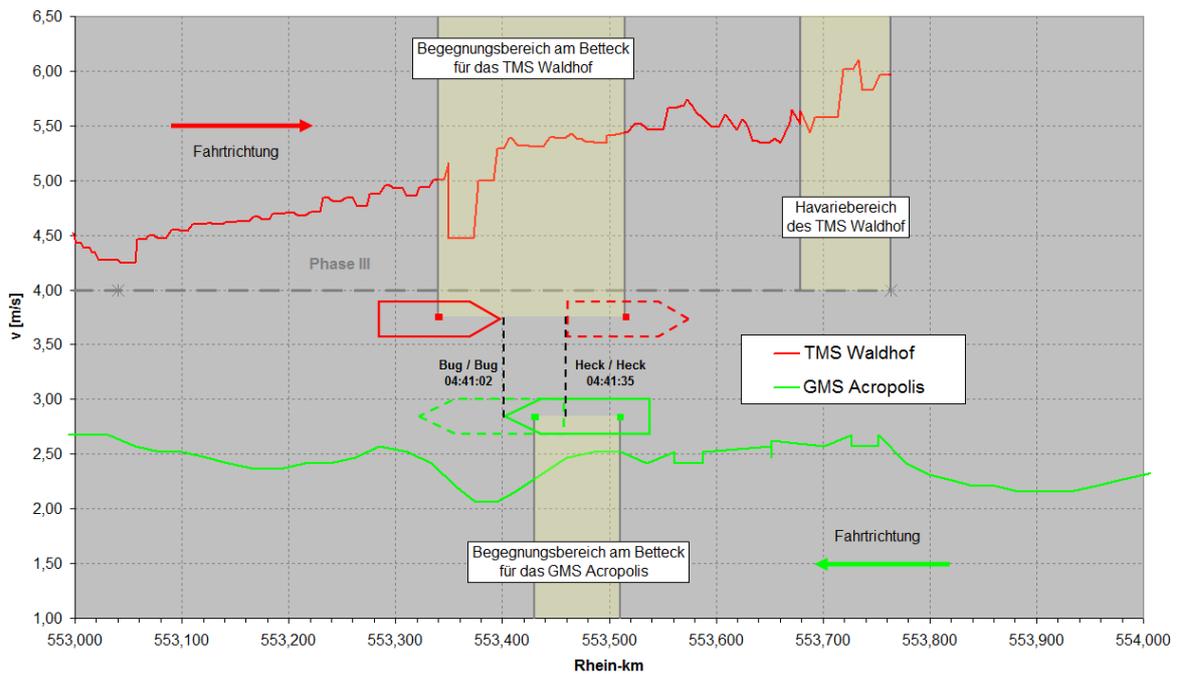


Abbildung 5-11: Darstellung der Geschwindigkeit über Grund im Bereich des „Bettecks“ für das TMS „Waldhof“ bzw. das GMS „Acropolis“

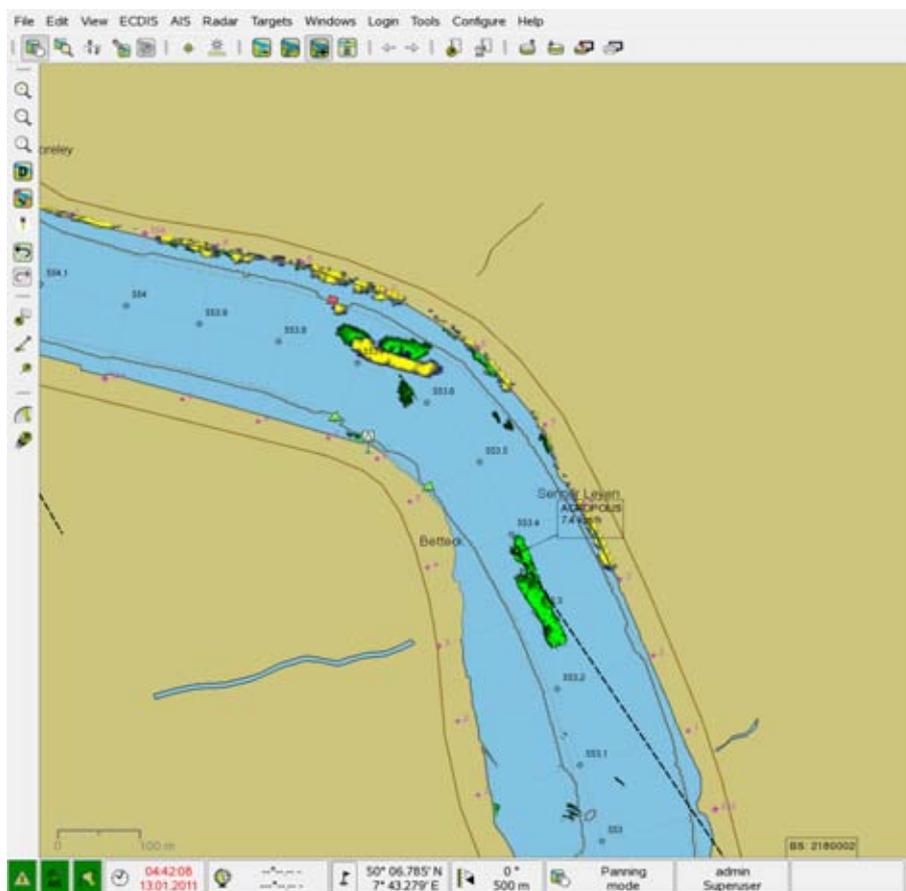


Abbildung 5-12: Beginn der Auflösung des Radarbildes des TMS „Waldhof“ um 04:42:08 Uhr

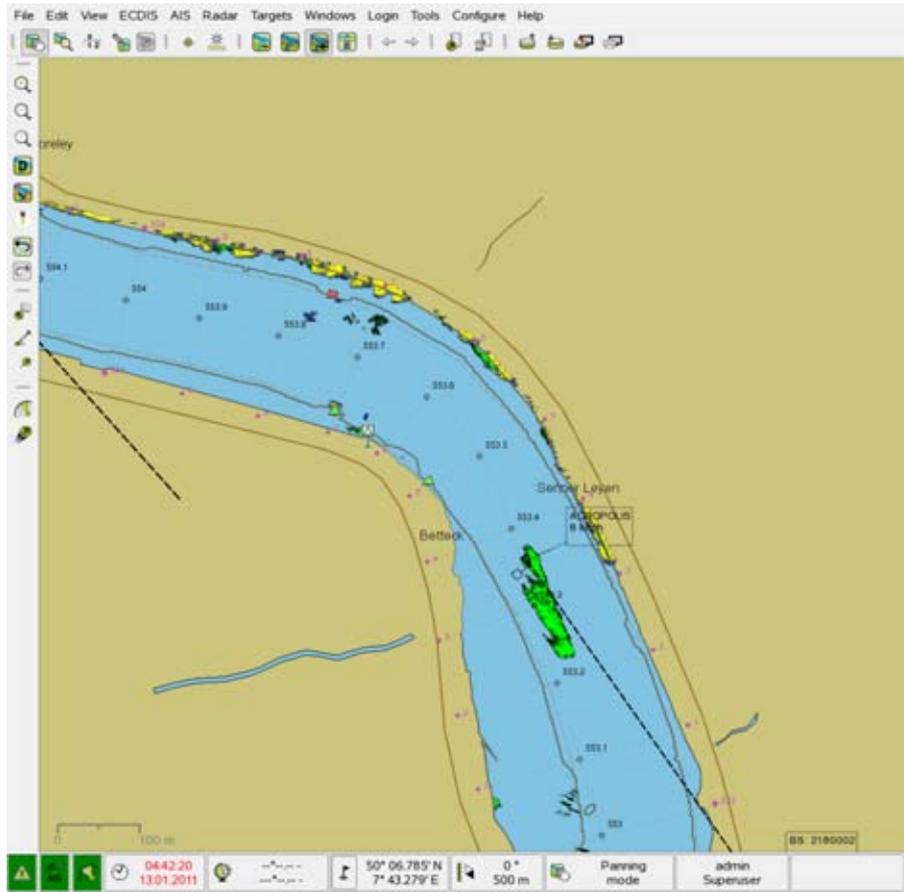


Abbildung 5-13: TMS „Waldhof“ auf den Radarbildern gänzlich verschwunden um 04:42:20 Uhr

5.2.2.2 Schiffsgeschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ und des GMS „Acropolis“

Für die Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeiten wurden die in den AIS- und Radardaten enthaltenen Positionsdaten genutzt. Diese beziehen sich auf einen Referenzpunkt des jeweiligen Schiffes. Für die Ermittlung der Schiffsgeschwindigkeiten wurden bei dem GMS „Acropolis“ die AIS-Informationen und bei dem TMS „Waldhof“ (mangels AIS-Daten) die von der Revierzentrale aufgezeichneten Radarbilder verwendet.

Schiffsgeschwindigkeit des GMS „Acropolis“

Die Referenz für die AIS-Informationen ist die Position der GPS-Antenne, die sich im Normalfall in der Nähe des Steuerhauses befindet. Da bzgl. der AIS-Informationen der genaue Ort der GPS-Antenne bei dem GMS „Acropolis“ unbekannt ist, können durch die Festlegung der Referenzpunkte Ungenauigkeiten bzgl. der Schiffspeditionen in der Größenordnung der Abmessungen des Steuerhauses auftreten. Die Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeit in diesem Punkt wird dadurch nicht beeinflusst. Für die Angabe Geschwindigkeit über Grund (Speed over Ground - SOG) geben Hersteller von GPS Navigationssystemen, die in diesem Genauigkeitsbereich der Positionierung arbeiten, eine Fehlertoleranz von 0,05 m/s an.

Infolge der Fahrdynamik eines Schiffes entsteht für die Angabe SOG ein weiterer Fehler. Bei der Geradeausfahrt kann die Schiffsgeschwindigkeit in jedem beliebigen Punkt des Schiffes gemessen werden. In der Kurvenfahrt nimmt das Schiff einen Driftwinkel ein, um durch die so

resultierende Schräganströmung am Schiffskörper die Fliehkräfte infolge Kurvenfahrt zu kompensieren. Dabei bewegt sich das Schiff mit dem taktischen Drehpunkt entlang seiner Kursachse, wobei im taktischen Drehpunkt der Driftwinkel des Schiffes immer 0 Grad ist (Abbildung 5-14). In diesem Punkt kann also die Bahngeschwindigkeit direkt gemessen werden.

Befindet sich der Messpunkt, wie z. B. beim GPS-Empfänger im Bereich des Hecks, so bewegt sich dieser Punkt in der Kreisfahrt bei gleicher Winkelgeschwindigkeit wie der taktische Drehpunkt auf einer Kreisbahn mit einem größeren Radius. Dadurch wird mit Hilfe der GPS-Messung in der Kurvenfahrt eine größere Bahngeschwindigkeit ermittelt.

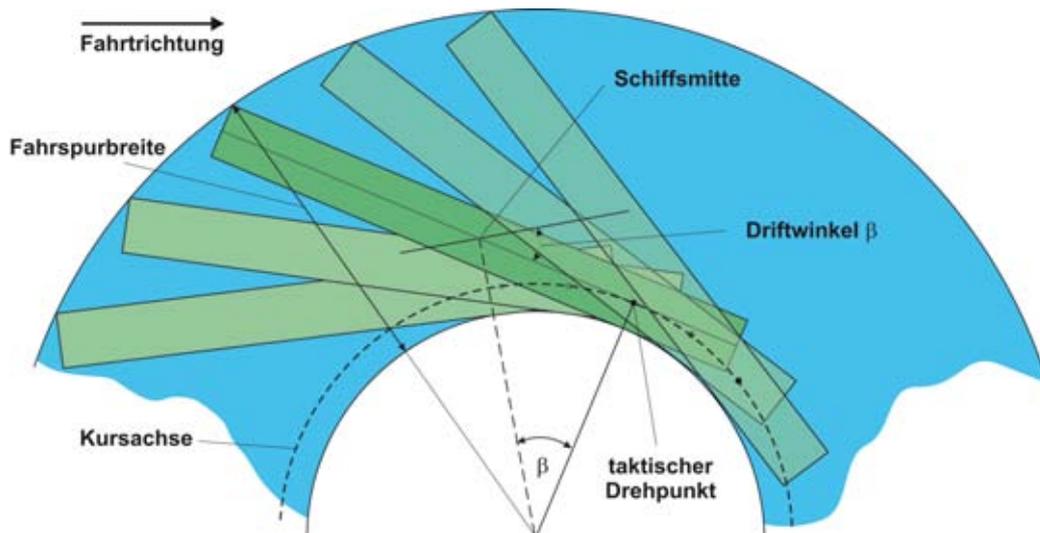


Abbildung 5-14: Auswirkung der Fahrdynamik eines Binnenschiffes auf die Schiffsgeschwindigkeit

In erster Näherung kann man davon ausgehen, dass sich der taktische Drehpunkt bei einem zu Berg fahrenden Schiff im Bereich 10 % der Schiffslänge vor der Schiffsmitte befindet. Bei einem Kurvenradius von 150 m und einer Winkelgeschwindigkeit von 30 Grad/s, wie ihn das GMS „Acropolis“ im Bereich der „Loreley“ durchfahren hat, ergäbe das eine Differenz der Bahngeschwindigkeit von 0,07 m/s, unter der Voraussetzung, dass sich die GPS Antenne 50 m hinter dem taktischen Drehpunkt befindet.

Schiffsgeschwindigkeit des TMS „Waldhof“

Für das TMS „Waldhof“ wurden die Geschwindigkeitsangaben direkt aus den Radaraufzeichnungen ermittelt, indem der Flächenschwerpunkt des jeweiligen Radarechos als Referenzpunkt festgelegt wurde und aus diesen die Schiffsgeschwindigkeiten errechnet wurden. Darüber hinaus wurden im Bereich der Kenterung die Aufzeichnungen der Radare „Kammereck“ R2 und „Loreley“ R3 gesondert ausgewertet, indem die Bezugspunkte in das Heck bzw. in den Bug des Radarechos des TMS „Waldhof“ gelegt wurden, abhängig davon, ob Bug oder Heck vom Radar direkt erfasst wurden.

In den Radarbildern werden die Abmessungen von Zielen gegenüber der Wirklichkeit in radialer und azimuthaler Richtung verändert dargestellt (Kapitel 3.1.6). Aus diesem Grund hat der aus den Radarinformationen bestimmte Fahrweg eine in der Lage fehlerbehaftete Koordinate, die sich auf die ermittelten Fahrgeschwindigkeiten auswirkt.

Wie bereits bei dem GMS „Acropolis“ oben beschrieben, ergibt sich auch bei der Radarauswertung aus der Fahrdynamik und der Position des Bezugspunktes ein Fehler bei der Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeit. Im Verlauf der Kurvenfahrt am „Betteck“ wurde das TMS „Waldhof“

von den Radargeräten am „Kammereck“ R2 und an der „Loreley“ R3 erfasst. Bei der Ermittlung der Schiffsgeschwindigkeit wurde für das Radar am „Kammereck“ R2 der Bezugspunkt ins Heck des TMS „Waldhof“ gelegt, da dieser Bereich des Radarechos eindeutig erfasst wird. Für die Ermittlung der Geschwindigkeit aus den Aufzeichnungen des Radars an der „Loreley“ R3 wurde der Punkt wegen der eindeutigen Erfassbarkeit in den Bug gelegt. In der Talfahrt liegt der taktische Drehpunkt annähernd im Bug des Schiffes oder sogar vor dem Schiff. Dadurch konnte von dem Radar an der „Loreley“ R3 die Schiffsgeschwindigkeit relativ genau bestimmt werden. Der Heckreferenzpunkt bewegte sich auf einer Kreisbahn mit einem größeren Bahnradius. Dadurch kommt es für diese Situation zu Abweichungen in den Geschwindigkeiten von rund 5 %.

Darstellung und Analyse der Geschwindigkeitsverläufe

Für die Bewertung der Geschwindigkeitsverläufe der beiden Schiffe wurde der Binnenschiffsführungssimulator der BAW eingesetzt. In Vorbereitung der Simulationen wurde das Fahrtrevier zwischen Rhein-km 550 bis Rhein-km 560 mit der in der Nacht der Havarie vorherrschenden Abflusssituation nachgestellt. Das Modell des TMS „Waldhof“ wurde aus einem validierten Parametersatz eines Gütermotorschiffes abgeleitet, indem Abmessungen, Masse und Antriebsleistungen angepasst wurden. Wegen der verbleibenden Ungenauigkeit des Modells werden alle Angaben zu den mutmaßlichen Manövern, die an Bord durchgeführt wurden, in Prozent angegeben.

Für die durchgeführten Simulationen des Havarieszenarios wurde das TMS „Waldhof“ von Schiffsführern mit Ortskenntnis gefahren. Um die Simulationen im Interesse der Genauigkeit zu erleichtern, wurden die Simulationen in die Tageszeit verlegt. Zur Unterstützung erhielten die Schiffsführer ein Diagramm mit dem Fahrgeschwindigkeitsverlauf des TMS „Waldhof“ bezogen auf den Flusskilometer (Abbildung 5-15). Darüber hinaus fuhr vor dem TMS „Waldhof“ ein Orientierungsboot, welches als Fremdschiff die Route und Fahrgeschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ zugewiesen bekam und sich während der Simulation rund 150 m vor der Sollposition des TMS „Waldhof“ befand. Folgen die Schiffsführer in diesem Abstand dem Orientierungsboot, dann befinden sie sich annähernd mit den ermittelten Fahrgeschwindigkeiten auf dem Kurs des TMS „Waldhof“. Für die entscheidenden letzten Manöver des TMS „Waldhof“ zwischen Rhein-km 552,5 und Rhein-km 553,8 wurden die Positionen des Schiffes in das RadARBild des Radarpiloten 720° eingetragen. Alle übrigen an dem Szenario beteiligten Schiffe wurden als Fremdschiffe modelliert und in das Simulationsszenarium aufgenommen. Den Fremdschiffen wurden die aus den AIS-Aufzeichnungen ermittelten Routen zugewiesen. Somit wurde gewährleistet, dass diese Schiffe zu den entsprechenden Zeiten am richtigen Ort fahren.

Da die Schiffsführer während der Simulation gleichzeitig Geschwindigkeit und Kurs einhalten und darüber hinaus die zu Berg fahrenden Schiffe in den richtigen Abschnitten begegnen sollten, kam es vor, dass sie abweichend von den Vorgaben die Schiffsgeschwindigkeiten vergrößern bzw. verkleinern mussten. Dadurch kam es bei den durchgeführten Simulationen teilweise zu Schwankungen bei der eingesetzten Maschinenleistung. Die Verläufe der Geschwindigkeit über Grund (SOG - Speed over Ground) des GMS „Acropolis“ und des TMS „Waldhof“ sind für den eingangs genannten Zeitraum zwischen 04:37 Uhr bis 04:43 Uhr und Rhein-km 552 bis Rhein-km 555 in Abbildung 5-15 bzw. Abbildung 5-16 dargestellt. Infolge der größeren Schiffsgeschwindigkeit über Grund legt das TMS „Waldhof“ als Talfahrer im gleichen Zeitraum einen größeren Streckenabschnitt zurück (Begegnungsbereiche in Abbildung 5-11 bzw. Abbildung 5-15). Für die beiden signifikanten Ereignisse „Begegnung der beiden Schiffe“ und „Kenterung des TMS „Waldhof““ sind sowohl die örtlichen als auch zeitlichen Bereiche in den Abbildungen (Abbildung 5-11, Abbildung 5-15 und Abbildung 5-16) markiert.

In Abbildung 5-15 befindet sich die kilometerbezogene Darstellung der Geschwindigkeit über Grund. Die Fahrt des TMS „Waldhof“ folgt der Kilometrierung, so dass der entsprechende Graph von links nach rechts verläuft. Der Graph des Bergfahrers GMS „Acropolis“ wird entspre-

chend von rechts nach links dargestellt. In der zeitbezogenen Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe beider Schiffe (Abbildung 5-16) verlaufen beide Geschwindigkeiten entsprechend der Uhrzeit von links nach rechts. Somit lassen sich Ereignisse in den Verläufen beider Schiffe zeitlich direkt einander zuordnen.

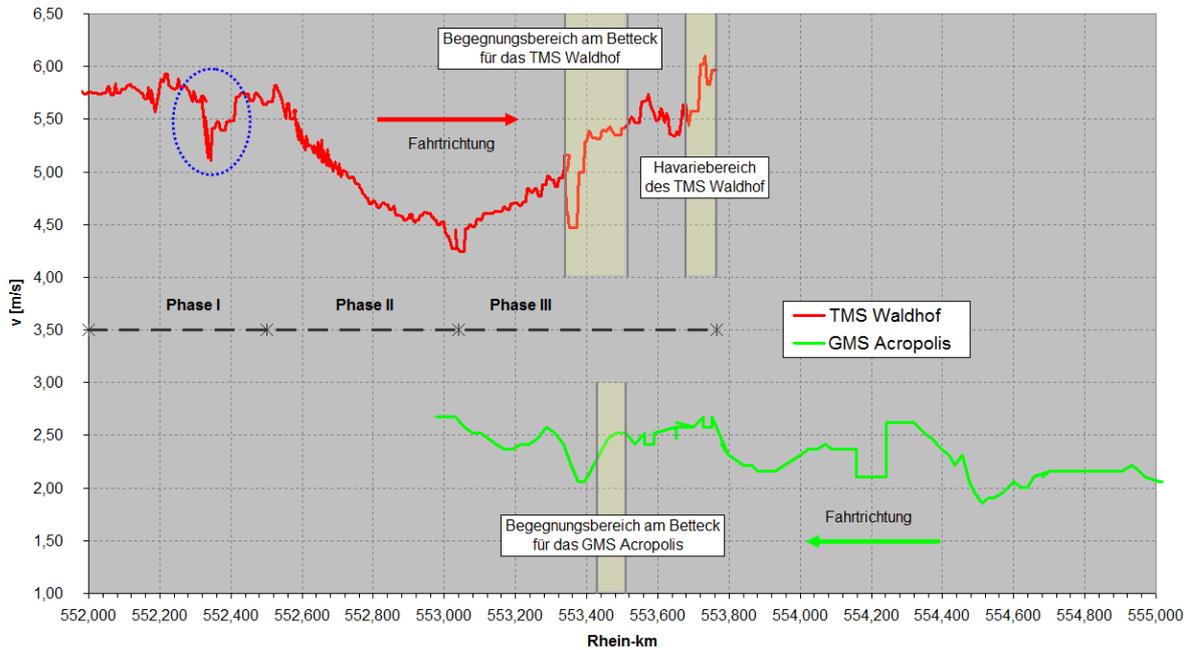


Abbildung 5-15: Geschwindigkeit über Grund bezogen auf den Flusskilometer

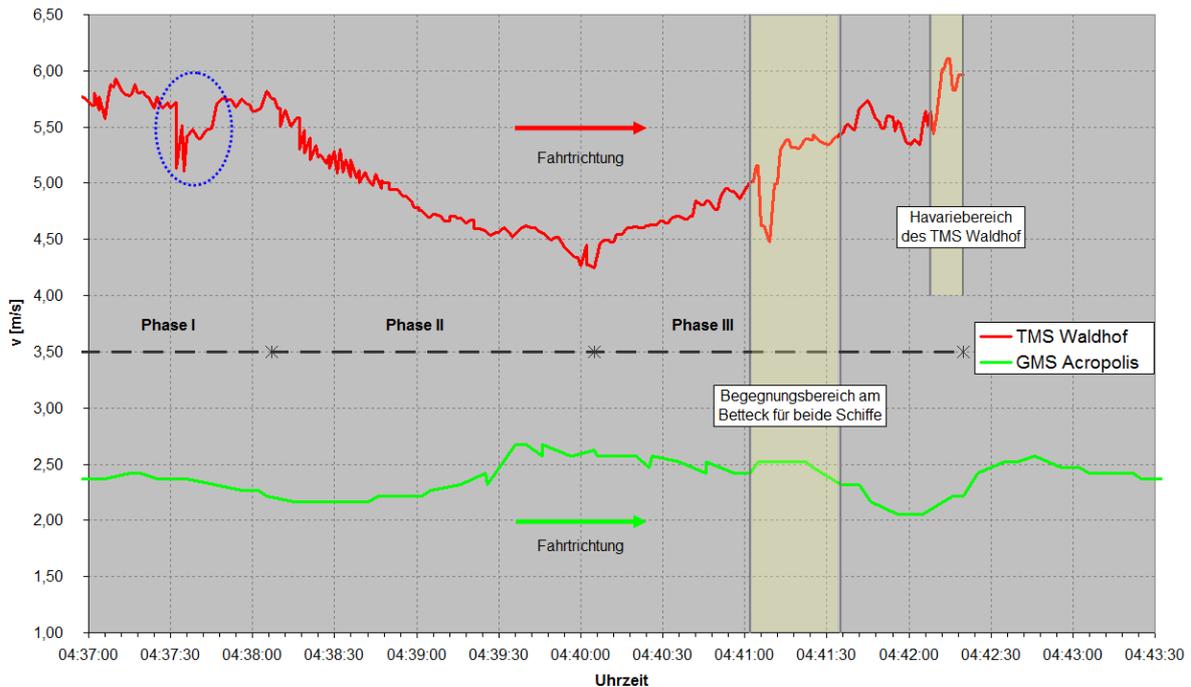


Abbildung 5-16: Geschwindigkeit über Grund bezogen auf die Uhrzeit

5.2.2.3 Bewertung der Schiffsgeschwindigkeit

Insgesamt wurde die Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ auf dem Schiffsführungssimulator von zwei Schiffsführern (SF1/SF2) aus Sicht des TMS „Waldhof“ 14-mal gefahren. Unterteilt in die Abschnitte oberhalb Rhein-km 552,5 (Phase I), die Phase der Geschwindigkeitsreduzierung bis Rhein-km 553,04 (Phase II) und die Beschleunigungsphase unterhalb Rhein-km 553,04 (Phase III) wurden die jeweils eingesetzten Maschinenleistungen des TMS „Waldhof“ prozentual in Tabelle 5-1 zusammengestellt. In der Abbildung 5-15 und der Abbildung 5-16 sind die Phasen ebenfalls eingetragen.

Tabelle 5-1: Eingesetzte Maschinenleistungen des TMS „Waldhof“ vor und während der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“

Schiffsführer / Fahrt	Oberhalb Rhein-km 552,5 (Phase I)	Geschwindigkeitsreduzierung bis km 553,04 (Phase II)	Beschleunigungsphase unterhalb km 553,04 (Phase III)
SF1 / 1	71 %	25 %	86 %
SF1 / 2	74 %	39 %	96 % - 100 %
SF1 / 3	74 %	33 %	83 % - 95 %
SF1 / 5	72 %	30 % - 60 %	69 %
SF1 / 7	67 %	0 % - 51 %	100 %
SF1 / 8	67 %	25 % - 37 %	100 %
SF1 / 9	70 %	30 %	89 %
SF1 / 10	58 % - 79 %	24 % - 67 %	100 %
SF1 / 11	72 %	21 % - 42 %	100 %
SF2 / 1	68 %	17 %	99 %
SF2 / 3	67 % - 74 %	18 % - 43 %	100 %
SF2 / 5	67 %	19 % - 30 %	100 %
SF2 / 9	69 %	31 % - 47 %	100 %
SF1 / Referenzfahrt	72 %	0 % - 73 %	93 %

Die Simulationen haben gezeigt, dass in dem Zeitraum zwischen 04:37:00 Uhr bis um 04:38:07 Uhr (Phase I, Abbildung 5-16), also oberhalb Rhein-km 552,5, rund 65 % - 75 % der verfügbaren Antriebsleistung des Schiffes benötigt wurden, um die Geschwindigkeit von 20,7 km/h bzw. 5,75 m/s über Grund zu halten.

In diesem Zeitraum fällt die Phase einer kurzzeitigen Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit zwischen 04:37:30 Uhr bis 04:37:45 Uhr (blaue Markierung in Abbildung 5-16), in der das TMS „Waldhof“ von den Radarstationen „Oberwesel“ (R1) und „Kammereck“ (R2) erfasst und aus beiden Radarechos die Geschwindigkeit abgeleitet wurde. Genau in diesem Zeitabschnitt kann man beobachten, dass das Echo aus der Radarstation „Oberwesel“ (R1) deutlich kleiner und somit der Schwerpunkt des Gesamtechos in Richtung Heck verlagert wird, was zu einer scheinbaren Reduzierung der Geschwindigkeit führt.

Ab 04:38:07 Uhr verringerte das TMS „Waldhof“ seine Fahrgeschwindigkeit stetig bis auf etwa 15,3 km/h bzw. 4,25 m/s (Phase II, Abbildung 5-16). Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Schiff neben dem „Geisenrücken“ bei Rhein-km 552,5 im rechtsrheinischen Fahrwasser. Die nächste anstehende Begegnung war die mit dem GMS „Acropolis“, zu der zu diesem Zeitpunkt weder Sicht- noch Radarkontakt bestand. In Abbildung 5-17 sind die Positionen beider Schiffe zwei Sekunden später dargestellt.

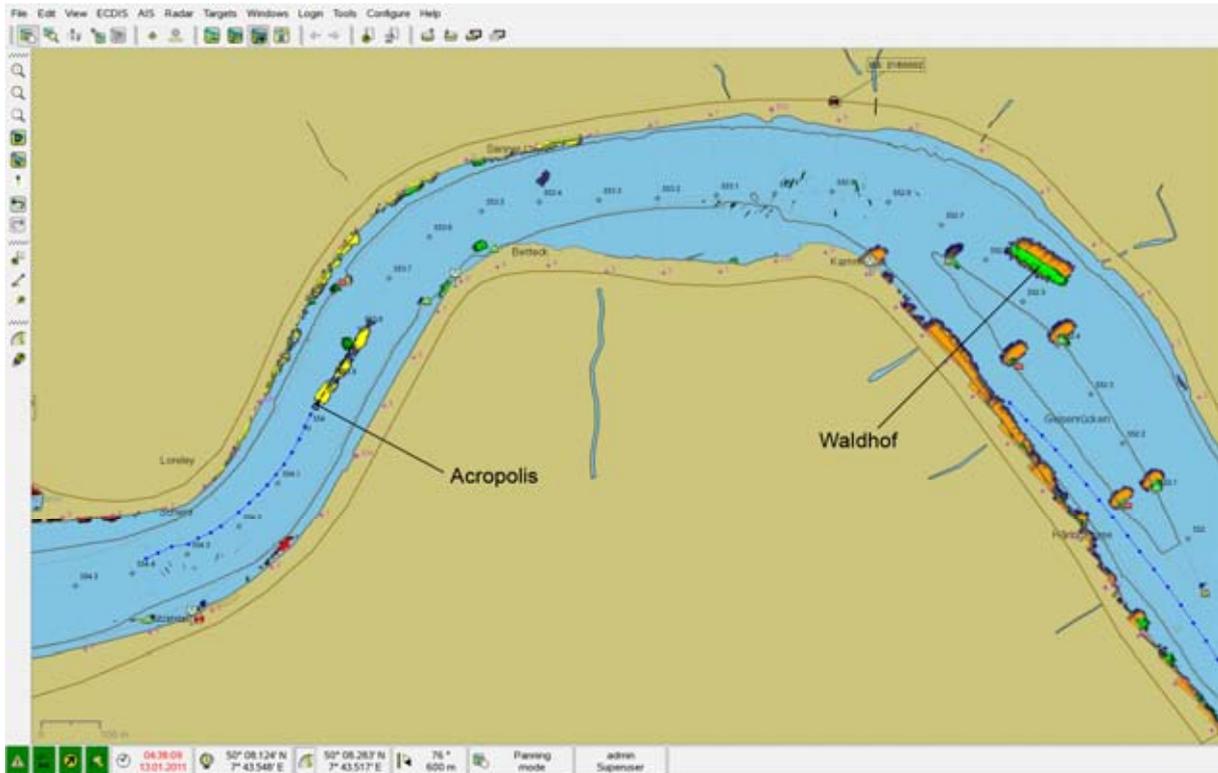


Abbildung 5-17: Beginn des Geschwindigkeitsabfalls des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 552,5 um 04:38:07 Uhr (Situation zwei Sekunden später um 04:38:09 Uhr dargestellt)

Die Verzögerungsphase des TMS „Waldhof“ dauerte bis 04:40:05 Uhr bei Rhein-km 553,04 (Phase II, Abbildung 5-16). Dabei verringerte das Schiff seine Geschwindigkeit über Grund von 20,7 km/h bzw. 5,75 m/s bis auf 15,3 km/h bzw. 4,25 m/s. Da in dem Streckenabschnitt annähernd gleiche Strömungsgeschwindigkeiten vorherrschen, kann dieser Geschwindigkeitsabfall nur mit einer Reduzierung der Antriebsleistung begründet werden. Um diese Verringerung der Fahrgeschwindigkeit in den Simulationen zu erreichen, musste die Maschinendrehzahl und damit der Vortrieb von 65 % bis 75 % auf annähernd 20 % bis 40 % der möglichen Maschinenleistung reduziert werden (Tabelle 5-1). Mit der Streckenführung des Fahrwassers und den Strömungsverhältnissen der Hochwassersituation lässt sich dieses Manöver nicht begründen.

Es wird vermutet, dass dieses Manöver in Verbindung mit der bevorstehenden Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ steht und die Schiffsführer beider Fahrzeuge sich dahingehend verständigt haben, sich oberhalb der Krümmung am „Betteck“ in dem geraden Abschnitt zwischen Rhein-km 552,9 bis Rhein-km 553,4 zu begegnen. Durch die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit erhielt GMS „Acropolis“ Zeit, um die Krümmung von Rhein-km 553,4 bis Rhein-km 553,8 zu durchfahren.

Da TMS „Waldhof“ keine Informationen über das GMS „Acropolis“ durch die Lichtwahrschau am „Kammereck“ hatte (hier werden der Talfahrt mit einem weißen Licht nur zu Berg fahrende Schiffe/Verbände mit einer Länge größer 110 m angezeigt) und Sichtkontakt frühestens ab Rhein-km 552,76 möglich war, konnte es vorher nur Funkkontakt gegeben haben. Bestand kein Funkkontakt, so hatte das TMS „Waldhof“ bis dahin keine Kenntnis über die bevorstehende Begegnung, da das GMS „Acropolis“ erst kurz zuvor auf dem Radar des TMS „Waldhof“ erschien.

Da es nach beruflicher Übung und der gängigen Praxis in diesem Bereich bei der angezeigten Talfahrt üblich ist, sich in der Bergfahrt über UKW-Kanal 10 zu melden, ist davon auszugehen,

dass die Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ abgesprochen war. Die Annahme, dass kein Funkkontakt zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ bestand, ist dagegen unwahrscheinlich. Denn das TMS „Waldhof“ war zumindest auf den UKW-Kanälen 18 und 10 auf „standby“ und müsste die Meldungen anderer Fahrzeuge empfangen haben. Der Schiffsführer des SV „Amethyst“ bestätigte zudem, dass er mit dem TMS „Waldhof“ zuvor auf dem Kanal 10 gesprochen hatte.

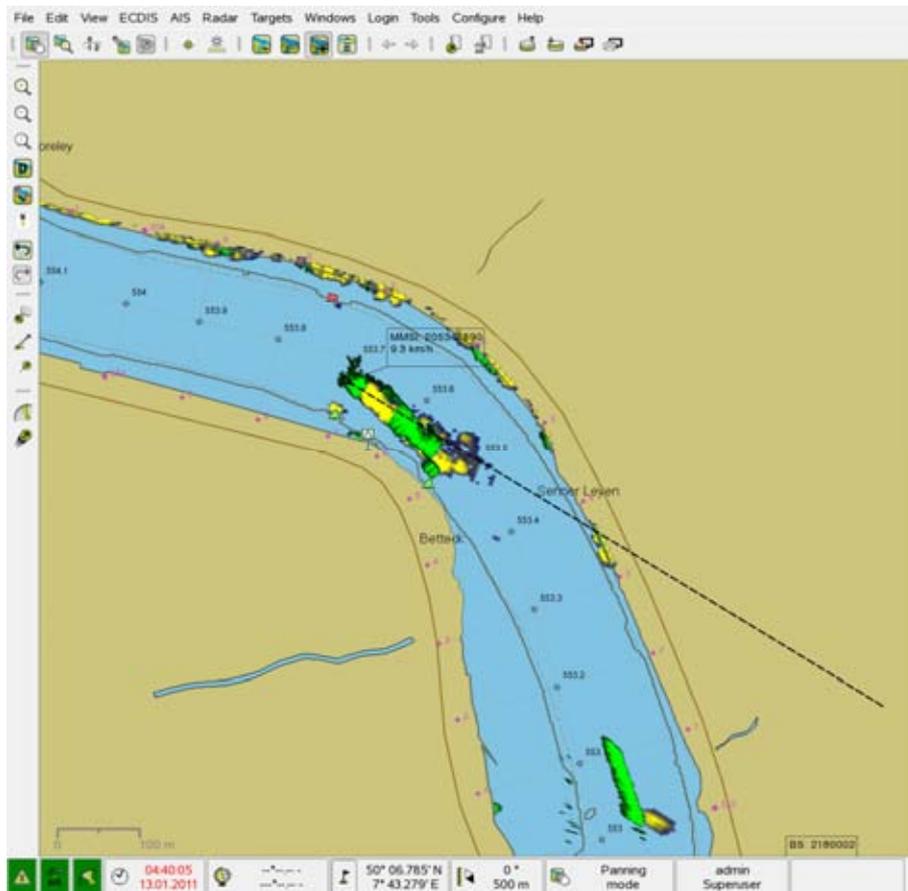


Abbildung 5-18: Beginn des Geschwindigkeitsanstiegs des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,04 um 04:40:05 Uhr

Bei Rhein-km 553,04 um 04:40:05 Uhr beschleunigte das TMS „Waldhof“ (Phase III, Abbildung 5-15 und Abbildung 5-16). Zu diesem Zeitpunkt gab es zwischen beiden Schiffen bereits optischen Kontakt (Abbildung 5-18). Die Erhöhung der Geschwindigkeit war notwendig, um eine Anströmgeschwindigkeit am Schiffskörper und am Ruder zu erzeugen, welche die Durchfahrung der Krümmung von Rhein-km 553,4 bis Rhein-km 553,8 ermöglicht. Die Simulation hat ergeben, dass 80 % bis 100 % der Maschinenleistung notwendig war, um diese Beschleunigung zu erreichen (Tabelle 5-1).

5.2.2.4 Zwischenergebnis I

Aus dem Fahrverhalten des TMS „Waldhof“ ist zu entnehmen, dass die Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ über Funk abgesprochen war. Beide Schiffsführer hatten vereinbart, dass die Begegnung oberhalb der Krümmung am „Betteck“ (Rhein-km 553,4) stattfinden sollte.

Da das TMS „Waldhof“ nicht mit einem AIS-Transponder ausgestattet war, standen den Schiffsführern der beiden Fahrzeuge für die Beurteilung der bevorstehenden Begegnung allein die Angaben des oder der jeweiligen anderen Schiffsführer zur Verfügung.

5.2.2.5 Einfluss der Strömung auf den Ort der Begegnung

Das Manöver der Verzögerungsphase um 04:38:07 Uhr bei Rhein-km 552,5 (Phase II - Abbildung 5-16) des TMS „Waldhof“ wurde in Verbindung gesetzt mit der bevorstehenden Begegnung bei Rhein-km 553,43 um 04:41:20 Uhr mit dem GMS „Acropolis“.

Anhand dieser Begegnung kann aufgezeigt werden, wie bedeutend eine möglichst genaue Einschätzung des voraussichtlichen Begegnungsortes für eine Begegnungsabsprache ist. Ein Schiffsführer orientiert sich an der Geschwindigkeit über Grund. Die momentane Schiffsgeschwindigkeit über Grund kann durch Hilfsmittel wie GPS oder Radarpilot angezeigt werden. Die Schiffsgeschwindigkeit über Grund hängt von der eingesetzten Leistung der Hauptantriebsanlage, von den Strömungsgeschwindigkeiten des Flusses und der Fahrtrichtung (Berg- oder Talfahrt) ab (Abbildung 5-23). Fahrtrichtung und eingesetzte Maschinenleistung sind dem Schiffsführer bekannt. Über die Strömungsgeschwindigkeiten des Flusses erhält der Schiffsführer an Bord keine Information. Da in diesem Streckenabschnitt die Strömungsgeschwindigkeiten des Flusses entlang der Kursachsen stark variieren können (Abbildung 5-35), ist es für die Schiffsführer sehr schwierig, eine genaue Einschätzung eines Begegnungsortes - allein mit den Geschwindigkeitsanzeigen über Grund - gegenseitig abzustimmen. Dies gilt sowohl für den Berg- als auch für den Talfahrer.

Erschwerend kommt hinzu, dass die lokal stark variierenden Strömungsgeschwindigkeiten in diesem Rheinabschnitt besonders abhängig von der Wasserführung sind. Zum Zeitpunkt der Havarie war die Hochwassermarke I am Pegel Kaub (460 cm bei Rhein-km 546,23) um 1,10 m überschritten.

Aus den HN-Modellen der BAW lassen sich für diesen Bereich mittlere Fließgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Abflusszuständen berechnen. Bei Pegel Kaub 460 cm (HWM I) fallen die Fließgeschwindigkeiten im Mittel um 0,3 m/s geringer aus, als bei dem Abfluss zum Zeitpunkt der Havarie (Pegel Kaub 570 cm). Bei Pegel Kaub 360 cm sind die Fließgeschwindigkeiten bereits um ca. 0,5 m/s geringer.

Die folgenden Betrachtungen zeigen die Auswirkungen einer Unterschätzung der Fließgeschwindigkeiten seitens der Schiffsführer um 1,08 km/h bzw. 0,3 m/s, 1,80 km/h bzw. 0,5 m/s und 2,52 km/h bzw. 0,7 m/s auf den Ort der Begegnung. Die Zeitdauer der Begegnung von der vermutlichen Absprache (Einleitung des Manövers) bis zur Begegnung beträgt etwa drei Minuten.

- Bei einer Änderung von 0,3 m/s in der Fließgeschwindigkeit (Pegel Kaub etwa 460 cm), würde die Begegnung etwa 60 m weiter oberstrom stattfinden (rote Schiffssymbole in Abbildung 5-19).
- Bei einer Änderung von 0,5 m/s in der Fließgeschwindigkeit (Pegel Kaub etwa 360 cm), würde die Begegnung etwa 100 m weiter oberstrom stattfinden (gelbe Schiffssymbole in Abbildung 5-19).
- Bei einer Änderung von 0,7 m/s in der Fließgeschwindigkeit (Pegel Kaub etwa 260 cm), würde die Begegnung etwa 135 m weiter oberstrom stattfinden (blaue Schiffssymbole in Abbildung 5-19).

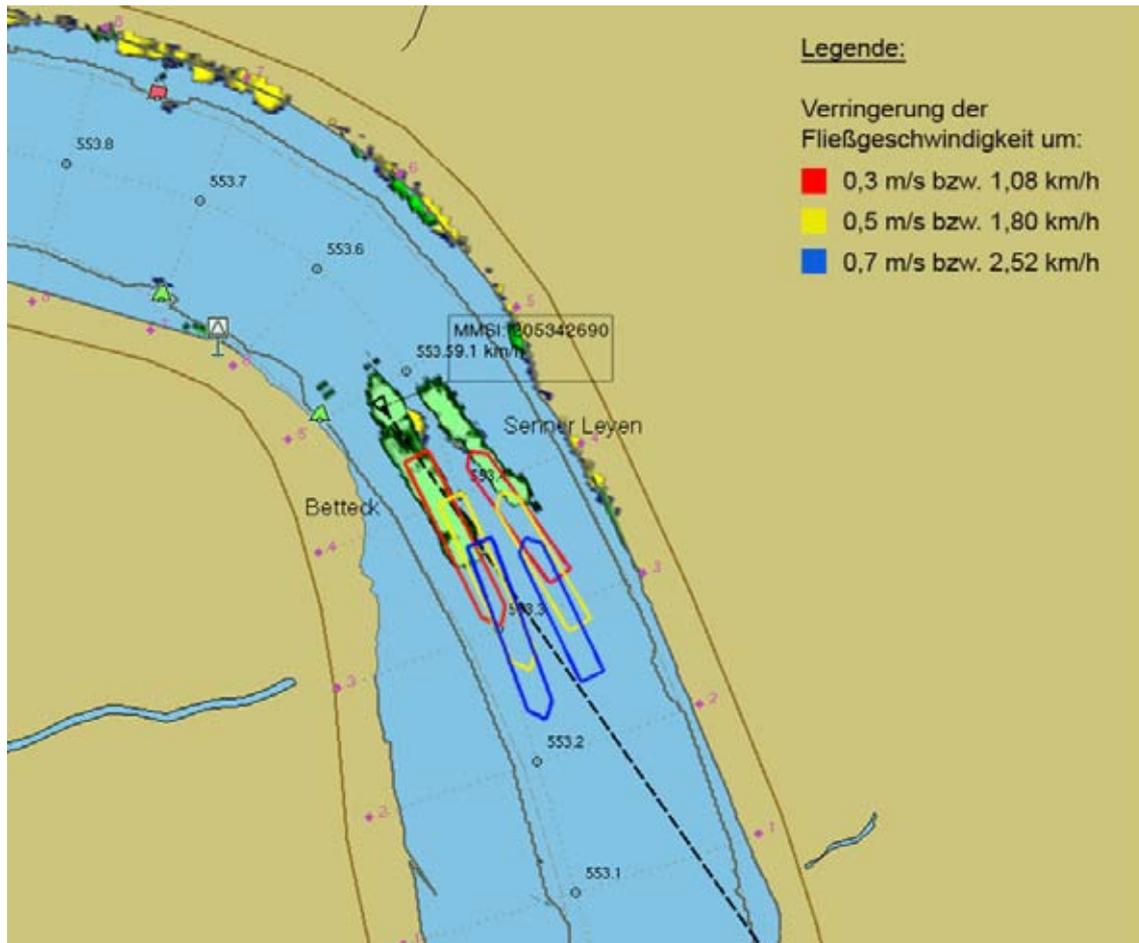


Abbildung 5-19: Potentielle Verschiebung der Begegnung am „Betteck“ nach oberstrom bei einer Verringerung der Fließgeschwindigkeiten um 0,3 m/s (rot), 0,5 m/s (gelb) und 0,7 m/s (blau)

Es kann nicht ermittelt werden, ob die Schiffsführer die Fließgeschwindigkeit unterschätzt und somit den Ort der Begegnung ungenau eingeschätzt haben. Tatsache jedoch ist, dass eine Abschätzung des voraussichtlichen Begegnungsortes für beide Schiffsführer schwierig ist und eine Begegnung weiter oberstrom leichter hätte stattfinden können. Das TMS „Waldhof“ hätte die Krümmung am „Betteck“ in einem größeren Radius durchfahren können und wäre auf Höhe der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 nicht so weit in die rechte Fahrinnenhälfte geraten.

5.2.2.6 Kurswege des TMS „Waldhof“ und des GMS „Acropolis“

Der Wasserstand am Pegel Kaub schwankte zwischen dem 11.01.2011 um 00:00 Uhr und dem Zeitpunkt der Havarie am 13.01.2011 um 04:42 Uhr nur um wenige Zentimeter, sodass von einem Beharrungszustand ausgegangen werden kann. Schiffe, die in diesem Zeitraum auf dem Rhein zu Tal gefahren sind, hatten dadurch die gleichen Randbedingungen, wie das TMS „Waldhof“. Aus den Radaraufzeichnungen der Revierzentrale Oberwesel sind die Fahrspuren aller zu Tal fahrenden Schiffe bekannt.

Die Fahrspuren der Schiffe, die annähernd den Abmessungen des TMS „Waldhof“ entsprachen, wurden in einem Bild zusammengefasst (Abbildung 5-20). Hierbei wurden die Radarechos als grüne Flächen eingetragen. In diesem Zeitraum konnte ein mit AIS ausgestattetes Schiff erfasst werden, dessen Fahrspur als schwarze Dreiecke dargestellt ist.

Insgesamt wurden sechs zu Tal fahrende Schiffe erfasst. Alle Talfahrer passierten die grüne Fahrinnenbegrenzungstonne am „Betteck“ bei Rhein-km 553,5 in einem Abstand zwischen ein bis drei Schiffsbreiten (ca. 10 m bis 30 m). Nach der Durchfahrung der Krümmung befanden sich alle Schiffe in Höhe der roten Fahrinnenbegrenzungstonne, an der sich das Radarbild des TMS „Waldhof“ auflöste, ungefähr in der Mitte der Fahrrinne. Begegnungen am „Betteck“ gab es in diesem Zeitraum nicht.

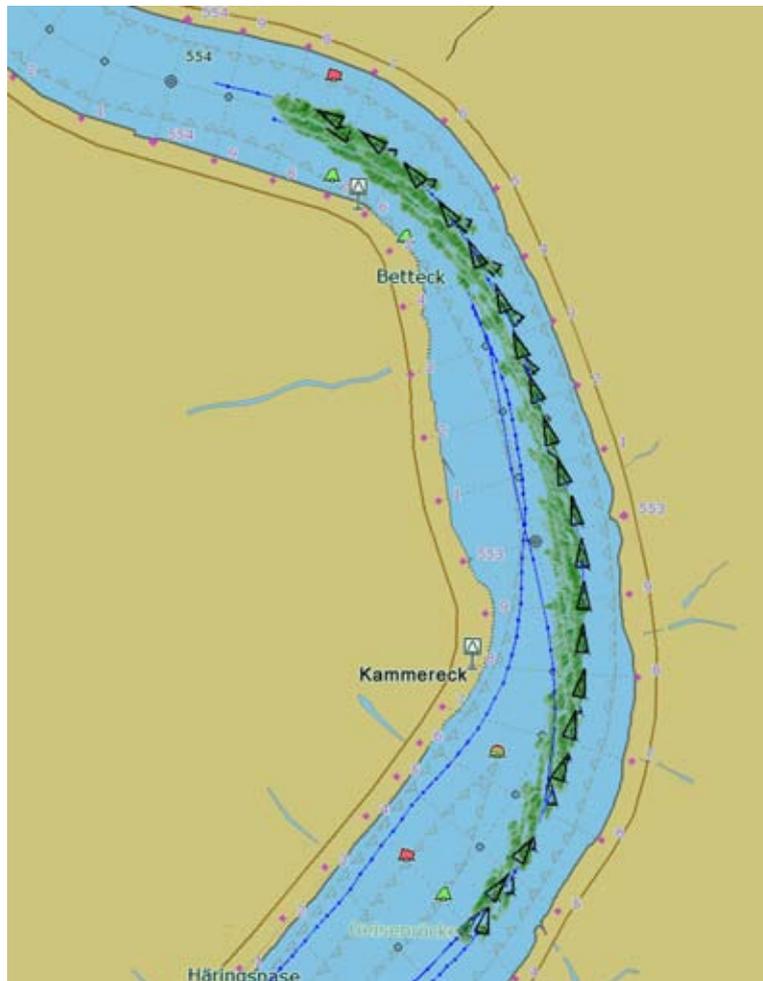


Abbildung 5-20: Fahrspuren zu Tal fahrender GMS vor der Havarie bei annähernd gleichen Abflussverhältnissen

Auf die Summe dieser Fahrspuren wurde in Abbildung 5-21 die Fahrspur des TMS „Waldhof“ gelegt. Die Radarechos des Schiffes wurden in der Abbildung rot eingefärbt. Sie enden mit der Auflösung des Radarbildes in Höhe der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75.

Abweichend von den erfassten Schiffen fährt das TMS „Waldhof“ die Krümmung am „Betteck“ in einem deutlich größeren Abstand zur grünen Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,5 an (Abbildung 5-21). Ursache ist die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“. Da das TMS „Waldhof“ dem Bergfahrer die notwendige Verkehrsfläche für die Begegnung einräumen muss, fährt das TMS „Waldhof“ in der rechten Fahrinnenhälfte. In der Folge muss das Schiff aus dieser Position heraus die Krümmung am „Betteck“ mit einem kleineren Radius durchfahren, als es die Vergleichsschiffe getan haben und gerät somit weit in die rechte Fahrinnenhälfte. Alle Fahrten auf dem Schiffsführungssimulator haben gezeigt (Tabelle 5-1), dass eine Weiterfahrt innerhalb der Fahrrinne mit einem manövrierfähigen und stabilen Schiff aus dieser Position heraus möglich ist.

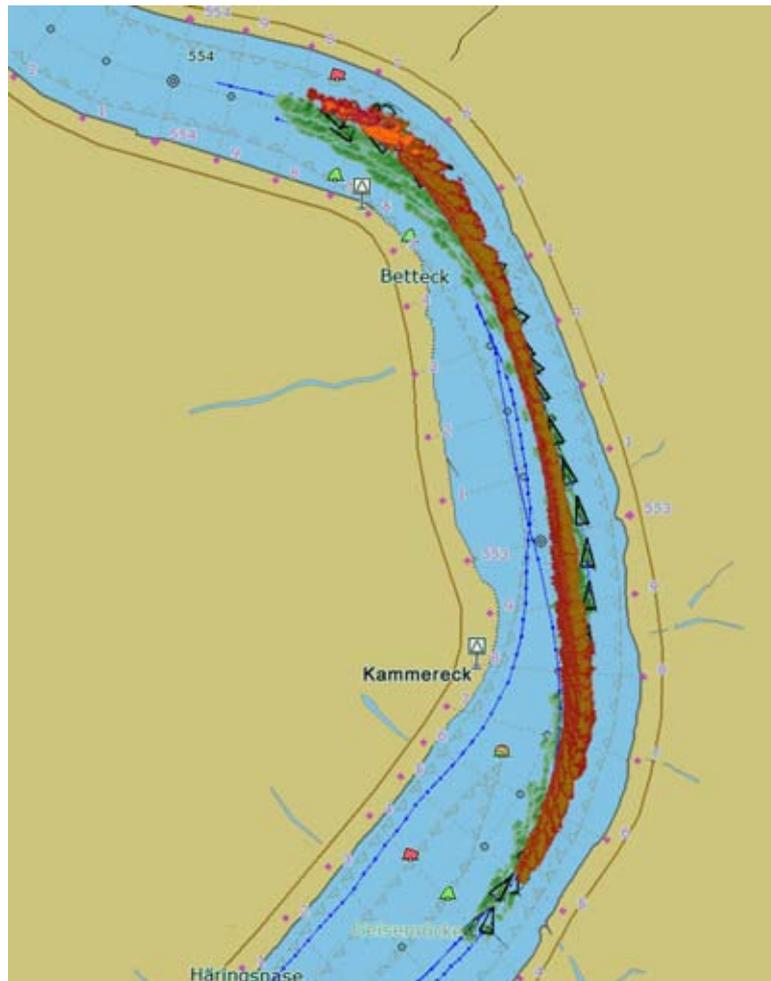


Abbildung 5-21: Fahrspur des TMS „Waldhof“ im Vergleich zu anderen Schiffen annähernd gleicher Größe

Für die Beurteilung der eigentlichen Begegnung wurden aus den Radaraufzeichnungen für die Bewegung der beiden Schiffe Schleppkurven erzeugt (Abbildung 5-22). Die Schleppkurve des TMS „Waldhof“ ist rot eingefärbt und die des GMS „Acropolis“ grün. Die Schiffspeditionen zu Beginn der Begegnung (Bug an Bug) sind weiß und die zum Ende der Begegnung (Heck an Heck) sind blau eingetragen.

Aus der Schleppkurve des GMS „Acropolis“ wird ersichtlich, dass das Schiff die grüne Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,5 „hart“ angefahren hat. Im Verlauf der Begegnung fuhr das Schiff dicht am linken Fahrinnenrand und hat dem TMS „Waldhof“ damit möglichst viel Verkehrsfläche gelassen, um eine sichere Begegnung zu gewährleisten.

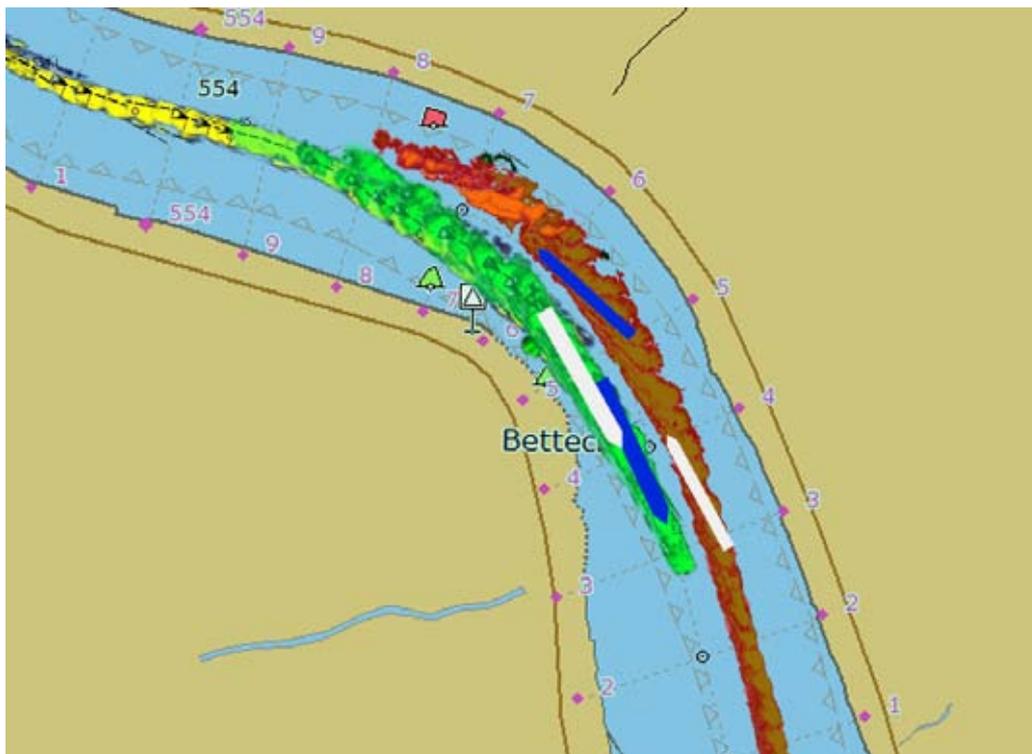


Abbildung 5-22: Fahrspuren der Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“

5.2.2.7 Zwischenergebnis II

Der Kurs des TMS „Waldhof“ wird durch die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ deutlich beeinflusst. In Folge der Kursänderung durchfährt das TMS „Waldhof“ die Krümmung mit einem kleineren Radius und gelangt am Ende der Kurve in die rechte Fahrinnenhälfte. Die Versuchsfahrten am Schiffsführungssimulator haben gezeigt, dass mit einem manövrierfähigen und stabilen Schiff eine Weiterfahrt innerhalb der Fahrrinne aus dieser Position heraus möglich ist. Das GMS „Acropolis“ hat dem TMS „Waldhof“ soviel Verkehrsfläche wie möglich bereitgestellt, um eine sichere Begegnung zu gewährleisten.

5.2.2.8 Betriebszustand der Hauptantriebsanlage des TMS „Waldhof“

Die Wirkung eines Ruderblattes beruht auf dem Auftriebseffekt nach der Tragflügeltheorie. Wird das Ruderblatt infolge der Ruderlage schräg angeströmt, entsteht am Ruderblatt eine Auftriebskraft, die quer zum Schiff wirkt. Je größer der Ruderwinkel und die Anströmgeschwindigkeit sind, umso größer ist die Ruderwirkung. Um eine maximale Anströmgeschwindigkeit zu erzielen, werden die Ruderblätter bei einem Schiff im Propellerstrahl angeordnet. Um die Leistungsfähigkeit der Ruderanlage weiter zu steigern, ordnet man bei Binnenschiffen Zwillingsrudder an (Abbildung 3-68), die den Propellerstrahl umlenken und durch diese Impulsumlenkung eine zusätzliche Ruderkraft erzeugen. Damit ist der Betriebszustand der Hauptantriebsanlage entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Heckrudieranlage und für die Manövrierfähigkeit des Schiffes.

Der Schwerpunkt der wirkenden Ruderkraft liegt unterhalb des Massenschwerpunktes des Schiffes. Damit erzeugt eine Ruderkraft ein Moment um die Längsachse x des Schiffes. Je nach Ruderstellung und je nach Krängung des Schiffes handelt es sich dabei um ein krängendes

oder um ein aufrichtendes Moment. Damit beeinflusst der Betriebszustand der Hauptantriebsanlage auch das Krängungsverhalten des Schiffes.

Ein unmittelbar nach der Bergung des TMS „Waldhof“ erstelltes Sachverständigengutachten stellt fest, dass

- mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit das Getriebe zwischen Hauptmotor und Propeller bewusst ausgekoppelt worden ist, ehe der elektrische Schaltkasten mit Wasser in Berührung gekommen ist,
- die Lamellen der Kupplung im Getriebe zwischen Hauptmotor und Propeller sauber getrennt waren,
- keine Anzeichen gefunden wurden, die darauf hindeuten, dass der Motor im Wasser gedreht hätte.

Sowohl für den Kenterprozess als auch für die Möglichkeit der Weiterfahrt des TMS „Waldhof“ innerhalb der Fahrrinne nach der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ ist der Betriebszustand der Hauptantriebsanlage bis unmittelbar vor der Auflösung des Radarechos mit entscheidend. Deshalb soll ermittelt werden, bis zu welchem Zeitpunkt die Antriebsanlage des Schiffes sicher in Betrieb war. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf den Zeitraum zwischen 04:37 Uhr (unmittelbar nach der Begegnung mit dem GMS „Aragon“) bis 04:43 Uhr (nach der Kenterung des TMS „Waldhof“).

Ein sicherer Beweis für den Betrieb der Hauptantriebsanlage ist eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes gegen das Wasser. Die Fahrgeschwindigkeiten gegen Wasser wurden aus den Geschwindigkeiten über Grund und den Fließgeschwindigkeiten entlang des Fahrweges aus dem zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (2D-HN) Modell des Rheins ermittelt (Abbildung 5-23).

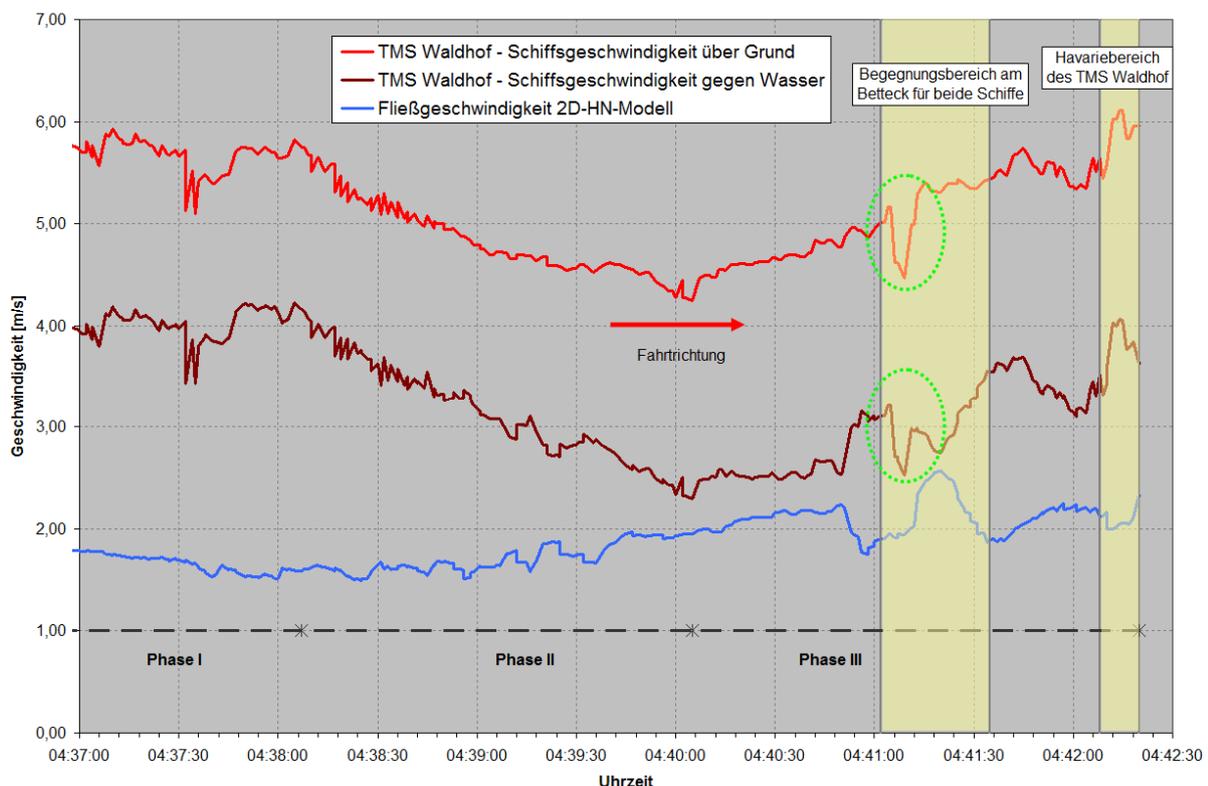


Abbildung 5-23: TMS „Waldhof“ - Schiffsgeschwindigkeit über Grund und gegen Wasser

Wie bereits beschrieben, gab es in der Zeit von 04:38:07 Uhr bis 04:40:05 Uhr in der Fahrt des TMS „Waldhof“ eine Verzögerungsphase (Phase II), die aus einer Reduzierung der Antriebsleistung resultiert. Im Anschluss erhöhte das Schiff seine Fahrgeschwindigkeit gegen das Wasser (Phase III).

Im Zeitraum zwischen 04:41:02 Uhr bis 04:41:15 Uhr kam es zu einer vorübergehenden Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit sowohl über Grund als auch abgeschwächt gegen Wasser (grüne Markierungen in Abbildung 5-23). In diesem Zeitraum fand die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ statt. Während der Begegnung wurde das Radarecho des TMS „Waldhof“ kürzer, so dass der Referenzpunkt des Echos, der sich auf den Schwerpunkt des Radarechos bezog, sich in Richtung Heck verlagerte. Diese Verlagerung führte zu einer scheinbaren Reduzierung der Geschwindigkeit.

Im weiteren Verlauf beschleunigte das TMS „Waldhof“ bis 04:41:39 Uhr. Danach kam es zu einer Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit des TMS „Waldhof“. Die später angezeigten höheren Geschwindigkeiten im Vergleich zum Zeitpunkt 04:41:39 Uhr fallen in den Abschnitt, in dem sich das Radarecho bereits auflöst. Eine sichere Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeit ist in diesem Abschnitt nicht möglich. Allein aus den Geschwindigkeitsverläufen lässt sich ableiten, dass die Hauptantriebsanlage bis 04:41:39 Uhr sicher in Betrieb war.

Um festzustellen, bis wann die Hauptantriebsanlage des TMS „Waldhof“ nach 04:41:39 Uhr gelaufen ist, wurden Simulationen auf dem Schiffsführungssimulator durchgeführt, indem die Fahrt nachvollzogen wurde. Zu den Zeitpunkten 04:41:39 Uhr, 04:41:51 Uhr und 04:42:13 Uhr wurde im Verlauf der Simulation die Hauptantriebsanlage gestoppt und der Schiffsführer musste versuchen, ab diesem Zeitpunkt die weitere Fahrt des TMS „Waldhof“ ohne laufende Antriebsanlage nachzufahren.

Simulation: Hauptantriebsanlage in Betrieb

Vor Beginn der Untersuchungen mit dem Abstellen der Hauptantriebsanlage wurde die Strecke zunächst dreimal mit laufender Antriebsanlage durchfahren. Zur Unterstützung des Schiffsführers bei der Simulation der Fahrt des TMS „Waldhof“ wurden die Inland Navigation Chart (IENC) mit den aus den Radaraufzeichnungen gewonnenen Fahrspuren im Radarpilot 720° überlagert (Abbildung 5-24 und Abbildung 5-25). Anhand dieser Darstellungen kann sich der Schiffsführer orientieren und die Fahrt möglichst originalgetreu nachfahren.

Diese Simulationen zeigten, dass der Kurs, den das TMS „Waldhof“ genommen hatte, grundsätzlich fahrbar ist.

Simulation: Stopp der Hauptantriebsanlage um 04:41:39 Uhr

Um 04:41:39 Uhr befand sich das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,53. Bis zu dieser Position wurde die Spur nachgefahren und dann die Hauptantriebsanlage außer Betrieb genommen. Von drei gefahrenen Simulationen ist eine Fahrt in Abbildung 5-24 und Abbildung 5-25 exemplarisch dargestellt. Es handelt sich um Aufnahmen aus dem Radarpiloten 720° des Schiffsführungssimulators.

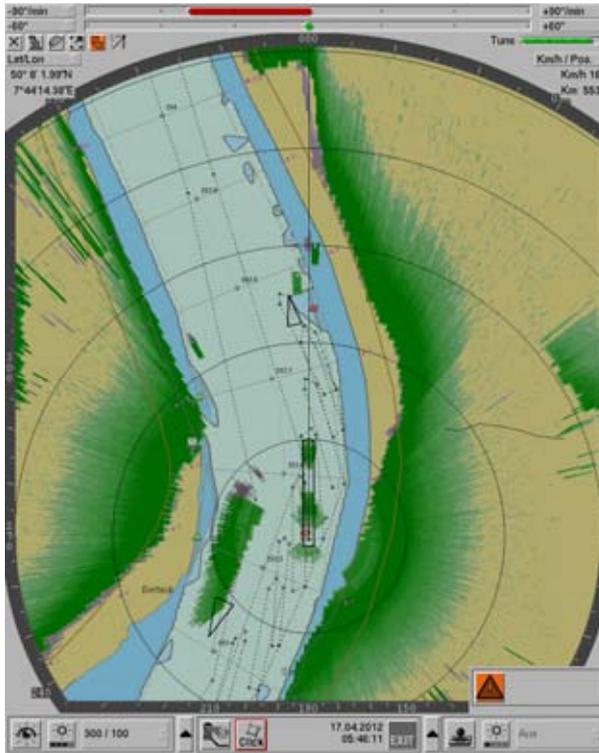


Abbildung 5-24: Simulation: Stopp der Hauptantriebsanlage

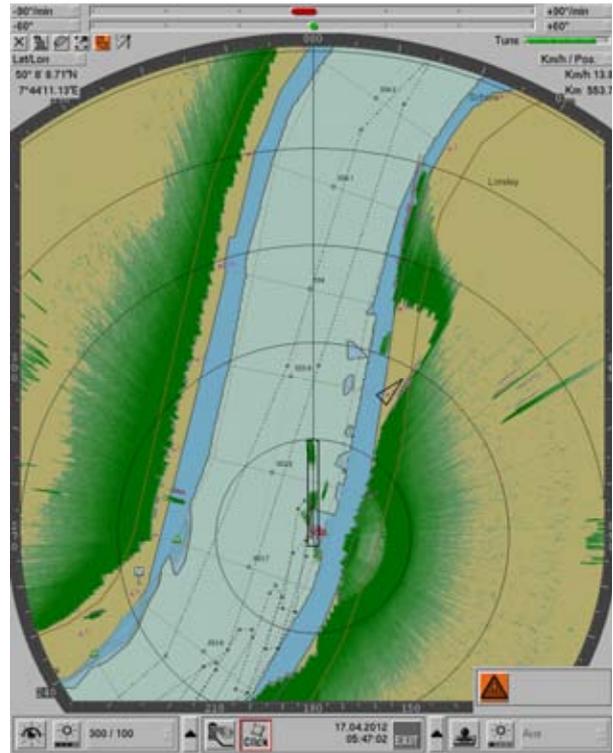


Abbildung 5-25: Simulation: Überfahring der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75

Im Ergebnis der drei Simulationen konnte festgestellt werden, dass die an dieser Position und zu diesem Zeitpunkt vorliegende Strömung des Rheins in der Lage ist, dass Schiff in der Kurvenfahrt zu drehen. Bei allen drei Versuchen wurde die rote Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 in der Simulation überfahren (Abbildung 5-25).

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Bingen hat dagegen bestätigt, dass die rote Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 am Havarietage nicht überfahren und/oder beschädigt wurde. Da somit ein Überfahren der roten Fahrinnenbegrenzungstonne durch das TMS „Waldhof“ ausgeschlossen werden kann, ist es sicher, dass zu dem Zeitpunkt um 04:41:39 Uhr die Hauptantriebsanlage des TMS „Waldhof“ noch in Betrieb war.

Simulation: Stopp der Hauptantriebsanlage um 04:41:51 Uhr

In der nächsten Simulationsserie wurde die Hauptantriebsanlage um 04:41:51 Uhr außer Betrieb genommen. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,6. Diese Simulation wurde ebenfalls dreimal durchgeführt. Auch in diesem Fall ist die an dieser Position und zu diesem Zeitpunkt vorliegende Strömung des Rheins in der Lage, das TMS „Waldhof“ zu drehen. Allerdings wurde auch in diesen drei Simulationen die rote Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 überfahren, woraus gefolgert wird, dass die Hauptantriebsanlage um 04:41:51 Uhr noch in Betrieb war.

Simulation: Stopp der Hauptantriebsanlage um 04:42:13 Uhr

Abschließend wurde bei den Simulationen die Hauptantriebsanlage um 04:42:13 Uhr bei Rhein-km 553,73 gestoppt. Zu dieser Zeit befand sich das TMS „Waldhof“ mit dem Bug im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 und das Radarecho begann sich aufzulösen. In den drei durchgeführten Simulationen wurde die rote Fahrinnenbegrenzungstonne

einmal überfahren. Damit sind keine eindeutigen Schlussfolgerungen auf den Betriebszustand der Hauptantriebsanlage möglich.

In den Radaraufzeichnungen der Revierzentrale in Oberwesel ist zu erkennen, dass das TMS „Waldhof“ in der Zeit zwischen 04:42:11 Uhr und 04:42:15 Uhr, dies entspricht den Bewegungsphasen 2 bis 4 in Abbildung 5-26, nahezu keinen Drehimpuls um die Hochachse des Schiffes aufweist. Dies ist nur möglich, wenn der Schiffsführer die in der Kurvenfahrt vorhandene Drehung des Schiffes um die Hochachse mit Hilfe eines Stützmanövers beendet hat, was nur mittels einer voll funktionstüchtigen Ruderanlage möglich ist, deren Ruderblätter sich im Propellerstrahl befinden. Unmittelbar im Anschluss hat sich das Radarbild um 04:42:20 Uhr aufgelöst (Abbildung 5-13).

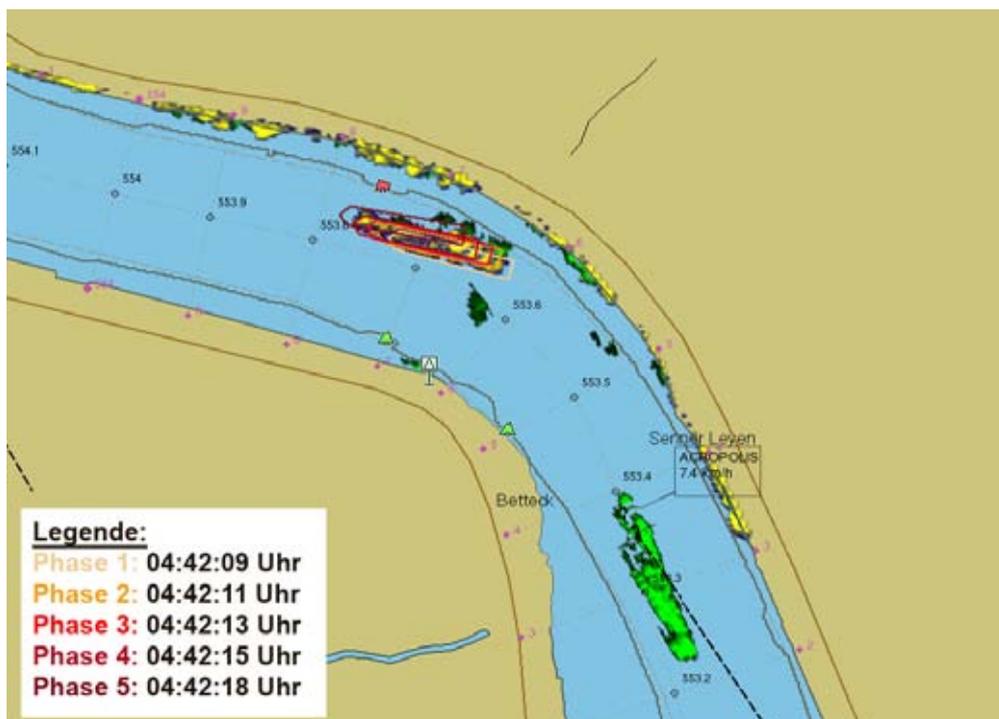


Abbildung 5-26: Radarbilder des TMS „Waldhof“ zeigen bei Rhein-km 553,7 keinen Drehimpuls um die Hochachse

Die Simulationen zeigen für den gleichen Streckenabschnitt, dass ein erfolgreiches Stützmanöver ohne Leistung der Hauptantriebsanlage nicht möglich ist. Das Schiff behält den Drehimpuls länger bei (Abbildung 5-27). Daraus kann man schließen, dass die Antriebsanlage bis zum Ende des Stützmanövers um 04:42:15 Uhr bei Rhein-km 553,71 in Betrieb war.

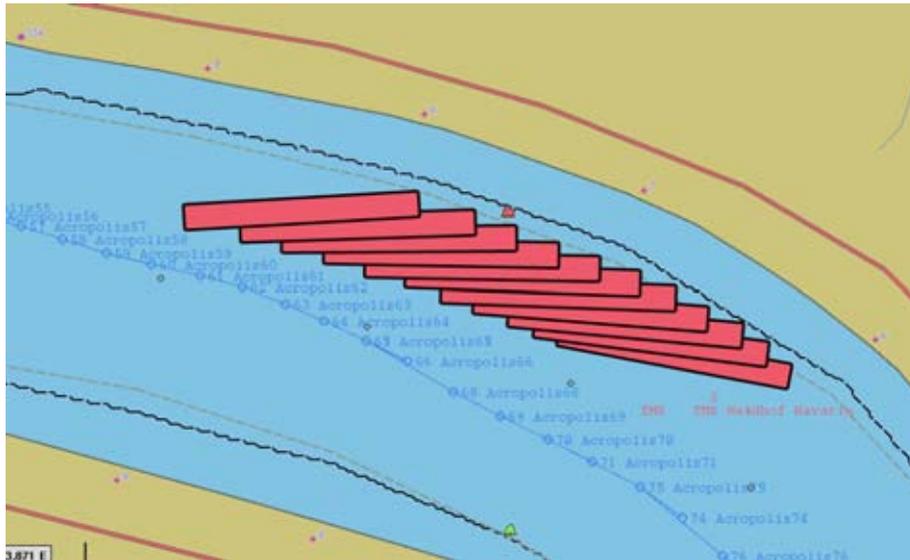


Abbildung 5-27: Rhein-km 553,6 bis Rhein-km 553,8: Drehimpuls bleibt in der Simulation bei nicht laufender Hauptantriebsanlage erhalten

5.2.2.9 Zwischenergebnis III

Im Zeitraum zwischen 04:40:05 Uhr bis 04:41:39 Uhr (Phase III) erhöhte das TMS „Waldhof“ kontinuierlich seine Geschwindigkeit gegen das Wasser, was nur mit laufender Hauptantriebsanlage möglich ist. Auf dem Schiffsführungssimulator wurden die Fahrten des TMS „Waldhof“ nachgestellt und dabei zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Hauptantriebsanlage gestoppt. Die Radaraufzeichnungen der Revierzentrale in Oberwesel belegen, dass das TMS „Waldhof“ in der Zeit zwischen 04:42:11 Uhr und 04:42:15 Uhr nahezu keinen Drehimpuls um die Hochachse aufwies, was nur mit einem vorangegangenen Stützmanöver bei laufender Hauptantriebsanlage möglich war. Bei allen Stopps der Hauptantriebsanlage auf dem Simulator wurde in diesem Bereich der Drehimpuls beibehalten. Es ist daher davon auszugehen, dass die Antriebsanlage mindestens bis um 04:42:15 Uhr bei Rhein-km 553,71 in Betrieb war.

5.2.2.10 Schifffahrtspolizeiliche Bewertung der Begegnung am „Betteck“

Die Schifffahrt durch die Gebirgsstrecke des Rheins wird in der Rheinschifffahrtspolizeiverordnung geregelt. Der Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ liegt ein komplexes Ineinandergreifen von Fahrregeln zugrunde, die nachfolgend nach schifffahrtspolizeilichen und nautischen Aspekten einzeln beschrieben und anschließend analysiert werden. Zum einen sind das die allgemeinen Vorschriften, die das Begegnen und Überholen von Fahrzeugen reglementieren, zum anderen die besonderen Fahrregeln, die für das Fahrtrevier zwischen Bingen und St. Goar sowie bei Hochwasser ab Erreichen der Hochwassermarke I gelten.

Die RheinSchPV regelt in § 6.03 die allgemeinen Grundsätze beim Begegnen und Überholen. In Nummer 1 ist bestimmt, dass das Begegnen oder Überholen nur dann gestattet ist, wenn das Fahrwasser unter Berücksichtigung aller örtlichen Umstände und des übrigen Verkehrs hinreichenden Raum für die Vorbeifahrt gewährt. Hier spielen unter anderem die morphologischen und meteorologischen Verhältnisse, die zum Zeitpunkt des Begegnens oder Überholens auf der Wasserstraße herrschen sowie die Intensität des Verkehrs eine Rolle. Unter Berücksichtigung dieser Situation hat jeder Schiffsführer eigenverantwortlich zu entscheiden, wie viel Raum er für die Vorbeifahrt gewähren kann, ohne sich selbst und den anderen Verkehrsteilnehmer zu gefährden. Kommt einer der Schiffsführer zu dem Ergebnis, dass kein hinreichender Raum gewährt werden kann, ist das Begegnen oder Überholen nicht gestattet. Weitere Verhaltensregeln

(wer unternimmt etwas in dieser Situation, um eine Begegnung zu vermeiden) sind in der Vorschrift des § 6.03 RheinSchPV nicht geregelt, sondern ergeben sich aus dem „guten Schifferbrauch“ (§ 1.04 RheinSchPV).

Ein weiterer Grundsatz nach § 6.03 Nr. 3 RheinSchPV dient dazu, bei einem Überhol- oder Begegnungsvorgang eine Kollision zu vermeiden. Der Grundsatz lautet: „Beim Begegnen oder Überholen dürfen Fahrzeuge, deren Kurse jede Gefahr eines Zusammenstoßes ausschließen, ihren Kurs oder ihre Geschwindigkeit nicht in einer Weise ändern, die die Gefahr eines Zusammenstoßes herbeiführen könnte“.

Insofern müssen weiteren Regeln betrachtet werden, um zu entscheiden, welche Einschränkungen für die Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ galten. In der Rheinschiffahrt sind zwei unterschiedlichen Begegnungsarten grundsätzlich möglich. Die eine ist die geregelte Begegnung (Begegnung Backbord an Backbord); sie muss nicht besonderes signalisiert werden. Die andere ist die Begegnung Steuerbord an Steuerbord; dabei muss der Bergfahrer, der die Talfahrer an Steuerbord vorbeifahren lassen will, rechtzeitig an Steuerbord ein weißes helles Funkellicht, das mit einer hellblauen Tafel gekoppelt ist, zeigen (§ 6.04 RheinSchPV).

Auf der Strecke zwischen der Neckarmündung (Rhein-km 428,20) und Lorch (Rhein-km 540,20) ist die Begegnung Backbord an Backbord zwingend vorgeschrieben und im § 9.04 RheinSchPV („geregelte Begegnung“) kodifiziert. Auf der Strecke zwischen Lorch (Rhein-km 540,20) und St. Goar (Rhein-km 556,00) besteht hingegen aufgrund § 9.07 a RheinSchPV ein „Rechtsfahrgebot“. Danach hat die Bergfahrt das linke, die Talfahrt das rechte Ufer anzuhalten, mithin ist auch auf dieser Rheinstrecke die Begegnung Backbord an Backbord zwingend vorgegeben.

Für Wasserstände ab dem Erreichen der Hochwassermarke I (Pegel Kaub = 460 cm) ist als speziellere Regelung allerdings vorgeschrieben (§ 10.01 Nr. 1 RheinSchPV), dass

- die Talfahrt möglichst in der Mitte, die Bergfahrt im mittleren Drittel des Stromes fahren muss;
- falls es die örtlichen Verhältnisse erfordern, näher an ein Ufer heranzufahren, alle Fahrzeuge dennoch möglichst weit vom Ufer entfernt bleiben und ihre Geschwindigkeit entsprechend vermindern müssen.

Diese Vorschrift schließt als *lex specialis* die Anwendung der für „normale“ Wasserstände geltenden Regelung des § 9.07 a RheinSchPV aus.⁸

Darüber hinaus gibt es weitere Vorschriften, wie z. B. die Regeln über das Begegnen in Fahrwasserengen (§ 6.07 RheinSchPV), die für Begegnungen bestimmte Verhaltensweisen vorschreiben. Diese sind aber für die Begegnungssituation des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ nicht ausschlaggebend, da der Bereich am „Betteck“ nicht als Fahrwasserenge ausgewiesen ist.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass in diesem Bereich („Betteck“) unter bestimmten Umständen Verhältnisse entstehen können, durch die die Fahrrinne (faktisch) zu einer Fahrwasserenge wird. Dies ist der Fall beim Durchfahren der Kurve am „Betteck“ mit Schubverbänden, die ab einer bestimmten Verbandslänge die gesamte Fahrrinnenbreite nutzen müssen, um die Kurve zu umfahren. Bei einzeln fahrenden Fahrzeugen (GMS/TMS) ist das hingegen nicht der Fall.

⁸ Urteil der Berufungskammer der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt vom 26. Mai 1981 - ZfB 1982, 128

Aufgrund der zum Unfallzeitpunkt geltenden Vorschriften war nach Auffassung der Untersuchungskommission die Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ zulässig.

Die Tatsache, dass die Fahrzeuge nicht miteinander kollidiert sind, der Abstand zwischen den Fahrzeugen während der Begegnung von etwa 20 m bis etwa 30 m betrug und keiner der beiden Fahrzeuge die Fahrinne verlassen musste, ist ein hinreichendes Indiz dafür, dass das Fahrwasser hinreichend Raum für die Vorbeifahrt i. S. des § 6.03 RheinSchPV bot. Nach Auswertung der Radarbilder und der hier bekannten Zeugenaussagen ist davon auszugehen, dass die Schiffsführer beider Fahrzeuge die notwendigen Absprachen über Funk getroffen und die Begegnung abgesprochen haben. Es spricht alles dafür, dass die beiden Schiffsführer die Begegnungssituation zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ bewusst und gewollt unter der Annahme durchgeführt haben, dass das Fahrwasser an der Stelle, wo sie sich begegnet sind, hinreichenden Raum für die Vorbeifahrt gewährt.

Somit war aus schiffahrtspolizeilicher Sicht die Begegnung gemäß § 6.03 Nr. 1 RheinSchPV (Allgemeine Grundsätze beim Begegnen und Überholen) gestattet.

5.2.2.11 Nautische Bewertung der Begegnung am „Betteck“

Das Befahren der Gebirgsstrecke bei Hochwasser zu Tal, in der Nacht und bei hohem Verkehrsaufkommen (insb. Gegenverkehr) stellt für jeden Schiffsführer eine große nautische Herausforderung dar. Eine erhöhte Aufmerksamkeit und Wachsamkeit des Schiffsführers ist daher geboten. Um zu gewährleisten, dass an kritischen Stellen unerwünschte und diffizile Begegnungen nicht stattfinden, müssen die Schiffsführer sich untereinander über Funk verständigen. Außerdem müssen die Schiffsführer über ausreichende Streckenkenntnisse und Erfahrung verfügen. Nur durch eine rechtzeitig und korrekt abgegebene Funkmeldung über den Standort und die Richtung (Bergfahrt/Talfahrt) sowie Angaben über die Größe des Fahrzeuges kann sichergestellt werden, dass die Schiffsführer anderer Fahrzeuge und Verbände richtig, vorausschauend und rechtzeitig handeln können.

Nach Auswertung der Radarbilder und unter Berücksichtigung der morphologischen und hydrologischen Verhältnisse am 13.01.2011 wurde festgestellt, dass das TMS „Waldhof“ auf der Fahrt von Oberwesel bis zum Ort der Kenterung (Rhein-km 553,75) einen typischen und unauffälligen Weg zurückgelegt hat. Das TMS „Waldhof“ hatte in der Nähe keinen unmittelbar folgenden Talfahrer, der dem Fahrzeug bis nach St. Goar hätte auflaufen können, so dass es aus diesem Grund hätte schneller fahren müssen. Nach der Begegnung am „Geisenrücken“ mit dem GMS „Aragon“ stand die nächste Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ an, die nun zwischen beiden Schiffsführern abgesprochen werden musste, weil sich die Schiffe zu dem Zeitpunkt noch nicht sehen konnten.

Nach beruflicher Übung und entsprechend der allgemeinen Sorgfaltspflicht (§ 1.04 RheinSchPV) musste sich der Schiffsführer des TMS „Waldhof“ über Funk auf Kanal 10 als Talfahrer melden, um die Begegnungssituation mit dem Bergfahrer (GMS „Acropolis“) abzusprechen. Dem Schiffsführer des GMS „Acropolis“ wurde im unteren Feld der Lichtwahrschauanlage am „Betteck“ ein zu Tal fahrendes Fahrzeug bis 110 m Länge im Abschnitt zwischen „Geisenrücken“ und „Betteck“ angezeigt. Bei der Absicht das „Betteck“ zu umfahren, war es für den Schiffsführer des GMS „Acropolis“ erforderlich, sich über die exakte Position des Talfahrers zu vergewissern, um zu entscheiden, mit welcher Geschwindigkeit und welchem Kurs das „Betteck“ umfahren wird, um den Platzbedarf des TMS „Waldhof“ zu berücksichtigen.

Die Auswertung von Radarbildern hat ferner gezeigt, dass die Geschwindigkeit des TMS „Waldhof“ im Bereich des „Kammerecks“ von 20 km/h auf ca. 14 km/h herabgesetzt wur-

de. Das GMS „Acropolis“ beschleunigte dagegen von 7 km/h auf ca. 10 km/h. Anschließend beschleunigte das TMS „Waldhof“ wieder, und die Geschwindigkeit stieg bis kurz oberhalb des „Bettecks“ auf ca 20 km/h. Dies spricht dafür, dass beide Schiffsführer sich bemüht haben, die Kurve freizuhalten. Danach erfolgte die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ bei Rhein-km 553,400. Während das GMS „Acropolis“ mit einer Geschwindigkeit von ca. 9 km/h am linksrheinischen Fahrinnenrand zu Berg fuhr, betrug der kleinste seitliche Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen etwa 20 m. Als die Begegnung vollständig abgeschlossen war, befand sich das TMS „Waldhof“ mit dem Bug in Höhe der oberen grünen Fahrriinntonne bei Rhein-km 553,5 mitten in der Fahrinne. Das TMS „Waldhof“ hätte ohne weiteres den Kurs weiter nach Backbord legen können. In diesem Bereich ist es schiffahrtsüblich, dass die Bergfahrer bei Begegnungen ziemlich eng (scharf) von den Talfahrern angehalten werden.

Die zuvor beschriebene Begegnungssituation zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem GMS „Acropolis“ - d. h. von zwei einzeln fahrenden Fahrzeugen - wird von der Untersuchungskommission zwar als nautisch anspruchsvoll, aber nicht als nautisch unmöglich oder besonders gefährlich angesehen. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der herrschenden Strömungssituation aufgrund der hohen Wasserstände. Mit vorhandenen guten Revierkenntnissen, beruflicher Erfahrung und nautischen Kenntnissen ist eine derartige Situation mit einem stabilen Schiff sicher zu bewerkstelligen.

5.2.3 Untersuchung der Kenterung des TMS „Waldhof“ am Schiffsführungssimulator

5.2.3.1 Schiffsstabilität

Der Begriff Stabilität bezeichnet im Schiffbau die Eigenschaft eines Schiffes, seine aufrechte Schwimmelage beizubehalten bzw. als Reaktion auf ein krängendes Moment sich aus eigener Kraft wieder aufzurichten und eine stabile Schwimmelage wieder einzunehmen.

Krängende Momente sind Momente um die Längsachse x des Schiffes. Sie resultieren aus äußeren Kräften, die auf das Schiff wirken und eine Schräglage (Krängung) erzeugen. Diese äußeren Kräfte wirken quer zum Schiff und greifen nicht im Massenschwerpunkt des Schiffes an, so dass sie ein Moment um die Längsachse x des Schiffes erzeugen.

Zu diesen Kräften zählen:

- Kräfte am Schiffskörper infolge Querströmung
- Kräfte am Schiffskörper infolge Wind
- Ruderkräfte der Heckruderanlage
- Ruderkräfte der Bugruderanlage
- Kräfte hervorgerufen durch Leinen und Anker
- Fliehkräfte in der Kurvenfahrt

Momente die direkt in die Bewegungsgleichung eingehen:

- Drehmoment hervorgerufen durch den Propeller

Alle diese Kräfte bzw. die Momente werden in dem Schiffsführungssimulator der BAW berücksichtigt.

Bei einer ausreichenden Stabilität des Schiffes werden die krängenden Momente durch wieder aufrichtende Momente kompensiert, welche auch nach Abklingen der krängenden Momente

dafür sorgen, dass das Schiff zurück in seine aufrechte Schwimmelage gelangt. Bei Binnenschiffen wird die Stabilität durch das Prinzip der Formstabilität erreicht. Dieses Prinzip ist in Abbildung 5-28 dargestellt.

In Abbildung 5-28 a) ist die aufrechte ungestörte Schwimmelage eines Schiffes zu sehen. Am Schiffsboden befindet sich der Kielpunkt (K). In der Mittschiffsebene befinden sich darüber der Verdrängungsschwerpunkt des eingetauchten Schiffskörpers (Vertical Centre of Buoyancy - VCB), darüber der Gewichtsschwerpunkt des Schiffes (Vertical Centre of Gravity - VCG) und darüber das Metazentrum (M), der Schnittpunkt der Mittschiffsebene mit der benachbarten Auftriebsrichtung. Es wirkt kein äußeres krängendes Moment und VCB und VCG liegen auf der Mittschiffsebene.

In Abbildung 5-28 b) ist das Schiff in einer gekrängten Schwimmelage mit dem Krängungs- (statisch) bzw. Rollwinkel (dynamisch) φ dargestellt. Infolge der Krängung verlagert sich der Verdrängungsschwerpunkt VCB in Richtung der eingetauchten Schiffseite. Vorausgesetzt, es handelt sich um eine unbewegliche Ladung (gelbe Fläche), so behält VCG seine Position im Schiff bei. Zwischen VCG und VCB entsteht ein Hebelarm h , der dafür sorgt, dass die Auftriebskraft F_A und die Schwerkraft des Schiffes F_G ein aufrichtendes Moment erzeugen.

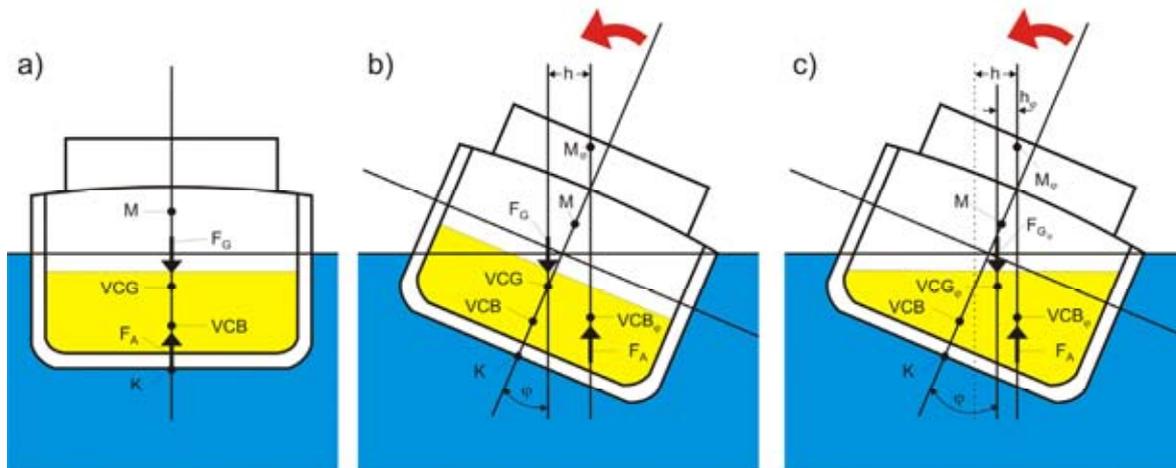


Abbildung 5-28: Stabilität eines Binnenschiffes: a) Aufrechte ungestörte Schwimmelage, b) Gekrängte Schwimmelage mit unbeweglicher Ladung, c) Gekrängte Schwimmelage mit beweglicher Ladung

In Abbildung 5-28 c) kann sich die Ladung innerhalb des Schiffes frei bewegen (Ladung mit freier Oberfläche), wie es z. B. bei einem Tankschiff mit teilgefüllten Centertanks der Fall ist. Bei einer Neigung des Schiffes verlagert sich die Ladung in Richtung der eingetauchten Schiffseite. Dadurch verlagert sich die Position des Gewichtsschwerpunktes VCG_φ in Richtung der eingetauchten Schiffseite und verringert so die Größe des Hebelarms h_φ für das aufrichtende Moment. Wird die seitliche Verlagerung der Position des Gewichtsschwerpunktes VCG_φ größer als die des Verdrängungsschwerpunktes VCB_φ , dann wird aus dem aufrichtenden Moment ein krängendes Moment und es kommt zum Kentern des Schiffes.

Um die Ursachen für die Kenterung des TMS „Waldhof“ beurteilen zu können, müssen die aufrichtenden und krängenden Momente zum Zeitpunkt der Havarie ermittelt werden. Krängende Momente sind insbesondere Momente infolge der Strömungskräfte, der Fliehkräfte infolge Kurvenfahrt und der Ruderkräfte, die wiederum von der Maschinendrehzahl und dem Ruderwinkel beeinflusst werden. Aus den vorliegenden Radaraufzeichnungen lassen sich die Bewegungen und die Geschwindigkeit des Schiffes und damit die Fliehkräfte ableiten. Um daraus die mutmaßlichen Manöver an Bord des TMS „Waldhof“ unter Berücksichtigung der vorherrschenden Abfluss- und Verkehrssituation bis zur Havarie und insbesondere am Ort der Kenterung abzu-

schätzen, wurden die Bewegungen des TMS „Waldhof“ auf dem Schiffsführungssimulator der BAW nachvollzogen.

5.2.3.2 Simulation der Fahrt des TMS „Waldhof“

Um diese Simulation durchführen zu können, wurden folgende Komponenten für den Schiffsführungssimulator genutzt:

- Fahrtrevier
- Schiffsmodell des TMS „Waldhof“ mit 6 Freiheitsgraden
- Verkehrssituation

Für die Simulationen wurde das Modell des TMS „Waldhof“ für folgenden Ladefall eingestellt:

- alle Tanks sind entsprechend Ladekontrollbericht befüllt.
- alle Ballastzellen sind leer.
- das TMS „Waldhof“ hatte einen mittleren Tiefgang von 3,12 m.
- der Abstand (KG) vom Kiel (K) zum Massenschwerpunkt (VCG) betrug 1,90 m und die verdrängte Wassermasse 3176,8 t.
- die sich aus der Auftriebs- und Massenverteilung (inkl. Ladungsverschiebung) ergebende Hebelarmkurve ist in Abbildung 5-6 dargestellt.

Wie in Kapitel 5.2.2.3 beschrieben, wurden zahlreiche Simulationen von Schiffsführern mit Ortskenntnissen gefahren. Für die weiteren Untersuchungen wurde die Simulationsfahrt genutzt, welche die aus den Radaraufnahmen ermittelten Schiffspeditionen und den Geschwindigkeitsverlauf über Grund am besten repräsentiert. Zum Vergleich sind in Abbildung 5-29 und Abbildung 5-30 von dieser Simulationsfahrt die Positionen und die Geschwindigkeiten über Grund des TMS „Waldhof“ mit denen aus den Radaraufzeichnungen gegenübergestellt. Die Positionen des TMS „Waldhof“ sind in den Koordinaten des Gauss-Krüger-Systems angegeben. Die Geschwindigkeiten über Grund sind über den Rhein-km dargestellt.

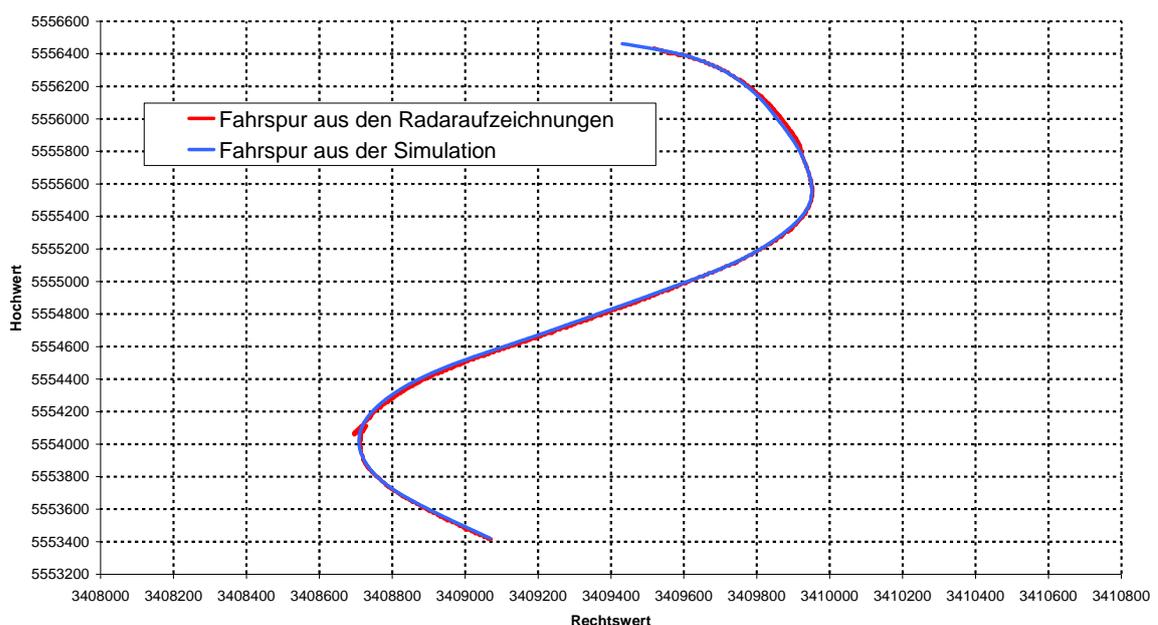


Abbildung 5-29: Vergleich der Positionen des TMS „Waldhof“ aus den Radaraufzeichnungen und aus der Simulation

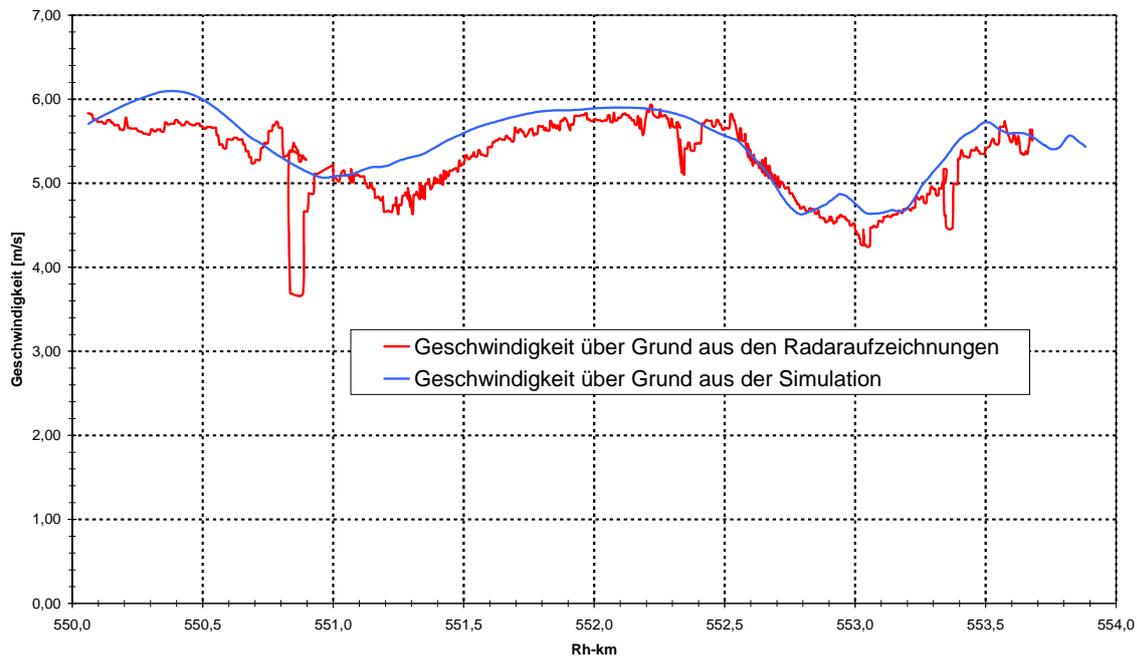


Abbildung 5-30: Vergleich der Geschwindigkeit über Grund des TMS „Waldhof“ aus den Radaraufzeichnungen und aus der Simulation

Der Schiffsführungssimulator berechnet während der Simulation die krängenden Momente, in dem alle äußeren Momente um die Längsachse x des Schiffes unter Berücksichtigung der örtlichen Anströmung am Schiffskörper infolge Fahrt über Grund sowie der lokalen Fließgeschwindigkeitsverteilung aufsummiert werden. Die Momente gehen in die in Kapitel 5.2.1 beschriebene Differentialgleichung ein. Die Dämpfungs- und Trägheitsterme werden berücksichtigt und das aufrichtende Moment wird aufgrund der Hebelwirkung zwischen Massen- (VCG) und Auftriebschwerpunkt (VCB) des Schiffes ermittelt. Im Ergebnis wird der Rollwinkel berechnet, der letztendlich für die Darstellung der Schiffslage im Sichtsystem verwendet wird.

Der Verlauf der Ruderwinkel bzw. der Rollmomente ist als blauer Graph über den Rhein-km aufgetragen (Abbildung 5-31 und Abbildung 5-32). Die Zuordnung der Schiffspeditionen zu der Simulationszeit ist für ausgewählte Positionen Abbildung 5-33 zu entnehmen. Das maximal mögliche aufrichtende Moment, abgeleitet aus dem maximalen Hebelarm mit einer Größe von 2213 kNm, ist sowohl für eine Krängung nach Steuerbord als auch nach Backbord in Abbildung 5-32 als rote Linie dargestellt. Bleibt der blaue Graph innerhalb der beiden roten Begrenzungen, ist das Schiff in der Lage, sich nach Beendigung der Wirkung des Rollmomentes wieder aufzurichten. Werden die Begrenzungen überschritten, kommt es zu einer Kenterung.

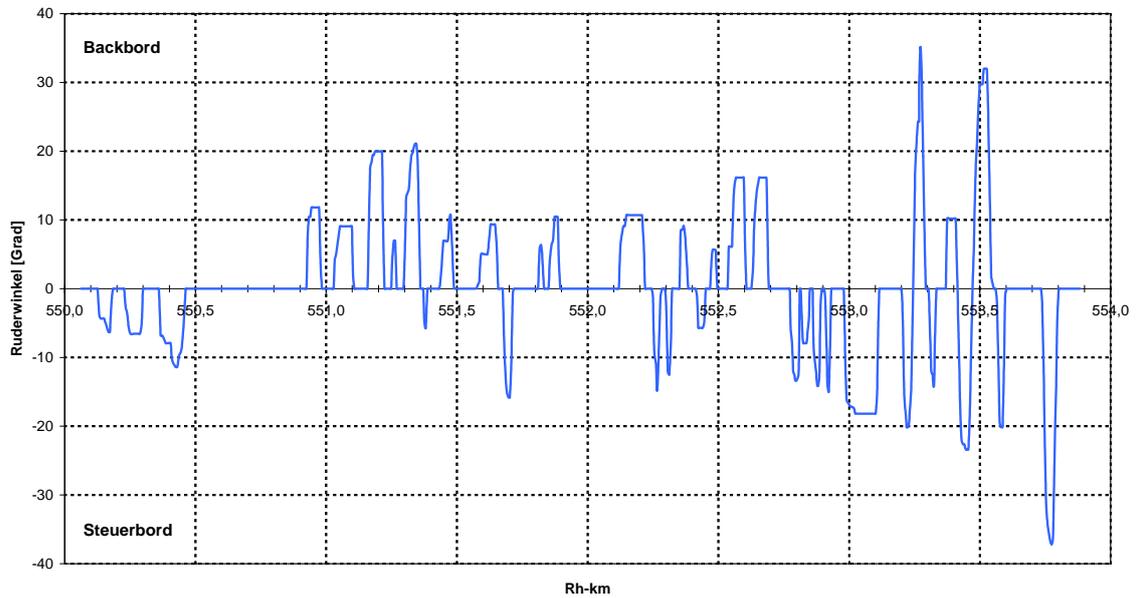


Abbildung 5-31: Verlauf der Ruderwinkel aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“

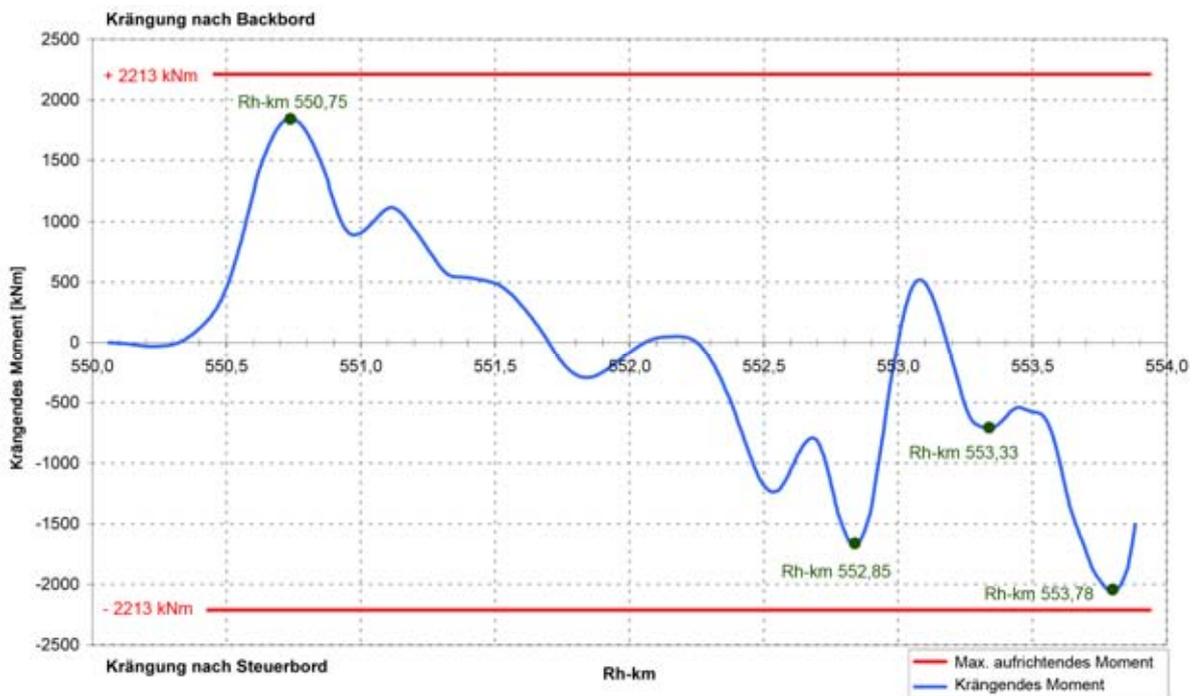


Abbildung 5-32: Verlauf der krängenden Momente aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“

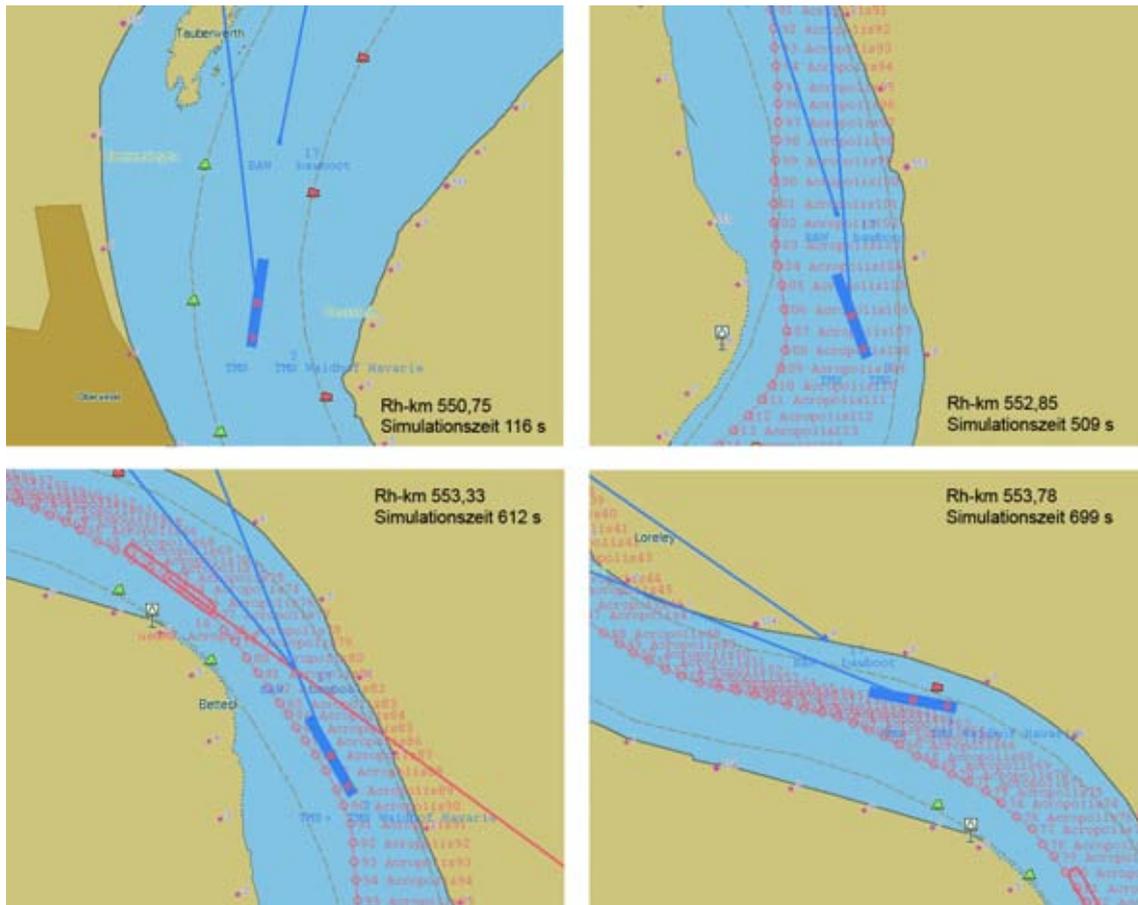


Abbildung 5-33: Schiffspositionen aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“ (Markierungen in Abbildung 5-32)

5.2.3.3 Bewertung der Simulationsergebnisse

Abbildung 5-32 ist zu entnehmen, dass die in der Simulation maximal auftretenden Rollmomente kleiner sind, als das maximal mögliche aufrichtende Moment. Infolgedessen kommt es rechnerisch nicht zur Kenterung des Schiffes. Da die krängenden Momente fast die Größe des maximalen aufrichtenden Momentes erreicht haben, wurden die berücksichtigten Größen näher betrachtet.

Der Verlauf der Rollmomente zeigt, dass das Rollmoment bei Rhein-km 553,78 sein Maximum erreicht hat (Abbildung 5-32), genau in dem Abschnitt (Abbildung 5-33), in dem sich das Radarecho des TMS „Waldhof“ aufgelöst hat.

Das Maximum der Rollmomente an dieser Stelle stammt aus den Fliehkräften, hervorgerufen durch die schnelle Kurvenfahrt in Verbindung mit dem kleinen Kurvenradius von etwa 300 m. Gleichzeitig fährt das Schiff quer in Richtung Prallhang und trifft dort auf geringere Strömungsgeschwindigkeiten, wodurch sich die Anströmgeschwindigkeit am Schiffskörper vergrößert und sich das krängende Moment verstärkt. Um dem Verlauf der Fahrrinne folgen zu können, ist der Schiffsführer gezwungen, ein Stützmanöver durchzuführen, um den Drehimpuls des Schiffes zu stoppen. Durch dieses Stützmanöver entsteht ein weiteres krängendes Moment. Die Summe der krängenden Momente führt dazu, dass sich das Schiff nach Steuerbord neigt. Aufgrund des Massenträgheitsmomentes wird das Maximum der krängenden Momente etwa 5 Sekunden nach Beendigung des Stützmanövers erreicht.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass am Ort der Auflösung des Radarechos der Verlauf der Rollmomente ein Maximum aufweist. Sie zeigen aber nicht, dass das Schiff an diesem Ort zwingend kentern musste. Das liegt zum einen an den Unsicherheiten bei der Festlegung des Massenträgheitsmomentes und des Dämpfungskoeffizienten in der Drehschwingungsgleichung und zum anderen an der Vernachlässigung der 3D-Effekte der Wirkung der Strömung des Rheins auf den Schiffskörper und an dem kinematischen Verhalten der Ladung in den teilgefüllten Tanks, welches vom Schiffsführungssimulator nicht abgebildet und berechnet werden kann.

Die Vernachlässigung der krängenden Momente infolge vertikaler Strömungsanteile und das Sloshing der Ladung spielen für die Stabilität eines Schiffes im Zulassungsverfahren eine untergeordnete Rolle und können ein stabiles Schiff nicht zum Kentern bringen. In dem vorliegenden Fall reichen die krängenden Momente fast aus, um das TMS „Waldhof“ zum Kentern zu bringen (Abbildung 5-32). Wegen der geringen Reststabilität können diese Anteile entscheidend sein um festzustellen, ob das Schiff am Ort der Auflösung des Radarechos tatsächlich kenterte. Aus diesem Grund wurden weiterführende dreidimensionale Strömungsuntersuchungen durchgeführt (Kapitel 5.2.4) und dreidimensionale kinematische Untersuchungen zum Kentervorgang in Auftrag gegeben, die auch das dynamische Verhalten der Ladung und die Wirkung des dreidimensionalen Strömungsfeldes auf den Schiffskörper berücksichtigen (Kapitel 5.2.5).

5.2.4 Erweiterte dreidimensionale Strömungsuntersuchungen des Rheins

Zwischen Bingen und Koblenz durchzieht der Rhein das Rheinische Schiefergebirge als antezedentes Durchbruchstal und trennt damit die Mittelgebirge Hunsrück und Taunus. Das Gestein des Rheinischen Schiefergebirges ist plattig, geneigt und bildet durch die kantigen Brüche eine raue Felssohle.

Vom „Geisenrücken“, einem Mittelfels im Rhein zwischen Rhein-km 551,90 und Rhein-km 552,60, durchläuft eine tiefe Rinne den Rhein, welche in den Bereichen am „Kammereck“ (Rhein-km 552,80), am „Betteck“ (Rhein-km 553,60) und an der „Loreley“ (Rhein-km 554,30) ausgeprägte Kolke aufweist (Abbildung 5-34).

Die Rinne mit den Kolken prägt der Strömung eine Turbulenz auf, die sich als sehr unruhiges Fahrwasser bemerkbar macht. Bei den Schifffahrtstreibenden ist dieser Abschnitt als nautisch anspruchsvolle Fließstrecke bekannt, da Wasserkräfte ungleichmäßig auf den Schiffskörper wirken. Zudem ändern sich die Strömungsverhältnisse aufgrund der Wasserführung erheblich.

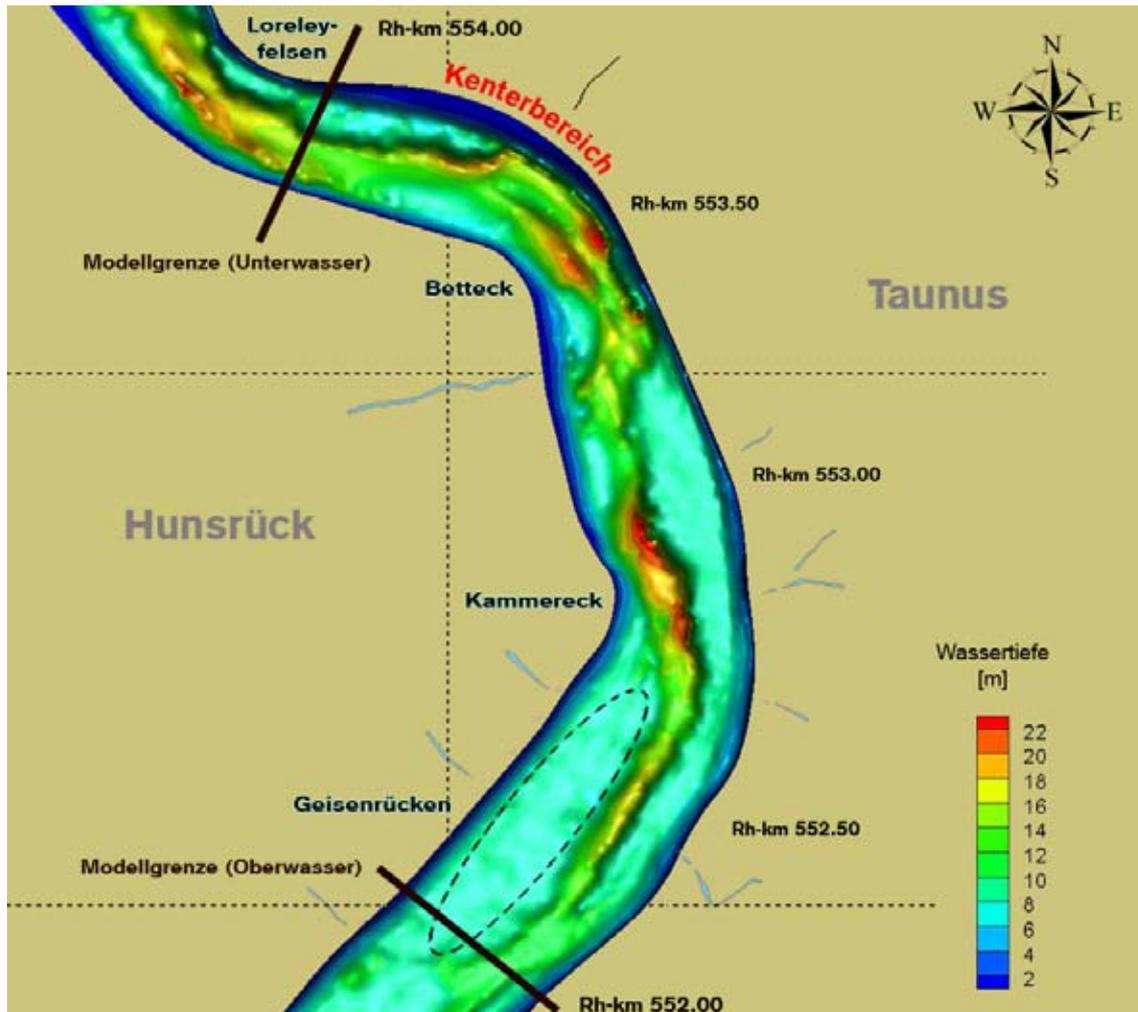


Abbildung 5-34: Wassertiefen aus dem tiefengemittelten 2D-HN-Modell bei einem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$

Zur Untersuchung dieser komplexen Strömungscharakteristik wurde im Nahbereich der Unfallstelle ein dreidimensionales hydrodynamisch-numerisches Modell (3D-HN-Modell) aufgebaut. Mit diesem Modell können Abflussszenarien, wie das Hochwasser am 13.01.2011, nachgerechnet und lokale Strömungsverhältnisse detaillierter als im tiefengemittelten 2D-HN-Modell analysiert werden. Darüber hinaus können die Kräfte auf das Unterwasserschiff durch Kopplung mit einem 3D-HN-Modell, welches die Schiffsumströmung abbildet, numerisch ermittelt werden.

Im Untersuchungszeitraum war die Hochwassermarke I am Pegel Kaub (460 cm bei Rhein-km 546,24) um ca. 1,10 m überschritten. Der Hochwasserabfluss betrug $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$. Das 2D-HN-Modell liefert in diesem Bereich Wassertiefen von lokal bis zu 22 m (Abbildung 5-34) und maximal auftretende Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 2,8 m/s (Abbildung 5-35).

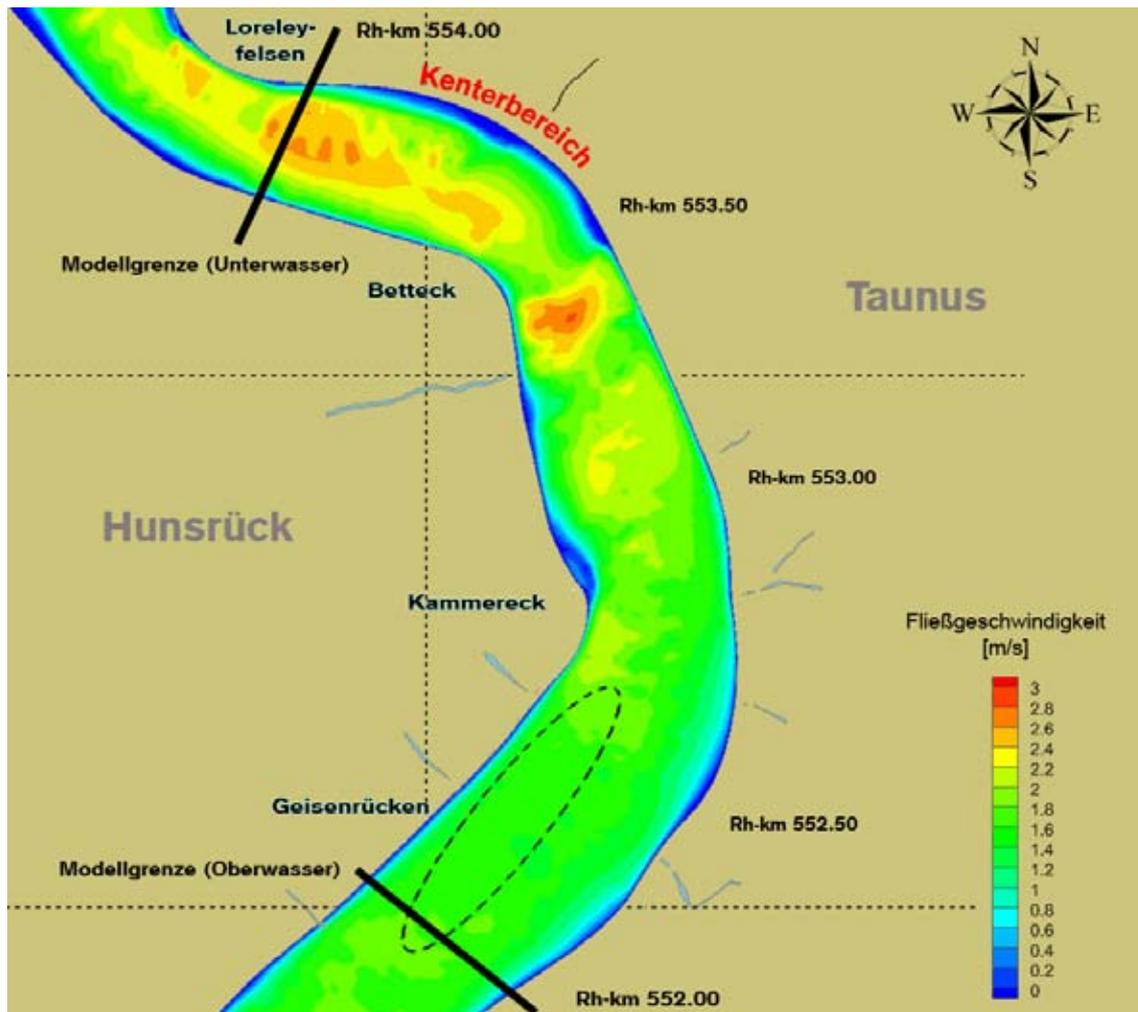


Abbildung 5-35: Fließgeschwindigkeiten aus dem tiefengemittelten 2D-HN-Modell bei einem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$

5.2.4.1 Aufbau des 3D-HN-Modells

Dem 3D-HN-Modell des Rheinabschnitts von Rhein-km 552,0 bis Rhein-km 554,0 liegen die gleichen Basisdaten (Peilung 2008 des WSA Bingen) wie dem großräumigen 2D-HN-Modell zugrunde. Das Rechennetz besteht aus etwa 5 Millionen Volumenelementen mit Kantenlängen zwischen 0,5 m und 5 m. Das hochaufgelöste Rechengitter ist notwendig, um die dreidimensionale Strömungscharakteristik mit Wirbel- und Walzenbildungen zu erfassen.

Die Projektion des Berechnungsgitters auf die Flusssohle ist in Abbildung 5-36 dargestellt. An drei Querschnitten (Rhein-km 553,5, Rhein-km 553,65 und Rhein-km 553,8) ist exemplarisch die horizontale Aufteilung der Volumenelemente projiziert. Dabei sind die Volumenelemente an der Sohle, am Ufer und im Bereich der Wasserspiegeloberfläche dichter, als im restlichen Teil des Strömungsfeldes. Die Sohlrauheit wird anhand der Erfahrungen aus dem 2D-HN-Modell mit 19 cm Kornrauheit angenommen.

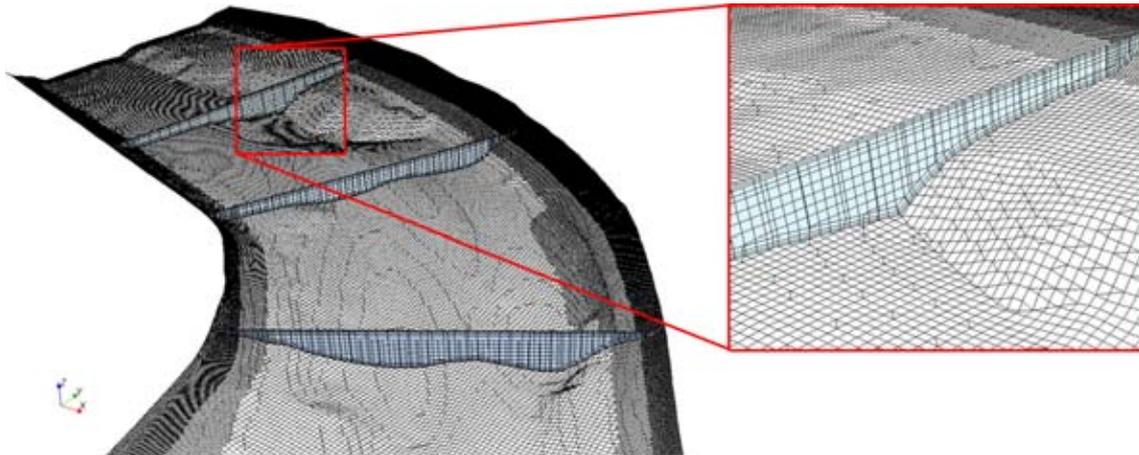


Abbildung 5-36: Projektion des Berechnungsgitters des 3D-HN-Modells auf die Gewässersohle bzw. auf ausgewählte Profilquerschnitte

5.2.4.2 Verifizierung des 3D-HN-Modells

Zur Verifizierung des 3D-HN-Modells wurden von der BAW Naturmessungen in diesem Rheinabschnitt veranlasst. Am 17.04.2012 wurden bei einem Mittelwasserabfluss von etwa $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$ an drei Querprofilen (Rhein-km 553,5, Rhein-km 553,65 und Rhein-km 553,8) Fließgeschwindigkeiten über die Tiefe verteilt gemessen. Der Abflusszustand zum Zeitpunkt der Naturmessung wurde im 3D-HN-Modell nachgerechnet. Der Vergleich der Naturmessdaten mit den Berechnungsergebnissen ist in Abbildung 5-37 dargestellt und zeigt eine gute Übereinstimmung.

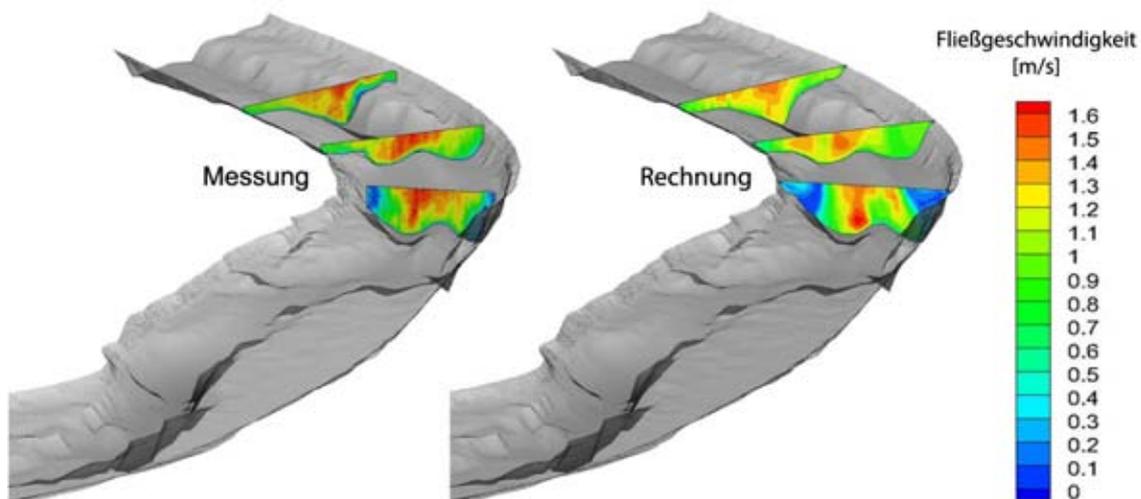


Abbildung 5-37: Darstellung der Fließgeschwindigkeiten (Messung links; Berechnung rechts) bei einem Mittelwasserabfluss von $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$ an den drei Messprofilen bei Rhein-km 553,5, Rhein-km 553,65 und Rhein-km 553,8

Um die Berechnungsergebnisse des 3D-HN-Modells mit Hochwasserereignissen zu verifizieren, können diese mit entsprechenden Hochwasserberechnungen aus dem kalibrierten tiefengemittelten 2D-HN-Modell verglichen werden. Zum Vergleich der beiden HN-Modelle sind in Abbildung 5-38 die Fließgeschwindigkeiten bei einem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$ abgebildet. Die Fließgeschwindigkeiten aus dem 3D-HN-Modell sind in 2 m Tiefe unter der Wasserspiegellage (WSP) dargestellt. Zum Vergleich der Fließgeschwindigkeitsvektoren wer-

den exemplarisch zwei Detailausschnitte gegenübergestellt. Die Berechnungsergebnisse des hoch aufgelösten 3D-HN-Modells bestätigen die komplexe dreidimensionale Strömungscharakteristik in diesem Rheinabschnitt.

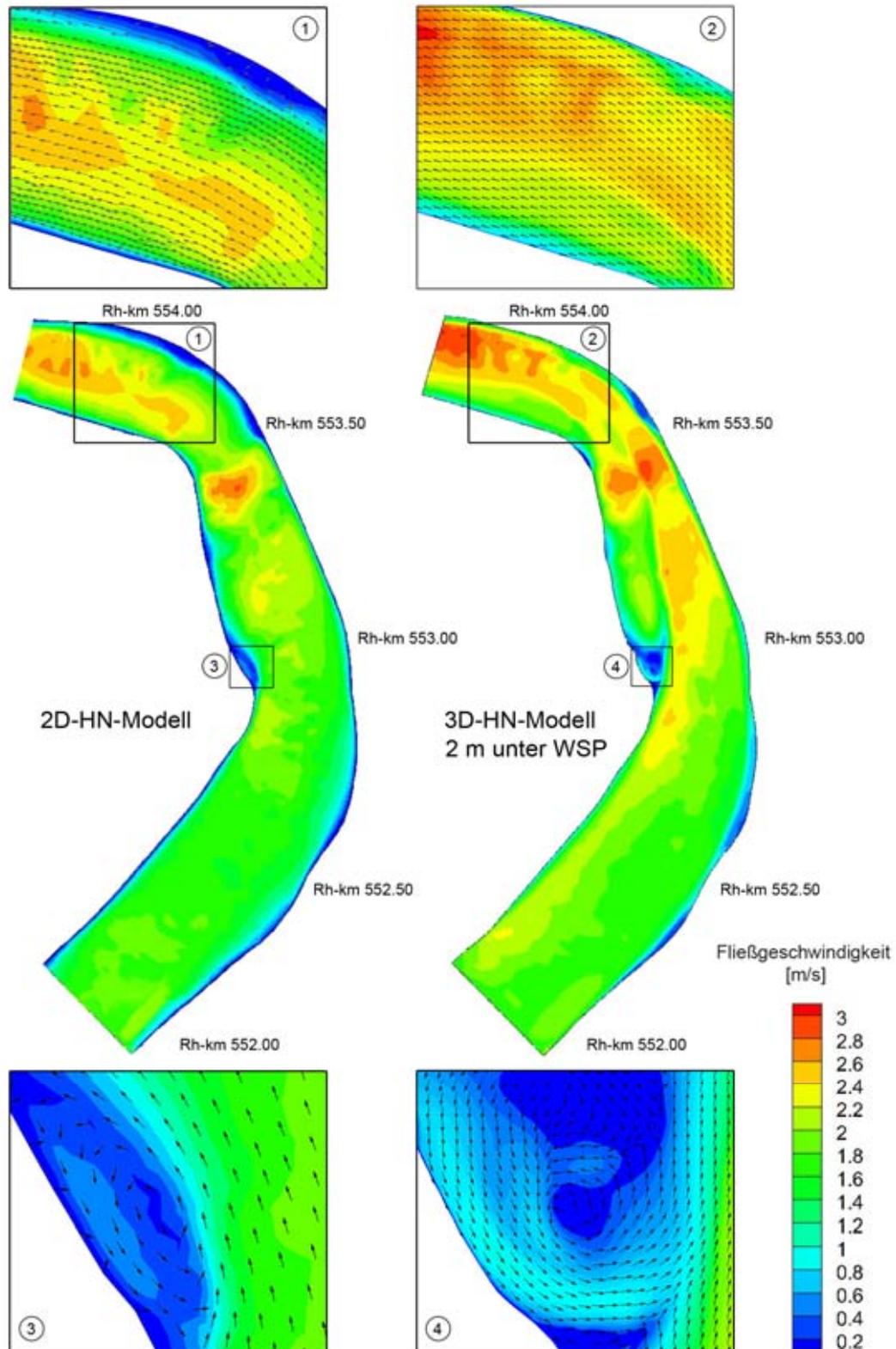


Abbildung 5-38: Darstellung der Fließgeschwindigkeiten und Fließgeschwindigkeitsvektoren aus dem 2D-HN-Modell (links) und dem 3D-HN-Modell (rechts) bei dem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$

5.2.4.3 Strömungsverhältnisse des Rheins zum Zeitpunkt der Kenterung

Mit dem verifizierten 3D-HN-Modell wurde der Abflusszustand zum Zeitpunkt der Kenterung berechnet. Abbildung 5-39 zeigt bei dem untersuchten Hochwasserabfluss die Fließgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Wassertiefen (1 m, 2 m und 3 m unter der Wasserspiegellage). Laut Ladekontrollbericht hatte das TMS „Waldhof“ einen Tiefgang von 3,12 m. Über diese abladerelevante Tiefe hinaus treten im Bereich des Fahrwassers hohe Geschwindigkeitsgradienten zwischen 2,0 m/s und 3,0 m/s auf (Abbildung 5-39). In den ufernahen Bereichen bilden sich Rückströmzonen aus (Abbildung 5-38).

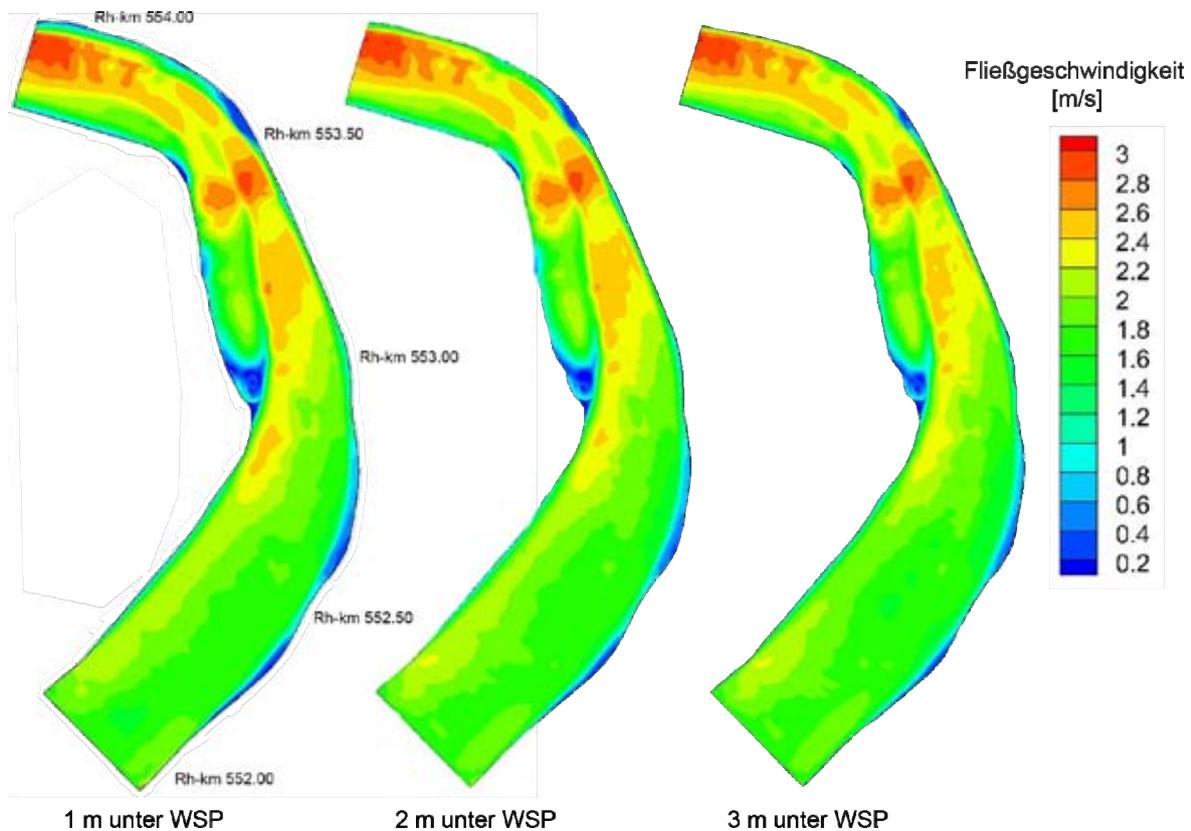


Abbildung 5-39: Fließgeschwindigkeiten bei dem untersuchten Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$ in unterschiedlichen Wassertiefen (1 m, 2 m und 3 m unter der Wasserspiegellage)

In Abbildung 5-40 sind die vertikalen Anteile der Fließgeschwindigkeiten in z-Richtung, ebenfalls in drei Tiefen unter der Wasserspiegellage dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Geschwindigkeitsgradienten in z-Richtung mit der Tiefe zunehmen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Walzenbildung von der Sohlgeometrie, speziell von den Kolken, initiiert ist. Diese walzenartigen Strömungszustände über den Kolken werden von einer Spiralströmung überprägt, welche sich hier aufgrund der Richtungsänderung des Rheins ausbildet (Abbildung 5-41).

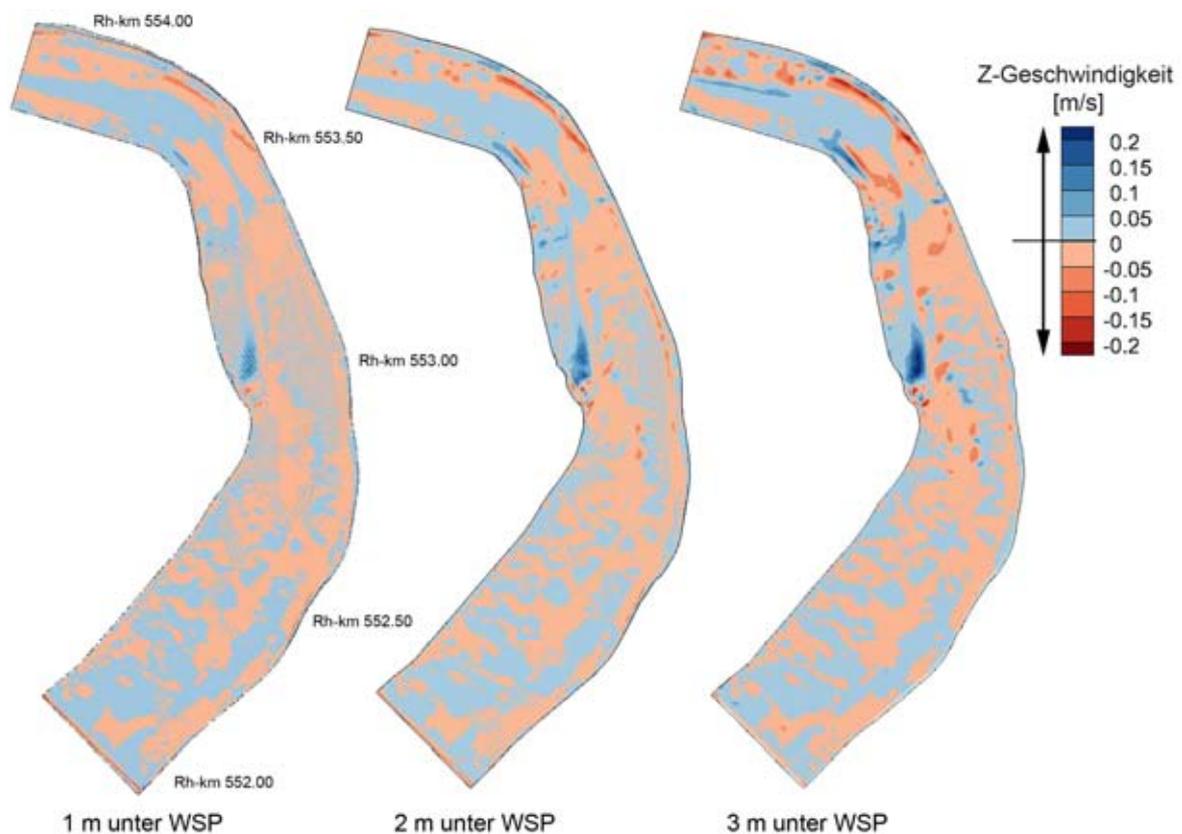


Abbildung 5-40: Fließgeschwindigkeitsanteil in z-Richtung bei dem untersuchten Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$ in unterschiedlichen Wassertiefen (1 m, 2 m und 3 m)

In Abbildung 5-41 sind im Bereich des „Bettecks“ bei Rhein-km 553,5 exemplarisch der Verlauf der Stromlinien über die Tiefe dargestellt. Die Detailansicht in Abbildung 5-41 a) zeigt deutlich, wie sich die von der Wasserspiegeloberfläche ausgehenden Stromlinien im Bereich der Kolke aufgrund der Spiralströmung über die Tiefe hinweg „eindreihen“. Die Detailansicht in Abbildung 5-41 b) stellt exemplarisch einen walzenartigen Strömungszustand im Bereich eines Kolkes dar.

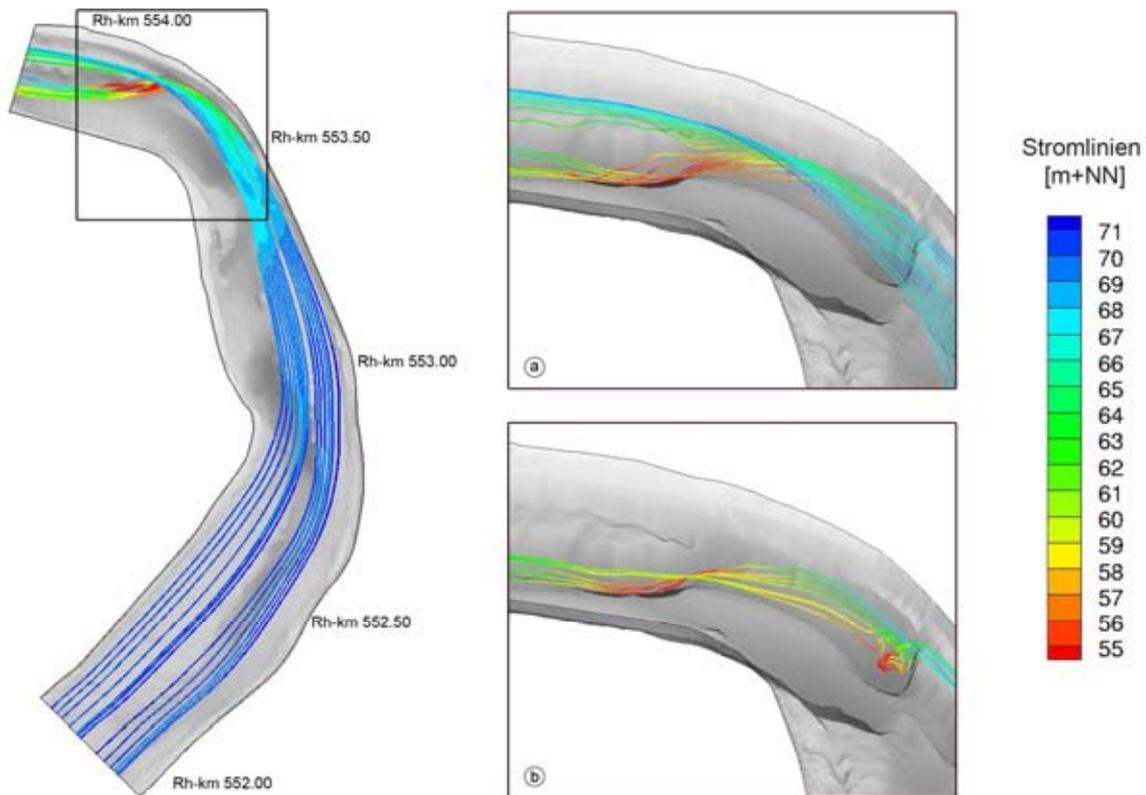


Abbildung 5-41: Exemplarische Darstellung des Stromlinienverlaufs über die Tiefe aus dem 3D-HN-Modell im Bereich des „Bettecks“

5.2.4.4 Analyse der Fließgeschwindigkeiten entlang der simulierten Fahrspur

Um den Einfluss der Strömungsverhältnisse auf die Fahrt des TMS „Waldhof“ zu analysieren, werden in diesem Kapitel die Fließgeschwindigkeiten aus dem 3D-HN-Modell bezogen auf die Fahrspur ausgewertet. Entlang der simulierten Fahrspur werden die Anteile der Fließgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt der Kenterung getrennt für die drei Raumrichtungen x' , y' und z umgerechnet. Bei den Fließgeschwindigkeiten in x' - und y' -Richtung handelt es sich um ein um die z -Achse gedrehtes Koordinatensystem, so dass x' in Fahrtrichtung und y' quer zum TMS „Waldhof“ ausgerichtet ist.

Fließgeschwindigkeitsanteile in z -Richtung

In Abbildung 5-42 rechts ist zusätzlich zu den Fließgeschwindigkeitsanteilen in z -Richtung (Abbildung 5-40) die Fahrspur aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“ bei dem untersuchten Hochwasserabfluss eingetragen. Entlang dieser Fahrspur wurden die Geschwindigkeiten in z -Richtung in einer Tiefe von 2 m unter der Wasserspiegellage ausgewertet (Abbildung 5-42 links). Das Diagramm entlang der Fahrspur verdeutlicht die wechselnden Strömungsangriffe auf das Schiff.

Das Schiffssymbol bei Rhein-km 553,34 entspricht etwa dem Ort der Begegnung (Bug/Bug) mit dem GMS „Acropolis“ um 04:41:02 Uhr. Das Schiffssymbol bei Rhein-km 553,67 stimmt etwa mit dem Bereich der Havarie, als sich die Radarbilder des TMS „Waldhof“ um 04:42:08 Uhr begannen aufzulösen, überein. Da das Schiffssymbol in der Abbildung etwa längenmaßstäblich dargestellt ist, kann man gut erkennen, dass je nach Position des Schiffes unterschiedliche hydraulische Kräfte auf Bug und Heck wirken, die in Verbindung mit den freien Oberflächen der Ladung eine bug- bzw. hecklastige Vertrimmung bewirken können.

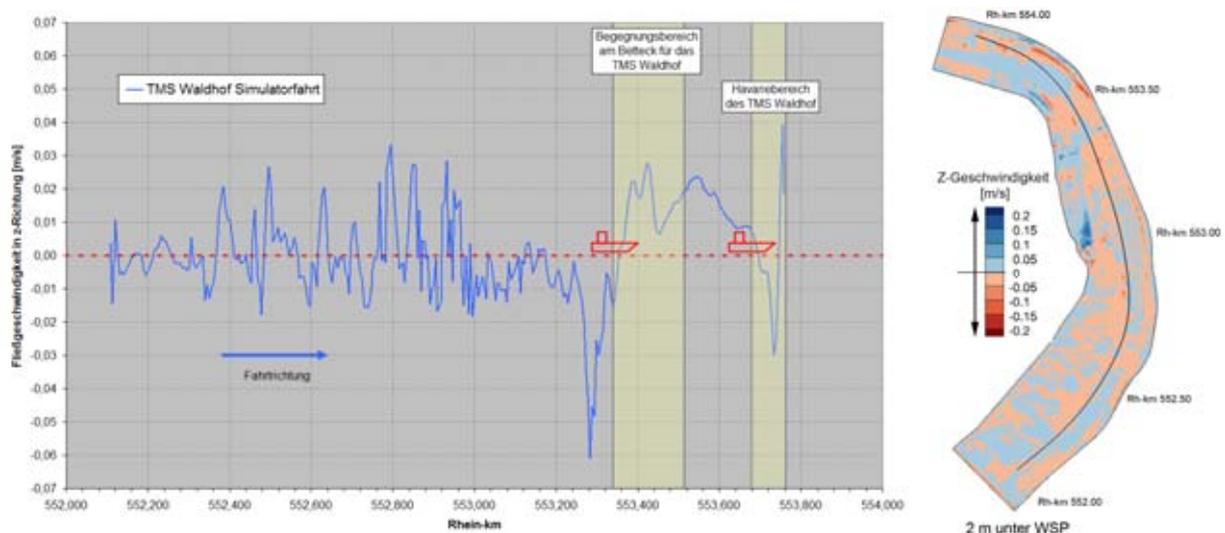


Abbildung 5-42: Fließgeschwindigkeitsauswertung in z -Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“ (links); Fließgeschwindigkeitsanteil in z -Richtung mit der Fahrspur aus der Simulationsfahrt überlagert (rechts)

Fließgeschwindigkeitsanteile in x'-Richtung

In Abbildung 5-43 sind die Fließgeschwindigkeitsanteile in x'-Richtung entlang der simulierten Fahrspur dargestellt. Es handelt sich um den Anteil der Strömungsgeschwindigkeit entlang der x'-Achse des schiffsfesten Koordinatensystems (Bewegung voraus). Exemplarisch sind die Schiffssymbole längenmaßstäblich am Begegnungsbereich am „Betteck“ und am Havariebereich eingetragen. Auffällig sind die dort auftretenden zum Teil hohen Geschwindigkeitsgradienten von 0,3 m/s bis 0,5 m/s zwischen Bug und Heck. Dies zeigt, dass die auf das Schiff wirkenden hydraulischen Kräfte nicht homogen über den Schiffskörper verteilt auftreten und in Verbindung mit den freien Oberflächen der Ladung eine bug- bzw. hecklastige Vertrimmung bewirken können.

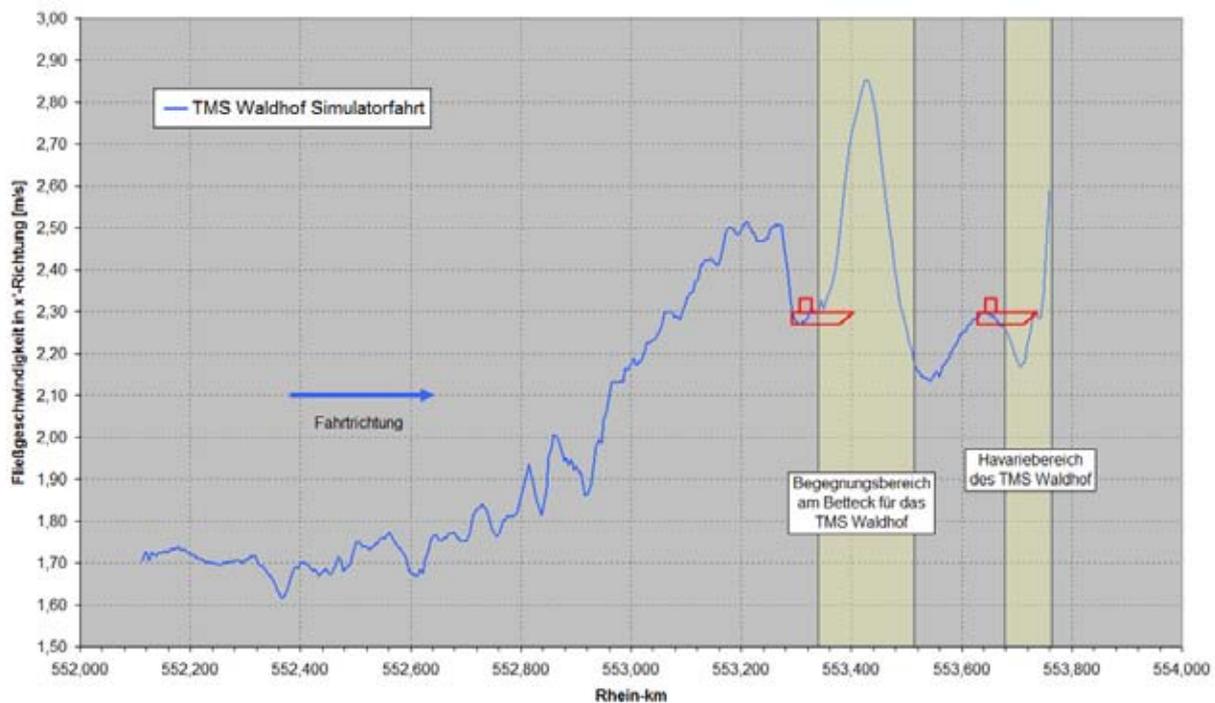


Abbildung 5-43: Fließgeschwindigkeitsauswertung in x'-Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“

Fließgeschwindigkeitsanteile in y' -Richtung

In Abbildung 5-44 sind die Fließgeschwindigkeitsanteile in y' -Richtung entlang der simulierten Fahrspur dargestellt. Es handelt sich um den Anteil der Strömungsgeschwindigkeit entlang der y' -Achse des schiffsfesten Koordinatensystems (Bewegung seitlich bzw. Drehung um die Hochachse z). Analog sind die Schiffssymbole längenmaßstäblich am Begegnungsbereich am „Betteck“ und am Havariebereich exemplarisch eingetragen. Auffällig ist auch hier die inhomogene Verteilung der am Schiffskörper auftretenden hydraulischen Kräfte. Die zum Teil hohen Geschwindigkeitsgradienten von bis zu 0,4 m/s zwischen Bug und Heck wirken sich auch auf die notwendigen Rudermanöver aus.

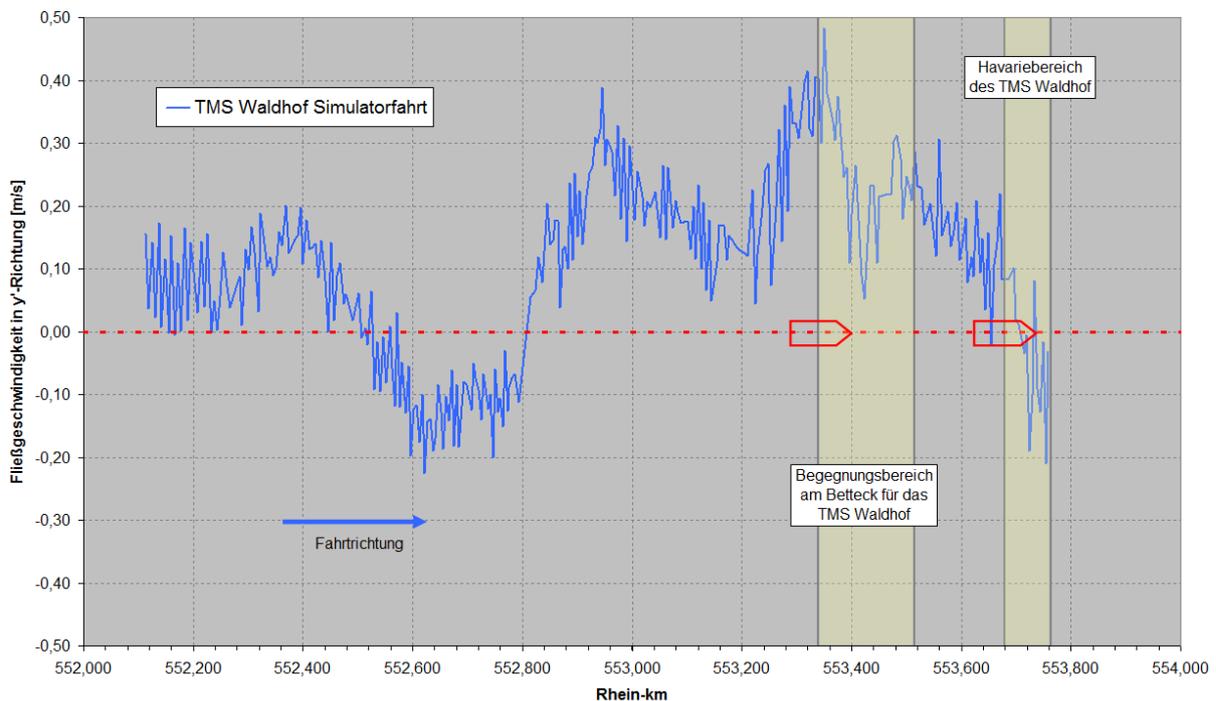


Abbildung 5-44: Fließgeschwindigkeitsauswertung in y' -Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“

Visualisierung der berechneten Strömungsverhältnisse im Bereich der Kenterstelle

In der Visualisierungsanlage der BAW wurde das Sichtmodell der Gebirgsstrecke, das Modell des TMS „Waldhof“ sowie die Berechnungsergebnisse des 3D-HN-Modells zusammengeführt. In Abbildung 5-45 ist die Situation bei dem Hochwasserabfluss unmittelbar vor dem Kenterprozess dargestellt. Die Abbildung zeigt das TMS „Waldhof“ etwa bei Rhein-km 553,7 im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstone (siehe Markierung). Der Verlauf der tiefen Rinne bzw. die ausgeprägten Kolke sind gut zu erkennen.

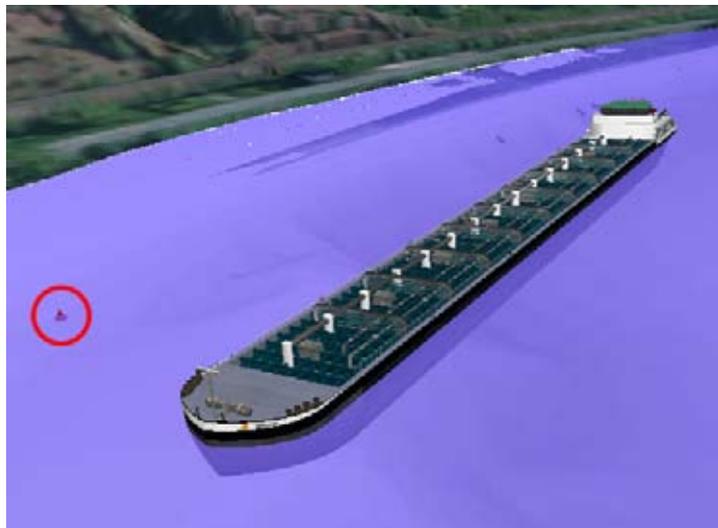
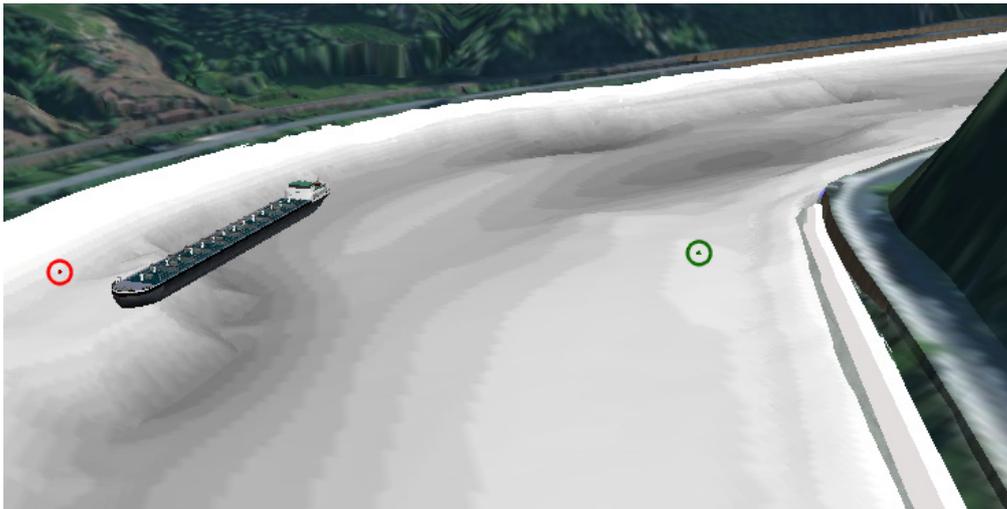


Abbildung 5-45: TMS „Waldhof“ im Bereich der Kenterstelle ohne (oben) und mit leicht transparent dargestellter Wasserspiegel-lage (unten)

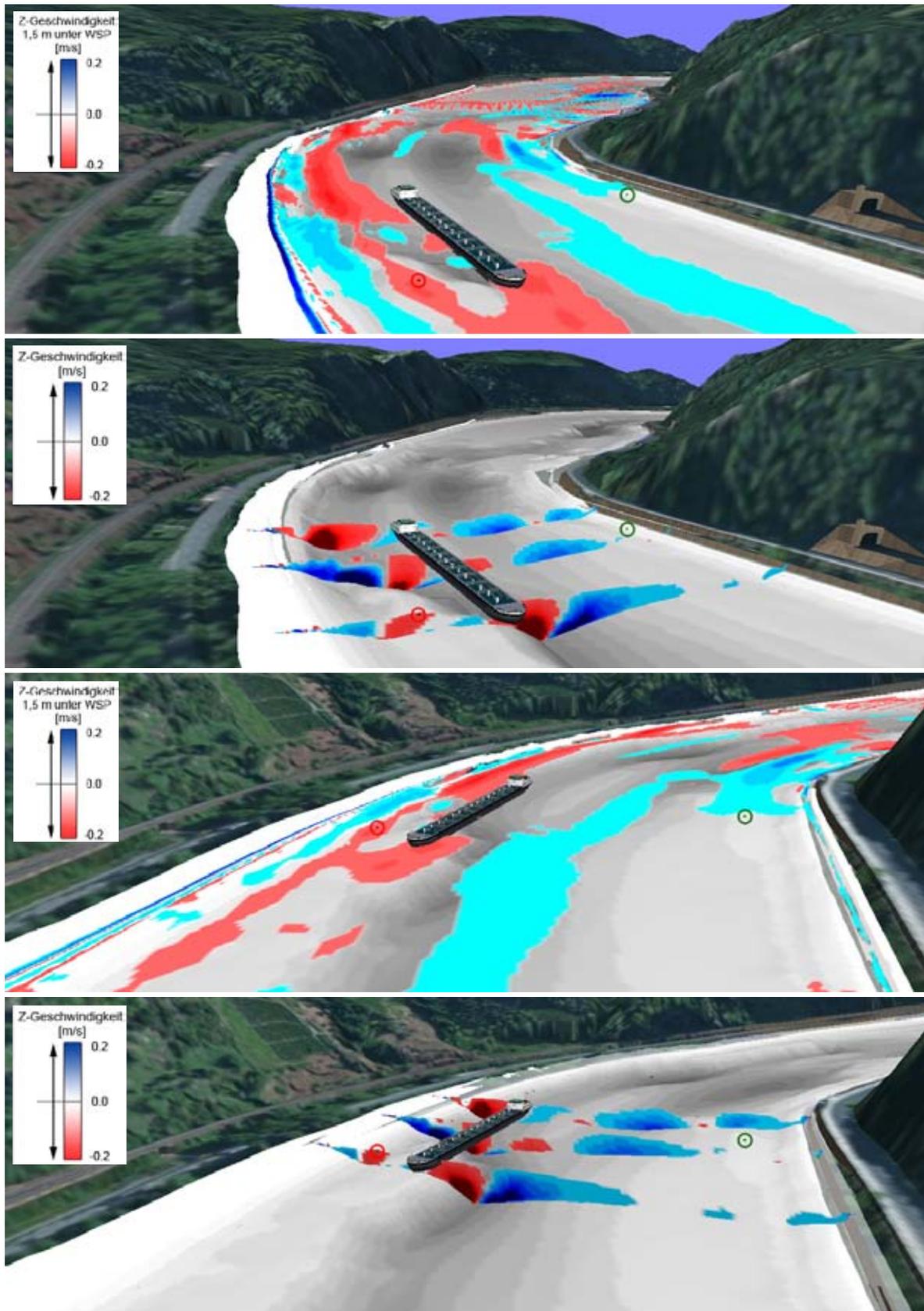


Abbildung 5-46: Darstellung der Berechnungsergebnisse des 3D-HN-Modells, des Sichtmodells der Gebirgsstrecke und des TMS „Waldhof“ in der Visualisierungsanlage der BAW

In Abbildung 5-46 sind die Berechnungsergebnisse bei dem untersuchten Hochwasserabfluss exemplarisch in der Visualisierungsanlage der BAW aus zwei verschiedenen Perspektiven dargestellt. Aus dem 3D-HN-Modell sind die z-Komponenten der Fließgeschwindigkeit jeweils flächig in einer Tiefe von 1,5 m unter der Wasserspiegellage (WSP) sowie an drei Querschnitten entlang des Schiffes dargestellt. Man erkennt deutlich die auf- bzw. abwärtsgerichteten Komponenten der Fließgeschwindigkeit über den Querschnitt bzw. die Länge des Schiffes. In der Darstellung sind geringe Fließgeschwindigkeitsanteile in z-Richtung transparent abgebildet (siehe Legende).

Die differenzierte Analyse der 3D-Strömung im Bereich der Loreleystrecke belegt, dass hier die Navigation mit einem Schiff anspruchsvoll ist. Die Strömungsverhältnisse bewirken je nach Abfluss und Position ungleichmäßige hydraulische Belastungen auf ein Schiff. Die Untersuchungen mit dem 3D-HN-Modell zeigen, dass etwa bei Rhein-km 553,7 im Bereich neben der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne Strömungen existieren, die für einen Talfahrer ein krägendes Moment in Richtung Steuerbord erzeugen.

5.2.5 Dreidimensionale kinetische Untersuchungen zum Kentervorgang unter Berücksichtigung der Ladung (freie Oberfläche) in den teilgefüllten Tanks

Erweiterte Untersuchungen zum Rollverhalten des Schiffes unter Berücksichtigung der Flussströmung, der vom Schiff erzeugten Wellen und der sich bewegenden Flüssigkeit mit freier Oberfläche in den teilgefüllten Ladetanks bei vorgegebenem Manöver wurden im Auftrag der Unfalluntersuchungskommission von der Firma „Future Ship“ GmbH in Hamburg durchgeführt.

Datengrundlagen für diese Untersuchungen waren:

- Positionen und Geschwindigkeiten des TMS Waldhof aus der Simulationsfahrt am Schiffsführungssimulator (Kapitel 5.2.3.2);
- Ruderwinkel- und Ruderkraftverlauf aus der Simulationsfahrt am Schiffsführungssimulator (Kapitel 5.2.3.2);
- $GM = 0,297$ m entsprechend den Stabilitätsuntersuchungen (siehe Anlage 6);
- 3D-HN-Strömungsmodell des Rheins zwischen Rhein-km 552,0 bis Rhein-km 554,0 (Kapitel 5.2.4);
- Radarbilder der Revierzentrale Oberwesel.

Um den Einfluss der dreidimensionalen Strömung auf den Schiffskörper im unmittelbarer Interaktion mit dem dynamischen Verhalten der Ladung in den Tanks bewerten zu können, wurde das 3D-HN-Strömungsmodell (Kapitel 5.2.4) um ein dreidimensionales geometrisches Modell des TMS Waldhof, in welchem die Tankgeometrien berücksichtigt sind, erweitert. Das Schiffmodell bewegt sich entsprechend der Schwimmbedingung in dem Strömungsmodell. Die Tanks sind gemäß Ladekontrollbericht mit Schwefelsäure befüllt, wobei die einzelnen Tankinhalte als Flüssigkeit mit freier Oberfläche modelliert sind.

Von den am Schiffsführungssimulator durchgeführten Simulationsfahrten wurde für diese Untersuchungen die Fahrt ausgewählt, welche die aus den Radaraufnahmen ermittelten Schiffspeditionen und den Geschwindigkeitsverlauf über Grund des TMS Waldhof am besten repräsentiert (Kapitel 5.2.3.2). Die hieraus ermittelten Ruderwinkel- und Ruderkräfte sind Eingangsdaten dieser erweiterten Untersuchungen. Zu Beginn der Berechnung wird das Schiff bei Rhein-km 553,4 in das Strömungsmodell gesetzt und bis zur Sollgeschwindigkeit beschleunigt. Während dieser Beschleunigungsphase (blaue Schiffssymbole in Abbildung 5-47) wird das Schiff auf Grundlage der ausgewählten Simulationsfahrt zwangsgeführt. Ab Rhein-km 553,58 werden alle 6 Frei-

heitsgrade der Bewegung freigegeben. Das Schiff fährt ab dieser Bewegungsphase frei (weiße Schiffssymbole in Abbildung 5-47), ohne Antrieb und ohne Ruderkraft.

Um zu überprüfen, ob die Orte aus der Berechnung der Bewegung mit den aus den Radaraufnahmen ermittelten Orten des TMS „Waldhof“ übereinstimmen, wurden die Bewegungsphasen der Berechnung mit den Radaraufnahmen des Fahrzeugs überlagert (Abbildung 5-47). Die Bewegungsphasen des TMS „Waldhof“ aus den Radaraufnahmen sind rot dargestellt. Die Bewegungsphasen aus der Berechnung sind blau (Beschleunigungsphase) bzw. weiß (freie Bewegungsphase) abgebildet. Die einer Radarstation zugewandte Kante eines Ziels wird bzgl. der Entfernung zur Radarstation richtig dargestellt. Im vorliegenden Fall ist das die Backbordseite des TMS „Waldhof“. Die linke Begrenzung beider Phasenaufnahmen zeigt die Übereinstimmung zwischen den aus den Radaraufnahmen ermittelten Orten des Tankschiffes mit den Orten aus der Berechnung.

Zum Zeitpunkt, ab dem das Schiff aus der Zwangsführung freigegeben wird, hat es eine Geschwindigkeit über Grund von 5,6 m/s bzw. 20,1 km/h. Dies entspricht in etwa den aus den Radaraufnahmen ermittelten Geschwindigkeiten für das TMS „Waldhof“. Auf Grund des nicht berücksichtigten Antriebes während der freien Bewegungsphase verringert sich die Geschwindigkeit auf 5,0 m/s bzw. 18,3 km/h. Durch die geringfügig kleinere Geschwindigkeit des TMS „Waldhof“ bei der Berechnung wird die Summe der hydraulischen Kräfte auf das Unterwasserschiff tendenziell leicht unterschätzt.

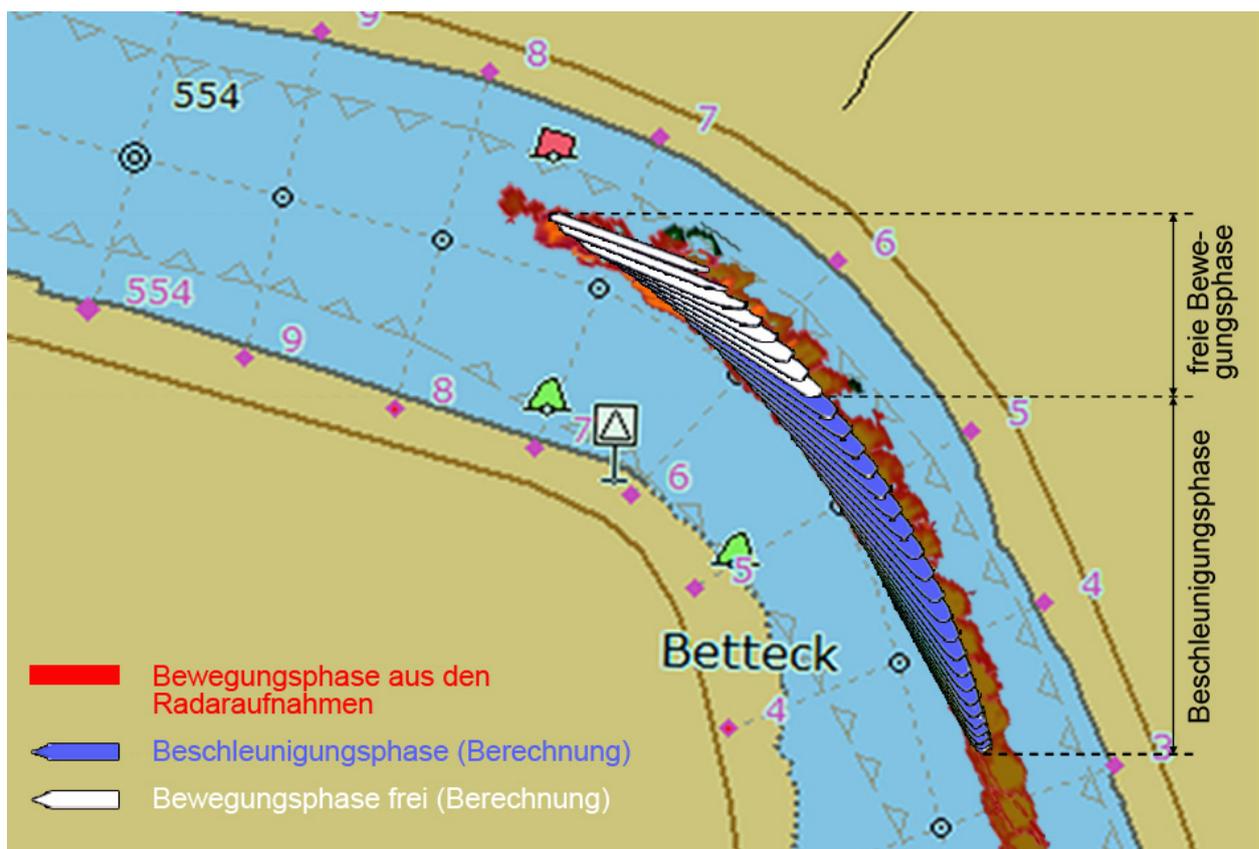


Abbildung 5-47: Bewegungsphasen des TMS „Waldhof“ aus der Berechnung und aus den Radaraufnahmen

Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,58 um 04:41:49 Uhr

Abbildung 5-48 zeigt die Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,58 um 04:41:49 Uhr. Das ist die Position, an der alle sechs Freiheitsgrade bei der Bewegung des Schiffes freigegeben wurden.

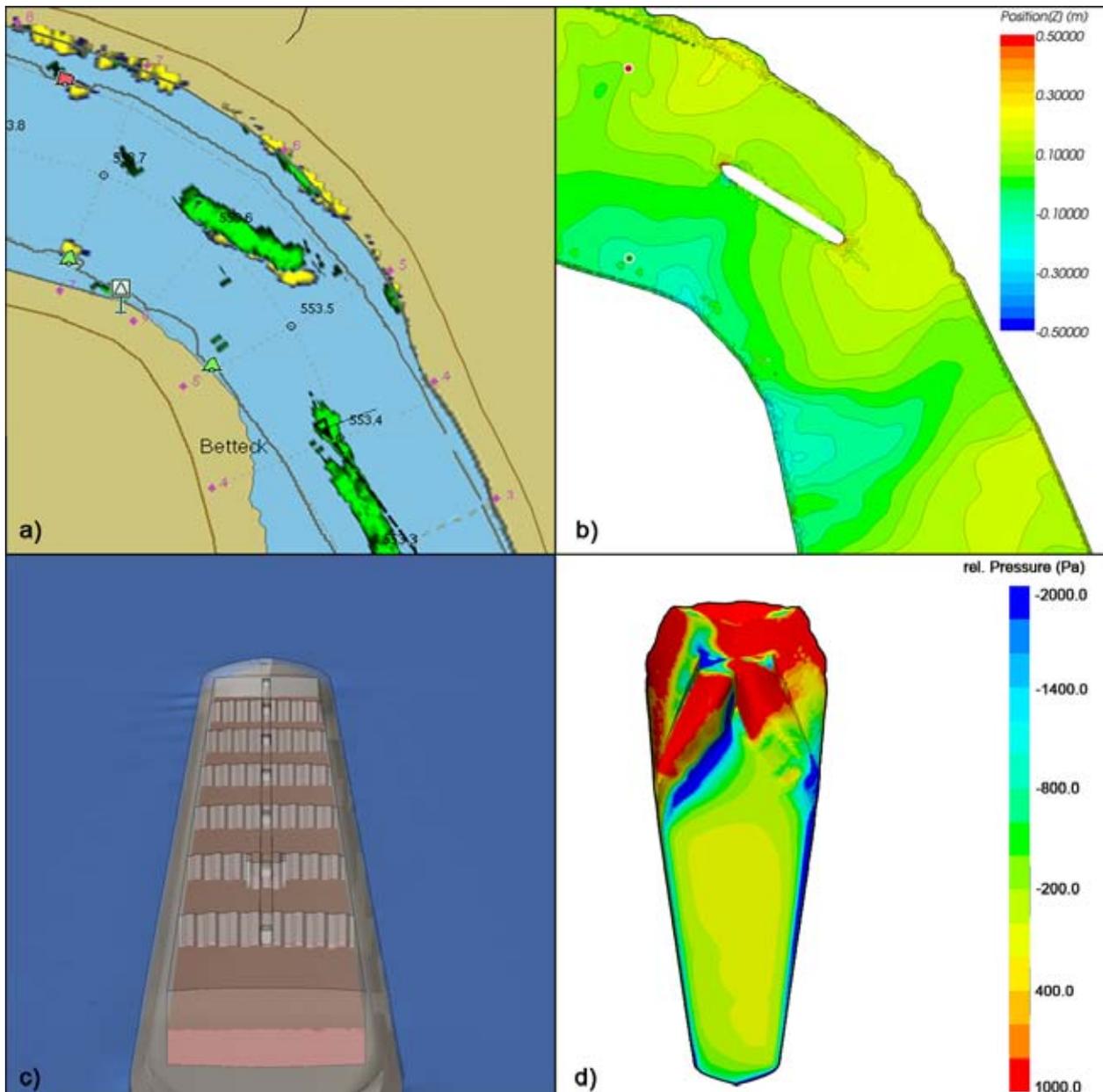


Abbildung 5-48: Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,58 um 04:41:49 Uhr

- Radarbild des TMS „Waldhof“ um 04:41:49 Uhr bei Rhein-km 553,58
- TMS „Waldhof“ im 3D-HN-Modell - dargestellt ist die Wasserspiegeloberfläche bezogen auf 71,5 m+NN
- TMS „Waldhof“ mit Sicht in die Tanks und auf das schiffsinduzierte Wellenbild (Vogelperspektive hinter dem Schiff)
- Druckverteilung am Unterwasserschiff des TMS „Waldhof“ (Unterwasserperspektive hinter dem Schiff)

Abbildung 5-48 a) zeigt das Radarbild der Verkehrssituation zur angegebenen Zeit.

Abbildung 5-48 b) stellt die Position des Modellschiffes und die Interaktion zur Wasserspiegel-lage in dem 3D-HN-Modell des Rheins dar. Zu diesem Zeitpunkt hat das Schiffsmodell einen Rollwinkel von nahezu 0 Grad und die Rollgeschwindigkeit beträgt 0 Grad/s.

In Abbildung 5-48 c) ist das TMS „Waldhof“ mit Sicht auf die Tanks und das schiffsinduzierte Wellenbild aus einer Vogelperspektive hinter dem Schiff abgebildet. Am Bug des Schiffes kann man das Bugwellensystem erkennen. Die Tankoberseiten sind durchsichtig, so dass man die Flüssigkeit sowie die Querschotte mit ihrer gesickten Struktur sehen kann.

Abbildung 5-48 d) zeigt die Druckverteilung auf das Unterwasserschiff aus der Unterwasserperspektive hinter dem Schiff. Das Heck des Schiffes befindet sich in der Abbildung am oberen Rand. Die Steuerbordkimm ist an der rechten Seite des Schiffskörpers zu sehen. Infolge der Fahrt mit geringer Drift beginnt sich an der Steuerbordkimm ein Unterdruckgebiet (dunkelblau dargestellt) auszubilden. Dieses Unterdruckgebiet, welches aus der seitlichen Anströmung des Schiffskörpers resultiert, erzeugt eine nach unten gerichtete Kraft und im Zusammenhang mit dem Hebelarm von etwa einer halben Schiffsbreite bezogen auf die Schiffslängsachse ein krägendes Moment.

Die Untersuchungen der Firma „FutureShip“ GmbH haben gezeigt, dass die Stärke des Unterdruckgebietes von der seitlichen Anströmgeschwindigkeit, vom effektiven Driftwinkel (Drift gegen Wasser) und vom Krängungswinkel abhängen.

Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,59 um 04:41:51 Uhr

Abbildung 5-49 zeigt die Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,59 um 04:41:51 Uhr, dies entspricht etwa 2,5 Sekunden nach Beginn der freien Bewegung.

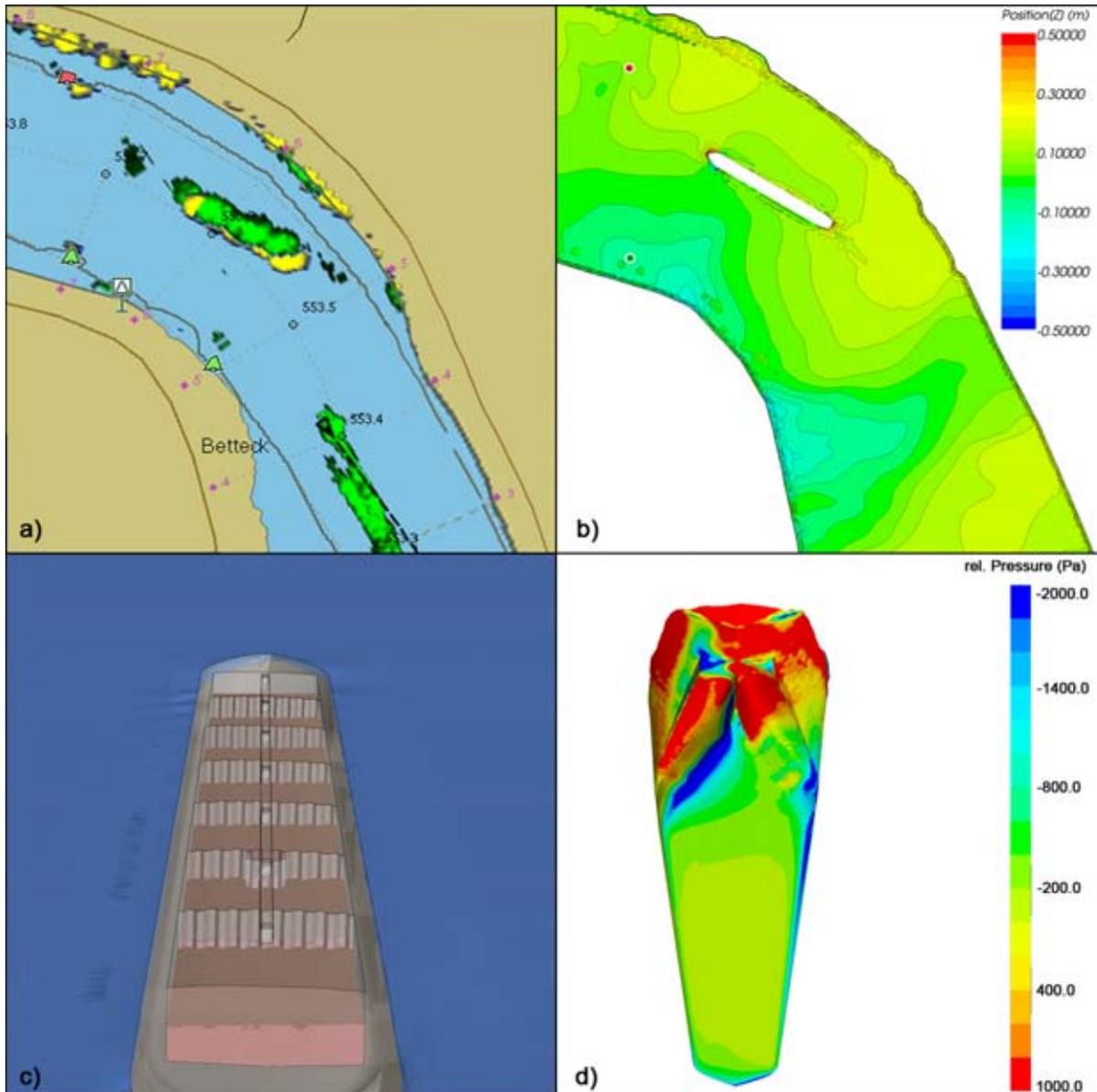


Abbildung 5-49: Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,59 um 04:41:51 Uhr

- a) Radarbild des TMS „Waldhof“ um 04:41:51 Uhr bei Rhein-km 553,59
- b) TMS „Waldhof“ im 3D-HN-Modell, dargestellt ist die Wasserspiegeloberfläche bezogen auf 71,5 m+NN
- c) TMS „Waldhof“ mit Sicht in die Tanks und auf das schiffsinduzierte Wellenbild (Vogelperspektive hinter dem Schiff)
- d) Druckverteilung am Unterwasserschiff des TMS „Waldhof“ (Unterwasserperspektive hinter dem Schiff)

In dieser Phase der Kurvenfahrt sind keine Ruderkräfte notwendig, da die Strömung des Rheins das Schiff weiter dreht. Infolge der Kurvenfahrt und der damit verbundenen Fliehkräfte beginnt sich das Schiff nach Steuerbord zu neigen. In Abbildung 5-49 c) ist zu erkennen, dass sich die Flüssigkeit in Richtung Steuerbord verlagert und ein zusätzliches krängendes Moment erzeugt. Das Unterdruckgebiet an der Steuerbordkimm nimmt geringfügig zu (Abbildung 5-49 d).

Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,60 um 04:41:53 Uhr

Abbildung 5-50 zeigt die Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,60 um 04:41:53 Uhr, dies entspricht etwa fünf Sekunden nach Beginn der freien Bewegung.

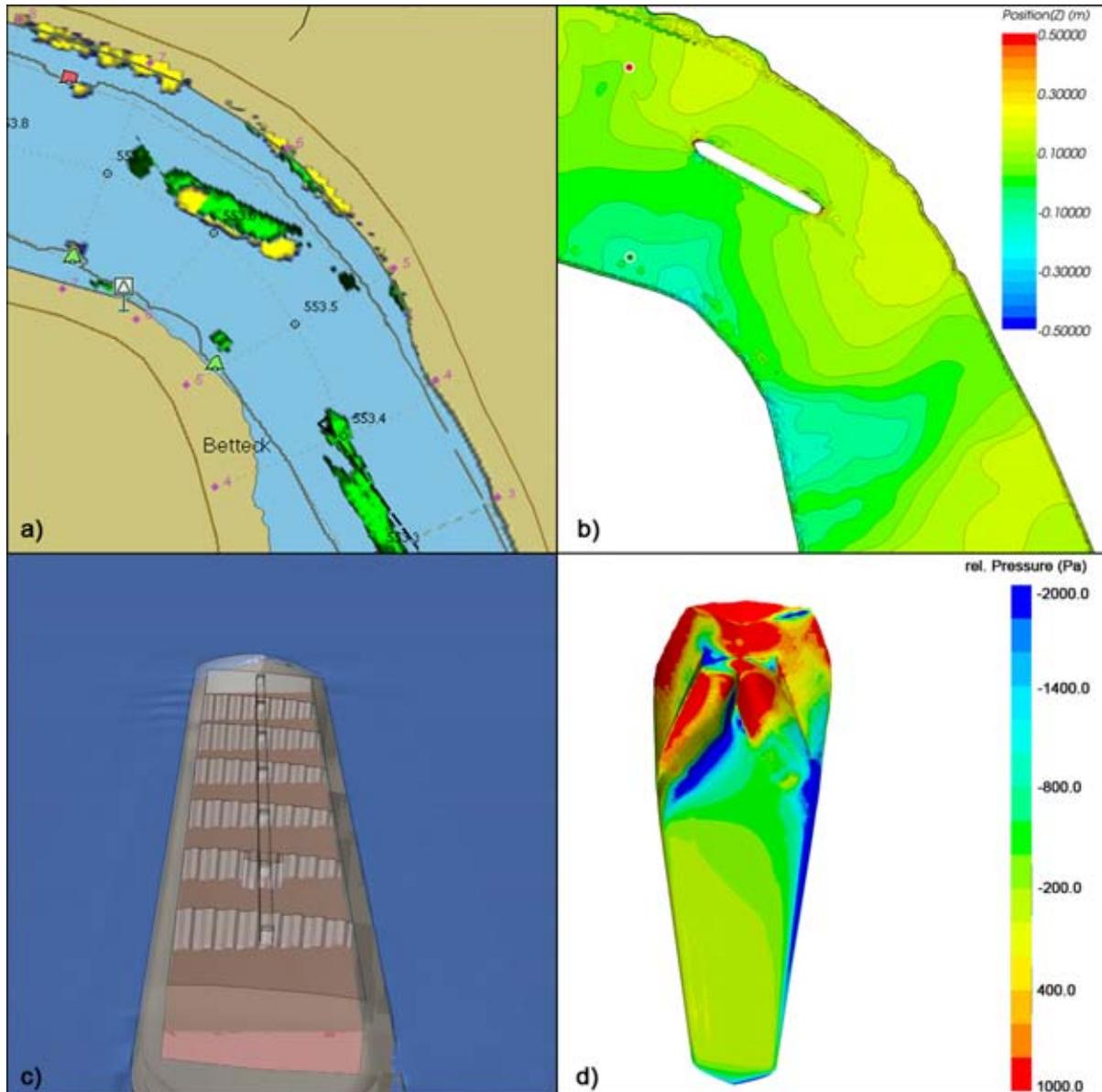


Abbildung 5-50: Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,60 um 04:41:53 Uhr

- Radarbild des TMS „Waldhof“ um 04:41:53 Uhr bei Rhein-km 553,60
- TMS „Waldhof“ im 3D-HN-Modell, dargestellt ist die Wasserspiegeloberfläche bezogen auf 71,5 m+NN
- TMS „Waldhof“ mit Sicht in die Tanks und auf das schiffsinduzierte Wellenbild (Vogelperspektive hinter dem Schiff)
- Druckverteilung am Unterwasserschiff des TMS „Waldhof“ (Unterwasserperspektive hinter dem Schiff)

Das Schiff neigt sich infolge der Fliehkräfte und der damit verbundenen Ladungsverschiebung weiter in Richtung Steuerbord (Abbildung 5-50 c). Die Bewegung der Flüssigkeit in den Lade-tanks ist in Abbildung 5-50 c) deutlich zu sehen. Infolge des größer werdenden Krängungswinkel wird auch das Unterdruckgebiet an der Steuerbordkimm größer, was zu einer weiteren Ver-gößerung der Krängung in Richtung Steuerbord führt.

Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,63 um 04:41:59 Uhr

Abbildung 5-51 zeigt die Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,63 um 04:41:59 Uhr, dies entspricht etwa 10 Sekunden nach Beginn der freien Bewegung.

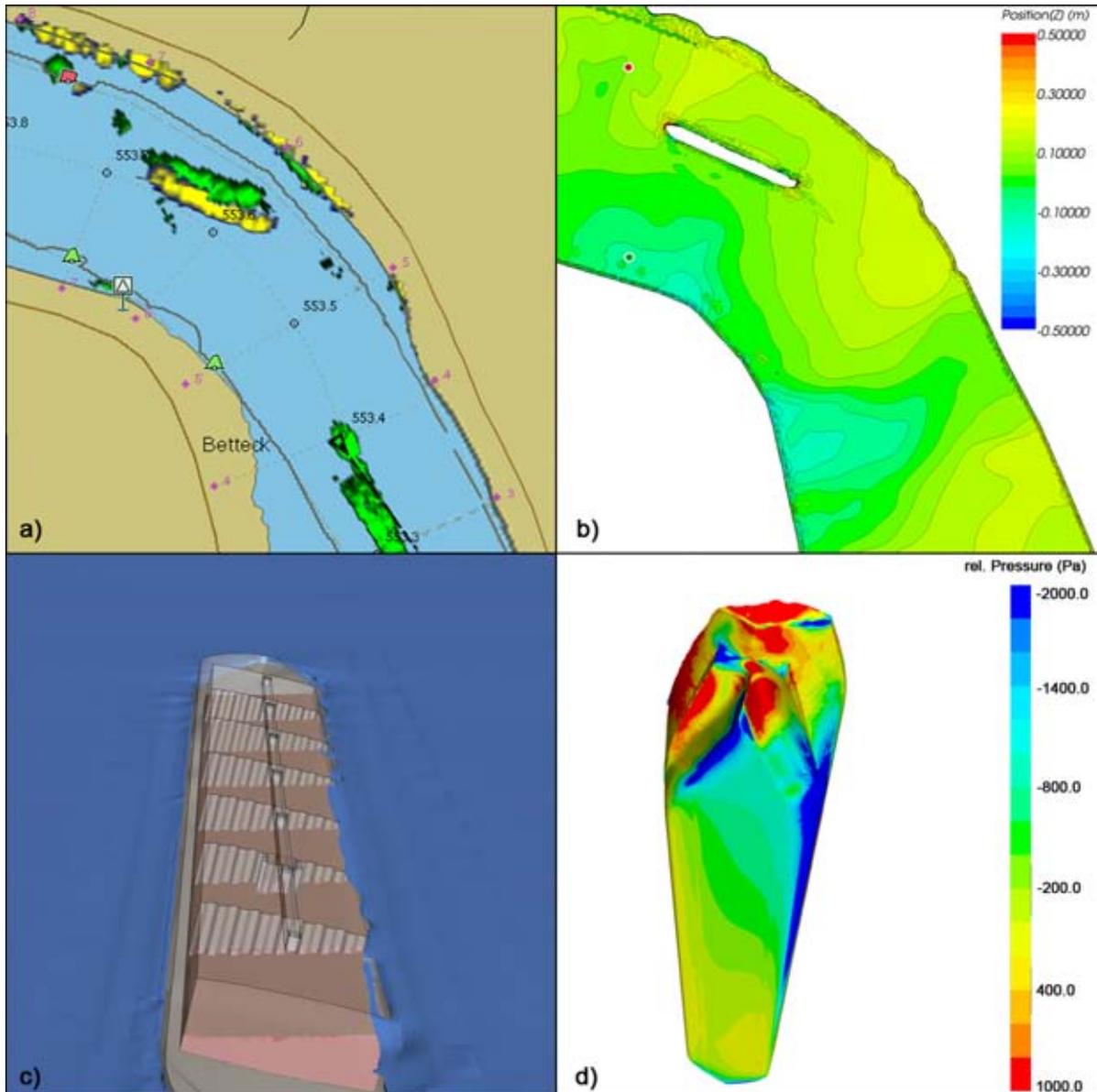


Abbildung 5-51: Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,63 um 04:41:59 Uhr

- a) Radarbild des TMS „Waldhof“ um 04:41:59 Uhr bei Rhein-km 553,63
- b) TMS „Waldhof“ im 3D-HN-Modell, dargestellt ist die Wasserspiegeloberfläche bezogen auf 71,5 m+NN
- c) TMS „Waldhof“ mit Sicht in die Tanks und auf das schiffsinduzierte Wellenbild (Vogelperspektive hinter dem Schiff)
- d) Druckverteilung am Unterwasserschiff des TMS „Waldhof“ (Unterwasserperspektive hinter dem Schiff)

Zu diesem Zeitpunkt der Simulation ist der Krängungswinkel soweit angestiegen, dass das Deck auf der Steuerbordseite eintaucht (Abbildung 5-51 c). Damit hat der Hebelarm für das aufrichtende Moment seinen maximalen Wert überschritten. Bei fortschreitender Krängung nimmt das aufrichtende Moment weiter ab und das Unterdruckgebiet an der Steuerbordkimm nimmt an Stärke zu (Abbildung 5-51 d).

Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,67 um 04:42:08 Uhr

Abbildung 5-52 zeigt die Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,67 um 04:42:08 Uhr, dies entspricht etwa 18,5 Sekunden nach Beginn der freien Bewegung.

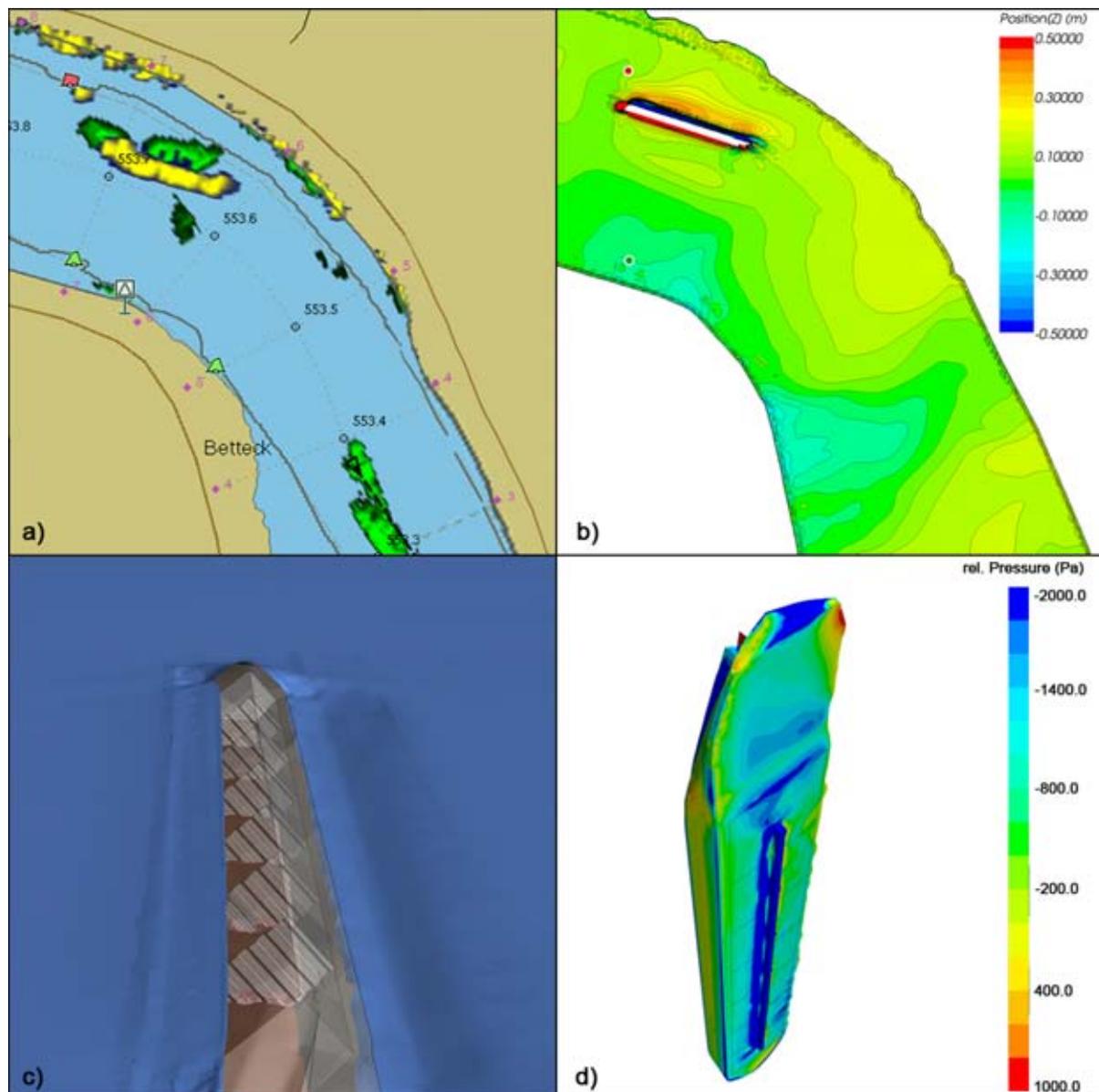


Abbildung 5-52: Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,67 um 04:42:08 Uhr

- Radarbild des TMS „Waldhof“ um 04:42:08 Uhr bei Rhein-km 553,67
- TMS „Waldhof“ im 3D-HN-Modell, dargestellt ist die Wasserspiegeloberfläche bezogen auf 71,5 m+NN
- TMS „Waldhof“ mit Sicht in die Tanks durch den Schiffsboden und auf das schiffsinduzierte Wellenbild (Vogelperspektive hinter dem Schiff)
- Druckverteilung am eingetauchten Deck des TMS „Waldhof“ (Unterwasserperspektive hinter dem Schiff)

Der Kenterprozess des TMS „Waldhof“ ist bereits voll im Gang. Das Schiff hat sich um über 90 Grad um seine Längsachse gedreht (Abbildung 5-52 c) und damit keine Möglichkeit mehr, seine aufrechte Schwimmelage wiederzuerlangen. Die krängenden Momente aus der Kurvenfahrt des Schiffes, die durch die Bewegung der Ladung und dem damit verbundenen Sloshing sowie der Wirkung des Unterdruckgebietes unter der Steuerbordkimm verstärkt wurden, führen dazu, dass die aufrichtenden Momente nicht mehr ausreichen, um das Schiff in seine stabile

Ausgangsschwimmlage zu bringen. In Abbildung 5-52 a) beginnt sich das Radarbild des TMS „Waldhof“ bereits aufzulösen.

Ergebnisse der dreidimensionalen kinetischen Untersuchungen

Die dreidimensionalen kinetischen Untersuchungen der Firma „Future Ship“ GmbH haben gezeigt, dass

- die aus den 3D-HN-Berechnungen ermittelten krängenden Momente im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 zum Kentern des TMS „Waldhof“ führen,
- die Berechnungsergebnisse von den vorgegebenen Positionen und Geschwindigkeiten des TMS „Waldhof“ abhängen,
- die lokal dreidimensional geprägten Strömungsgebiete die Größe der krängenden Momente beeinflussen, sowie
- die Stärke des Unterdruckgebietes und des daraus resultierenden krängenden Momentes, von dem effektiven Driftwinkel, der seitlichen Anströmgeschwindigkeit und vom Krängungswinkel abhängt.

5.3 Simulation des Havarieszenariums nach der Kenterung bis zur Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“

Nach Aussagen des Schiffsführers des SV „Vera“ trieb das TMS „Waldhof“ antriebslos kieloben zu Tal an der Backbordseite des SV „Vera“ vorbei. Um 04:45:13 Uhr bei Rhein-km 554,33 war das TMS „Waldhof“ erstmals wieder eindeutig in ihrer Position auf den Radarbildern zu erkennen (Abbildung 5-53).

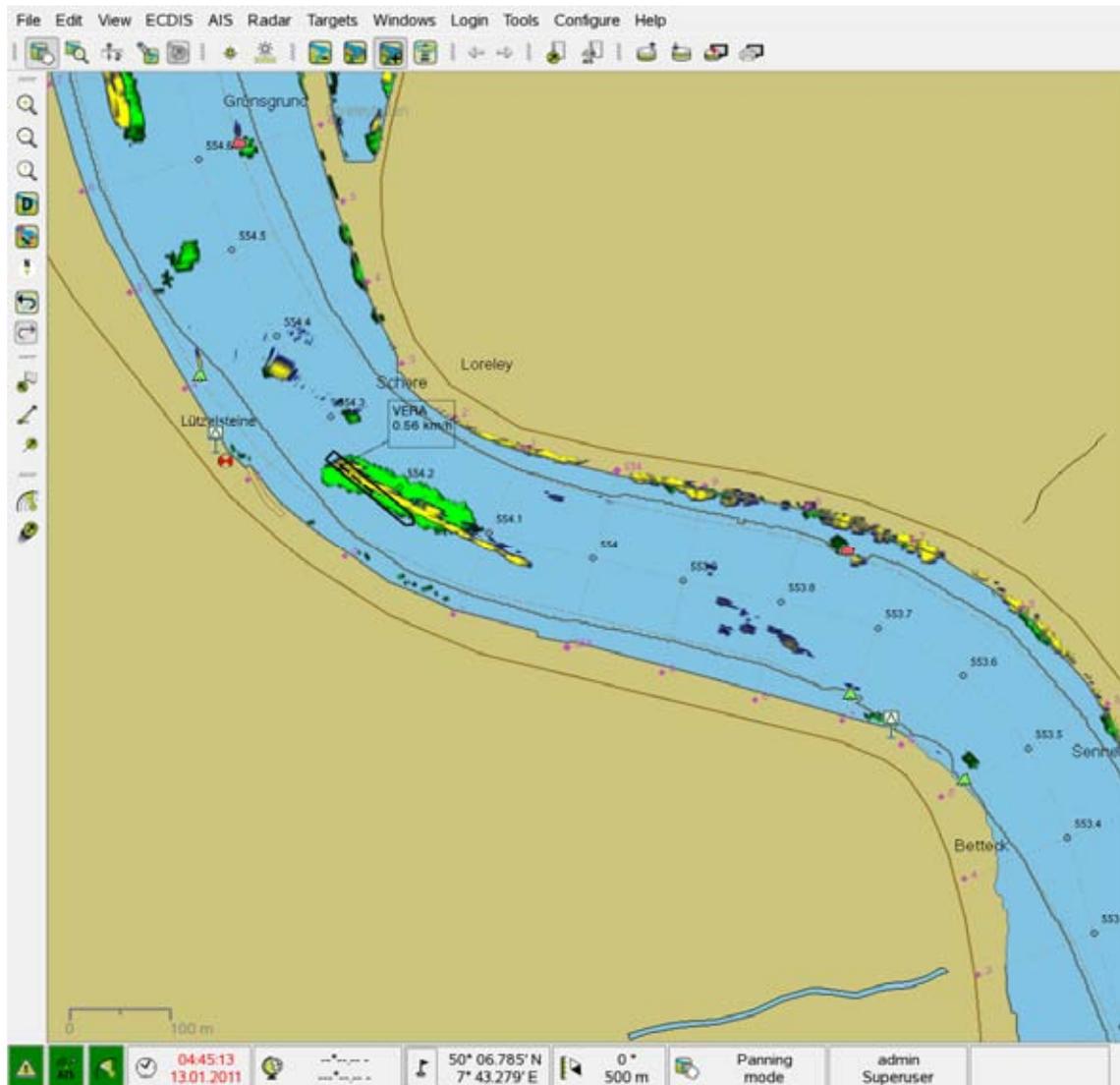


Abbildung 5-53: Radarbild des gekenterten TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 554,33 um 04:45:13 Uhr, nachdem seine Position erstmals wieder eindeutig zu sehen war

Um 04:46:16 Uhr trieb das TMS „Waldhof“ auf das TMS „Theodorus Johan“ zu und kollidierte bei Rhein-km 554,55 mit dem Tankmotorschiff (Abbildung 5-54).

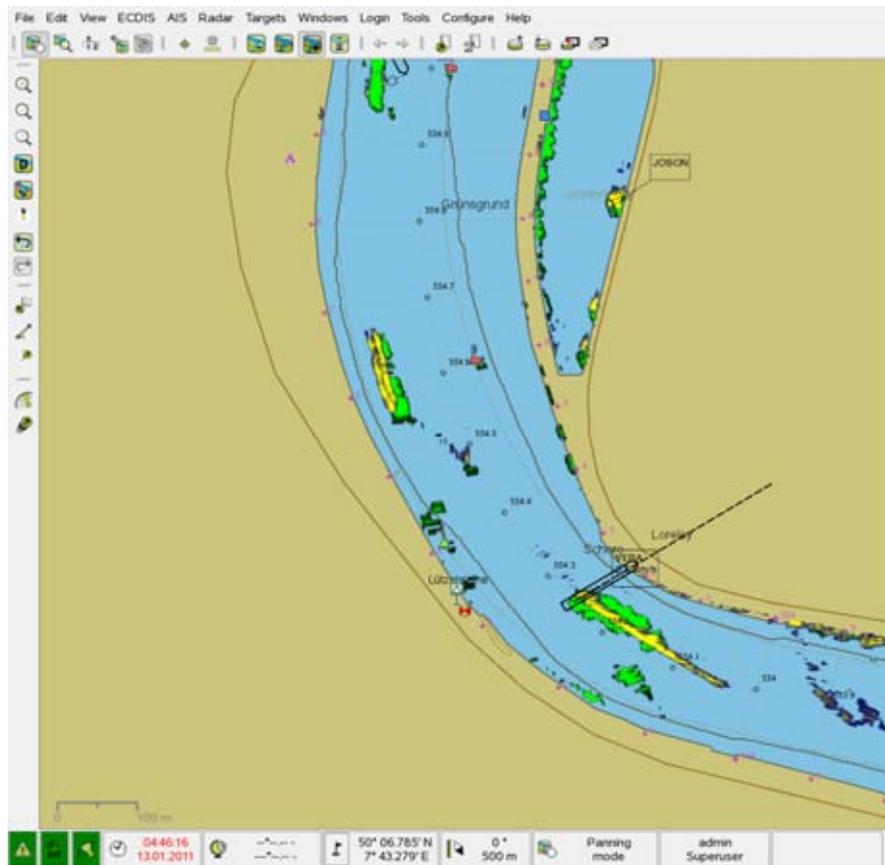


Abbildung 5-54: Kollision des gekenterten TMS „Waldhof“ mit dem TMS „Theodorus Johan“ um 04:46:16 Uhr bei Rhein-km 554,55

Um die Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Kenterung des TMS „Waldhof“ zu untermauern, wurde das Geschehen vom Kentern des TMS „Waldhof“ bis zur Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“ auf dem Schiffsführungssimulator nachgestellt. Für diese Simulationen wurde ein Eigenschiff mit den entsprechenden fahrdynamischen Parametern des gekenterten TMS „Waldhof“ sowie ein Sichtmodell des umgeschlagenen Schiffes erstellt (Abbildung 5-55).



Abbildung 5-55: Sichtmodell des gekenterten und zu Tal treibenden TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 554 am Schiffsführungssimulator der BAW

Um die Geschwindigkeit und die Drehung beim Kentern und im weiteren Verlauf des zu Tal Treibens in der Simulation zu berücksichtigen, wurde dem TMS „Waldhof“ eine Anfangsgeschwindigkeit und eine Drehbewegung mitgegeben (Abbildung 5-56), welche aus der Simulation zur Ermittlung der Ursachen der Kenterung stammen. In den ersten Sekunden der Simulation wurde die Maschine mit ca. 60 % Maschinenleistung gefahren, durch eine annähernde Hart-runderlage steuerbordseitig wurde ein Stützmanöver simuliert. Das entsprach der Situation aus der Simulation unmittelbar vor der Kenterung. Etwa ab der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne

bei Rhein-km 553,75 wurde die Maschine gestoppt und das Ruder in Nulllage gebracht. Im weiteren Verlauf der Simulation minimierte sich die Treibgeschwindigkeit des TMS „Waldhof“ und erreichte kurz vor der Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“ annähernd die örtliche Fließgeschwindigkeit.

Ctrl: BRIDGE-K	FOL UP	<input type="checkbox"/> Init
Rud: > 0	Hd: 318	RoT: > 29 '/mir
Bow: > 1.8 kts	Bow: > 0.4 kts	
BT: 4.8 kts	WT: 0.7 kts	
Stern: > 0.0 kts	Stern: < 1.2 kts	

Abbildung 5-56: Anfangsgeschwindigkeit und Drehbewegung für das gekenterte TMS „Waldhof“ zu Beginn der Simulation

Der Kursweg, den ein gekentertes Schiff im Verlauf des Treibens nimmt, wird primär durch die vorherrschenden Abflussverhältnisse, die Lage des Schiffes und seines Widerstandes gegen Wasser bestimmt. Durch Überlagerung der Simulationsergebnisse mit den Radarbildern konnte eine Kontrolle in Lage und Zeit erfolgen, die eine Abschätzung ermöglicht, in wie weit die Simulation den Kursweg des gekenterten TMS „Waldhof“ rekonstruiert. Hierfür wurden die Radarbilder und die Simulationsergebnisse über Passpunkte georeferenziert überlagert. In Abbildung 5-57 ist zu erkennen, dass in der Simulation die Position des gekenterten TMS „Waldhof“, nachdem diese zum ersten Mal eindeutig wieder auf den Radaraufzeichnungen sichtbar war, sehr genau treffen.

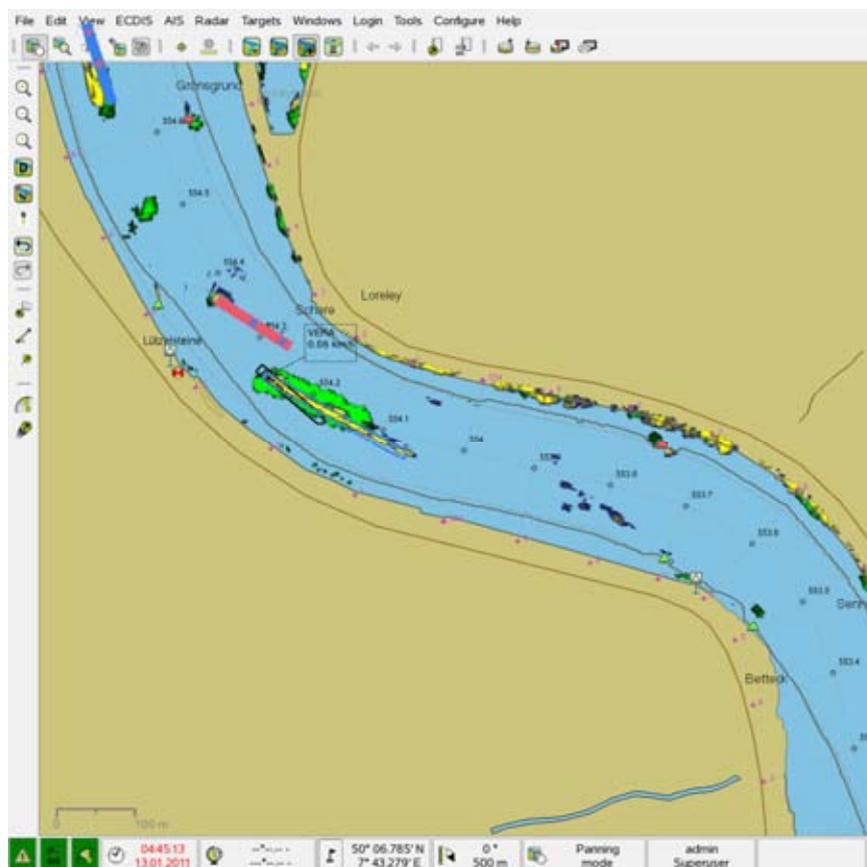


Abbildung 5-57: Überlagerte Bilder aus Radar und Simulation bei Rhein-km 554,33 um 04:45:13 Uhr nachdem das TMS „Waldhof“ erstmals eindeutig wieder auf den Radaraufzeichnungen erkannt wird

Im Anschluss trieb das TMS „Waldhof“ weiter zu Tal. Um 04:46:16 Uhr trifft das TMS „Waldhof“, mit einem Zeitversatz von 9 s gegenüber den Aufzeichnungen aus der Revierzentrale, auf den Bug des TMS „Theodorus Johan“ (Abbildung 5-58). Abbildung 5-59 zeigt die Überlagerung des Radarbildes mit den aus der Simulation ermittelten Schiffspositionen.

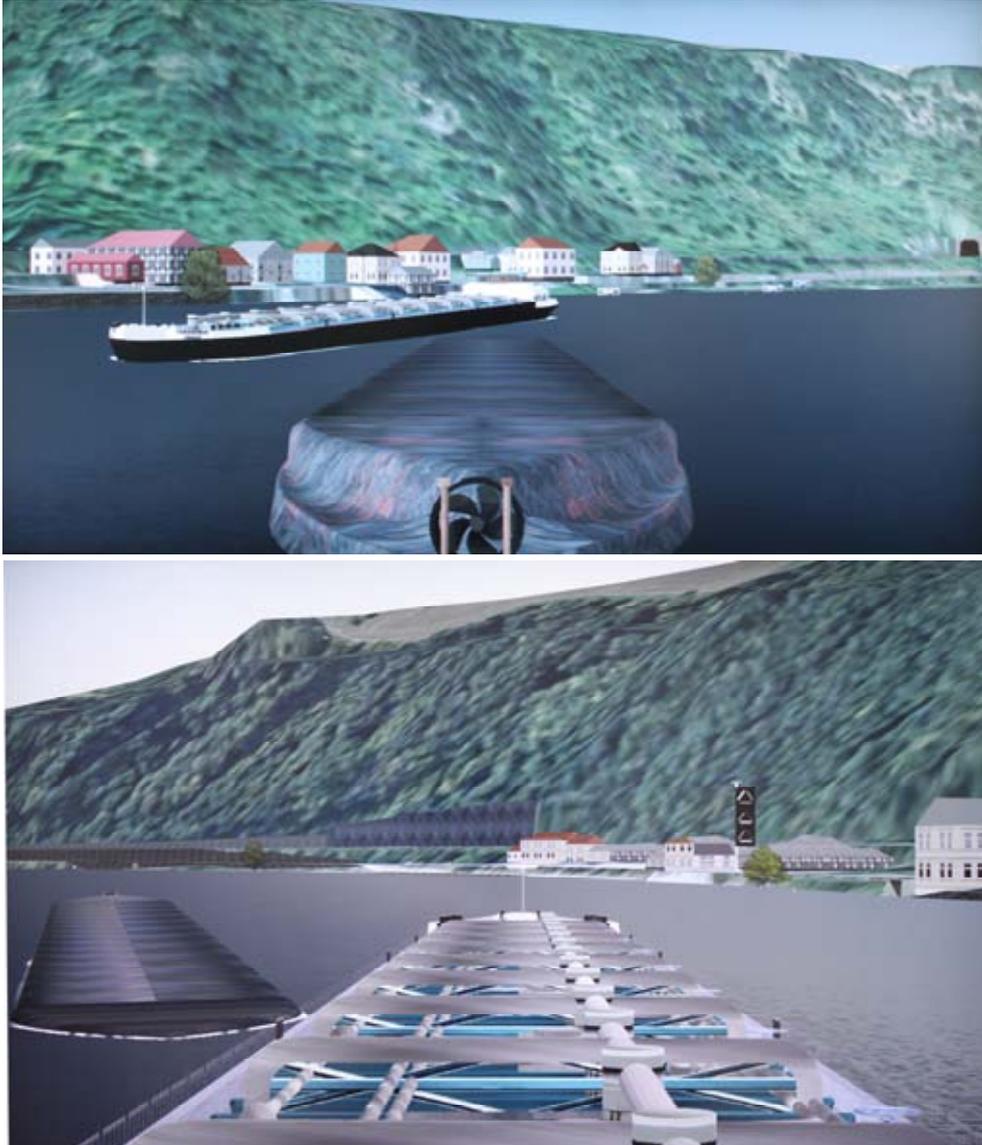


Abbildung 5-58: Kollision des TMS „Waldhof“ mit dem TMS „Theodorus Johan“ bei Rhein-km 554,55 im Schiffsführungssimulator der BAW

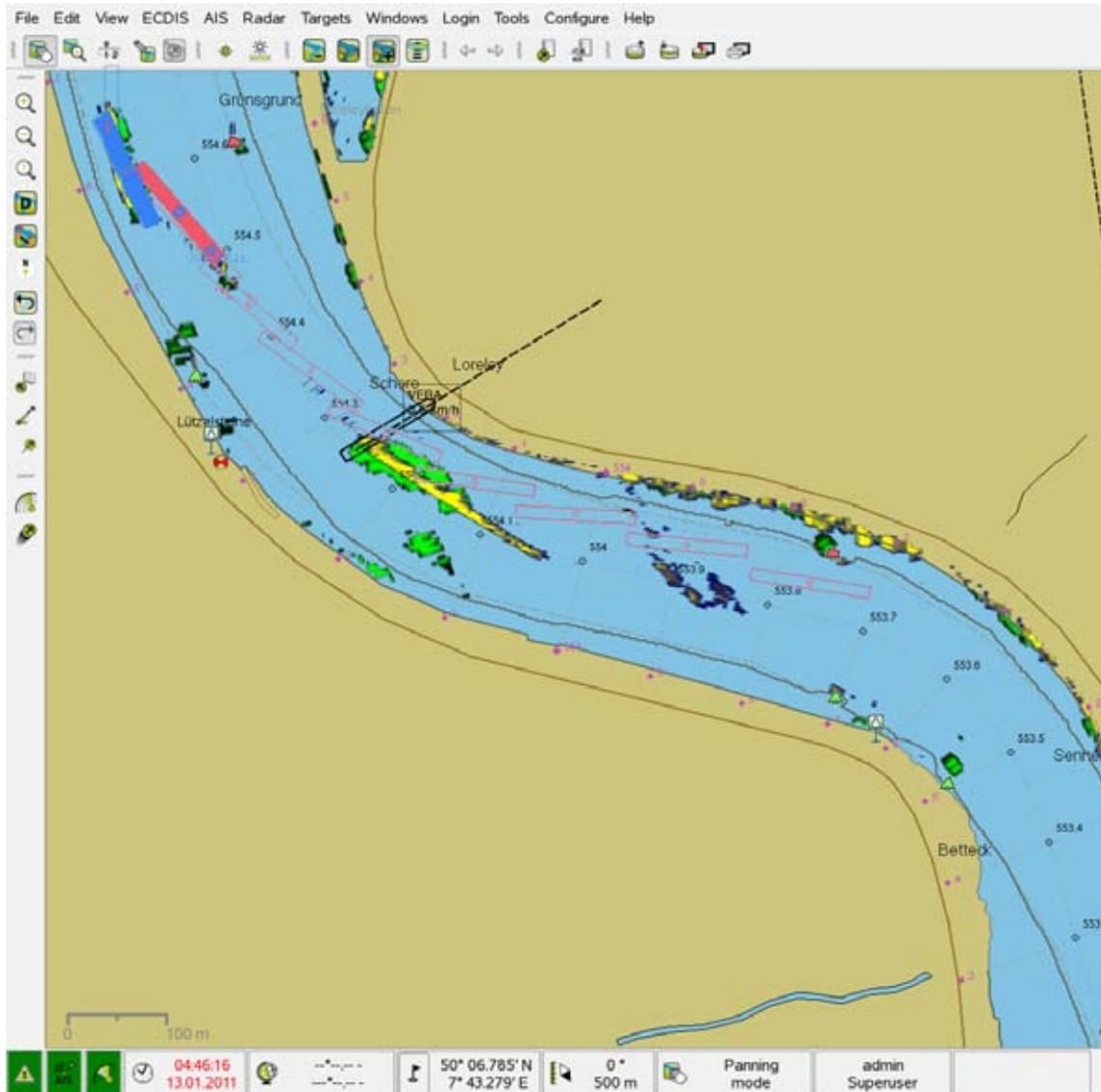


Abbildung 5-59: Simulation: Phasenaufnahmen des TMS „Waldhof“ überlagert mit dem Radarbild zum Zeitpunkt der Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“

Die Übereinstimmung der drei wesentlichen Simulationenpunkte Startposition, Wiedererscheinen nach der Begegnung mit dem SV „Vera“ und Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“ bestätigen, dass das Geschehen nach dem Kentern auf dem Schiffsführungssimulator gut abgebildet wird. Die Simulationsergebnisse bekräftigen das Untersuchungsergebnis, dass das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 kenterte.

5.4 Menschliche Faktoren (human factors)

Bei der Untersuchung über den Ablauf und die Ursachen der Kenterung des TMS „Waldhof“ hat sich die Untersuchungskommission nicht nur darauf beschränkt, die technischen, nautischen, schiffbaulichen und rechtlichen Aspekte des Unfalls näher zu betrachten und aufzuklären. Es wurde vielmehr auch Wert darauf gelegt, soweit als möglich den Einfluss menschlicher Faktoren⁹ (human factors) an der Havarie zu untersuchen und herauszuarbeiten.

Die statistische Auswertung der hier bekannten Unfälle im Binnenschiffsverkehr auf dem Rhein hat nämlich ergeben, dass die überwiegende Anzahl der Unfälle nicht auf schiffbauliche Mängel oder technische Ausfälle und Defekte, sondern auf menschliche Faktoren zurückzuführen sind (dies ist allerdings nicht mit Verschulden oder Schuld im strafrechtlichen und/oder zivilrechtlichen Sinn gleichzusetzen): Für den Bereich des Ober- und Mittelrheins zeigt eine statistische Auswertung der von den Wasserschutzpolizeien der Länder aufgenommenen Unfälle im Binnenschiffsverkehr der Jahre 2001 bis 2011, dass rund 80 % aller Unfälle auf menschlichen Faktoren und nur rund 20 % der Unfälle im Binnenschiffsverkehr auf dem Rhein auf technischem Versagen oder technischen Mängeln beruhen. Diese Ergebnisse unterstreichen insoweit die Notwendigkeit und Relevanz der Untersuchung dieser Faktoren für die Ursachenermittlung, insbesondere auch für die Verhütung zukünftiger Unfälle.

Gleichwohl war es der Unfalluntersuchungskommission aufgrund fehlender rechtlicher und faktischer Kompetenzen nicht möglich, diesen Aspekt der Unfalluntersuchung näher und ausreichend zu beleuchten sowie im Kontext der Havarie zu untersuchen und zu bewerten. Fundierte und über reine Spekulationen hinausgehende Aussagen zum Einfluss menschlicher Faktoren an dieser Havarie waren der Untersuchungskommission daher nur ansatzweise möglich.

⁹ der Begriff „menschlicher Faktor“ ... ist ein Sammelbegriff für psychische, kognitive und soziale Einflussfaktoren in sozio-technischen Systemen und Mensch-Maschine-Systemen; dabei spielen die psychischen und kognitiven Leistungen und Fähigkeiten von Menschen ebenso eine Rolle wie die Leistungs- und Fähigkeitsgrenzen (http://de.wikipedia.org/wiki/Menschlicher_Faktor - abgerufen am 20. August 2012)

5.5 Zusammenfassung der Unfallanalyse

Die Berechnungen aufgrund der Vorschriften des ADNR 2003 und des ADN 2011 haben ergeben, dass zwei von drei Intaktstabilitätskriterien dieser Vorschriften nicht erfüllt waren. Das TMS „Waldhof“ verfügte zwar über eine ausreichende Anfangsstabilität (GM), jedoch nur über eine sehr kleine dynamische Reserve (Fläche unter der Hebelarmkurve) und einen sehr kleinen aufrichtenden Hebelarm.

Für den im Ladekontrollbericht ausgewiesenen Ladefall wurden auf dem Schiffsführungssimulator der BAW Simulationen durchgeführt (Kapitel 5.2.3.2). Diese haben gezeigt, dass die krängenden Momente zu dem Zeitpunkt, als sich das Schiff im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 aufhielt, ihren Maximalwert angenommen haben. Dieser Wert liegt leicht unter dem rechnerisch ermittelten Grenzwert für das größtmögliche aufrichtende Moment (Abbildung 5-32). Das Sloshing der Ladung und 3D-Effekte der Flussströmung können ebenfalls für ein Schiff krängende Momente erzeugen, die im Binnenschiffsführungssimulator nicht berücksichtigt werden. Um derartige Effekte mit bewerten zu können, wurde vertiefende Untersuchungen mit Hilfe von 3D-HN-Berechnungen durchgeführt.

Für den Rheinabschnitt im Nahbereich der Kenterstelle zwischen Rhein-km 552,0 bis Rhein-km 554,0 wurde ein 3D-HN-Modell erstellt (Kapitel 5.2.4) und die Abflusssituation zum Zeitpunkt der Havarie berechnet. Um die Wirkung der Strömung auf den Schiffskörper bewerten zu können, wurden die Strömungsgeschwindigkeiten in einer Tiefe von zwei Metern entlang (x' -Richtung), quer (y' -Richtung) und hoch (z -Richtung) zur Bahnkurve analysiert. Dabei fallen die hohen Gradienten in den Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Kenterstelle auf. Bei der Einfahrt des Schiffes in den Kenterungsbereich ist zu erkennen, dass im hinteren Teil des Schiffes die Strömung nach oben und im vorderen Teil nach unten gerichtet ist. Das führt in Verbindung mit den freien Oberflächen in den Ladetanks dazu, dass das Schiff während der Fahrt so vertrimmt, dass sich der Bug nach unten neigt. Gleichzeitig wechselt die Queranströmung ihr Vorzeichen. Das bedeutet, dass das Schiff plötzlich aus Richtung Steuerbord angeströmt wird und ein krängendes Moment entsteht, welches das Schiff in Richtung Steuerbord krängt. Die Untersuchungen zeigen, dass etwa bei Rhein-km 553,7 im Bereich neben der roten Fahrinnenbegrenzungstonne Strömungen existieren, die für einen Talfahrer ein krängendes Moment in Richtung Steuerbord erzeugen.

Die Untersuchungen mit dem Schiffsführungssimulator, der auf tiefengemittelte 2D-HN-Strömungsdaten zurückgreift und die Kinematik der flüssigen Ladung in den Tanks nicht berücksichtigen kann, erbrachten keine ausreichend große krängenden Momente, um das TMS „Waldhof“ zum Kentern zu bringen. Mit den Untersuchungen am Schiffsführungssimulator wurden die benötigten Eingangsdaten für erweiterte dreidimensionale kinetische Untersuchungen zum Rollverhalten des Schiffes unter Berücksichtigung der Flussströmung, der vom Schiff erzeugten Wellen und der sich bewegenden Flüssigkeit mit freier Oberfläche in den teilgefüllten Ladetanks bei vorgegebenem Manöver bereitgestellt. Die erweiterten 3D-HN-Berechnungen zeigen, dass infolge des Sloshings der Ladungsbewegung und der vorherrschenden Schiffsumströmung (Unterdruckgebiete an der Steuerbordkimm) zusätzliche krängende Momente entstehen, und die Summe aller krängenden Momente im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 zum Kentern des TMS „Waldhof“ führt.

Die Simulation bestätigt die anderen Untersuchungsergebnisse, dass das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 kenterte.

6 Ablauf und Ursachen der Havarie

Am 12. Januar 2011 verließ das mit 2378 t Schwefelsäure beladene TMS „Waldhof“ den Hafen von Ludwigshafen/Rhein mit dem Ziel Antwerpen. Am 13. Januar 2011 erreichte das Schiff die Verkehrsregelungsstrecke des Rheins im Bereich der „Loreley“. Auf den Radarbildern der Revierzentrale Oberwesel wurde das TMS „Waldhof“ um 04:21:43 Uhr bei Rhein-km 547,0 erstmals gesichtet. Der Schiffsführer meldete sich per Funk um 04:29:12 Uhr bei der Revierzentrale in Oberwesel an. Während der Fahrt durch die Wahrschaustrecke (Oberwesel - St. Goar) gab es bis zu Beginn der Auflösung des Radarechos um 04:42:19 Uhr bei Rhein-km 553,75 keine Auffälligkeiten. Nach der Umfahrung des „Bettecks“ kenterte das TMS „Waldhof“ und trieb kieloben weiter talwärts, bis es am rechten Rheinufer in Höhe der Einfahrt zum Loreleyhafen bei Rhein-km 555,33 festkam.

Die Untersuchungen zur Kentierung des TMS „Waldhof“ erbrachten folgende Ergebnisse:

- das Ergebnis der Auswertung der Radarechos zeigt, dass das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 kenterte;
- die Untersuchungen auf dem Schiffsführungssimulator haben ergeben, dass im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 die krängenden Momente ihr Maximum erreichen;
- aus den Ergebnissen der 3D-HN-Modellierung kann entnommen werden, dass im Bereich neben der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,7 Strömungen existieren, die für einen Talfahrer ein krängendes Moment in Richtung Steuerbord erzeugen;
- die erweiterten dreidimensionalen kinetischen Berechnungen mit den Eingangsdaten aus dem Schiffsführungssimulator zeigen, dass die Summe aller krängenden Momente im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 zum Kentern des TMS „Waldhof“ führen.

Diese Untersuchungsergebnisse passen in sich schlüssig zusammen und lassen die Aussage zu, dass das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 um 180 Grad über Steuerbord kenterte.

6.1 Ablauf der Havarie

Auf der Grundlage der in der Revierzentrale aufgezeichneten Informationen sowie der vorliegenden Untersuchungsergebnisse konnte der Ablauf der Havarie wie folgt rekonstruiert werden:

Tabelle 6-1: Chronologischer Ablauf der Havarie des TMS „Waldhof“ am 13.01.2011

Uhrzeit	Ereignisse am 13.01.2011
04:21:43	TMS „Waldhof“ wird bei Rhein-km 547,0 erstmals durch das Radar der Revierzentrale in Oberwesel gesichtet
04:23:25	TMS „Waldhof“ begegnet dem SV „Gerda“ bei Rhein-km 547,6 an der Backbordseite ohne Auffälligkeiten.
04:27:34	TMS „Waldhof“ begegnet dem GMS „Mejana“ bei Rhein-km 549,0 an der Backbordseite ohne Auffälligkeiten.
04:29:12	TMS „Waldhof“ meldete sich per Funk bei der Revierzentrale in Oberwesel an.
04:30:26	TMS „Waldhof“ passiert das am rechten Rheinufer bei Rhein-km 550,0 ankernde TMS „Fiducia“ ohne Auffälligkeiten.
04:32:12	TMS „Waldhof“ begegnet einem namentlich nicht bekannten Schubverband bei Rhein-km 550,6 an der Backbordseite ohne Auffälligkeiten.
04:36:30	TMS „Waldhof“ begegnet dem GMS „Aragon“ bei Rhein-km 552,0 am „Geisenrücken“ (Fahrinnenteilung) an der Backbordseite ohne Auffälligkeiten. Das TMS „Waldhof“ nutzt den für die Talfahrt vorgeschriebenen rechten Fahrinnenarm. Das GMS „Aragon“ hatte sich als Bergfahrer für den linken Fahrinnenarm entschieden.
04:38:07	TMS „Waldhof“ reduziert ab Rhein-km 552,5 seine Geschwindigkeit gegen Wasser, um die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ vorzubereiten.
04:39:02	Etwa ab diesem Zeitpunkt ist bei Rhein-km 552,76 ein Sichtkontakt vom Steuerhaus des TMS „Waldhof“ zum Toplicht im Bug des GMS „Acropolis“ möglich.
04:40:05	TMS „Waldhof“ erhöht ab Rhein-km 553,04 kontinuierlich seine Geschwindigkeit gegen Wasser und leitet die Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ ein.
04:41:20	TMS „Waldhof“ begegnet am „Betteck“ (Rhein-km 553,43) mit dem GMS „Acropolis“ ohne Auffälligkeiten.
04:41:25	Infolge der Begegnung beginnt das TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,46 die Durchfahrung der Krümmung am „Betteck“ mit einem kleineren Radius, was eine Erhöhung der Quereschleunigung des Schiffes zur Folge hat.
04:42:08	Beginn der Auflösung des Radarbildes des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,67.
04:42:09	TMS „Waldhof“ leitet bei Rhein-km 553,68 ein Stützmanöver ein, um die Drehung des Schiffes um seine Hochachse z zu beenden.
04:42:13	TMS „Waldhof“ gelangt am Ausgang der Krümmung am „Betteck“ etwa bei Rhein-km 553,7 in die rechte Fahrinnenhälfte und gerät in ein Strömungsfeld, welches für einen Talfahrer ein krängendes Moment in Richtung Steuerbord erzeugt. Dieses Strömungsfeld verstärkt zusätzlich das Unterdruckgebiet unter der Steuerbordkimm.

04:42:15	Bis zu diesem Zeitpunkt (Rhein-km 553,71) war die Hauptantriebsanlage des TMS „Waldhof“ sicher in Betrieb.
04:42:19	Die krängenden Momente aus der Kurvenfahrt, der Ladungsverschiebung inkl. Sloshing und der dreidimensionalen Umströmung des Schiffskörpers mit den sich herausbildenden Unterdruckgebieten an der Steuerbordkimm des TMS „Waldhof“ werden größer als das maximal mögliche aufrichtende Moment. In der Folge kentert das TMS „Waldhof“ im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 um 180 Grad über Steuerbord. Das TMS „Waldhof“ verschwindet im Bereich der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein-km 553,75 von den Radarbildern der Revierzentrale.
04:44:39	Gekentertes TMS „Waldhof“ treibt bei Rhein-km 554,2 kieloben an dem SV „Vera“ vorbei.
04:45:13	Gekentertes TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 554,33 erstmals eindeutig in ihrer Position auf dem Radarbild zu sehen.
04:46:16	Bug des gekenterten TMS „Waldhof“ kollidiert bei Rhein-km 554,55 kieloben mit dem TMS „Theodorus Johan“.
04:47:59	Gekentertes TMS „Waldhof“ trifft kieloben mit dem Bug bei Rhein-km 554,85 auf das linke Rheinufer (Campingplatz).
04:49:22	Gekentertes TMS „Waldhof“ treibt kieloben bei Rhein-km 555,0 quer in der Strömung liegend an dem TMS „Emma“ vorbei.
04:51:11	Gekentertes TMS „Waldhof“ treibt kieloben bei Rhein-km 555,3 quer in der Strömung liegend an dem SV „Colombia“ vorbei.
04:52:12	Gekentertes TMS „Waldhof“ kommt bei Rhein-km 555,33 fest.

6.2 Ursachen der Havarie

Die Ursachen für die Havarie lagen darin, dass

- das TMS „Waldhof“ die Fahrt angetreten und durchgeführt hat, obgleich eine ausreichende und vorschriftenkonforme Stabilität (Schwimmstabilität) des Fahrzeugs aufgrund unzulässiger Beladung (Teilfüllung aller sieben Ladetanks) nicht vorgelegen hat.

Darüber hinaus trugen zur Havarie bei

- die hohen Querbeschleunigungen infolge der Kurvenfahrt am „Betteck“ mit einem sehr kleinen Radius;
- die krängenden Momente aus den dynamischen Effekten bei der Bewegung der Ladung in den Tanks;
- die krängenden Momente infolge der örtlichen Umströmung des Schiffskörpers und sich herausbildender Unterdruckgebiete an der Steuerbordkimm des Schiffes im Bereich der Havariestelle bei Rhein-km 553,75.

In der Summe überschritten die krängenden Momente insbesondere aus der Kurvenfahrt, der Ladungsverschiebung inkl. Sloshing und der dreidimensionalen Umströmung des Schiffskörpers mit den sich herausbildenden Unterdruckgebieten an der Steuerbordkimm des Schiffes das maximal mögliche aufrichtende Moment, so dass das unzulässig beladene Schiff über Steuerbord um 180 Grad kenterte.

Faktoren, die das Geschehen beeinflusst haben können, sind außerdem

- die schwierige und für die Schiffsführung des TMS „Waldhof“ ungewohnte Strömungssituation infolge des Hochwassers im Streckenabschnitt unterhalb des „Bettecks“;
- der Einfluss der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ (Einfluss der Kurslinie) bei Nacht;
- das hohe Verkehrsaufkommen (Bergfahrt);
- die fehlenden Möglichkeiten an Bord, von den im „Stabilitätsbuch“ geprüften und genehmigten Ladefällen abweichende Ladefälle zu berechnen und hinsichtlich der Einhaltung der Stabilitätskriterien des ADN zu überprüfen;
- die fehlende Ausrüstung des TMS „Waldhof“ mit AIS.

Die Unfalluntersuchung hat hingegen keine belastbaren Anhaltspunkte dafür ergeben, dass bei TMS „Waldhof“ Bau- oder Ausrüstungsmängel, technische Defekte, Ausfälle der Maschinen- oder Ruderanlage, Leckagen oder nautische Fahrfehler der Schiffsführung vorgelegen hätten. Als Ursache oder Mitursache der Kenterung sind diese Faktoren ebenso auszuschließen wie Grundberührungen oder Uferanfahrungen.

7 Vorschläge und Empfehlungen¹⁰

In Auswertung der während des Unfalluntersuchungsverfahrens gewonnenen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der zum 1. Januar 2013 in Kraft tretenden Änderungen und Ergänzungen des ADN (siehe Abschnitt 8) werden folgende weitere Maßnahmen vorgeschlagen und empfohlen:

7.1 Änderungen des ADN

Die Regelung des Absatzes 7.2.4.21.3 ADN 2011 (Berechnung des maximal zulässigen Füllungsgrades der Ladetanks) erscheint im Hinblick auf die inhaltlichen Erweiterungen des ADN 2013 überflüssig und sollte mit dem Ziel überprüft werden, die Vorschrift zukünftig zu streichen.

7.2 Änderungen der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung

Auf dem Rhein sollte

- eine verpflichtende Ausrüstungs- und Benutzungspflicht von AIS mit Inland-ECDIS beschlossen und zügig umgesetzt werden;
- am „Betteck“, am „Banneck“ und am „Tauberwerth“ in Anbetracht der Regelung des § 10.01 Nr. 1 a und b RheinSchPV ab Erreichen der Hochwassermarke I ein Begegnungsverbot für Fahrzeuge und Verbände (ausgenommen Kleinfahrzeuge) eingeführt werden.

7.3 Prüfungen zum Erwerb des Großen Rheinpatents

Die Prüfungen zum Erwerb des Großen Rheinpatents nach der Verordnung über das Schiffspersonal auf dem Rhein (früher: Rheinpatentverordnung) sollten dahingehend erweitert werden, dass Fragen zur Schwimmstabilität (Intakt- und Leckstabilität) in der Trockengüterschiffahrt, der Tankschiffahrt und der Containerschiffahrt in erweiterter Form in das Prüfungsprogramm mit aufgenommen werden.

7.4 Ausbildung der Binnenschiffer

Die Ausbildungsinhalte der verschiedenen Schifferberufsschulen sollten insoweit überprüft und ggf. dahingehend erweitert werden, dass den angehenden Binnenschiffern ausreichende Kenntnisse über die Schwimmstabilität in der Trockengüterschiffahrt, der Tankschiffahrt und der Containerschiffahrt sowie über die allgemeine Funktionsweise, die Möglichkeiten und die Grenzen von Ladungsrechnern vermittelt werden.

7.5 Schulung des Personals der Tankschiffsreedereien

Die Eigentümer und/oder Betreiber von Tankschiffen sollten sowohl das eigene nautische Personal an Bord als auch das nicht nautische Personal an Land (Disponenten) regelmäßig im Rahmen interner oder externer Schulungen zu Fragen der Schwimmstabilität und Schiffssicherheit fortbilden. Das nautische Personal an Bord sollte darüber hinaus regelmäßig im Umgang und der Anwendung der speziellen Ladungsrechner an Bord der reedereieigenen Tankschiffe eingewiesen und geschult werden.

¹⁰ die Vorschläge und Empfehlungen stellen weder nach Art, Anzahl oder Reihenfolge eine Feststellung oder Vermutung hinsichtlich des Verschuldens oder der Haftung an der Havarie dar

7.6 Weitere Vorschläge

- Die für die Erteilung eines Schiffsattestes zuständigen Behörden sollten - soweit möglich - den Eintrag des größten Tiefgangs im Schiffsattest unter Berücksichtigung des kleinsten der maximal zulässigen Tiefgänge aus Stabilität, Festigkeit und Freibord vornehmen.
- Die zuständigen Gremien sollten die Möglichkeit prüfen, in der Inland-ENC des Rheins für den Bereich der Gebirgsstrecke zwischen Oberwesel und St. Goar eine „Caution Area“ auszuweisen, die die Schiffsführungen auf die Besonderheiten dieser Strecke (z.B. Strömungsverhältnisse über der Hochwassermarkte I etc.) hinweist und besonders darauf aufmerksam macht.

8 Schlussbemerkung

Die im Kontext der Kenterung des TMS „Waldhof“ in Fachkreisen und in der interessierten Öffentlichkeit viel diskutierte Frage über die Notwendigkeit von Mittellängsschotten bei Doppelhüllenschiffen bewertet die Unfalluntersuchungskommission wie folgt:

Doppelhüllenbinnentankschiffe mit sog. Centertanks sind grundsätzlich sicher, soweit die bestehenden Stabilitätsvorschriften des ADN strikt beachtet und angewendet sowie die von der Klassifikationsgesellschaft geprüften und zum jeweiligen Schiff gehörenden Stabilitätsberechnungen („Stabilitätshandbuch“) bei der Beladung des Schiffes umfassend berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund erachtet die Untersuchungskommission eine Änderung der Bauvorschriften des ADN dahingehend, dass bei Doppelhüllentankschiffen zwingend sog. Mittellängsschotte einzubauen sind, nicht für erforderlich. Die Bestimmungen des ADN 2011 über die Stabilität (Intakt- und Leckstabilität)¹¹ stellen im Vergleich zum Einbau von Mittellängsschotten in Centertanks ein vergleichbares Sicherheitsniveau dar, so dass es dem jeweiligen Eigentümer des Tankschiffes überlassen bleiben sollte, ob die eine oder die andere Variante gewählt wird.

Dies gilt um so mehr, als die zuständigen Gremien bereits erste rechtliche Folgerungen aus der Havarie des TMS „Waldhof“ gezogen und die Sicherheitsanforderungen nochmals erhöht haben: Auf internationaler Ebene (UNECE) ist das ADN dahingehend geändert worden (ADN 2013), dass u.a. ab 1. Januar 2013

- der Begriff „Ladungsrechner“ erstmalig definiert und der zu leistende Funktionsinhalt und -umfang beschrieben wird;
- bei der Beförderung von gefährlichen Gütern der hauptverantwortliche Schiffsführer zugleich ein Sachkundiger i.S. des ADN sein muss;
- die Sachkundigenausbildung und -prüfung zukünftig auch Grundlagen zur Schiffsstabilität enthält;
- die „Schiffsstoffliste“ der zuständigen Behörde (ZSUK) für die Erteilung der Zulassungszeugnisse vorzulegen und von dieser aufzubewahren ist;
- die Aussagekraft der „Schiffsstoffliste“ im ADN erhöht und der Inhalt näher und weitergehend beschrieben und erläutert wird;
- das „Stabilitätshandbuch“ an Bord in einer für den Schiffsführer verständlichen Form und Sprache abgefasst sein muss;
- das Schiff die Intakt- und Leckstabilitätsanforderungen für jeden Ladefall unter Berücksichtigung der tatsächlichen Füllung der Lade- und aller sonstigen Tanks sowie bezüglich der relativen Dichten aller in der „Schiffsstoffliste“ enthaltenen Stoffe erfüllen muss und Zwischenzustände der Reise ebenfalls berücksichtigt werden müssen;
- die Stabilitätsunterlagen mit diesem Nachweis und den eingereichten sowie durch die Klassifikationsgesellschaft genehmigten Ladefällen in einem „Stabilitätshandbuch“ zusammenzufassen sind; wenn nicht alle Ladefälle und Ballastfälle konkret berücksichtigt wurden, muss zusätzlich ein von der Klassifikationsgesellschaft genehmigter Ladungsrechner, der die Inhalte des Stabilitätshandbuches abbildet, installiert und genutzt werden;
- unter bestimmten Voraussetzungen fest installierte Niveau-Anzeigegeräte in den Ballasttanks installiert und zur Kontrolle verwendet werden müssen.

¹¹ Unterabschnitte 9.3.2.13, 9.3.2.14 und 9.3.2.15 des ADN 2011

Abkürzungsverzeichnis

ADN	Anlage zum Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (A ccord e uropéen relatif au transport international des marchandises d angereuses par voie de n avigation intérieure)
ADNR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein (A ccord européen relatif au transport international des marchandises d angereuses par voie de n avigation intérieure R hin)
AIS	Automatisches Schiffsidentifizierungssystem (A utomatic I dentification S ystem)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BinSchUO	Binnenschiffsuntersuchungsordnung
COG	Course over ground / Schiffskurs über Grund
DWD	Deutscher Wetterdienst
ENC	Elektronische Navigationskarte (E lectronic N avigational C hart)
ENI	Einheitliche europäische Schiffsnummer
FVT	Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GL	Germanischer Lloyd
GMS	Gütermotorschiff
HDG	Heading / Kurs
HWM	Hochwassermarke
MIB	Melde- und Informationssystem Binnenschifffahrt
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RadarPatV	Verordnung über die Erteilung von Radarpatenten
RheinPatV	Rheinpatentverordnung
RheinSchPV	Rheinschifffahrtspolizeiverordnung
RheinSchUO	Rheinschiffsuntersuchungsordnung
rho	Dichte (griechisch: ρ)
SOG	Speed over ground / Schiffsgeschwindigkeit über Grund
SV	Schubverband
TMS	Tankmotorschiff
UNECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (U nited N ations E conomic C ommission for E urope)
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSD	Wasser- und Schifffahrtsdirektion
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
ZfB	Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen
ZSUK	Zentrale Schiffsuntersuchungskommission/Schiffseichamt

Begriffserläuterungen

Bergfahrer Bergfahrt	Fahrzeug, welches gegen die Strömung fährt Fahrt in Richtung Quelle
Gasöl	steuerfreier Dieselkraftstoff
Kimm Klasse	Übergang vom Schiffsboden zur Bordwand Klassifizierung der gefährlichen Güter nach ADN/ADNR (Klasse 1 bis Klasse 9 mit Unterklassen) gemäß Teil 2 ADN/ADNR
Kofferdamm	querschiffs liegende Abteilung des Schiffes, die durch wasserdichte Schotte begrenzt wird
Kolk	Vertiefung (Auskolkung) am Grund strömender Gewässer
Ladungsrechner	spezielle - für das jeweilige Tankschiff individualisierte - Software (nebst Hardware), die für alle Beladungs- und Ballastfälle die zulässigen Werte hinsichtlich der Stabilität und der Längsfestigkeit berechnet
Pantokarenen	Kurven, die die aufrichtenden Hebelarme in Abhängigkeit von den Krängungswinkeln darstellen
pH-Wert	Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung (pH 0 = sauer; pH 7 = neutral; pH 14 = alkalisch)
Prallhang	Ufer an der Außenseite einer Flusskrümmung, gegen das die Strömung prallt
Radarfahrt	Fahrt unter Radar, wobei alle zur Führung eines Schiffes erforderliche Informationen, aufgrund der Unmöglichkeit der visuellen Wahrnehmung, aus dem Radarbild und über Funk gewonnen werden
Schanzkleid Schiffahrtspolizei	Schutzwehr oberhalb der Bordwand Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs sowie die Verhütung von der Schifffahrt ausgehender Gefahren
Sicken	rinnenförmige Vertiefungen, die zur Erhöhung der Steifheit von Einzelteilen und somit zur Erhöhung der Festigkeit von aus diesen Einzelteilen gefertigten Konstruktionen dienen
Sloshing	Schwappen von Flüssigkeiten mit freier Oberfläche innerhalb eines Tanks oder eines sonstigen Behälters
Sloptank	Tank zur Aufnahme von Schmutzwasser und Resten von Öl und Chemikalien
Schott	quer zwischen den Bordwänden oder längs zwischen Querschotten verlaufende Trennwand
Stoffliste	Liste aller im Tankschiff zur Beförderung zugelassenen gefährlichen Güter; die Stoffliste wird von einer Klassifikationsgesellschaft unter Berücksichtigung der Materialverträglichkeit und der Ausrüstung des Schiffes aufgestellt
Spant	an den Seiten des Schiffes vom Boden aufwärts strebende Rippen, die ein durchlaufendes Gerüst bilden, auf dem die Stahlplatten befestigt werden
Stabilität	Eigenschaft eines schwimmenden Körpers (z.B. Schiff), eine aufrechte Schwimmlage beizubehalten oder sich als Reaktion auf ein krängendes Moment selbständig wieder aufzurichten
Talfahrer Talfahrt	Fahrzeug, welches mit der Strömung fährt Fahrt in Richtung Mündung

UN-Nummer	Vierstellige Zahl als Nummer zur Kennzeichnung von Stoffen oder Gegenständen gemäß dem Modellvorschriftenwerk der „UN-Empfehlungen über die Beförderung gefährlicher Güter“
Verpackungsgruppe	eine Gruppe, der Stoffe auf Grund ihres Gefahrgades während der Beförderung zugeordnet sind (Gruppe I: Stoffe mit hoher Gefahr; Gruppe II: Stoffe mit mittlerer Gefahr; Gruppe III: Stoffe mit geringer Gefahr)
Wallgang	Raum, der sich zwischen der Schiffsaußenhaut und der Ladetankwand befindet

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	TMS „Waldhof“ (Photo © Michael Harms - www.micharms.de)	13
Abbildung 2-2:	Schematischer Tankplan des TMS „Waldhof“	16
Abbildung 2-3:	Schematischer Querschnitt des TMS „Waldhof“	16
Abbildung 2-4:	Vergleich zwischen Schwefelsäure (96 %) und Wasser	24
Abbildung 2-5:	Vergleich zwischen Schwefelsäure (96 %) unterschiedlicher Temperatur	25
Abbildung 2-6:	Wasserstände am Pegel Kaub (Rhein-km 546,23)	27
Abbildung 2-7:	Fließgeschwindigkeiten (links) und Tiefeninformationen (rechts) aus dem 2D-HN-Modell	28
Abbildung 3-1:	Radarstation R1 an der Revierzentrale in Oberwesel (Rhein-km 550,58)	33
Abbildung 3-2:	Radarstation R4 am „Bankeck“ (Rhein-km 555,43)	33
Abbildung 3-3:	Darstellung der Verkehrssituation am Arbeitsplatz des Wahrschauers in der Revierzentrale Oberwesel	34
Abbildung 3-4:	Typisches Monitorbild des Wahrschauers in der Revierzentrale Oberwesel mit elektronischer Flusskarte IENC, Radarechos der Stationen R1 und R2 sowie Inland-AIS-Daten	34
Abbildung 3-5:	Karte des Rheinabschnitts von Rhein-km 556,0 bis Rhein-km 549,0	36
Abbildung 3-6:	Entfernungsabhängige Zielflächenverbreiterung eines Punktziels	37
Abbildung 3-7:	Radarbild R1 um 04:21:55 Uhr	39
Abbildung 3-8:	Radarbild R1 um 04:23:25 Uhr	39
Abbildung 3-9:	Radarbild R1 um 04:27:26 Uhr	39
Abbildung 3-10:	Radarbild R1 um 04:30:11 Uhr	40
Abbildung 3-11:	Radarbild R1 um 04:32:10 Uhr	40
Abbildung 3-12:	Radarbild R1 um 04:36:26 Uhr	40
Abbildung 3-13:	Radarbild R1 um 04:37:56 Uhr	41
Abbildung 3-14:	Radarbild R2 um 04:38:00 Uhr	41
Abbildung 3-15:	Radarbild R2 um 04:38:30 Uhr	41
Abbildung 3-16:	Radarbild R2 um 04:39:30 Uhr	42
Abbildung 3-17:	Radarbild R2 um 04:39:45 Uhr	42
Abbildung 3-18:	Radarbild R2 um 04:40:00 Uhr	42
Abbildung 3-19:	Radarbild R2 um 04:40:15 Uhr	43
Abbildung 3-20:	Radarbild R2 um 04:40:30 Uhr	43
Abbildung 3-21:	Radarbild R2 um 04:40:45 Uhr	43
Abbildung 3-22:	Radarbild R2 um 04:41:00 Uhr	44
Abbildung 3-23:	Radarbild R2 um 04:41:15 Uhr	44
Abbildung 3-24:	Radarbild R2 um 04:41:30 Uhr	44
Abbildung 3-25:	Radarbild R2 um 04:41:45 Uhr	45
Abbildung 3-26:	Radarbild R2 um 04:42:00 Uhr	45
Abbildung 3-27:	Radarbild R2 um 04:42:15 Uhr	45
Abbildung 3-28:	Radarbild R3 um 04:42:01 Uhr	46
Abbildung 3-29:	Radarbild R3 um 04:42:16 Uhr	46
Abbildung 3-30:	Radarbild R3 um 04:42:31 Uhr	46
Abbildung 3-31:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:42:29 Uhr	47
Abbildung 3-32:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:45:29 Uhr	47
Abbildung 3-33:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:46:19 Uhr	48
Abbildung 3-34:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:47:59 Uhr	48
Abbildung 3-35:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:48:29 Uhr	49
Abbildung 3-36:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:49:19 Uhr	49
Abbildung 3-37:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:49:29 Uhr	50
Abbildung 3-38:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:50:09 Uhr	50
Abbildung 3-39:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:50:39 Uhr	51
Abbildung 3-40:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:19 Uhr	51
Abbildung 3-41:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:39 Uhr	52
Abbildung 3-42:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:51:59 Uhr	52

Abbildung 3-43:	Überlagertes Radarbild (R2,R3,R4) um 04:52:09 Uhr	53
Abbildung 3-44:	Bug-Positionen des TMS „Waldhof“	55
Abbildung 3-45:	Heading-Werte des TMS „Waldhof“	55
Abbildung 3-46:	Radarbild R3 um 04:42:01 Uhr	56
Abbildung 3-47:	Radarbild R3 um 04:42:03 Uhr	57
Abbildung 3-48:	Radarbild R3 um 04:42:05 Uhr	57
Abbildung 3-49:	Radarbild R3 um 04:42:07 Uhr	58
Abbildung 3-50:	Radarbild R3 um 04:42:09 Uhr	58
Abbildung 3-51:	Radarbild R3 um 04:42:11 Uhr	59
Abbildung 3-52:	Radarbild R3 um 04:42:13 Uhr	59
Abbildung 3-53:	Radarbild R3 um 04:42:15 Uhr	60
Abbildung 3-54:	Radarbild R3 um 04:42:17 Uhr	60
Abbildung 3-55:	Radarbild R3 um 04:42:18 Uhr	61
Abbildung 3-56:	Radarbild R3 um 04:42:21 Uhr	61
Abbildung 3-57:	Radarbild R3 um 04:42:24 Uhr	62
Abbildung 3-58:	Fahr- und Schwimmweg des TMS „Waldhof“ vom „Geisenrücken“ bis zum Festkommen	64
Abbildung 3-59:	Lage der Radarstationen und Übersicht des chronologischen Ablaufs der Havarie des TMS „Waldhof“ am 13.01.2011	65
Abbildung 3-60:	Schubverband „Gerda“	66
Abbildung 3-61:	Gütermotorschiff „Mejana“	67
Abbildung 3-62:	Gütermotorschiff „Fiducia“	67
Abbildung 3-63:	Gütermotorschiff „Aragon“	67
Abbildung 3-64:	Gütermotorschiff „Acropolis“	68
Abbildung 3-65:	Das Verschwinden des TMS „Waldhof“ vom Radar	68
Abbildung 3-66:	Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit der Fahrspur des TMS „Waldhof“ zwischen „Betteck“ und „Loreley“	69
Abbildung 3-67:	Bugstrahlruder	70
Abbildung 3-68:	Ruder und Propeller in Düse	70
Abbildung 3-69:	Ruderhebelstellung	70
Abbildung 3-70:	Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem SV „Vera“ (Radarbild)	70
Abbildung 3-71:	Schubverband „Vera“	70
Abbildung 3-72:	Kollision zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem TMS „Theodorus Johan“ (Radarbild)	71
Abbildung 3-73:	Tankmotorschiff „Theodorus Johan“	71
Abbildung 3-74:	Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-H-Modell zwischen Rhein-km 554,2 bis Rhein-km 554,7	72
Abbildung 3-75:	Uferanfahrung durch das TMS „Waldhof“ (Radarbild)	72
Abbildung 3-76:	Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-HN-Modell zwischen Rhein-km 554,7 bis Rhein-km 555,2	73
Abbildung 3-77:	Vorschiff des TMS „Waldhof“ (links; Bildquelle: binnenschifferforum.de), Videokamera vom Bug des TMS „Waldhof“ (rechts)	74
Abbildung 3-78:	Oberseite des Schanzkleids	74
Abbildung 3-79:	Schanzkleid am Bug	74
Abbildung 3-80:	Uferanfahrung noch unter Wasser	74
Abbildung 3-81:	Freigelegte Uferanfahrung	74
Abbildung 3-82:	Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit dem Schiffssymbol des TMS „Waldhof“ im Bereich der Uferanfahrung	75
Abbildung 3-83:	Skizze zum Ablauf der Uferanfahrung	75
Abbildung 3-84:	Tankmotorschiff „Emma“	76
Abbildung 3-85:	Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem TMS „Emma“ (Radarbild)	76
Abbildung 3-86:	Begegnung zwischen dem TMS „Waldhof“ und dem SV „Colombia“ (Radarbild)	77
Abbildung 3-87:	Schubverband „Colombia“	77
Abbildung 3-88:	Fließgeschwindigkeiten aus dem 2D-HN-Modell im Bereich der „Bank“	77
Abbildung 3-89:	Tiefeninformationen aus dem 2D-HN-Modell überlagert mit dem Schiffssymbol des TMS „Waldhof“ im Bereich des Festkommens	78

Abbildung 3-90:	Gekentertes TMS „Waldhof“ - 13.01.2011	79
Abbildung 3-91:	Gekentertes TMS „Waldhof“ - 02.02.2011	79
Abbildung 4-1:	Stilllieger von Basel bis Bingen vor Freigabe der Talfahrt am 03.02.2011	83
Abbildung 4-2:	Veränderung des pH-Wertes des Rheins in Koblenz am 13. und 14.01.2011 (Quelle: BfG)	84
Abbildung 4-3:	Hochgeschwindigkeitsventil im Querschnitt (Quelle: PTB)	85
Abbildung 4-4:	Hochgeschwindigkeitsventil Typ HS (© PRES-VAC Engineering A/S)	86
Abbildung 4-5:	Wärmebildphoto (Luftaufnahme) des TMS „Waldhof“ am 14.01.2011; Wärmeentwicklung (grün) in den Tanks 6 und 7	87
Abbildung 5-1:	Intaktgrenzkurve nach ADNR 2003 und ADN 2011	91
Abbildung 5-2:	Binnenschiffsführungssimulator der BAW in Karlsruhe	95
Abbildung 5-3:	Geländemodell mit generischen Texturen für eine Simulationsfahrt	96
Abbildung 5-4:	Schiffsmodell des TMS „Waldhof“ für den Binnenschiffsführungssimulator	96
Abbildung 5-5:	Freiheitsgrade der Schiffsbewegungen	97
Abbildung 5-6:	Für die Simulation verwendete Hebelarmkurve	98
Abbildung 5-7:	Elektronische Navigationskarte (Inland ENC)	99
Abbildung 5-8:	Phasenaufnahmen des TMS „Waldhof“ im Radarpilot 720° des Schiffsführungssimulators	100
Abbildung 5-9:	Beginn der Begegnung (Bug/Bug) des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ um 04:41:02 Uhr	101
Abbildung 5-10:	Ende der Begegnung (Heck/Heck) des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“ um 04:41:35 Uhr	102
Abbildung 5-11:	Darstellung der Geschwindigkeit über Grund im Bereich des „Bettecks“ für das TMS „Waldhof“ bzw. das GMS „Acropolis“	103
Abbildung 5-12:	Beginn der Auflösung des Radarbildes des TMS „Waldhof“ um 04:42:08 Uhr	103
Abbildung 5-13:	TMS „Waldhof“ auf den Radarbildern gänzlich verschwunden um 04:42:20 Uhr	104
Abbildung 5-14:	Auswirkung der Fahrdynamik eines Binnenschiffes auf die Schiffsgeschwindigkeit	105
Abbildung 5-15:	Geschwindigkeit über Grund bezogen auf den Flusskilometer	107
Abbildung 5-16:	Geschwindigkeit über Grund bezogen auf die Uhrzeit	107
Abbildung 5-17:	Beginn des Geschwindigkeitsabfalls des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 552,5 um 04:38:07 Uhr (Situation zwei Sekunden später um 04:38:09 Uhr dargestellt)	109
Abbildung 5-18:	Beginn des Geschwindigkeitsanstiegs des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,04 um 04:40:05 Uhr	110
Abbildung 5-19:	Potentielle Verschiebung der Begegnung am „Betteck“ nach oberstrom bei einer Verringerung der Fließgeschwindigkeiten um 0,3 m/s (rot), 0,5 m/s (gelb) und 0,7 m/s (blau)	112
Abbildung 5-20:	Fahrspuren zu Tal fahrender GMS vor der Havarie bei annähernd gleichen Abflussverhältnissen	113
Abbildung 5-21:	Fahrspur des TMS „Waldhof“ im Vergleich zu anderen Schiffen annähernd gleicher Größe	114
Abbildung 5-22:	Fahrspuren der Begegnung des TMS „Waldhof“ mit dem GMS „Acropolis“	115
Abbildung 5-23:	TMS „Waldhof“ - Schiffsgeschwindigkeit über Grund und gegen Wasser	116
Abbildung 5-24:	Simulation: Stopp der Hauptantriebsanlage	118
Abbildung 5-25:	Simulation: Überfahung der roten Fahrrinnenbegrenzungstonne bei Rhein- km 553,75	118
Abbildung 5-26:	Radarbilder des TMS „Waldhof“ zeigen bei Rhein-km 553,7 keinen Drehimpuls um die Hochachse	119
Abbildung 5-27:	Rhein-km 553,6 bis Rhein-km 553,8: Drehimpuls bleibt in der Simulation bei nicht laufender Hauptantriebsanlage erhalten	120
Abbildung 5-28:	Stabilität eines Binnenschiffes: a) Aufrechte ungestörte Schwimmlage, b) Gekrängte Schwimmlage mit unbeweglicher Ladung, c) Gekrängte Schwimmlage mit beweglicher Ladung	124
Abbildung 5-29:	Vergleich der Positionen des TMS „Waldhof“ aus den Radaraufzeichnungen und aus der Simulation	125
Abbildung 5-30:	Vergleich der Geschwindigkeit über Grund des TMS „Waldhof“ aus den Radaraufzeichnungen und aus der Simulation	126
Abbildung 5-31:	Verlauf der Ruderwinkel aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“	127

Abbildung 5-32:	Verlauf der krängenden Momente aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“	127
Abbildung 5-33:	Schiffspositionen aus der Simulationsfahrt des TMS „Waldhof“ (Markierungen in Abbildung 5-32)	128
Abbildung 5-34:	Wassertiefen aus dem tiefengemittelten 2D-HN-Modell bei einem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$	130
Abbildung 5-35:	Fließgeschwindigkeiten aus dem tiefengemittelten 2D-HN-Modell bei einem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$	131
Abbildung 5-36:	Projektion des Berechnungsgitters des 3D-HN-Modells auf die Gewässersohle bzw. auf ausgewählte Profilquerschnitte	132
Abbildung 5-37:	Darstellung der Fließgeschwindigkeiten (Messung links; Berechnung rechts) bei einem Mittelwasserabfluss von $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$ an den drei Messprofilen bei Rhein-km 553,5, Rhein-km 553,65 und Rhein-km 553,8	132
Abbildung 5-38:	Darstellung der Fließgeschwindigkeiten und Fließgeschwindigkeitsvektoren aus dem 2D-HN-Modell (links) und dem 3D-HN-Modell (rechts) bei dem Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$	133
Abbildung 5-39:	Fließgeschwindigkeiten bei dem untersuchten Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$ in unterschiedlichen Wassertiefen (1 m, 2 m und 3 m unter der Wasserspiegellage)	134
Abbildung 5-40:	Fließgeschwindigkeitsanteil in z-Richtung bei dem untersuchten Hochwasserabfluss von $Q = 4360 \text{ m}^3/\text{s}$ in unterschiedlichen Wassertiefen (1 m, 2 m und 3 m)	135
Abbildung 5-41:	Exemplarische Darstellung des Stromlinienverlaufs über die Tiefe aus dem 3D-HN-Modell im Bereich des „Bettecks“	136
Abbildung 5-42:	Fließgeschwindigkeitsauswertung in z-Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“ (links); Fließgeschwindigkeitsanteil in z-Richtung mit der Fahrspur aus der Simulationsfahrt überlagert (rechts)	137
Abbildung 5-43:	Fließgeschwindigkeitsauswertung in x'-Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“	138
Abbildung 5-44:	Fließgeschwindigkeitsauswertung in y'-Richtung entlang der simulierten Fahrspur des TMS „Waldhof“	139
Abbildung 5-45:	TMS „Waldhof“ im Bereich der Kenterstelle ohne (oben) und mit leicht transparent dargestellter Wasserspiegellage (unten)	140
Abbildung 5-46:	Darstellung der Berechnungsergebnisse des 3D-HN-Modells, des Sichtmodells der Gebirgsstrecke und des TMS „Waldhof“ in der Visualisierungsanlage der BAW	141
Abbildung 5-47:	Bewegungsphasen des TMS „Waldhof“ aus der Berechnung und aus den Radaraufnahmen	143
Abbildung 5-48:	Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,58 um 04:41:49 Uhr	144
Abbildung 5-49:	Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,59 um 04:41:51 Uhr	146
Abbildung 5-50:	Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,60 um 04:41:53 Uhr	147
Abbildung 5-51:	Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,63 um 04:41:59 Uhr	148
Abbildung 5-52:	Bewegungsphase des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 553,67 um 04:42:08 Uhr	149
Abbildung 5-53:	Radarbild des gekenterten TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 554,33 um 04:45:13 Uhr, nachdem seine Position erstmals wieder eindeutig zu sehen war	151
Abbildung 5-54:	Kollision des gekenterten TMS „Waldhof“ mit dem TMS „Theodorus Johan“ um 04:46:16 Uhr bei Rhein-km 554,55	152
Abbildung 5-55:	Sichtmodell des gekenterten und zu Tal treibenden TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 554 am Schiffsführungssimulator der BAW	152
Abbildung 5-56:	Anfangsgeschwindigkeit und Drehbewegung für das gekenterte TMS „Waldhof“ zu Beginn der Simulation	153
Abbildung 5-57:	Überlagerte Bilder aus Radar und Simulation bei Rhein-km 554,33 um 04:45:13 Uhr nachdem das TMS „Waldhof“ erstmals eindeutig wieder auf den Radarbildern erkannt wird	153
Abbildung 5-58:	Kollision des TMS „Waldhof“ mit dem TMS „Theodorus Johan“ bei Rhein-km 554,55 im Schiffsführungssimulator der BAW	154
Abbildung 5-59:	Simulation: Phasenaufnahmen des TMS „Waldhof“ überlagert mit dem Radarbild zum Zeitpunkt der Kollision mit dem TMS „Theodorus Johan“	155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Grunddaten des TMS „Waldhof“	14
Tabelle 2-2:	Eichschein des TMS „Waldhof“	15
Tabelle 2-3:	Ladetanks des TMS „Waldhof“	15
Tabelle 2-4:	Besatzungstabelle (BinSchUO)	21
Tabelle 2-5:	Ladung an Bord des TMS „Waldhof“	23
Tabelle 2-6:	Verteilung der Ladung in den Tanks des TMS „Waldhof“	25
Tabelle 2-7:	Fahrten des TMS „Waldhof“ mit sieben teilgefüllten Ladetanks und Stoffen mit hoher Dichte (exemplarisch)	26
Tabelle 3-1:	Referenznummern, Namen und Standorte der vier Radarstationen	33
Tabelle 3-2:	Erfassungsbereiche (Zonen) der Radarstationen R1 bis R4	36
Tabelle 3-3:	Positionen des Bugs und der Heading des TMS „Waldhof“	54
Tabelle 3-4:	Lage des TMS „Waldhof“ im Radarbild (1.120 x 1.120 Pixel)	63
Tabelle 4-1:	Sperrungen/Freigaben des Schiffsverkehrs vom 13.01.2011 bis zum 14.02.2011	82
Tabelle 5-1:	Eingesetzte Maschinenleistungen des TMS „Waldhof“ vor und während der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“	108
Tabelle 6-1:	Chronologischer Ablauf der Havarie des TMS „Waldhof“ am 13.01.2011	160

Quellenangaben

Strafrechtliche Ermittlungsakten der Staatsanwaltschaft Koblenz

Schiffsakte TMS „Waldhof“ - ZSUK Mainz

Teilbericht 1 zur Havarie des TMS „Waldhof“ (Darstellung des Havarieszenariums) - BAW Karlsruhe/FVT Koblenz - 01. Juni 2011

Teilbericht 2 zur Havarie des TMS „Waldhof“ (Untersuchung der Ursachen der Havarie) - BAW Karlsruhe - 30. Oktober 2012

Untersuchung des Kentervorgangs des Tankmotorschiffes „Waldhof“ - FutureShip GmbH Hamburg - 25. Oktober 2012 (Version 2)

Amtliches Gutachten über die Wetterverhältnisse am 13.1.2011 - DWD Essen - 15. August 2011

Stellungnahme zu besonderen Fragen des Explosionsschutzes (Hochgeschwindigkeitsventile - Funktionsweise und Prüfung) - PTB Braunschweig - 06. Oktober 2011

Berichte des WSA Bingen

Radar/AIS/MIB - Aufzeichnungen der Revierzentrale Oberwesel

Schiffsunterlagen und Schiffspläne TMS „Waldhof“ der Reederei Lehnkering

Gutachten über den Kenterunfall des BT Waldhof bei St. Goar - Technische Universität Hamburg-Harburg (Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit) - 4. Oktober 2011

Nachtrag zum Gutachten über den Kenterunfall des BT Waldhof bei St. Goar - Technische Universität Hamburg-Harburg (Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit) - 10. Juli 2012

Analyse der auf die teilgefüllten Tanks der TMS „Waldhof“ wirkenden Momente infolge von Fluidbewegungen - Prof. Dr.-Ing. Ould el Moctar (Universität Duisburg-Essen) - 05. Februar 2012

Gutachterliche Stellungnahme - Havariekommissare Hartmann - Mannheim - 09. Juni 2011

Stellungnahme zur Auswertung der Radarbilder der Fahrt von TMS „Waldhof“ - DST (Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. Duisburg) - 10. Juni 2011

Stellungnahme zu möglichen Ursachen der Kenterung - DST - 10. Juni 2011

Feststellungsbericht über den Zustand von Motor, Getriebe und Fernsteuerung des TMS „Waldhof“ - Sachverständigenbüro Petermann GmbH - Duisburg - 31. März 2011

Havarie des TMS „Waldhof“: Stellungnahme zum Ablauf und zu den möglichen Ursachen des Unfalls - DST - März 2012

TMS Waldhof - Stellungnahme zur Schwimmstabilität - Overdick GmbH & Co. KG (Offshore Engineers, Naval Architects) - Hamburg - 17. Februar 2011

Stabilität im Leckfall des Ballastwassertanks 5 - Overdick GmbH & Co. KG (Offshore Engineers, Naval Architects) - Hamburg - 7. Juli 2011

Havarie des TMS „Waldhof“ (LUWG-Bericht 5/2011) - Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Mainz - März 2011

Verzeichnis der Anlagen

- | | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Chronologie der Havarie und der Ereignisse am 12. und 13. Januar 2011 |
| Anlage 2 | Auszug der Vorschriften über den Gefahrguttransport auf dem Rhein |
| Anlage 3 | Auszug der schiffahrtspolizeilichen Vorschriften auf dem Rhein |
| Anlage 4 | Radaraufzeichnung der Revierzentrale Oberwesel vom 13. Januar 2011 - 04:40:18 Uhr bis 04:43:15 Uhr (Radarstationen „R2“ - gegenüber dem „Kammereck“ und „R3“ - gegenüber der „Loreley“) |
| Anlage 5 | Radaraufzeichnung (Zeitraffer) der Revierzentrale Oberwesel vom 13.01.2011 - 04:40:50 Uhr bis 04:52:20 Uhr (Radarstationen „R2“ - gegenüber dem „Kammereck“ und „R3“ - gegenüber der „Loreley“ und „R4“ - An der „Bank“) |
| Anlage 6 | Berechnung der Intaktstabilität des TMS „Waldhof“ zum Havariezeitpunkt |
| Anlage 7 | Bergung und Schadensbilder des TMS „Waldhof“ |
| Anlage 8 | Veröffentlichung einer abweichenden Stellungnahme |

Anlage 1

Chronologie der Havarie und der Ereignisse am 12. und 13. Januar 2011

Datum	Uhrzeit	Ereignis
12.01.2011	00.30 Uhr	TMS „Waldhof“ beginnt mit der Beladung von Schwefelsäure in Ludwigshafen
	17.00 Uhr	Besatzungswechsel: eine neue Schiffsführung übernimmt das Schiff
	20.00 Uhr	Beladung beendet
	21.30 Uhr	TMS „Waldhof“ nimmt die Talfahrt in Richtung Antwerpen auf
13.01.2011	04.21 Uhr	TMS „Waldhof“ erscheint erstmals bei Rhein-km 547,0 (Kaub) auf den Radarschirmen der RVZ Oberwesel
	04.23 Uhr	TMS „Waldhof“ begegnet dem SV „Gerda“ bei Rhein-km 547,6
	04.27 Uhr	TMS „Waldhof“ begegnet bei Rhein-km 549,0 dem GMS „Mejana“
	04.29 Uhr	TMS „Waldhof“ meldet sich über UKW-Kanal 18 bei der RVZ Oberwesel
	04.30 Uhr	TMS „Waldhof“ fährt an dem Ankerlieger TMS „Fiducia“ bei Rhein-km 550,0 vorbei
	04.32 Uhr	TMS „Waldhof“ begegnet bei Rhein-km 550,6 einem nicht bekannten Schubverband
	04.36 Uhr	TMS „Waldhof“ begegnet am „Geisenrücken“ dem GMS „Aragon“ (Rhein-km 552,0)
	04.41 Uhr	TMS „Waldhof“ begegnet bei Rhein-km 553,4 dem GMS „Acropolis“
	04.42 Uhr	TMS „Waldhof“ kentert bei Rhein-km 553,75 über die Steuerbordseite, verschwindet von den Radarschirmen der RVZ Oberwesel und treibt manövrierunfähig kieloben zu Tal
	04.44 Uhr	das gekenterte TMS „Waldhof“ treibt bei Rhein-km 554,2 an dem SV „Vera“ vorbei
	04.46 Uhr	gekentertes TMS „Waldhof“ kollidiert bei Rhein-km 554,55 mit dem bergfahrenden TMS „Theodorus Johan“
	04.48 Uhr	das gekenterte TMS „Waldhof“ trifft bei Rhein-km 554,85 mit dem Bug auf das linke Rheinufer (Vorland)
	04.49 Uhr	gekentertes TMS „Waldhof“ treibt bei Rhein-km 555,0 an dem TMS „Emma“ vorbei
	04.49 Uhr	SV „Vera“ meldet an die RVZ Oberwesel, dass TMS „Waldhof“ zu Tal ohne Steuerung auf dem Kopf treibe
	04.50 Uhr	TMS „Emma“ meldet an die Revierzentrale, dass ein Schiff umgeschlagen und quer auf die Bank zutriebe
	04.51 Uhr	das gekenterte TMS „Waldhof“ treibt bei Rhein-km 555,30 an dem SV „Colombia“ vorbei
	04.51 Uhr	Warnung der RVZ Oberwesel über UKW-Kanal 18 an alle Schiffsfunkstellen, dass ein manövrierunfähiges, beladenes Tankmotorschiff im Bereich Bankeck zu Tal treibt
	04.52 Uhr	das gekenterte TMS „Waldhof“ kommt bei Rhein-km 555,33 in Höhe der Einfahrt zum Loreleyhafen am Rand der Fahrrinne fest
	04.53 Uhr	eine unbekannte Schiffsfunkstelle meldet der RVZ Oberwesel, dass TMS „Waldhof“ an der Bank umgeschlagen und untergegangen sei

Datum	Uhrzeit	Ereignis
13.01.2011	04.54 Uhr	der zu Tal fahrende SV „Amethyst“ informiert die RVZ Oberwesel darüber, dass sie die Unfallstelle am Bankeck gerade passiert hätten und jemand winkend an Deck stehen würde
	04:55 Uhr	RVZ Oberwesel informiert die WSP St. Goar über den Schiffsunfall
	04.56 Uhr	das zu Tal fahrende Schleppboot „Martinus“ meldet sich bei der RVZ Oberwesel und wird gebeten, so schnell wie möglich an die Unfallstelle zu fahren
	04.59 Uhr	RVZ Oberwesel sperrt die Schifffahrt zwischen Bingen und St. Goar und weist die Schifffahrt an, geeignete Liegeplätze aufzusuchen
	05.00 Uhr	Pegel Kaub: 572 cm
	05.01 Uhr	SV „Amethyst“ meldet der RVZ Oberwesel, dass sie ein Besatzungsmitglied des TMS „Waldhof“ unterhalb St. Goar aus dem Wasser geborgen hätten und nach Angabe des Geretteten insgesamt 4 Männer an Bord TMS „Waldhof“ gewesen seien
	05.02 Uhr	eine unbekannte Schiffsfunkstelle bestätigt der RVZ Oberwesel, dass auf TMS „Waldhof“ jemand im Bereich des Hinterschiffes auf dem Deck stehen würde
	05.04 Uhr	SV „Amethyst“ fordert von der RVZ Oberwesel medizinische Hilfe für das aus dem Wasser gerettete Besatzungsmitglied des TMS „Waldhof“ an
	05.15 Uhr	ein Boot der Wasserschutzpolizei trifft am Havaristen ein; die WSP-Beamten bergen das verletzte Besatzungsmitglied von Bord und bringen ihn in St. Goarshausen an Land, wo er mit einem Rettungswagen in ein Krankenhaus eingeliefert wird
	05.45 Uhr	Wasserfahrzeuge des WSA Bingen („Wirbeley“ und „St. Goar“) und der Schlepper „Martinus“ treffen an der Unglücksstelle ein und beteiligen sich an der Suche nach den vermissten Besatzungsmitgliedern
	05.50 Uhr	Einsatzboote der Feuerwehr treffen an der Havariestelle ein
	05.55 Uhr	Wärmebildkameras zur Vermisstensuche werden angefordert
	06.09 Uhr	Feuerwehr beginnt talwärts der Havariestelle mit eigenen Booten das Ufer nach den Vermissten abzusuchen
	06.37 Uhr	Polizeihubschrauber mit Wärmebildkamera beginnt mit der Vermisstensuche
	06.47 Uhr	ein Notarzt sowie Rettungssanitäter werden an Bord SV „Amethyst“ zur Versorgung des zweiten verletzten Besatzungsmitglieds abgesetzt
	07.24 Uhr	das schwer verletzte Besatzungsmitglied wird in Koblenz an einen Rettungswagen des DRK übergeben und in ein Krankenhaus transportiert
	07.28 Uhr	Feuerwehrtaucher treffen am Havarieort ein, um die vermissten Besatzungsmitglieder des TMS „Waldhof“ im Wohnbereich des Havaristen zu suchen
08.30 Uhr	Schlepper „Rheinland“ trifft am Havarieort ein	
09.00 Uhr	zur Sicherung des Havaristen werden Schleppdrähte an den steuerbordseitigen Heckpollern des TMS „Waldhof“ befestigt; anschließend erfolglose Schleppversuche der Vorspannboote „Rheinland“ und „Martinus“	

Datum	Uhrzeit	Ereignis
13.01.2011	10.00 Uhr	Suche nach dem abgerissenen Steuerhaus des TMS „Waldhof“ (Peil- und Sidescanfahrten zwischen Rhein-km 553,5 und Rhein-km 555,5)
	10.30 Uhr	erster (erfolgloser) Tauchgang der Feuerwehrttaucher in den Wohnbereich des Havaristen
	10.30 Uhr	die Schifffahrtssperre wird von Bingen bis nach Bad Salzig erweitert
	12.00 Uhr	ein erster Sicherungsdraht wird vom Havaristen zum Loreleyhafendamm gesetzt
	14.30 Uhr	zweiter (ebenfalls erfolgloser) Tauchgang der Feuerwehrttaucher in den Wohnbereich des Havaristen
	15.30 Uhr	ein zweiter Sicherungsdraht wird vom Havaristen zum Loreleyhafendamm gesetzt
		Schleppboote verbleiben zur Stabilisierung des Havaristen über Nacht vor Ort

Anlage 2

Auszug der Vorschriften über den Gefahrguttransport auf dem Rhein

ADN 2011

1.16.1.2.2 Das Zulassungszeugnis muss bestätigen, dass das Schiff untersucht worden ist und dass Bau und Ausrüstung den anwendbaren Vorschriften dieser Verordnung entsprechen.

1.16.1.2.5 Für Tankschiffe muss das Zulassungszeugnis ergänzt werden durch eine Liste aller im Tankschiff zur Beförderung zugelassenen gefährlichen Güter, die von der Klassifikationsgesellschaft zugestellt wird, die das Schiff klassifiziert hat.

5.4.1.1.2 Das oder die Beförderungspapier(e) für jeden zur Beförderung aufgegebenen Stoff muss (müssen) folgende Angaben enthalten:

- a) die UN-Nummer, der die Buchstaben „UN“ vorangestellt werden, oder die Stoffnummer;
- b) die gemäß Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 2 bestimmte offizielle Benennung des Stoffes für die Beförderung, und sofern zutreffend, ergänzt durch die technische Benennung in Klammern;
- c) die Angaben in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 5. Wenn mehrere Angaben aufgeführt sind, sind diejenigen nach der ersten in Klammern anzugeben;
- d) gegebenenfalls die dem Stoff zugeordnete Verpackungsgruppe, der die Buchstaben „VG“ (z. B. „VG II“) oder die Initialen vorangestellt werden dürfen, die dem Ausdruck „Verpackungsgruppe“ in den gemäß Absatz 5.4.1.4.1 verwendeten Sprachen entsprechen;
- e) die Masse in Tonnen;
- f) den Namen und die Anschrift des Absenders;
- g) den Namen und die Anschrift des Empfängers (der Empfänger).

7.2.2.0.1 Die gefährlichen Stoffe dürfen in Tankschiffen des Typs N, C oder G, die den Vorschriften des Abschnitts 9.3.3, 9.3.2 bzw. 9.3.1 entsprechen, befördert werden. Der zu verwendende Tankschiffstyp ergibt sich aus Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 6 und aus Unterabschnitt 7.2.1.21.

Bemerkung: Die im Schiff zugelassenen Stoffe sind in dem von der anerkannten Klassifikationsgesellschaft zu erstellenden Zeugnis aufgeführt (siehe Absatz 1.16.1.2.5).

7.2.3.15 Bei der Beförderung von gefährlichen Stoffen muss ein Sachkundiger nach Abschnitt 8.2.1 an Bord sein. Zusätzlich muss dieser Sachkundige

- bei der Beförderung von Gütern, für die in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 6 ein Tankschiff des Typs G vorgeschrieben ist, ein Sachkundiger nach Unterabschnitt 8.2.1.5 und
- bei der Beförderung von Gütern, für die in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 6 ein Tankschiff des Typs C vorgeschrieben ist, ein Sachkundiger nach Unterabschnitt 8.2.1.7

sein.

Bei der Beförderung von Stoffen, für die in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 6 ein Tankschiff des Typs C und in Spalte 8 ein Ladetanktyp 1 vorgeschrieben ist, genügt bei der Beförderung in einem Typ G ein Sachkundiger nach Unterabschnitt 8.2.1.5.

7.2.3.20.1 Kofferdämme und Aufstellungsräume, welche isolierte Ladetanks enthalten, dürfen nicht mit Wasser gefüllt werden. Wallgänge, Doppelböden und Aufstellungsräume dürfen mit Ballastwasser gefüllt werden, wenn die Ladetanks entladen sind.

Wenn die Ladetanks nicht entladen sind, dürfen die Wallgänge und die Doppelböden mit Ballastwasser gefüllt werden, wenn dies in der Leckstabilitätsberechnung mitberücksichtigt worden ist, die Füllung der Ballasttanks nicht mehr als 90 % der Tankinhalte beträgt und das Füllen in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 20 nicht verboten ist.

7.2.4.11.2 Der Schiffsführer muss in einem Stauplan eintragen, welche Stoffe in den einzelnen Ladetanks untergebracht sind. Die Stoffe sind entsprechend dem Beförderungspapier einzutragen (Angaben gemäß Absatz 5.4.1.1.2 a) bis d)).

7.2.4.21.3 Bei der Beförderung von Stoffen mit einer höheren als der im Zulassungszeugnis berücksichtigten relativen Dichte wird der Füllungsgrad mit nachstehender Formel bestimmt:

$$\text{zulässiger Füllungsgrad (\%)} = a/b \cdot 100$$

a = relative Dichte laut Zulassungszeugnis;

b = relative Dichte des Stoffes.

Der in Kapitel 3.2 Tabelle C Spalte 11 genannte Füllungsgrad darf jedoch nicht überschritten werden

8.1.2.1 Außer den nach anderen Vorschriften erforderlichen Dokumenten müssen die folgenden Dokumente an Bord mitgeführt werden:

- a) das in Abschnitt 8.1.8 vorgeschriebene Zulassungszeugnis des Schiffes;
- b) die nach Abschnitt 5.4.1 vorgeschriebenen Beförderungspapiere und gegebenenfalls das Großcontainer- oder Fahrzeugpackzertifikat (siehe Abschnitt 5.4.2);
- c) die in Abschnitt 5.4.3 vorgeschriebenen schriftlichen Weisungen;
- d) ein Abdruck des ADN mit der beigefügten Verordnung in der jeweils geltenden Fassung, der auch eine auf elektronischem Wege jeder Zeit lesbare Textfassung sein darf;
- e) die in Abschnitt 8.1.7 vorgeschriebene Bescheinigung der Isolationswiderstände der elektrischen Einrichtungen;
- f) die in Unterabschnitt 8.1.6.1 vorgeschriebene Bescheinigung der Prüfung der Feuerlöschgeräte und Feuerlöschschläuche;
- g) ein Prüfbuch, in dem alle geforderten Messergebnisse festgehalten werden;
- h) eine Kopie des wesentlichen Textes der Sonderregelung(en) gemäß Kapitel 1.5, wenn die Beförderung auf Grund dieser Sonderregelung(en) erfolgt;
- i) den in Unterabschnitt 1.10.1.4 vorgeschriebenen Lichtbildausweis für

- j) jedes Mitglied der Besatzung;
die in Unterabschnitt 1.8.1.2 genannte Kontrollliste oder die von der Behörde, die die Kontrolle vorgenommen hat, ausgestellte Bescheinigung über die durchgeführte Kontrolle. Die letzte Liste oder Bescheinigung muss an Bord mitgeführt werden.

8.1.2.3

Außer den nach Unterabschnitt 8.1.2.1 erforderlichen Dokumenten müssen an Bord von Tankschiffen folgende Dokumente zusätzlich an Bord mitgeführt werden:

- a) der in Unterabschnitt 7.2.4.11.2 vorgeschriebene Stauplan;
- b) die in Unterabschnitt 7.2.3.15 vorgeschriebene Bescheinigung über besondere Kenntnisse des ADN;
- c) bei Schiffen, die den Bedingungen für die Lecksicherheit (siehe Unterabschnitt 9.3.1.15, 9.3.2.15 oder 9.3.3.15) entsprechen müssen,
 - ein Lecksicherheitsplan;
 - die Intaktstabilitätsunterlagen sowie alle der Leckrechnung zu Grunde liegenden Intaktstabilitätsfälle in einer für den Schiffsführer verständlichen Form;
- d) die in Unterabschnitt 9.3.1.50, 9.3.2.50 oder 9.3.3.50 vorgeschriebenen Unterlagen für die elektrischen Anlagen;
- e) das in Unterabschnitt 9.3.1.8, 9.3.2.8 oder 9.3.3.8 vorgeschriebene Klassifikationszeugnis;
- f) die in Absatz 9.3.1.8.3, 9.3.2.8.3 oder 9.3.3.8.3 vorgeschriebene Bescheinigung über die Gasspüranlagen;
- g) die in Absatz 1.16.1.2.5 vorgeschriebene Bescheinigung über die im Schiff zugelassenen gefährlichen Stoffe;
- h) die in Unterabschnitt 8.1.6.2 vorgeschriebene Bescheinigung über die Prüfung der Lade- und Löschschräume;
- i) die in Absatz 9.3.2.25.9 oder 9.3.3.25.9 vorgeschriebene Instruktion für die Lade- und Löschräume;
- ...

8.2.1.2

Ein Sachkundiger ist eine Person, die beweisen kann, dass sie besondere Kenntnisse des ADN hat. Der Beweis dieser Kenntnisse ist durch eine von der zuständigen Behörde oder einer von dieser Behörde anerkannten Stelle ausgestellten Bescheinigung zu erbringen.

Diese Bescheinigung wird den Personen erteilt, die im Anschluss an ihre Schulung mit Erfolg eine Prüfung über Kenntnisse des ADN abgelegt haben.

8.2.1.7

Sachkundige für die Beförderung von Chemikalien müssen an einem Aufbaukurs Chemie teilnehmen, in dem mindestens die in Absatz 8.2.2.3.2 genannten Prüfungsziele behandelt werden. Der Kurs muss im Rahmen eines von der zuständigen Behörde anerkannten Lehrgangs erfolgen. Nach erfolgter Schulung und einer mit Erfolg abgelegten Prüfung über die Beförderung von Chemikalien sowie dem Nachweis von mindestens einem Jahr Arbeit an Bord eines Typ C-Schiffs wird eine Bescheinigung ausgestellt. Die Arbeit an Bord muss innerhalb von zwei Jahren vor oder spätestens innerhalb von zwei Jahren nach der Fachprüfung durchgeführt werden.

8.2.2.3.3 Aufbaukurs „Chemie“

Voraussetzung:	Gültige ADN-Bescheinigung „Tankschiffe oder Kombination Trockengüter-/Tankschiffe“
Kenntnisse:	ADN, insbesondere Kenntnisse in Bezug auf das Laden, die Beförderung, das Löschen und das Handhaben von Chemikalien
Befugnis:	Tankschiffe bei der Beförderung von Stoffen, für die ein Tankschiff des Typs C vorgeschrieben ist
Ausbildung:	Chemie Absatz 8.2.2.3.3.2

8.2.2.3.3.2 Der Aufbaukurs „Chemie“ muss mindestens folgende Prüfungsziele umfassen: Physikalische und chemische Kenntnisse:

- Chemikalien, wie z. B. Moleküle, Atome, Aggregatzustand, Säuren und Laugen, Oxidation
- Dichte/relative Dichte, Druck und Flüssigkeitsvolumen, wie z. B. Dichte/relative Dichte, Volumen und Druck bei Temperaturanstieg und maximale Füllungsgrade
- kritische Temperatur
- Polymerisation, wie z. B. Theoriefragen, Praxisfragen und Beförderungsbedingungen
- Gemische, wie z. B. Dampfdruck, Zusammensetzung und Gefahreneigenschaften
- Verbindungen und chemische Formeln.

Praxis:

- Reinigen der Ladetanks, wie z. B. Entgasen, Waschen, Restladung und Restebehälter
- Laden und Löschen, wie z. B. Gassammelsysteme, Schnellschlusssysteme und Temperatureinflüsse
- Probeentnahmen
- Explosionsgefahren
- Gesundheitsrisiken
- Gaskonzentrationsmessungen, wie z. B. welche Geräte muss man verwenden und wie muss man diese Geräte anwenden
- Prüfen und Betreten von geschlossenen Räumen
- Gasfreiheitsbescheinigungen und zugelassene Arbeiten
- Füllungsgrad und Überfüllung
- Sicherheitseinrichtungen
- Pumpen und Kompressoren.

Maßnahmen bei Notfällen:

- Personenschaden, wie z. B. In-Berührung-Kommen mit der Ladung, Einatmen von Dämpfen und allgemeine Hilfeleistung
- Unregelmäßigkeiten im Zusammenhang mit der Ladung, wie z. B. Leckage an einem Flansch, Überfüllung, Polymerisation und Gefahren in der Umgebung des Schiffes.

9.3.2.8.1

Das Tankschiff muss unter Aufsicht einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft für deren höchste Klasse gebaut und in ihre höchste Klasse eingestuft sein.

Die höchste Klasse muss aufrechterhalten werden.

Die Klassifikationsgesellschaft muss ein Zeugnis erteilen, mit dem sie bes-

tätigt, dass das Schiff den Vorschriften dieses Abschnitts entspricht. Der Auslegungsdruck und der Prüfdruck des Ladetanks müssen in diesem Zeugnis vermerkt sein.

Hat ein Schiff Ladetanks mit verschiedenen Öffnungsdrücken der Ventile, müssen der Auslegungsdruck und Prüfdruck eines jeden einzelnen Tanks im Zeugnis vermerkt sein.

Die Klassifikationsgesellschaft muss eine Bescheinigung erteilen, in der alle gefährlichen Güter vermerkt sind, für deren Beförderung das Schiff geeignet ist (siehe auch Absatz 1.16.1.2.5).

- 9.3.2.11.1** a) Der höchstzulässige Inhalt eines Ladetanks ist nach folgender Tabelle zu ermitteln:

<u>L · B · H in m³</u>	<u>höchstzulässiger Inhalt eines Ladetanks in m³</u>
-----------------------------------	---

< 600	L · B · H · 0,3
-------	-----------------

600 – 3 750	180 + (L · B · H – 600) · 0,0635
-------------	----------------------------------

> 3 750	380
---------	-----

Alternative Bauweisen nach Abschnitt 9.3.4 sind zulässig.

In vorstehender Tabelle ist L · B · H das Produkt aus den Hauptabmessungen des Tankschiffes in Metern (nach dem Eichschein).

Es ist:

L = größte Länge des Schiffsrumpfes in m;

B = größte Breite des Schiffsrumpfes in m;

H = kleinster senkrechter Abstand zwischen Unterkante Kiel und dem tiefsten Punkt des Decks an der Seite des Schiffes (Seitenhöhe) im Bereich der Ladung in m.

b) Die Konstruktion der Ladetanks muss so ausgelegt sein, dass die relative Dichte der beförderten Stoffe berücksichtigt ist. Die maximal zulässige relative Dichte muss im Zulassungszeugnis vermerkt sein.

- 9.3.2.13.1** Eine ausreichende Stabilität einschließlich Leckstabilität muss nachgewiesen sein.

- 9.3.2.13.2** Die Grundwerte für die Stabilitätsberechnung – Schiffsliegegewicht und Lage des Gewichtsschwerpunktes – müssen entweder durch einen Krängungsversuch oder durch eine detaillierte Gewichtsberechnung ermittelt werden. Hierbei muss das Schiffsliegegewicht durch einen Tiefgangsnachweis am Schiff kontrolliert werden, wobei die durch Gewichtsberechnung ermittelten Massen nicht mehr als ± 5 % von dem durch Tiefgangsablesung ermittelten Displacement abweichen dürfen.

- 9.3.2.13.3.** Ausreichende Intaktstabilität muss für alle Stadien des Be- und Entladens und für den Endbeladungszustand nachgewiesen werden. Die Schwimmfähigkeit im Leckfall muss für den ungünstigsten Beladungszustand nachgewiesen werden. Hierbei muss für die kritischen Zwischenzustände und für den Endzustand der Flutung der rechnerische Nachweis der genügenden Stabilität erbracht werden. Treten in Zwischenzuständen negative Stabilitätswerte auf, können sie akzeptiert werden, wenn der weitere Verlauf der Leckhebelarmkurve ausreichende positive Stabilitätswerte aufweist.

9.3.2.14.1 Die sich aus der Leckrechnung ergebenden Intaktstabilitätsforderungen dürfen nicht unterschritten werden.

9.3.2.14.2 Für Schiffe mit Tankbreiten von mehr als 0,70 B sind folgende Stabilitätsanforderungen nachzuweisen:

a) Innerhalb des positiven Bereiches der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung muss ein aufrichtender Hebelarm (GZ) von mindestens 0,10 m vorhanden sein.

b) Die Fläche des positiven Bereichs der Hebelarmkurve bis zum Eintauchen der ersten nicht wetterdicht verschlossenen Öffnung, jedoch vor einem Neigungswinkel $\leq 27^\circ$ darf 0,024 m·rad nicht unterschreiten.

c) Die metazentrische Höhe (MG) muss mindestens 0,10 m betragen.

Diese Anforderungen müssen eingehalten werden unter Berücksichtigung des Einflusses aller freien Flüssigkeitsoberflächen in Tanks für alle Stadien des Be- und Entladens.

9.3.2.14.3 Die strengere der Forderungen gemäß den Absätzen 9.3.2.14.1 und 9.3.2.14.2 ist für das Schiff maßgebend.

9.3.2.15.1 Für den Leckfall sind folgende Annahmen zu berücksichtigen:

a) Ausdehnung des Schadens an einer Schiffsseite:
 Längsausdehnung : mindestens 0,10 L, jedoch nicht weniger als 5 m,
 Querausdehnung : 0,79 m, senkrechte Ausdehnung : von der Basis aufwärts unbegrenzt.

b) Ausdehnung des Schadens am Schiffsboden:
 Längsausdehnung : mindestens 0,10 L, jedoch nicht weniger als 5 m,
 Querausdehnung : 3 m, senkrechte Ausdehnung : von der Basis 0,59 m aufwärts, Sumpf ausgenommen.

c) Alle in den Beschädigungsbereich fallenden Schotte sind als leck anzusehen, das heißt, die Schotteinteilung muss so gewählt sein, dass das Schiff auch nach dem Fluten von zwei oder mehr direkt hintereinander liegenden Abteilungen schwimmfähig bleibt.

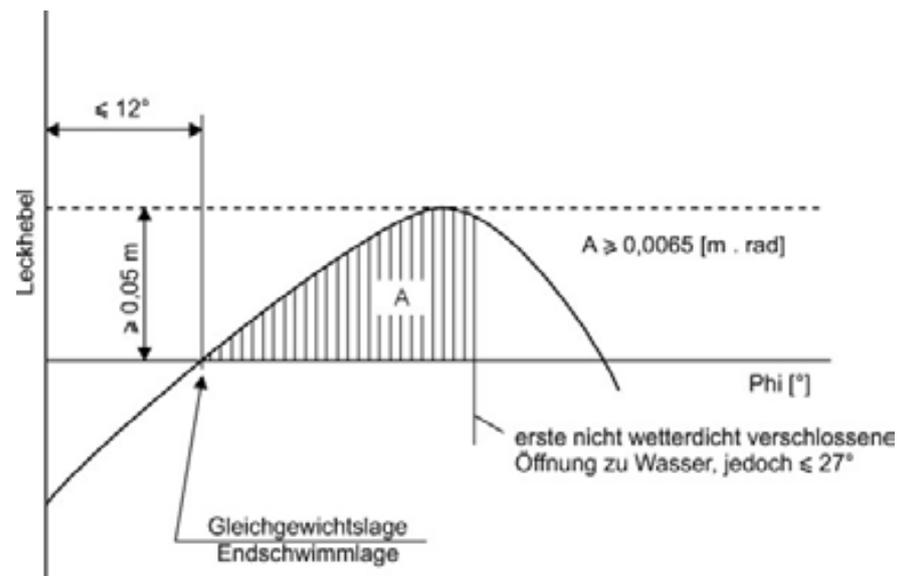
Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Bei einer Bodenbeschädigung sind auch querschiffs nebeneinander liegende Abteilungen als geflutet anzusehen.
- Die Unterkante von nicht wasserdicht verschließbaren Öffnungen (z. B. von Türen, Fenstern, Einstiegluken) muss im Endzustand der Flutung mindestens 0,10 m über der Schwimmbene liegen.
- Im Allgemeinen ist mit einer Flutbarkeit von 95 % zu rechnen. Wird durch eine Berechnung nachgewiesen, dass die mittlere Flutbarkeit in irgendeiner Abteilung kleiner als 95 % ist, so kann der errechnete Wert eingesetzt werden. Es sind jedoch die folgenden Mindestwerte einzusetzen:
 - Maschinenräume 85 %
 - Besatzungsräume 95 %
 - Doppelböden, Brennstofftanks, Ballasttanks usw., je nachdem, ob sie ihrer Bestimmung entsprechend für das auf der Ebene der tiefsten Einsenkung schwimmende Schiff als voll oder leer angenommen werden müssen 0 oder

95 %. Für den Hauptmaschinenraum braucht nur die Schwimmfähigkeit für den Einabteilungsstatus nachgewiesen zu werden, d.h. Maschinenraum-endschotte gelten als nicht beschädigt.

9.3.2.15.2

In der Gleichgewichtslage (Endschwimmlage) darf die Neigung des Schiffes 12° nicht überschreiten. Nicht wasserdicht verschlossene Öffnungen dürfen erst nach Erreichen der Gleichgewichtslage eintauchen. Tauchen derartige Öffnungen vorher ein, sind die dazugehörigen Räume bei der Leckrechnung als geflutet anzusehen. Über die Gleichgewichtslage hinaus muss der positive Bereich der Hebelarmkurve einen aufrichtenden Hebel $\geq 0,05 \text{ m}$ in Verbindung mit einer Fläche $\geq 0,0065 \text{ m} \cdot \text{rad}$ aufweisen. Diese Mindestwerte der Stabilität sind bis zum Eintauchen der ersten nicht wasserdicht verschlossenen Öffnung, jedoch vor einem Neigungswinkel $\leq 27^\circ$ einzuhalten. Tauchen nicht wasserdicht verschlossene Öffnungen vorher ein, sind die dazugehörigen Räume bei der Leckrechnung als geflutet anzusehen.



ADNR 2009

- 7.2.2.8.3** Von der Klassifikationsgesellschaft wird eine Bescheinigung ausgestellt, die alle gefährlichen Stoffe beinhaltet, die in dem Schiff befördert werden dürfen.
- 8.1.8.1** Trockengüterschiffe, die gefährliche Güter über die in 1.1.3.6.1 genannten Freimengen hinaus befördern, Schiffe nach 7.1.2.19.1, Tankschiffe, die gefährliche Güter befördern und Schiffe nach 7.2.2.19.3 müssen mit einem auf sie ausgestellten Zulassungszeugnis versehen sein.
- 8.1.8.3** Das Zulassungszeugnis wird von der zuständigen Behörde eines der Rheinuferstaaten oder Belgiens auf Grund einer Untersuchung durch einen von dieser Behörde bezeichneten Sachverständigen ausgestellt. Es muss dem Muster nach 8.6.1.1 oder 8.6.1.3 entsprechen.
Die zuständige Behörde kann davon absehen, ein Schiff einer Untersuchung zu unterziehen, sofern aus der Bescheinigung einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft hervorgeht, dass Bau und Ausrüstung des Schiffes den anwendbaren Vorschriften des ADNR entsprechen.

ADNR 2003

9.3.2 Bauvorschriften für Tankschiffe des Typs C**9.3.2.13 Stabilität (allgemein)**

9.3.2.13.1 Eine ausreichende Stabilität einschließlich Leckstabilität muss nachgewiesen sein.

9.3.2.13.2 Die Grundwerte für die Stabilitätsberechnung – Schiffsleergewicht und Lage des Gewichtsschwerpunktes – müssen entweder durch einen Krängungsversuch oder durch eine detaillierte Gewichtsrechnung ermittelt werden. Hierbei muss das Schiffsleergewicht durch einen Tiefgangsnachweis am Schiff kontrolliert werden, wobei die durch Gewichtsrechnung ermittelten Massen nicht mehr als $\pm 5\%$ von dem durch Tiefgangsablesung ermittelten Displacement abweichen dürfen.

9.3.2.13.3 Ausreichende Intaktstabilität muss für alle Stadien des Be- und Entladens und für den Endbeladungszustand nachgewiesen werden.

Die Schwimmfähigkeit im Leckfall muss für den ungünstigsten Beladungszustand nachgewiesen werden. Hierbei muss für die kritischen Zwischenzustände und für den Endzustand der Flutung der rechnerische Nachweis der genügenden Stabilität erbracht werden. Treten in Zwischenzuständen negative Stabilitätswerte auf, können sie akzeptiert werden, wenn der weitere Verlauf der Leckhebelarmkurve ausreichende positive Stabilitätswerte aufweist.

9.3.2.14 Stabilität (Intakt)

9.3.2.14.1 Die sich aus der Leckrechnung ergebenden Intaktstabilitätsforderungen dürfen nicht unterschritten werden.

9.3.2.14.2 Für Schiffe mit Tankbreiten von mehr als $0,70 \cdot B$ ist nachzuweisen, dass bei einem Winkel von 5° oder, sofern dieser kleiner ist, bei dem Neigungswinkel, bei dem eine Öffnung zu Wasser kommt, ein aufrichtender Hebel von 0,10 m vorhanden ist. Der stabilitätsmindernde Einfluss freier Oberflächen von Tanks mit einer Füllung von weniger als 95% ist hierbei zu berücksichtigen.

9.3.2.14.3 Die strengere der Forderungen gemäß 9.3.2.14.1 und 9.3.2.14.2 ist für das Schiff maßgebend.

9.3.2.15 Stabilität (im Leckfall)

9.3.2.15.1 Für den Leckfall sind folgende Annahmen zu berücksichtigen:

a) Ausdehnung des Schadens an einer Schiffsseite:

Längsausdehnung : mindestens 0,10 L, jedoch nicht weniger als 5,00 m,

Querausdehnung : 0,79 m, senkrechte Ausdehnung : von der Basis aufwärts unbegrenzt.

b) Ausdehnung des Schadens am Schiffsboden:

Längsausdehnung : mindestens 0,10 L, jedoch nicht weniger als 5,00 m,

Querausdehnung : 3,00 m, senkrechte Ausdehnung : von der Basis 0,59 m

aufwärts, Sumpf ausgenommen.

c) Alle in den Beschädigungsbereich fallenden Schotte sind als leck anzusehen, das heißt, die Schotteinteilung muss so gewählt sein, dass das Schiff auch nach dem Fluten von zwei oder mehr direkt hintereinander liegenden Abteilungen schwimmfähig bleibt.

Dabei ist folgendes zu beachten:

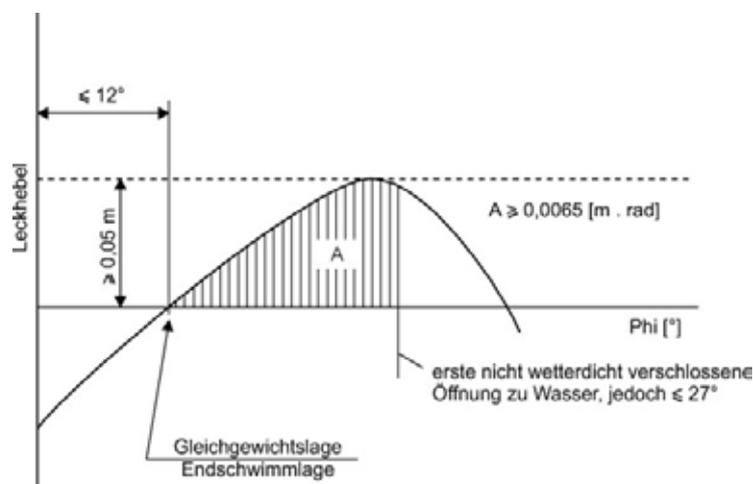
- Bei einer Bodenbeschädigung sind auch querschiffs nebeneinander liegende Abteilungen als geflutet anzusehen.
- Die Unterkante von nicht wasserdicht verschließbaren Öffnungen (z. B. von Türen, Fenstern, Einstiegluken) muss im Endzustand der Flutung mindestens 0,10 m über der Schwimmebene liegen.

Im Allgemeinen ist mit einer Flutbarkeit von 95 % zu rechnen. Wird durch eine Berechnung nachgewiesen, dass die mittlere Flutbarkeit in irgendeiner Abteilung kleiner als 95 % ist, so kann der errechnete Wert eingesetzt werden. Es sind jedoch die folgenden Mindestwerte einzusetzen:

- Maschinenräume 85 %
- Besatzungsräume 95 %
- Doppelböden, Brennstofftanks, Ballasttanks usw., je nachdem, ob sie ihrer Bestimmung entsprechend für das auf der Ebene der tiefsten Einsenkung schwimmende Schiff als voll oder leer angenommen werden müssen 0 oder 95 %. Für den Hauptmaschinenraum braucht nur die Schwimmfähigkeit für den Einabteilungsstatus nachgewiesen zu werden, d.h. Maschinenraumendschotte gelten als nicht beschädigt.

9.3.2.15.2

In der Gleichgewichtslage (Endschwimmlage) darf die Neigung des Schiffes 12° nicht überschreiten. Nicht wasserdicht verschlossene Öffnungen dürfen erst nach Erreichen der Gleichgewichtslage eintauchen. Tauchen derartige Öffnungen vorher ein, sind die dazugehörigen Räume bei der Leckrechnung als geflutet anzusehen. Über die Gleichgewichtslage hinaus muss der positive Bereich der Hebelarmkurve einen aufrichtenden Hebel $\geq 0,05$ m in Verbindung mit einer Fläche $\geq 0,0065$ m·rad aufweisen. Diese Mindestwerte der Stabilität sind bis zum Eintauchen der ersten nicht wasserdicht verschlossenen Öffnung, jedoch vor einem Neigungswinkel $\leq 27^\circ$ einzuhalten. Tauchen nicht wasserdicht verschlossene Öffnungen vorher ein, sind die dazugehörigen Räume bei der Leckrechnung als geflutet anzusehen.



Anlage 3

Auszug der schifffahrtspolizeilichen Vorschriften auf dem Rhein

RheinSchPV

§ 1.04 Allgemeine Sorgfaltspflicht

Über diese Verordnung hinaus hat der Schiffsführer alle Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, welche die allgemeine Sorgfaltspflicht und die Übung der Schifffahrt gebieten, um insbesondere

- a) die Gefährdung von Menschenleben,
- b) die Beschädigung anderer Fahrzeuge oder Schwimmkörper, der Ufer, der Regelungsbauwerke sowie von Anlagen jeder Art in der Wasserstraße oder an ihren Ufern,
- c) die Behinderung der Schifffahrt,
- d) die übermäßige Beeinträchtigung der Umwelt zu vermeiden.

§ 1.07 Anforderungen an die Beladung und Sicht; Höchstzahl der Fahrgäste

§ 1.07 Nr. 1 Fahrzeuge dürfen nicht tiefer als bis zur Unterkante der Einsenkungsmarken abgeladen sein.

§ 1.07 Nr. 3 Die Ladung darf die Stabilität des Fahrzeugs und die Festigkeit des Schiffskörpers nicht gefährden.

§ 6.03 Allgemeine Grundsätze

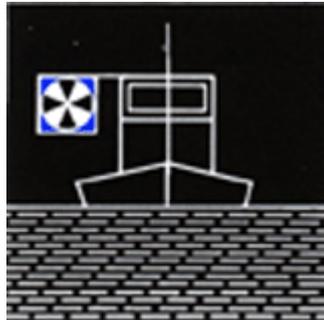
1. Das Begegnen oder Überholen ist nur gestattet, wenn das Fahrwasser unter Berücksichtigung aller örtlichen Umstände und des übrigen Verkehrs hinreichenden Raum für die Vorbeifahrt gewährt.
2. Fahren Fahrzeuge in einem Verband, sind die nach den §§ 3.17, 6.04 und 6.10 vorgeschriebenen Zeichen nur von dem Fahrzeug zu zeigen oder zu geben, auf dem sich der Führer des Verbandes befindet, bei Schleppverbänden von dem motorisierten Fahrzeug an der Spitze des Verbandes.
3. Beim Begegnen oder Überholen dürfen Fahrzeuge, deren Kurse jede Gefahr eines Zusammenstoßes ausschließen, ihren Kurs oder ihre Geschwindigkeit nicht in einer Weise ändern, die die Gefahr eines Zusammenstoßes herbeiführen könnte.

§ 6.04 Begegnen: Grundregeln

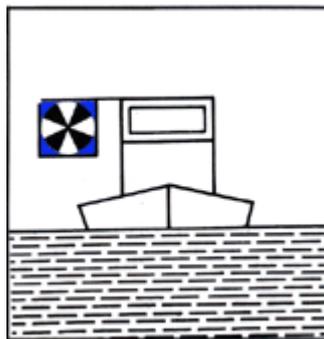
1. Beim Begegnen müssen die Bergfahrer unter Berücksichtigung der örtlichen Umstände und des übrigen Verkehrs den Talfahrern einen geeigneten Weg frei lassen.
2. Bergfahrer, die Talfahrer an Backbord vorbeifahren lassen, geben kein Zeichen.
3. Bergfahrer, die Talfahrer an Steuerbord vorbeifahren lassen, müssen

rechtzeitig nach Steuerbord zeigen:

- a. bei Nacht:
ein weißes helles Funkellicht, das auch mit einer hellblauen Tafel gekoppelt sein darf,



- b. bei Tag:
eine hellblaue Tafel, die mit einem weißen hellen Funkellicht gekoppelt ist.



Die hellblaue Tafel muss einen weißen Rand von mindestens 5 cm Breite haben, Rahmen und Gestänge sowie die Leuchte des Funkellichtes dürfen nur von dunkler Farbe sein. Diese Zeichen müssen von vorn und hinten sichtbar sein und bis zur Beendigung der Vorbeifahrt gezeigt werden. Sie dürfen nicht länger beibehalten werden, es sei denn, dass die Bergfahrer ihre Absicht anzeigen wollen, auch weiterhin Talfahrer an Steuerbord vorbeifahren zu lassen.

4. Ist zu befürchten, dass die Absicht der Bergfahrer von den Talfahrern nicht verstanden worden ist, müssen die Bergfahrer folgende Zeichen geben:

"einen kurzen Ton", wenn die Vorbeifahrt an Backbord stattfinden soll, oder "zwei kurze Töne", wenn die Vorbeifahrt an Steuerbord stattfinden soll.

5. Unbeschadet des § 6.05 müssen die Talfahrer den Weg nehmen, den ihnen die Bergfahrer nach den vorstehenden Bestimmungen weisen; sie müssen die Sichtzeichen nach Nummer 3 und die Schallzeichen nach Nummer 4 erwidern, die die Bergfahrer an sie gerichtet haben.

§ 6.07 Begegnen im engen Fahrwasser

1. Um nach Möglichkeit ein Begegnen auf Strecken oder an Stellen zu vermeiden, wo das Fahrwasser keinen hinreichenden Raum für die Vorbeifahrt gewährt (Fahrwasserengen), gilt folgendes:
 - a. alle Fahrzeuge müssen die Fahrwasserengen in möglichst kurzer Zeit durchfahren, wobei jedoch das Überholen verboten ist;
 - b. bei beschränkter Sicht müssen alle Fahrzeuge, bevor sie in eine Fahrwasserenge hineinfahren, "einen langen Ton" geben; sie müssen erforderlichenfalls, besonders wenn die Enge lang ist, das Schallzeichen während der Durchfahrt wiederholen;
 - c. Bergfahrer müssen, wenn sie feststellen, dass ein Talfahrer im Begriff ist, in eine Fahrwasserenge hineinzufahren, unterhalb der Enge anhalten, bis der Talfahrer sie durchfahren hat;
 - d. Talfahrer müssen, wenn ein Verband bereits zu Berg in eine Fahrwasserenge hineingefahren ist, so weit möglich oberhalb der Enge verbleiben, bis die Bergfahrer sie durchfahren haben; die gleiche Verpflichtung haben einzeln zu Tal fahrende Fahrzeuge gegenüber einzeln zu Berg fahrenden Fahrzeugen.
2. Ist das Begegnen in einer Fahrwasserenge unvermeidlich, müssen die Fahrzeuge alle möglichen Maßnahmen treffen, damit das Begegnen an einer Stelle und unter Bedingungen stattfindet, die eine möglichst geringe Gefahr in sich schließen.

§ 9.04 Geregelte Begegnung

1. Dieser Paragraph gilt für das Begegnen
 - a. auf der Strecke zwischen der Neckarmündung (km 428,20) und Lorch (km 540,20);
 - b. auf der Strecke zwischen Duisburg (km 769,00) und der deutsch-niederländischen Grenze (km 857,68).
2. Abweichend von § 6.04 müssen die Bergfahrer und die Talfahrer beim Begegnen ihren Kurs so weit nach Steuerbord richten, dass die Vorbeifahrt ohne Gefahr Backbord an Backbord stattfinden kann.

...

§ 9.07 Beschränkungen der Schifffahrt

- a) Zwischen Lorch (km 540,20) und St. Goar (km 556,00) hat die Bergfahrt das linke, die Talfahrt das rechte Ufer anzuhalten.
- b) Die Bergfahrer oder die in § 9.04 Nummer 4 bezeichneten Talfahrer können unter den in § 9.04 Nummer 3 oder 4 genannten Voraussetzungen

verlangen, dass die Vorbeifahrt Steuerbord an Steuerbord stattfindet. Hierbei sind die Schall- und Sichtzeichen nach § 9.04 Nummer 5 zu geben. § 6.05 ist nicht anzuwenden.

- c) Für die Schiffsführer von Fahrzeugen mit einer Länge über 110 m gelten die nach § 9.08 Nummer 2 Buchstabe b und c für die Nachtschifffahrt vorgeschriebenen Informationspflichten auch bei Tag.

§ 9.08 Nachtschifffahrt auf der Strecke Bingen - St. Goar

Zwischen Bingen (km 530,00) und St. Goar (km 556,00) ist die Fahrt nachts nur Fahrzeugen erlaubt, die Sprechfunk auf Kanal 10 und in der Talfahrt Radar benutzen.

§ 10.01 Beschränkungen der Schifffahrt bei Hochwasser oberhalb Spycck'schen Fähre

... bei Hochwasserständen zwischen den HWM I und II ist die Schifffahrt nachstehenden Beschränkungen unterworfen:

a) „Alle Fahrzeuge müssen sich in der Talfahrt möglichst in der Mitte, in der Bergfahrt im mittleren Drittel des Stromes halten; als Breite des Stromes gilt der Abstand zwischen den Uferlinien; beim Fahren einschließlich des Überholens sind höchstens bis zu zwei Schiffs- oder Verbandsbreiten zulässig“;

b) „Erfordern es die örtlichen Verhältnisse, abweichend von Buchstabe a näher an ein Ufer heranzufahren, müssen alle dort genannten Fahrzeuge dennoch möglichst weit vom Ufer entfernt bleiben und ihre Geschwindigkeit entsprechend vermindern“;

c) „§ 9.04 bleibt unberührt. Zwischen Lorch (km 540,20) und St. Goar (km 556,00) hat die Bergfahrt das mittlere Drittel des Stromes aber so weit zum linken Ufer einzuhalten, dass die Begegnung mit der Talfahrt ohne Gefahr Backbord an Backbord stattfinden kann;“

d) „Unbeschadet des § 6.20 darf die Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge gegenüber dem Ufer 20 km in der Stunde nicht überschreiten“;

e) „Nach Überschreiten der Hochwassermarke I dürfen innerhalb des entsprechenden Streckenabschnittes nur solche Fahrzeuge ihre Fahrt fortsetzen, die mit einer Sprechfunkanlage ausgerüstet sind. Sie müssen den Verkehrskreis nautische Information auf Empfang geschaltet haben“.

§ 12.02 Wahrschauregelung auf der Strecke Oberwesel - St. Goar

1. An der Strecke Oberwesel - St. Goar sind folgende Signalstellen eingerichtet:

Signalstelle A: km 550,57, linkes Ufer, am Ochsenturm bei Oberwesel;

Signalstelle B: km 552,80, linkes Ufer, am Kammereck;

Signalstelle C: km 553,61, linkes Ufer, am Betteck;

Signalstelle D: km 554,34, linkes Ufer, gegenüber der Loreley;

Signalstelle E: km 555,43, linkes Ufer, an der Bank.

2. Der Bergfahrt wird die Annäherung von Talfahrern - mit Ausnahme von Kleinfahrzeugen - an den Signalstellen C, D und E angezeigt.

Jede dieser Signalstellen zeigt der Bergfahrt ihre Zeichen auf übereinander

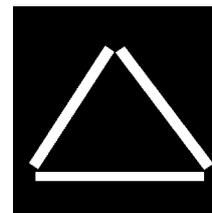
stehenden Feldern, die folgenden Teilstrecken zugeordnet sind:

Feld	Nr. der Teilstrecke	Grenzen der Teilstrecke	
Signalstelle C			
oben	1	km 550,57	km 551,30
Mitte	2	km 551,30	km 552,11
unten	3	km 552,11	km 554,34
Signalstelle D			
oben	1	km 550,57	km 551,30
Mitte	2	km 551,30	km 552,11
unten	3	km 552,11	km 554,34
Signalstelle E			
oben	3	km 552,11	km 554,34
unten	4	km 554,34	km 555,43

3. Die Zeichen an den Signalstellen bedeuten für die ihnen zugeordneten Teilstrecken:

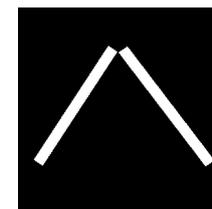
a) Drei weiße, ein Dreieck bildende Lichtlinien (Bild 1):

In der Teilstrecke fährt mindestens ein Verband mit einer Länge über 110 m zu Tal.



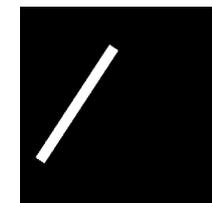
b) Zwei dachförmig gegeneinander geneigte weiße Lichtlinien (Bild 2):

In der Teilstrecke fährt mindestens ein Verband mit einer Länge bis 110 m oder ein Fahrzeug mit einer Länge über 110 m zu Tal.



c) Eine nach rechts geneigte weiße Lichtlinie (Bild 3):

In der Teilstrecke fährt mindestens ein Einzelfahrer mit einer Länge bis 110 m zu Tal.



d) Eine waagerechte weiße Lichtlinie (Bild 4):

In der Teilstrecke befindet sich kein Talfahrer.



4. Ferner können an den Signalstellen folgende Zeichen gezeigt werden:

a) an der Signalstelle A: ein weißes Licht, nur bergwärts sichtbar:

die Talschiffahrt wird den Bergfahrern gewarnt;

b) an der Signalstelle B: ein weißes Licht, nur bergwärts sichtbar:

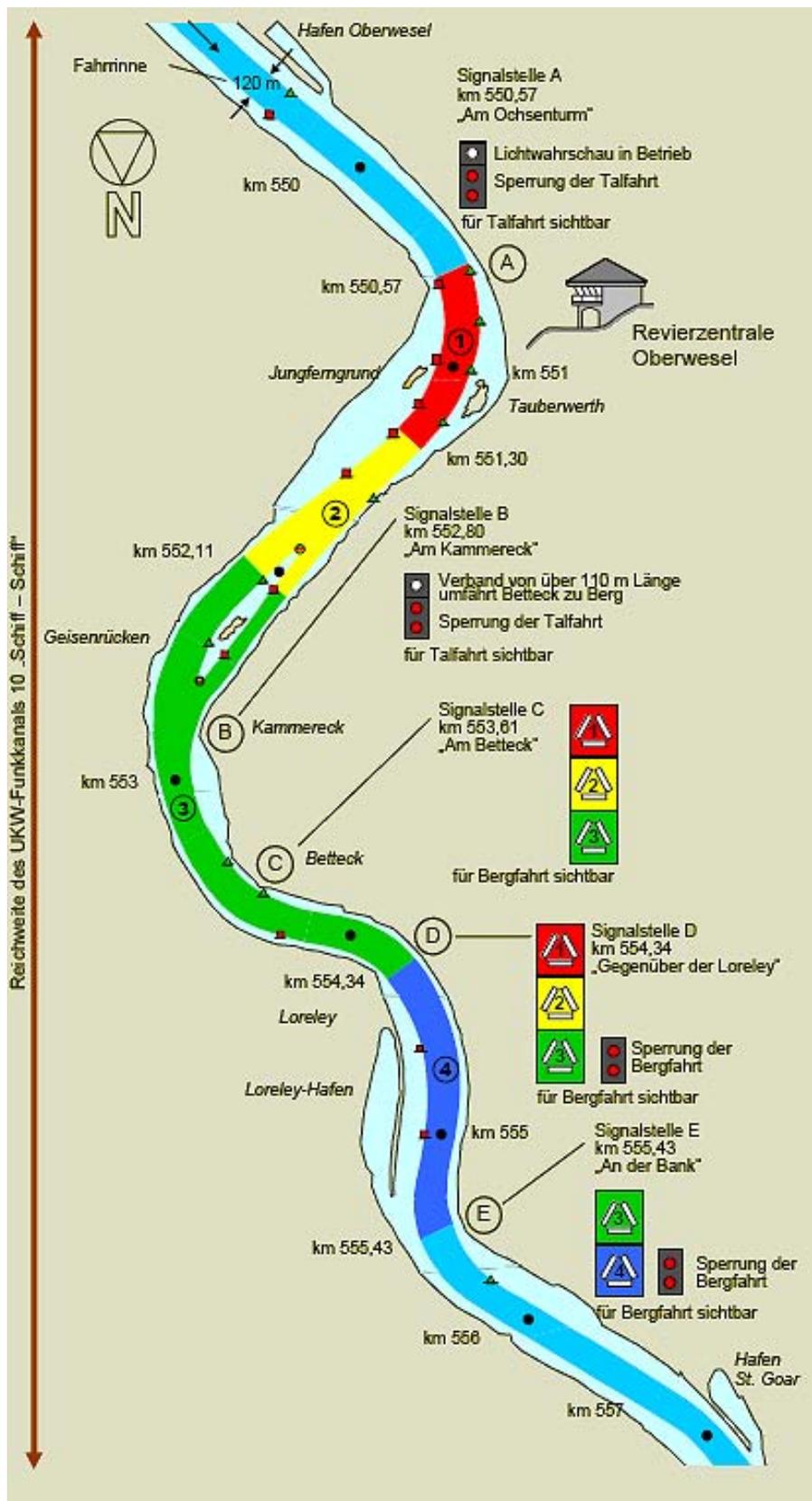
ein Verband mit einer Länge über 110 m umfährt das Betteck zu Berg.

5. Fahrzeuge, ausgenommen Kleinfahrzeuge, die innerhalb der Wahrschau-
strecke wenden und wieder zurückfahren, müssen dies über Funk (Kanal 18)
der Revierzentrale Oberwesel mitteilen.

6. Eine Sperrung der Talschiffahrt wird an den Signalstellen A oder B durch
zwei nur bergwärts sichtbare rote Lichter übereinander angezeigt.

Eine Sperrung der Bergschiffahrt wird an den Signalstellen D oder E durch
zwei nur talwärts sichtbare rote Lichter übereinander angezeigt.

Wahrschauregelung Oberwesel – St. Goar (Übersicht)



RheinPatV

§ 1.03 Nr. 1 **Patentpflicht**

Wer auf dem Rhein ein Fahrzeug führen will, bedarf eines Rheinpatentes nach dieser Verordnung für die jeweilige Fahrzeugart und –größe sowie für die zu durchfahrende Strecke.

§ 1.04 Nr. 1 **Patentarten**

Rheinpatente nach dieser Verordnung sind:

- a) das Große Patent zum Führen aller Fahrzeuge,
- b) ...

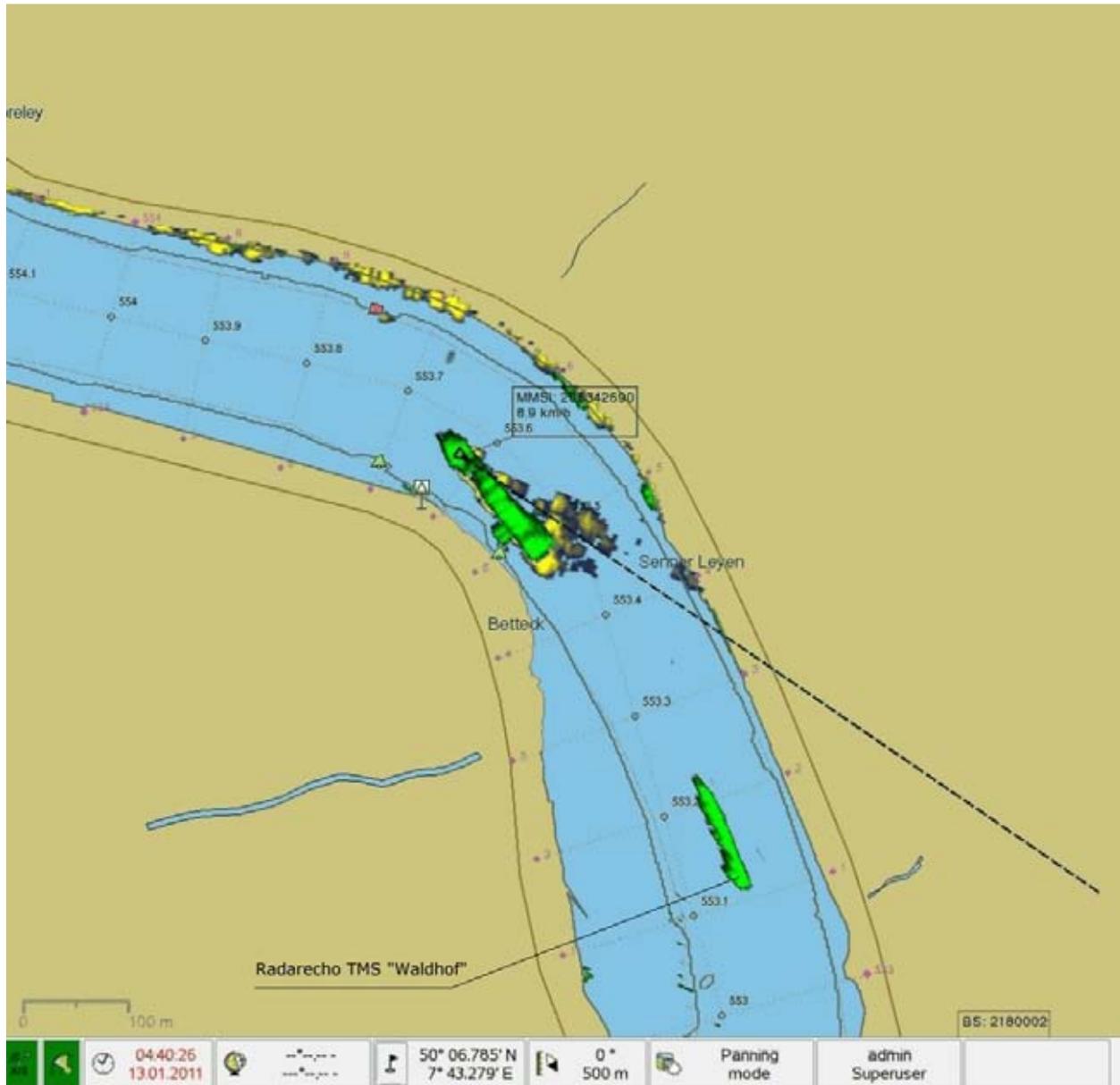
RadarPatV

§ 1.02 Nr. 1 **Patentpflicht**

Wer eine Radarfahrt durchführt, muss neben dem für die zu durchfahrende Strecke notwendigen Schifferpatent ein nach dieser Verordnung erteiltes Radarpatent oder ein anderes von der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt anerkanntes Zeugnis besitzen.

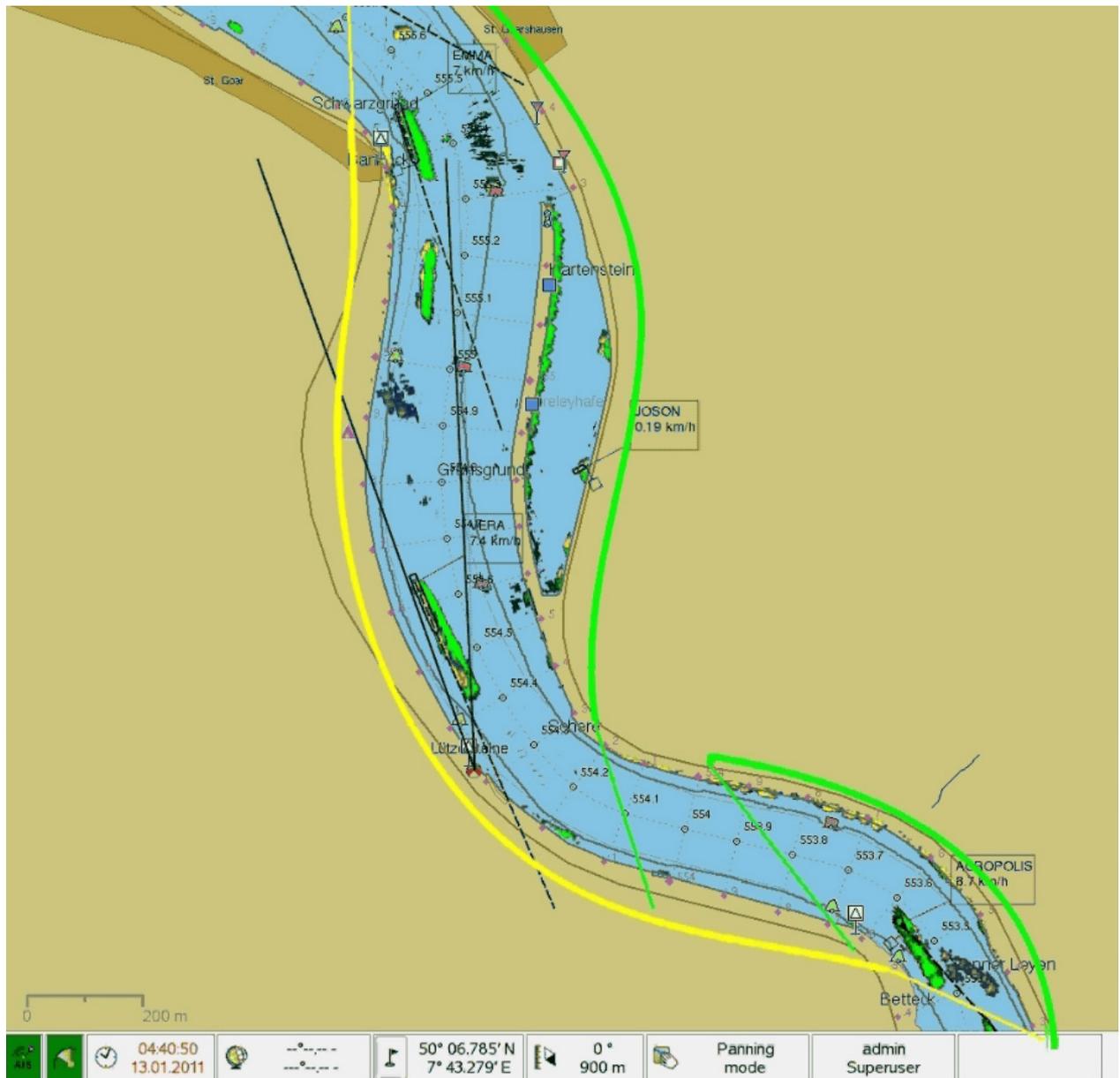
Anlage 4

Radaraufzeichnung der Revierzentrale Oberwesel vom 13.1.2011 - 04:40:18 Uhr bis 04:43:15 Uhr (Radarstationen „R2“ - gegenüber dem Kammereck - und „R3“ - gegenüber der Loreley)



Anlage 5

Radaraufzeichnung (Zeitraffer) der Revierzentrale Oberwesel vom 13.1.2011 - 04:40:50 Uhr bis 04:52:20 Uhr (Radarstationen „R2“ - gegenüber dem Kammerreck, „R3“ - gegenüber der Loreley und „R4“ - An der Bank)



Anlage 6

Berechnung der Intaktstabilität des TMS „Waldhof“ zum Havariezeitpunkt

Ladesituation

Posten	Volumen [m³]	Dichte [t/m³]	Gewicht [t]	LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]	Oberflächenmoment [mt]
Leerschiff			766	51,93	0	2,35	
Tank 7	168,818	1,8365	310,03	23,51	0,00	1,69	1067
Tank 6	179,807	1,8365	330,22	35,12	0,00	1,74	1067
Tank 5	188,198	1,8365	345,63	46,73	0,00	1,79	1067
Tank 4	202,974	1,8365	372,76	58,52	0,00	1,83	1101
Tank 3	202,963	1,8365	372,74	70,51	0,00	1,83	1101
Tank 2	187,147	1,8365	343,70	82,31	0,00	1,78	1067
Tank 1	164,941	1,8365	302,91	93,92	0,00	1,67	1067
FW BB 50%			4,93	15,13		3,72	1,14
FW SB 50%			7,70	15,69		-3,74	1,09
Treibst BB 50%			8,65	10,13		3,42	1,67
Treibst SB 50%			9,53	10,48		-3,46	1,64
Schmieröl 50%			0,96	13,33		3,68	1,30
Vorräte			1,00	10,00		0,00	5,00
GESAMT			3176,76	56,68	0,00	1,90	7537

Schwimmlage

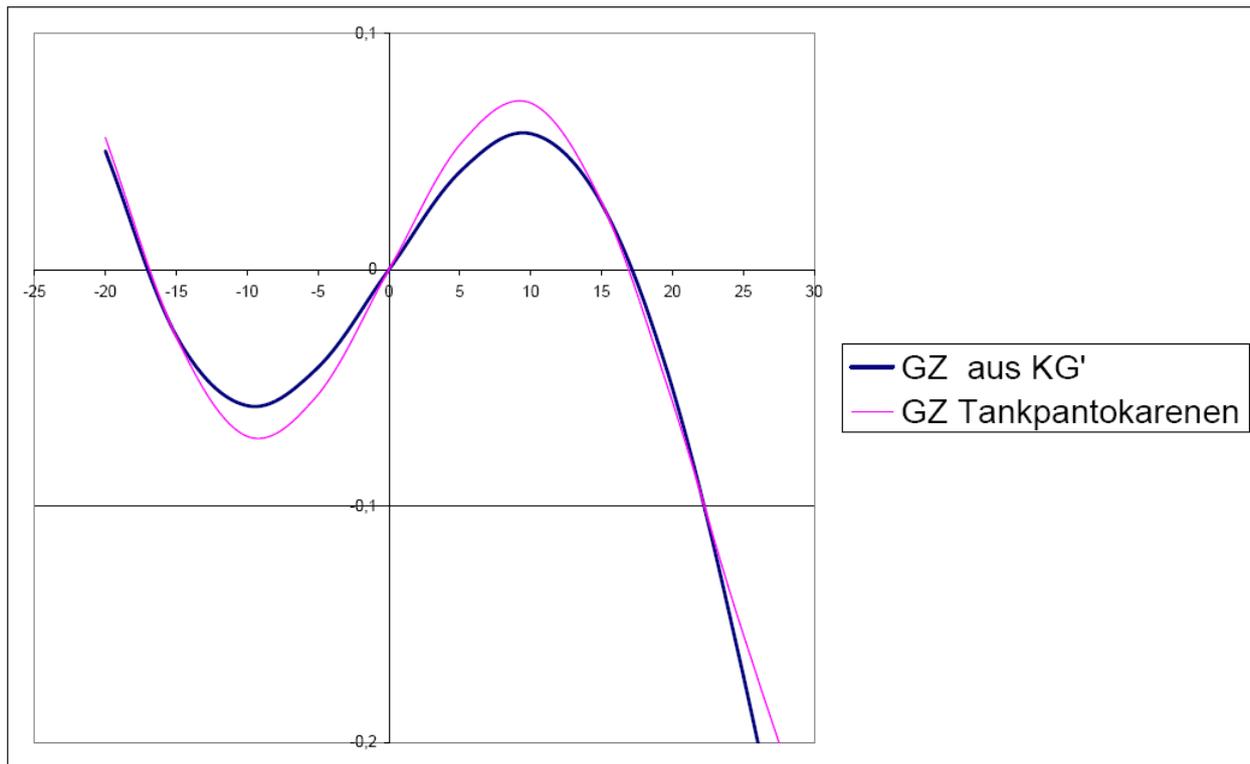
Verdrängung	Tiefgang	Tiefgang VL	Tiefgang HL	Trimm	Trimmoment	LCB	LCF
3176,8 t	3,12 m	3,16 m	3,08 m	-0,08 m	91,87 tm/cm	56,46 m	54,18 m
KMT	GMO	Delta GM	GM'	KG'			
	4,59 m	2,69 m	2,37 m	0,31 m	4,28 m		

Krängungswinkel	KN	GZ aus KG'	GZ Tankantokarenen
-20 deg.		0,05 m	0,06 m
-15 deg.		-0,03 m	-0,03 m
-10 deg.		-0,06 m	-0,07 m
-5 deg.		-0,04 m	-0,05 m
0 deg.	0,000	0,00 m	0,00 m
5 deg.	0,414	0,04 m	0,05 m
10 deg.	0,800	0,06 m	0,07 m
15 deg.	1,134	0,03 m	0,03 m
20 deg.	1,412	-0,05 m	-0,06 m
25 deg.	1,635	-0,17 m	-0,15 m
30 deg.	1,819	-0,32 m	-0,24 m
35 deg.	1,979	-0,47 m	-0,29 m
40 deg.	2,114	-0,63 m	-0,31 m
50 deg.	2,297	-0,98 m	-0,33 m
55 deg.	2,346	-1,16 m	-0,33 m
60 deg.	2,379	-1,32 m	-0,34 m

Intaktstabilitätskriterien nach :

	GZ aus KG'	GZ Tankantokarenen
ADN 2011		
Flächenkriterium unter GZ>0,024 [mrad]	0,011 mrad	0,013 mrad
Mindesthebelarm >0,10 [m]	0,06 m	0,07 m
Metazentrische Höhe >0,10 [m]	0,31 m	0,31 m
ADNR 2003		
Mindesthebelarm >0,10 [m] bei 5°	0,041 m	0,053 m

Schwimmlage theoretisch stabil?	ja (jedoch noch kleine dynamische Reserve)
Leckstabilität nach genehmigten Stabilitätsunterlagen erfüllt (Anforderung ADN/ ADNR) ?	nein (Genehmigte LR nur bis zu einer Dichte von 1,62 t/m ³ abgedeckt)



Verwendete Abkürzungen

FW	Frischwasser
GM0	Anfangsstabilität
GM'	korrigierte Anfangsstabilität (incl. freier Oberflächen Korrektur)
GZ	Aufrichtender Hebelarm
KG'	virtuelle Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes (incl. freier Oberflächen Korrektur)
KMT	metazentrische Höhe
KN	Pantokarenenwert
LCB	Längenschwerpunkt des Auftriebs
LCF	Längenschwerpunkt der Wasserlinienfläche
LCG	Längenlage des Gewichtsschwerpunktes
TCG	Lage aus Mitte Schiff des Gewichtsschwerpunktes
VCG	Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes

Anlage 7

Bergung und Schadensbilder des TMS „Waldhof“

1) Bergung des TMS „Waldhof“



Abbildung 1: Bergung des TMS „Waldhof“ - 13.2.2011



Abbildung 2: Bergung des TMS „Waldhof“ - 13.2.2011



Abbildung 3: Bergung des TMS „Waldhof“ - 13.2.2011



Abbildung 4: Bergung des TMS „Waldhof“ - 13.2.2011



Abbildung 5: Bergung des TMS „Waldhof“ - 13.2.2011

2) Allgemeine Schadensbilder



Abbildung 6: Bug und Schanzkleid des TMS „Waldhof“ - 15.2.2011

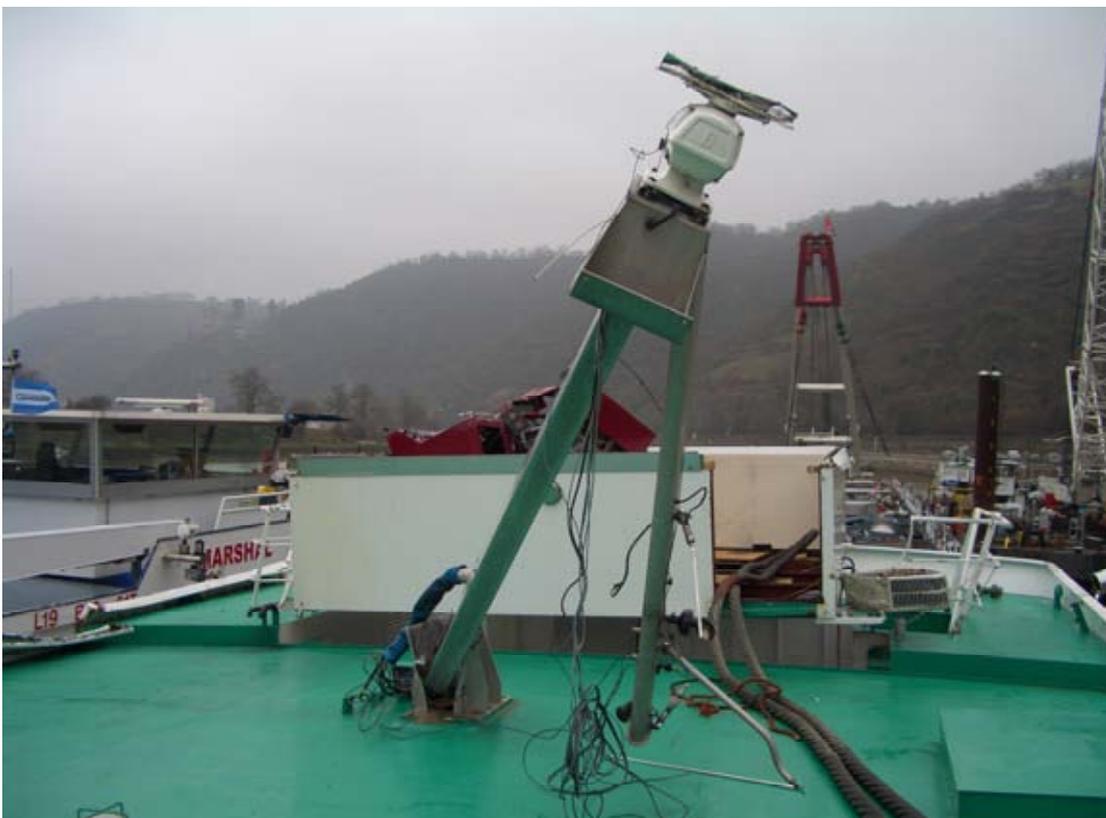


Abbildung 7: Beschädigter Radarmast und Steuerhaus - 15.2.2011



Abbildung 8: Zerstörter Steuerstand - 15.2.2011



Abbildung 9: Detailaufnahme Steuerpult und Fahrhebel - 15.2.2011



Abbildung 10: Deck des TMS „Waldhof“ (Blick nach achtern) - 15.2.2011



Abbildung 11: Im Zuge der Bergungsmaßnahmen in die Ladetanks geschnittene Öffnungen - 15.2.2011



Abbildung 12: Bergung des (vermutlichen) Steuerhausdaches des TMS „Waldhof“ bei Rhein-km 575,6 am 29.8.2012



Abbildung 13: Backbordseite des TMS „Waldhof“ auf der Helling - 25.2.2011



Abbildung 14: Backbordseite des TMS „Waldhof“ mit großflächiger Einbeulung - 25.2.2011



Abbildung 15: Backbordseite des TMS „Waldhof“ mit großflächiger Einbeulung - 25.2.2011



Abbildung 16: Steuerbordseite des TMS „Waldhof“ - 25.2.2011



Abbildung 17: Steuerbordseite des TMS „Waldhof“ im Bereich des Bugs - 25.2.2011



Abbildung 18: Heck des TMS „Waldhof“ - 25.2.2011



Abbildung 19: Ruderblätter und Propeller mit Kortdüse - 25.2.2011



Abbildung 20: Innenaufnahme Ladetank - 25.2.2011

3) Löcher in der Backbordkimm (Ballasttank 5)



Abbildungen 21 und 22: Löcher (\varnothing ca. 4 cm bis 6 cm) in der Backbordkimm - Ballasttank 5 - 25.2.2011



Abbildung 23: die beiden Löcher in der Backbordkimm - 25.2.2011

4) Schläuche in den Entlüftungsrohren der Ballasttanks 2 und 5



Abbildung 24: Entlüftungsrohr mit Schlauch Ballasttank 5 - Backbordseite - 14.2.2011



Abbildung 25: Entlüftungsrohr mit Schläuchen Ballasttank 2 - Backbordseite - 14.2.2011



Abbildung 26: Schlauch aus dem Entlüftungsrohr des Ballasttanks 2 - Backbordseite - 14.2.2011

5) Hochgeschwindigkeitsventile (High Jet Ventile)



Abbildung 27: Hochgeschwindigkeitsventil HS 2293 an Bord des TMS „Waldhof“ - 14.02.2011



Abbildung 28: Hochgeschwindigkeitsventil HS 2293



Abbildung 29: Hochgeschwindigkeitsventil HS-IMO2

Anlage 8

Veröffentlichung einer abweichenden Stellungnahme

Die Untersuchungskommission hat den Entwurf des abschließenden Untersuchungsberichts der Reederei des TMS „Waldhof“ übersandt und dieser Gelegenheit gegeben, sich zu den für die Ursachenfeststellung maßgeblichen Tatsachen und Schlussfolgerungen zu äußern.

Die betroffene Reederei hat mit Schreiben vom 20. Dezember 2012 abweichende Standpunkte deutlich gemacht, die die Ursachenfeststellung betreffen und die von den Positionen der Untersuchungskommission, wie sie im Untersuchungsbericht dargestellt sind, abweichen sowie deren Veröffentlichung von der Reederei gewünscht wurde.

Die differierenden Standpunkte und abweichenden Schlussfolgerungen der Reederei betreffen zum einen die Feststellungen der Unfalluntersuchungskommission zum Ort der Kenterung des TMS „Waldhof“ im Rheinstrom bei Rhein-km 553,75 und zum anderen den Stellenwert des Begegnungsmanövers des TMS „Waldhof“ mit dem bergfahrenden GMS „Acropolis“.

Die nachfolgenden Textpassagen sind wörtlich der Stellungnahme der betroffenen Reederei entnommen und werden von der Unfalluntersuchungskommission nicht kommentiert:

„Den Unfallhergang erachtet die von Ihnen geführte Kommission, zumindest den gewählten Formulierungen zufolge, für geklärt. Dass das TMS „Waldhof“ tatsächlich frei fahrend im Strom bei Rhein-km 553,75 gekentert ist, sehen wir entgegen den Aussagen Ihres Berichtes jedoch weiterhin als nicht erwiesen an. Wir stützen uns hierbei auf die Beurteilung der betreffenden Sachverhalte durch Ihrer Kommission nicht angehörende Sachverständige.

Ihr Bericht selbst und auch der vorangegangene Zwischenbericht vom 14.12.2011 halten fest, dass „konventionelle“ Berechnungen keine hinreichenden Kräfte für eine Kenterung im Strom ergeben haben. Das daraufhin bei FutureShip in Auftrag gegebene Gutachten bestätigt in der uns vorliegenden Fassung es nur als „möglich“, dass das Schiff an dieser Stelle frei fahrend im Strom gekentert ist. Im Übrigen liegen dieser Aussage des FutureShip Gutachtens zwei extrem komplexe Simulationen zugrunde, nämlich zum einen die Strömungssimulation der BAW und sodann die weitergehende Simulation durch FutureShip selbst. Um diese Simulationen durchführen zu können, mussten in Ermangelung von Meßdaten aus der Unfallnacht zahlreiche Annahmen getroffen und diverse Vereinfachungen eingeführt werden. Stellvertretend sei nur darauf hingewiesen, dass (1) keine Daten zu den Ruderlagen in der Anfahrt auf das Betteck und der Unfallstrecke selbst vorliegen (und auch nicht in für die Simulationen von FutureShip hinreichender Form aus den Fahrten auf dem BAW-Schiffsführungssimulator gewonnen werden können). Folglich liegen keine Daten zu gleich- oder gegensinnigen Erregungen der Ladung und des Schiffsrumpfes durch wechselnde Ruderlagen vor, sondern mussten insoweit Annahmen getroffen werden. Auch wurde (2) das Schiff in der Endphase der Simulation - entgegen Ihren Feststellungen zu den realen Gegebenheiten - ohne Antrieb und Ruder simuliert. Wir stellen nicht in Abrede, dass derartige Vereinfachungen durch Ausblendung einzelner Einflussfaktoren unumgänglich waren, um das Modell rechenbar zu halten, und mangels IST-Daten aus der Unfallnacht zu berechnungsrelevanten Parametern nolens volens Annahmen getroffen werden mussten. Aber bereits geringe Veränderun-

gen/Abweichungen bzgl. der Eingangsparameter und des Rechengangs sind bei Simulationen turbulenter Strömungen (wie an dieser Stelle des Rheins gegeben) geeignet, das Ergebnis zu beeinflussen, folglich auch auf Vereinfachungen und Annahmen beruhende Abweichungen. Es ist daher allgemein anerkannt, dass die Ergebnisse solcher Simulationen einer Validierung oder zumindest Plausibilisierung bedürfen. Für eine Plausibilisierung wäre eine Sensitivitätsanalyse durch eine Neu-/Zweitberechnung unter Variation der Eingangsparameter erforderlich. Für eine Validierung bedürfte es eines Abgleiches der Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen quantitativer Experimente. Wie Sie wissen, befinden sich Vertreter von LEHNERING, FutureShip und der BAW, letztere vertreten durch Mitglieder Ihrer Kommission, in fortgeschrittenen Gesprächen, ob und inwieweit zumindest eine Sensitivitätsanalyse machbar ist. Wir sind uns der Bedenken Ihrer Kommission bewusst, ob unter den obwaltenden Umständen auch nur eine Plausibilisierung gelingen kann oder eine solche an den Umständen dieses Falles scheitert. Auch wenn eine Plausibilisierung/Validierung an den Umständen des Einzelfalles scheitert, gilt jedoch, dass eine nicht belastbare Zahl nicht deshalb belastbarer wird, weil unter den Umständen des Einzelfalles weder ihre Verifikation noch ihre Falsifikation möglich ist. Die vorstehend skizzierten Bedenken gelten analog und verstärkt für die noch deutlich massiver vereinfachenden Simulationen auf dem Schiffsführungssimulator der BAW.

Ähnliches gilt auch für die Interpretation der Radarbilder: Ihre Kommission und die FVT haben diese nach bestem Wissen und Gewissen ausgewertet. Aber in der nur wenige Sekunden dauernden entscheidenden Phase hatte nur ein Radargerät das TMS „Waldhof“ im Blick und erfasste es unter sehr widrigen Umständen (felsige Ufer, kabbeliges Wasser in der Umgebung, Erfassung des Schiffes exakt vor Kopf, Hochwasser mit veränderten Winkeln). Nach unserer Auffassung lässt diese Situation keine abschließende, [...] eindeutige Würdigung zu. Auch eine Verifikation oder Falsifikation der Interpretation der Radarbilder durch nachfolgende Radarbilder scheidet leider aus, da das TMS „Waldhof“, ob umgeschlagen oder noch aufrecht fahrend, sich danach für rund zwei Minuten im Radarschatten des Koppelverbandes „Vera“ befand. Belastbare Alternativberechnungen/-simulationen, was passiert wäre, wenn TMS „Waldhof“ stark krängend, aber noch aufrecht schwimmend in den Radarschatten des KV „Vera“ eingetreten wäre, fehlen ebenfalls.

Damit ist gegenwärtig aus unserer Sicht nicht bewiesen, dass das TMS „Waldhof“ frei fahrend im Strom an der roten Tonne kenterte.

Unzureichend ausgeleuchtet erscheint uns auch der Unfallbeitrag des GMS „Acropolis“. Zur Abkürzung verweisen wir auf das Gutachten des Sachverständigen Franz vom 9. Juni 2011. Der Sachverständige ist bekanntlich der Überzeugung, aufgrund der Begegnung mit dem GMS „Acropolis“ sei dem TMS „Waldhof“ der bei den gegebenen Abflussbedingungen allein eine sichere Passage erlaubende Weg verlegt gewesen; auf dem durch die Begegnung erzwungenen Kurs sei es dem Schiffsführer des TMS „Waldhof“ nicht mehr möglich gewesen, das rechte Ufer freizufahren. Der Gutachter DST hat ergänzend festgestellt, dass das Schadenbild am Rumpf des TMS „Waldhof“ mit einem flächigen Anstoß an der Uferböschung vereinbar ist.“

Herausgeber:

Unfalluntersuchungskommission TMS „Waldhof“

bei der

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest
Brucknerstraße 2
55127 Mainz

Telefon: 06131-979-0
Telefax: 06131-979-155

E-Mail: wsd-suedwest@wsv.bund.de
Internet: www.wsd-suedwest.wsv.de

ELWIS: www.elwis.de
