



Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung
Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation
Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums
für Digitales und Verkehr

Untersuchungsbericht 23/20

Weniger schwerer Seeunfall

**Ladungsunfall
(Verlust zweier Mobilkrane)
auf der
JUMBO VISION
am Liegeplatz im Hafen Rostock
am 31. Januar 2020**

21. Dezember 2021

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit dem Gesetz zur Verbesserung der Sicherheit der Seefahrt durch die Untersuchung von Seeunfällen und anderen Vorkommnissen (Seesicherheits-Untersuchungs-Gesetz – SUG) durchgeführt. Danach ist das alleinige Ziel der Untersuchung die Verhütung künftiger Unfälle. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens, der Haftung oder von Ansprüchen (§ 9 Abs. 2 SUG).

Der vorliegende Bericht soll nicht in Gerichtsverfahren oder Verfahren der seeamtlichen Untersuchung verwendet werden. Auf § 34 Abs. 4 SUG wird hingewiesen.

Bei der Auslegung des Untersuchungsberichtes ist die deutsche Fassung maßgebend.

Herausgeber:
Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung
Bernhard-Nocht-Str. 78
20359 Hamburg



Direktor: Ulf Kaspera
Tel.: +49 40 3190 8300
posteingang@bsu-bund.de

Fax.: +49 40 3190 8340
www.bsu-bund.de

Änderungsverzeichnis

Seite	Änderung	Datum

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	8
2	FAKTEN	10
2.1	Schiffsfoto.....	10
2.2	Schiffsdaten.....	10
2.3	Reisedaten	11
2.4	Angaben zum Seeunfall	11
2.5	Einschaltung der Behörden an Land und Notfallmaßnahmen	13
3	UNFALLHERGANG UND UNTERSUCHUNG	14
3.1	Unfallhergang.....	14
3.1.1	Geschehnisse vor dem Unfall.....	14
3.1.2	Geschehnisse während des Unfalls	19
3.2	Unfallfolgen.....	21
3.2.1	Umweltschäden.....	21
3.2.2	Schäden am Schiff	21
3.2.3	Bergung der Krane	24
3.3	Weiterer Verlauf.....	25
3.4	Untersuchung	26
3.4.1	Grundsätzliche Feststellungen	26
3.4.1.1	Das Schwergutschiff JUMBO VISION	26
3.4.1.2	Liebherr LHM 550.....	26
3.4.1.3	Am Unfallgeschehen beteiligte Personen	30
3.4.1.4	Besichtigung der Unfallstelle	30
3.4.2	Hypothese 1: Unzuverlässige Funkverbindung	32
3.4.2.1	Überspringen des Funksignals	32
3.4.2.2	Abreißen des Funksignals	32
3.4.3	Hypothese 2: Fehlfunktion.....	33
3.4.4	Hypothese 3: Fehlbedienung.....	33
3.4.4.1	Datenchips.....	33
3.4.5	Hypothese 4: Widrige Witterungsverhältnisse	39
3.4.5.1	Gutachten des DWD.....	39
3.4.5.2	Reibwertgutachten.....	39
3.4.6	Hypothese 5: Wasserseitige Vorkrängung	40
3.4.6.1	Demonstration eines Ballastvorgangs	40
3.4.6.2	Kranneigung vs. Schiffsneigung	40
3.4.6.3	Überwachungskameras	42
3.4.7	Hypothese 6: Zusammenstoß mit bordeigenem Ladegerüst	45
3.4.7.1	Überwachungskameras	45
3.4.7.2	VDR-Mikrofone	46

3.4.8	Hypothese 7: Einfluss von Stabilität und Rollverhalten	47
3.4.8.1	Überwachungskameras	47
3.4.8.2	VDR-Mikrofone	50
3.4.8.3	Datenchips.....	52
3.4.8.4	Gutachten zu Stabilität und Rollverhalten der JUMBO VISION	56
3.4.9	Hypothese 8: Durchdrehender angetriebener Radsatz	63
3.4.9.1	Gutachten über die Besonderheiten des hydraulischen Antriebs des LHM 550	63
3.4.10	Hypothese 9: Unzureichende Kommunikation.....	66
4	AUSWERTUNG	68
4.1	Stabilität.....	68
4.1.1	Verfahrsequenz	68
4.1.2	Rollschwingung	68
4.1.3	Stabilitätsmanagement.....	69
4.2	Kranantrieb	69
4.3	Ausgelegte Stahlplatten.....	70
4.4	Kommunikation.....	70
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	71
6	BEREITS DURCHGEFÜHRTE MAßNAHMEN	73
7	SICHERHEITSEMPFEHLUNGEN	74
7.1	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).....	74
7.1.1	Ausrüstungspflicht mit elektronischen Präzisionsinklinometern.....	74
7.1.2	Aufzeichnung von Rollwinkel, -periode und -beschleunigungen durch den VDR	74
7.2	Jumbo Shipping Co SA	74
7.2.1	Überarbeitung interner Abläufe in Bezug auf die Vorabplanung von Beladungsfällen	74
7.2.2	Überarbeitung interner Abläufe in Bezug auf die Kommunikation zwischen den Schiffen und den für Beladungsplanung zuständigen Personen	75
7.2.3	Überarbeitung der Risikobeurteilungen für Verfahrenvorgänge von Kranen an Deck.....	75
7.3	Liebherr-MCCtec Rostock GmbH.....	75
7.3.1	Kommunikation der für die Verschiffung relevanten Daten	75
8	QUELLENANGABEN	76
9	ANLAGEN	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schiffsfoto	10
Abbildung 2: Seekarte, Überblick Überseehafen Rostock	12
Abbildung 3: Detail Überseehafen Rostock, Liegeplatz 25	12
Abbildung 4: betriebsbereiter Liebherr LHM 550	14
Abbildung 5: an Deck ausgelegte Stahlplatten	15
Abbildung 6: „Tandem Lift“ von Kran 2	16
Abbildung 7: ausgebrachter Stabilitätsponton	17
Abbildung 8: Blick an Deck nach achtern, nach Verladung beider Krane	18
Abbildung 9: Prinzipskizze: Positionen der Krane an Deck direkt vor dem Unfall.....	19
Abbildung 10: Stauplan: finale Staupositionen	19
Abbildung 11: Schäden im Bereich des Seitengangs und Ölteppich	22
Abbildung 12: Von Kran 1 verursachte Schäden im Backbordseitengang.....	23
Abbildung 13: Von Kran 2 verursachte Schäden im Backbordseitengang.....	23
Abbildung 14: Dreidimensionales Bild der vermessenen Hafensohle mit den havarierten Krane.....	24
Abbildung 15: Bergung eines LHM 550 durch die HEBO LIFT	25
Abbildung 16: Die JUMBO VISION am Tag der Begehung durch die BSU	26
Abbildung 17: Fahrwerk des LHM 550	27
Abbildung 18: Doppelt ausgeführte Abstützplatte von Kran 2	29
Abbildung 19: Position der Stahlplatten an Deck nach dem Unfall	31
Abbildung 20: Überblick: Stell- und Sensorsignale von Kran 2 in der Minute vor dem Unfall	36
Abbildung 21: Detail: Fahrwerksansteuerung Kran 2	38
Abbildung 22: Verladung baugleicher Krane auf der Folgereise: Blick an Deck.....	41
Abbildung 23: Verladung baugleicher Krane auf der Folgereise: Blick auf den Horizont.....	41
Abbildung 24: Screenshot Überwachungskamera; direkt vor dem Unfall	43
Abbildung 25: Screenshot Überwachungskamera; fallender Kran 2.....	43
Abbildung 26: Screenshot Überwachungskamera; eintauchender Kran 1.....	43
Abbildung 27: Screenshot zweite Überwachungskamera; vor dem Unfall.....	44
Abbildung 28: Standorte der Überwachungskameras in Relation zu Liegeplatz 25..	44
Abbildung 29: Screenshot Überwachungskamera kurz vor Schwenken des eigenen Ladegeschirrs.....	45

Abbildung 30: Screenshot Überwachungskamera nach Schwenken des eigenen Ladegeschirrs	45
Abbildung 31: Photogrammetrie: landseitige Krängung durch Schwenken des eigenen Ladegeschirrs	46
Abbildung 32: Photogrammetrisch ermittelte Krängungswinkel	48
Abbildung 33: Photogrammetrie: Vergleich t_0 und t_4	49
Abbildung 34: Rollwinkel über die Zeit nach allen drei Messmethoden	50
Abbildung 35: Visualisierung der beiden relevanten VDR-Tondateien	51
Abbildung 36: Detail: Neigung, Meisterschaltersignal, rechnerischer Fahrweg	53
Abbildung 37: Simulation: auf das Schiff wirkende Momente und resultierende Rollwinkel	59
Abbildung 38: Rollwinkel über die Zeit nach allen drei Messmethoden plus Simulationswerte	60

1 ZUSAMMENFASSUNG

Am 30. Januar 2020 lag das Schwergutschiff JUMBO VISION im Überseehafen in Rostock. Im Laufe dieses und des folgenden Tages wurden nacheinander zwei Hafemobilkrane vom Typ Liebherr LHM 550 auf die Lukendeckel des Schiffs geladen. Hierfür wurde das bordeigene Ladegeschrir im Tandembetrieb verwendet.

Am 31. Januar um ca. 20:45 Uhr¹ waren die Stabilitätspontons² bereits eingeholt. Die Radsätze des achteren Krans waren quer gestellt. Aus verschiedenen Gründen musste er noch ein kurzes Stück in Richtung Wasserseite verfahren werden. Zunächst wurde er versehentlich kurz in die falsche Richtung angefahren, bevor der Fehler bemerkt und in die gewünschte Richtung gefahren wurde.

Nach wenigen Zentimetern Fahrt sollte der Kran wegen eines Hindernisses angehalten werden. Doch trotz verschiedener Fahrbefehle (stopp, umsteuern etc.) gelang es nicht, ihn zum Stehen zu bringen. Scheinbar ohne zu reagieren, rollte der Kran von der Luke und fiel daraufhin ins Hafenbecken. Durch die entstandene starke Schlagseite rutschte unmittelbar danach auch der vordere Kran ins Wasser.

Die JUMBO VISION trug leichte Schäden vor allem an Armaturen und Reling eines Seitengangs davon. Die LHM 550 wurden etwa einen Monat später geborgen. Das betroffene Hafenbecken blieb bis dahin zunächst voll und später teilweise gesperrt. Es kam zu einer leichten Gewässerverunreinigung durch austretende Betriebsstoffe.

Den Untersuchern der BSU präsentierten sich diverse mögliche Hypothesen, warum der Kran scheinbar nicht auf die Fahrbefehle reagiert hatte. Diese wurden der Reihe nach abgearbeitet und größtenteils widerlegt. Letztendlich zeichnete eine Kombination mehrerer Faktoren verantwortlich für den Unfall.

Ein Stabilitätsgutachten konnte nachweisen, dass die Anfahr- und Bremsbewegungen eine stärker werdende Rollschwingung des gesamten Schiffes auslösten. Die Fahrt des Krans in Richtung Wasserseite fiel mit einer Rollbewegung in dieselbe Richtung zusammen.

Ein Gutachten zum hydraulischen Antrieb des LHM 550 konnte zeigen, dass mindestens einer der antreibenden Radsätze des zuerst gefallen Krans Schlupf bekam und durchdrehte, weshalb der Kran seine Antriebsleistung nicht mehr auf den Untergrund übertragen konnte.

Unfallbegünstigend wirkte sich auch ein Kommunikationsdefizit aus, das alle involvierten Parteien betraf.

¹ Alle im Bericht genannten Uhrzeiten sind Ortszeit (MEZ = UTC + 1).

² Wassergefüllte Stabilitätspontons werden beim Heben schwerer Ladung starr und teilweise eingetaucht am Schiff befestigt und vergrößern so seine Wasserlinienfläche (und damit sein Breitenrägheitsmoment und seine Stabilität). Sie dienen nicht, wie oft fälschlicherweise angenommen wird, der Schaffung zusätzlicher Anti-Heeling-Ballastkapazität.

Der Bericht schließt mit einer Reihe von Sicherheitsempfehlungen, u. a. für eine mögliche Ausrüstungspflicht von Schiffen über 3.000 BRZ mit elektronischen Präzisionsinklinometern.

2 FAKTEN

2.1 Schiffsfoto

Quelle: Hasenpusch Photo Productions



Abbildung 1: Schiffsfoto

2.2 Schiffsdaten

Schiffsname:	JUMBO VISION
Schiffstyp:	Schwergutschiff
Flagge:	Niederlande
Heimathafen:	Rotterdam
IMO-Nummer:	9153642
Unterscheidungssignal:	PBBG
Betreiber:	Jumbo Shipping Co SA
Eigner:	Jumbo Vision B. V.
Baujahr:	2000
Bauwerft:	Madenci Gemi Sanayi Ltd. Sti. (Türkei)
Klassifikationsgesellschaft:	Lloyd's Register
Länge ü.a.:	110,49 m
Breite ü.a.:	20,72 m
Tiefgang maximal:	7,70 m
Bruttoraumzahl:	7.966
Tragfähigkeit:	6.993 t
Maschinenleistung:	4.900 kW
Hauptmaschine:	MAN B&W 7S35MC
Ladegeschrir:	2x Huisman, jeweils SWL = 400 t
Geschwindigkeit:	15,9 kn
Werkstoff des Schiffskörpers:	Stahl
Schiffskörperkonstruktion:	verstärkt für Schwergut; Doppelboden

2.3 Reisedaten

Abfahrtshafen:	Rostock (Deutschland)
Anlaufhafen:	Apapa/Lagos (Nigeria)
Art der Fahrt:	Berufsschiffahrt international
Angaben zur Ladung:	Gemischtes Schwer- und Stückgut im Laderaum, zwei Hafenkrane an Deck
Besatzung:	15
Tiefgang zum Unfallzeitpunkt:	$T_v = 7,45 \text{ m}$, $T_m = 7,65 \text{ m}$, $T_a = 7,87 \text{ m}$
Lotse an Bord:	Nein
Anzahl der Passagiere:	Keine

2.4 Angaben zum Seeunfall

Art des Seeunfalls:	Weniger schwerer Seeunfall (WSU); Überbordgehen der Decksladung
Datum/Uhrzeit:	31. Januar 2020, 20:50 Uhr
Ort:	Überseehafen Rostock, Hafenbecken B, Liegeplatz 25
Breite/Länge:	$\varphi = 54^{\circ}09' \text{ N}$, $\lambda = 012^{\circ}07' \text{ E}$
Fahrtabschnitt:	Liegen längsseits Hafempier
Platz an Bord:	an Deck
Folgen:	<ul style="list-style-type: none">– eine leicht verletzte Person, eine Person unter Schock– leichte Schäden am Schiff– Totalverlust beider mobilen Krane– Vollsperrung des Hafenbeckens bis 8. Februar 2020, Teilspernung bis 10. März 2020– leichte Gewässerverunreinigung durch austretende Betriebsstoffe

Ausschnitt aus Seekarte INT 1355, BSH 1672

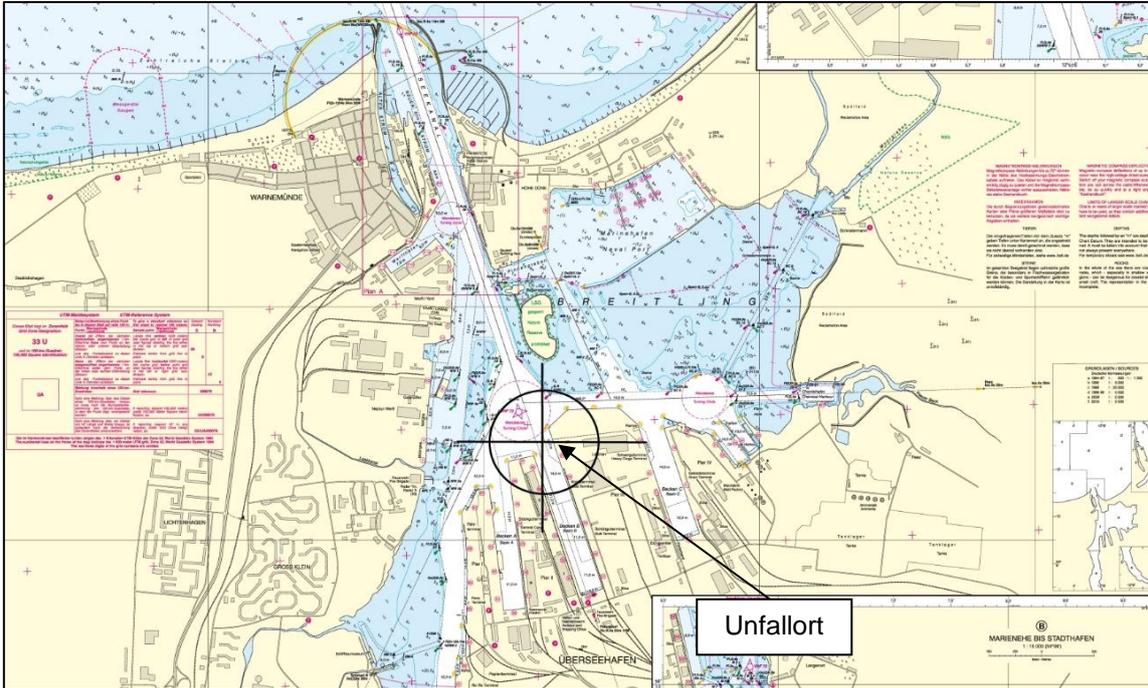


Abbildung 2: Seekarte, Überblick Überseehafen Rostock

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH

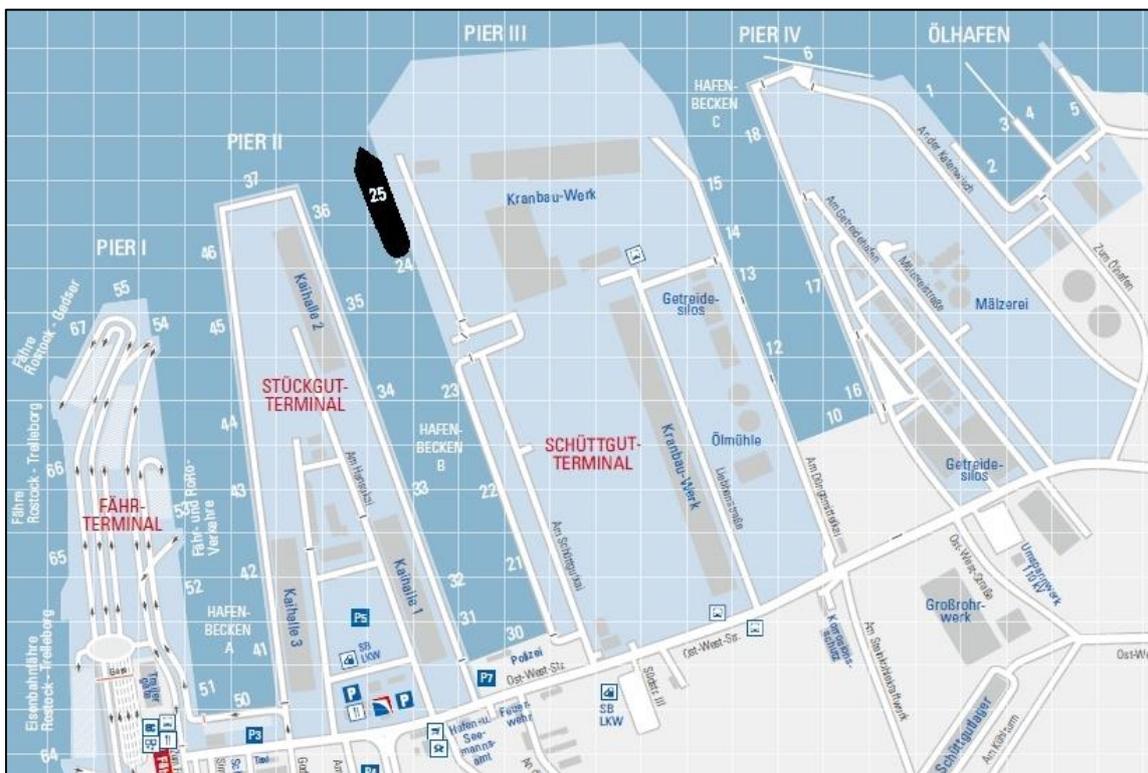


Abbildung 3: Detail Überseehafen Rostock, Liegeplatz 25

2.5 Einschaltung der Behörden an Land und Notfallmaßnahmen

- Beteiligte Stellen:
- Wasserschutzpolizei Rostock
 - Hafenamt Rostock
 - VKZ³ Warnemünde
- Eingesetzte Mittel:
- ARKONA (Mehrzweckschiff der WSV⁴ zur Bekämpfung von Öl- und Chemikalienunfällen)
 - Schlepper zur Sicherung des Hafenbeckens
 - Schwimmkran HEBO LIFT 9 für die Bergung
 - Ölbekämpfungsschiff HEBO CAT 8
- Ergriffene Maßnahmen:
- Verhinderung einer Ausbreitung der Betriebsstoffleckage, u. a. durch Ausbringung einer Ölsperre
 - Entnahme von Luft- und Wasserproben durch die ARKONA
 - Sperrung des Hafenbeckens
 - Einsatz von Tauchern zur genauen Lagebestimmung und später Zerlegung der Ausleger der Krane
 - später vollständige Bergung
 - Verbleib des Schiffes in Rostock bis zum Abschluss der durch den Unfall notwendigen Reparaturen

³ Verkehrszentrale.

⁴ Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.

3 Unfallhergang und Untersuchung

3.1 Unfallhergang

Die Beschreibung des Unfallhergangs beruht auf den schriftlich und mündlich getätigten Aussagen der beteiligten und anwesenden Personen, sowie auf den Berichten von Verkehrszentrale, Wasserschutzpolizei, Bergungsunternehmen und der Firma Liebherr-MCCtec Rostock GmbH.

3.1.1 Geschehnisse vor dem Unfall

Das erste Treffen zwischen den für die Verladung der mobilen Krane verantwortlichen Personen fand am 27. Januar 2020 um 14:00 Uhr bei Liebherr statt. Je ein Vertreter von Liebherr und des von Liebherr beauftragten Charterunternehmens (das seinerseits Jumbo Shipping mit dem Seetransport der Krane beauftragt hatte), der im Dienst von Jumbo stehende sog. „Port Captain“⁵ und ein Vormann des für das An- und Abschlagen der Krane zuständigen Stauereiunternehmens diskutierten die geplanten Abläufe sowie das von Jumbo Shipping erstellte „Method Statement“⁶ und einigten sich auf ein gemeinsames Vorgehen.

Quelle: Liebherr-MCCtec Rostock GmbH

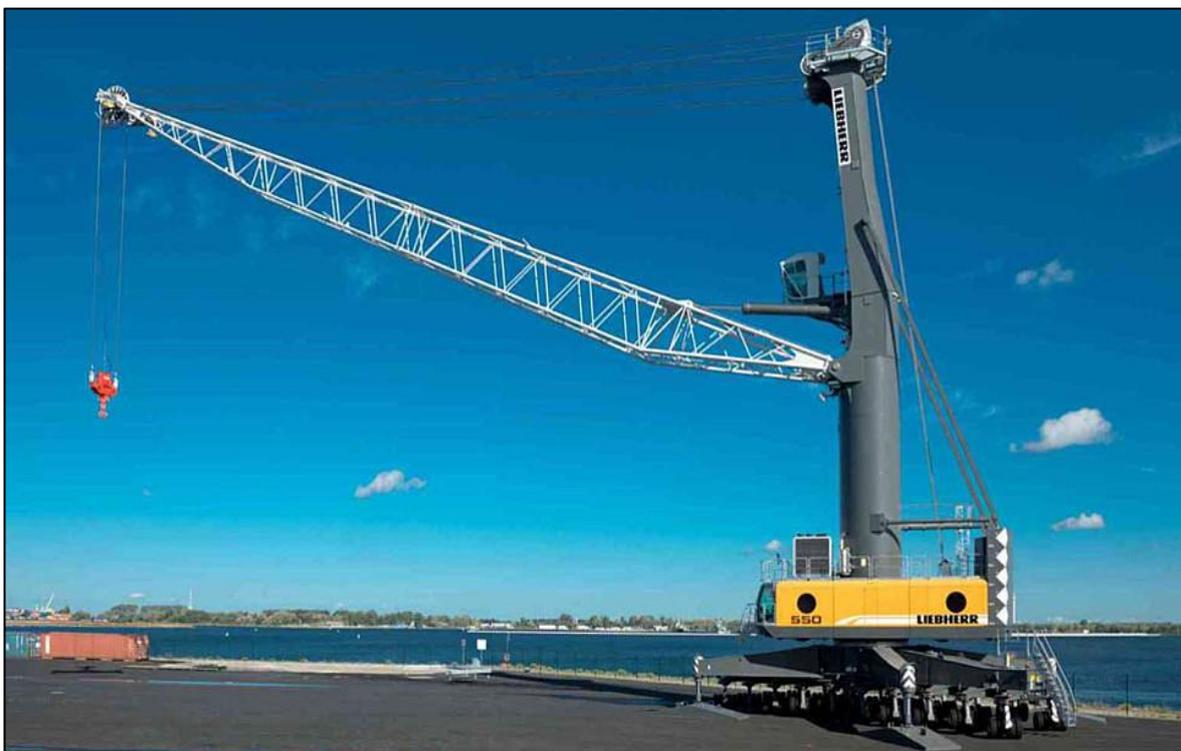


Abbildung 4: betriebsbereiter Liebherr LHM 550
Bei den verladenen Modellen fehlten Hubseile und Haken, die Abstützplatten waren doppelt ausgeführt.

⁵ Zur Funktion des Port Captain siehe Pkt. 3.4.1.3.

⁶ Im „Method Statement“ wird der Transport einer Ladung über den Verlauf der gesamten bevorstehenden Reise inkl. Ver- und Entladung beschrieben. Es enthält z. B. Stabilitätsunterlagen für die Übernahme sowie den Transport, Ladungssicherungsmethoden, Hubanordnung, ggf. auch Tideneinfluss, Speditionsangaben, Überwachungsmöglichkeiten etc.

Der Ladungsbetrieb begann am 30. Januar um 06:45 Uhr mit einem sog. „Toolbox Meeting“⁷. An allen Toolbox Meetings für die Verladung der zwei LHM 550 nahmen Vertreter des Schiffes, des Kranherstellers und des Stauereibetriebs teil, sowie mindestens ein für das Verfahren zuständiger Techniker. Es gibt keine schriftlichen Aufzeichnungen über diese Zusammenkünfte.

Im Laufe des Vormittages wurden die Lukendeckel für die Aufnahme zweier Krane desselben Typs vorbereitet (Liebherr LHM 550, siehe Abbildung 4), die an Deck nach Apapa/Lagos (Nigeria) transportiert werden sollten.

Es wurden Stahlplatten zur Lastverteilung ausgelegt, auf denen die Fahrwerke der Krane später größtenteils stehen sollten (siehe Abbildung 5). Die Platten waren bereits im vorherigen Hafen Antwerpen an Bord genommen worden.

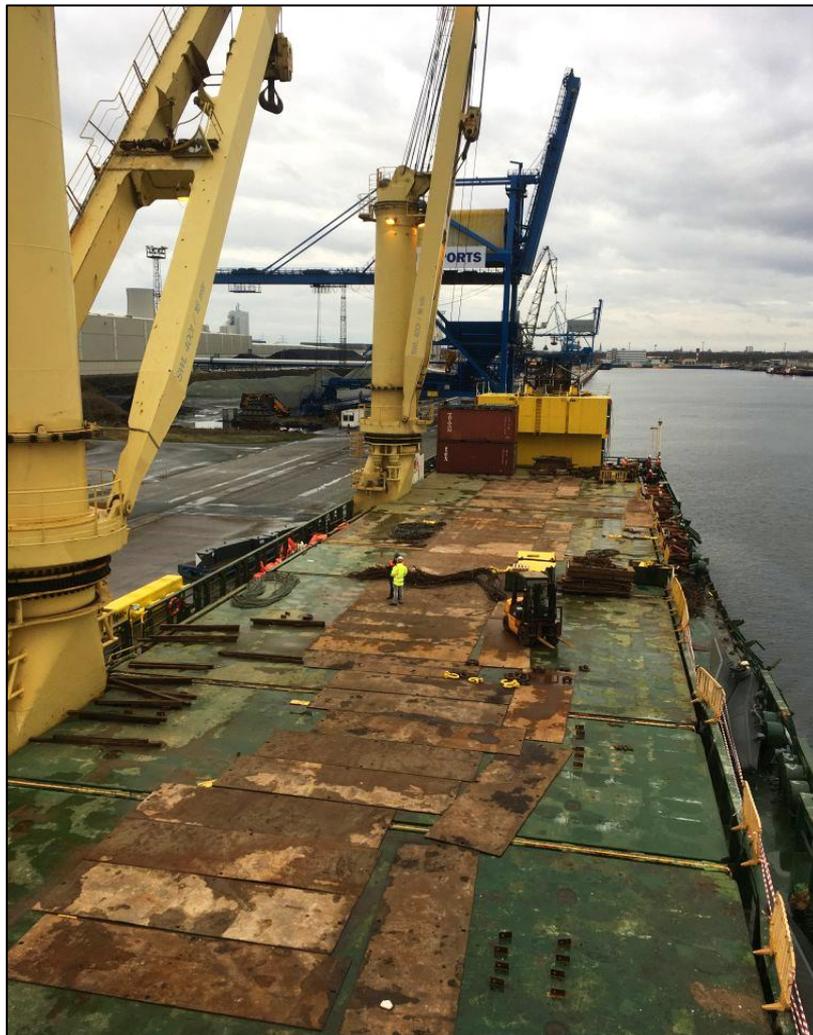


Abbildung 5: an Deck ausgelegte Stahlplatten
(Blick nach achtern; Aufnahme nach dem Unfall)

⁷ Ein „Toolbox Meeting“ ist ein formloses Sicherheitstreffen, in dem es um Sicherheitsthemen geht, die sich auf eine spezifische bevorstehende Tätigkeit beziehen, wie z. B. Gefährdungen oder sichere Arbeitsabläufe. Es ist meist von kurzer Dauer und findet in der Regel direkt vor Aufnahme einer Arbeit oder Schicht statt.

Am Nachmittag und Abend des 30. Januar wurde die Verladung des ersten Krans (im Folgenden „Kran 1“) durchgeführt. Hierbei arbeiteten die beiden bordeigenen Ladekrane im Tandembetrieb („Tandem Lift“).

Am Vormittag des 31. Januars konnte wegen starker Windböen die Verladung nicht fortgeführt werden. Das Deck war infolge eines fast durchgehenden Nieselregens nass.

Anlässlich der Wiederaufnahme der Ladearbeiten nach Wetterbesserung fand um 13:00 Uhr das nächste Toolbox Meeting statt. Im Anschluss wurde der zweite Kran („Kran 2“) an Bord der JUMBO VISION gehoben. Wie bei der ersten Verladung wurde hier mit eigenem Bordgeschirr im Tandembetrieb gearbeitet (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: „Tandem Lift“ von Kran 2

Kran 2 wurde mittschiffs abgesetzt. Kran 1 stand, noch ungelascht⁸ und auf seine Abstützzylinder gestützt, im vorderen Decksbereich, etwa auf seiner finalen Stauposition. Sein Ausleger war ca. 30° zur Wasserseite gerichtet.

Beide Krane standen parallel zur Schiffslängsrichtung. Eine Querneigung des Schiffes (also eine Krängung) bedeutete demnach auch eine Neigung in Querrichtung der Krane.

Kran 2 musste noch an Deck verfahren werden, bevor er seine finale Stauposition erreichen würde. Dies hatte die folgenden Gründe:

⁸ „Laschen“ bezeichnet das seefeste Festzurren von Ladung am Schiff mithilfe von Ketten, Bändern, Spannschrauben etc. (sog. „Laschings“).

- Der Tandembetrieb lässt nur einen begrenzten Abstellbereich zu.
- Die noch ausgebrachten Stabilitätspontons (Abbildung 7) mussten eingeholt werden. Dies konnte nur bei noch aufgetoppten Auslegern der LHM 550 und in einer bestimmten Konstellation der Krane an Deck erfolgen. Später – über sie hinweg und in ihrer finalen Stauposition – wäre dies nicht mehr möglich gewesen.
- Die Ausleger der beiden LHM 550 mussten abgelegt werden, wie in den Transportunterlagen von Liebherr vorgeschrieben. Dies war bei deren Länge von jeweils ca. 57 m und den herrschenden Platzverhältnissen nicht einfach (siehe Abbildung 8) und konnte ebenfalls nur mithilfe kleinerer Bewegungen der Krane an Deck realisiert werden. Das bordeigene Ladegerüst musste dafür aus dem Weg geschwenkt werden und wurde bei der Gelegenheit gleich seefest gesichert.

Jeweils drei ihrer fünf Gegengewichte waren noch nicht abgenommen worden, da dies erst nach dem Ablegen (also dem letzten Bewegen) der Ausleger erfolgen konnte. Dafür war ein an Land befindlicher Kran vorgesehen.

Wird der LHM 550 verfahren, muss sein Ausleger aufgetoppt sein.



Quelle: JUMBO VISION

Abbildung 7: ausgebrachter Stabilitätsponton

Um etwa 17 Uhr und 19 Uhr wurde jeweils einer der beiden Stabilitätspontons des Schiffs gelenzt und mit dem bordeigenen Ladegeschirr von seiner Position auf der Wasserseite an seinen Stauplatz auf dem Achterschiff gesetzt.

Ein weiteres Toolbox Meeting, diesmal für das geplante Verfahren der zwei Krane, fand um 18 Uhr statt.

Das Verfahren der Krane an Deck ohne ausgebrachte Stabilitätspontons war in den von Jumbo Shipping an Land berechneten Ladefällen nicht berücksichtigt. Die Verschiebung des Gewichts von Kran 2 an Deck wurde daher von Kapitän, Erstem Offizier und Port Captain mithilfe des Ladungsrechners an Bord vorab durchgerechnet und für unproblematisch befunden. Demnach sei lediglich eine Krängung von 0,4° nach Backbord zu erwarten gewesen.

Musste einer der verladenen Krane an Deck verfahren werden, wie es hier der Fall war, dann geschah dies nur durch einen ausschließlich mit dieser Aufgabe betrauten Kranfahrer, einem Techniker der Firma Liebherr. Jeder Kran verfügte über seine eigene Funkfernbedienung (der Fahrer stand also neben dem jeweils zu fahrenden Kran). Die Kommunikation mit dem Port Captain, von dem der Kranfahrer seine Anweisungen erhielt, erfolgte auf Englisch.

Ab ca. 20:00 Uhr wurden durch die Besatzung vorbereitende Arbeiten für die Sicherung der Decksladung durchgeführt. Um etwa 20:45 Uhr wurde das bordeigene Ladegeschirr gesichert, dafür wurde Kran 2 ein Stück nach achtern verfahren.



Abbildung 8: Blick an Deck nach achtern, nach Verladung beider Krane

3.1.2 Geschehnisse während des Unfalls

Um ca. 20:45 Uhr befanden sich der Port Captain, der Kranfahrer der Firma Liebherr, alle drei nautischen Offiziere, der Bootsmann, der Fitter⁹ und vier Decksleute der JUMBO VISION sowie mehrere Angestellte des zuständigen Stauereiunternehmens an Deck. Der Kapitän war auf der Brücke, um ggf. Ballastbewegungen durchführen zu können. Nach übereinstimmenden Aussagen aller Zeugen hatte das Schiff zu diesem Zeitpunkt keine Schlagseite.

Kran 2 war gerade ein kurzes Stück nach achtern verfahren worden und stand nun mit angehobenen Stützen mittschiffs (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

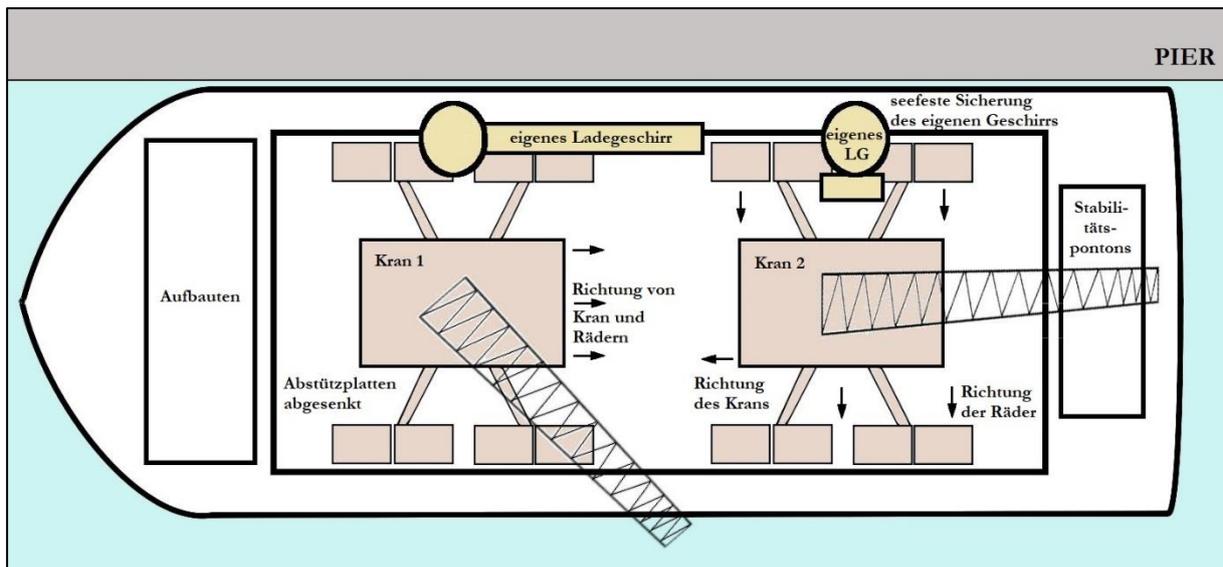


Abbildung 9: Prinzipskizze: Positionen der Krane an Deck direkt vor dem Unfall (Länge-Breite-Verhältnis verzerrt dargestellt.)

Seine finale Stauposition war weiter in Richtung Seeseite geplant, mit den Stützen außerhalb des Lukendeckels auf hölzernen Pallen im Backbordseitengang.

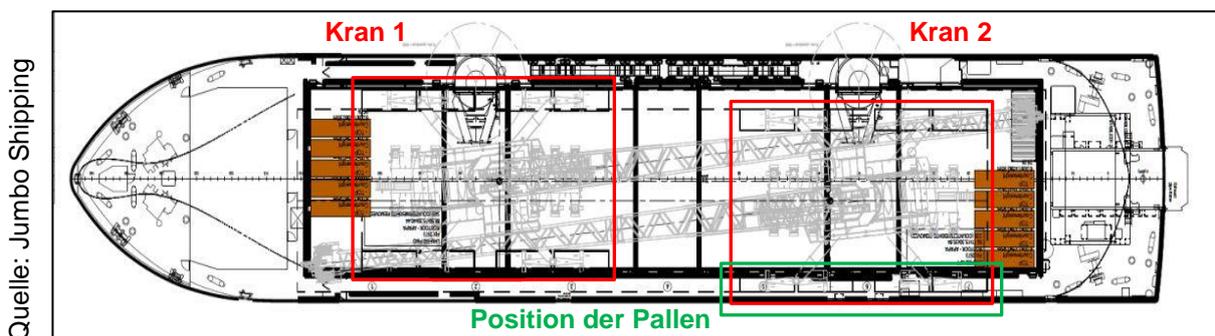


Abbildung 10: Stauplan: finale Staupositionen

Der Port Captain ordnete an, Kran 2 seitlich um ca. 20 cm in Richtung Wasserseite zu verfahren, um den Ausleger von Kran 1 ablegen zu können. Die Radsätze von Kran 2 wurden zu diesem Zweck quer gestellt (sog. „Hundegang“).

⁹ Metallfacharbeiter (hier als Schweißer im Einsatz).

Die Vorausrichtung von Kran 2 stimmte zu dem Zeitpunkt mit der des Schiffs überein; sein Ausleger war dabei nach achtern gerichtet.

Zunächst fuhr der Kranfahrer den Kran versehentlich in Richtung Landseite an, stoppte ihn dann aber sofort und fuhr in die angewiesene Richtung.

Eine Verwechslung der Fahrtrichtung ist angesichts der um 360° drehbaren Radsätze möglich, da je nach Drehrichtung der Radsätze beim Querstellen die Vorwärts- und die Rückwärtsfahrt an der Fernbedienung vertauscht sein können.

Nach wenigen Zentimetern zur Seeseite gab ihm der Port Captain zu verstehen, dass er anhalten solle, da Laschmaterial im Weg liege, das entfernt werden müsse. Der Kranfahrer legte den Fahrhebel der Funkfernbedienung auf „null“, doch der Kran schien nicht zu reagieren und fuhr weiter.

Als nächstes wollte er Kran 2 zunächst langsam, dann mit voller Geschwindigkeit in die Gegenrichtung fahren lassen, doch wieder bewirkte der entsprechende Fahrbefehl an der Fernbedienung nichts an der Bewegung des Krans.

Etwa zu diesem Zeitpunkt rief der Kapitän über Funk, man solle den Kran stoppen, und dass das Schiff fünf Grad Schlagseite habe. Er startete das Anti-Heeling-System, um „gegenzuballasten“, also Ballastwasser in die Gegenrichtung zu pumpen, um als Gegengewicht zu dienen.

Der Kran bewegte sich jedoch stetig weiter in Richtung Wasserseite. Hier unterscheiden sich die Zeugenaussagen: Einige berichteten, dass die Räder dabei immer weiter in Richtung Wasserseite rollten, andere, dass sie in die Gegenrichtung drehten. Wieder andere gaben an, dass die Räder regelrecht durchdrehten und dabei Stahlplatten unter sich durchschoben.

Als letzte Maßnahme versuchte der Kranfahrer erfolglos, den Kran durch ein Ausfahren der Abstützzylinder zu stoppen. Als auch dies nicht zum Erfolg führte, hörte er auf, Steuersignale über die Fernbedienung zu geben. Fast zeitgleich bewegte sich Kran 2 mit der wasserseitigen Radsatzreihe und einer ruckartigen Kippbewegung über den Lukendeckelrand. Die im Backbordseitengang ausgebrachten Holzpallen hielten dem Aufprall der Räder nicht stand und gaben nach, sodass der Kran endgültig in eine unaufhaltbare Kippbewegung geriet und in das 11 m tiefe Hafenbecken fiel.

Durch die entstandene starke Schlagseite geriet vorne auch der ungesicherte Kran 1 ins Rutschen und stürzte kurz darauf ebenfalls ins Wasser, wobei seine Abstützplatten im Backbordseitengang abbrachen, weil hier keine Pallen ausgebracht waren.

Da das Anti-Heeling-System träge war (Anlaufzeit 23 s¹⁰), war noch kein Ballastwasser bewegt worden, als die Krane über Bord fielen. Der Kapitän stoppte die Pumpen sofort, um die erwartete heftige Aufrichtbewegung des Schiffes nicht noch zu beschleunigen.

¹⁰ Dies entspricht dem üblichen, auslegungsbedingten Rahmen.

3.2 Unfallfolgen

Unmittelbar nach dem Unfall ordnete der Kapitän an, die Vollzähligkeit und Unversehrtheit der Besatzung und der anderen sich an Bord befindlichen Personen festzustellen. Niemand fehlte, eine Person hatte sich leicht am Knöchel verletzt, und der Kranfahrer stand unter Schock. Beide wurden vor Ort von den eintreffenden notfallmedizinischen Einsatzkräften versorgt.

Nach dem Aufrichten war es zu keiner starken Rollbewegung der JUMBO VISION in die Gegenrichtung gekommen.

Das Hafenbecken wurde sofort für den Schiffsverkehr gesperrt. Wegen der Gefahr schwimmender Trümmerteile und einer Gewässerverunreinigung wurde durch die Verkehrszentrale eine entsprechende Warnung an die Schifffahrt ausgesprochen.

3.2.1 Umweltschäden

Um den Bereich des Unfalls wurde weiträumig eine Ölsperre ausgebracht, da Betriebsstoffe aus den Kranen austraten (Schmieröl, Hydrauliköl der Pumpenantriebe, Dieselmotorkraftstoff; siehe auch Abbildung 11). Ein Schlepper führte die Sicherung des Hafenbeckens, in dem der Unfall passiert war, durch. Er konnte mit seinem Schraubenwasser das Eintreiben mehrerer schwimmender Trümmerteile in die angrenzende Bundeswasserstraße verhindern. Ein weiter weg vertriebener Tank konnte später von der Feuerwehr geborgen werden.

Die ARKONA, ein Mehrzweckschiff der WSV zur Bekämpfung von Öl- und Chemikalienunfällen, wurde rufbereit gehalten und nahm Luft- und Wasserproben. Ein kleiner Teil des Ölteppichs breitete sich weiter im Hafen aus, sodass ein zweiter Ölschlängel um den ersten herum platziert wurde. Aufgrund der Wind- und Lichtverhältnisse konnte die Verunreinigung im größeren Hafengebiet am Abend nicht bekämpft werden und hatte sich am Folgetag „abgewettert“. Der Ölteppich innerhalb der Ölsperren blieb im weiteren Verlauf stabil.

3.2.2 Schäden am Schiff

Die JUMBO VISION musste noch bis zum 20. Februar 2020 09:00 Uhr in Rostock verbleiben, verholte aber um eine Schiffslänge an Liegeplatz 24, um die notwendigen Vorarbeiten für die Bergung der havarierten Krane nicht zu behindern.

Wie Taucher des beauftragten Taucherei- und Bergungsbetriebs am 3. Februar feststellten, hatte das Schiff keine strukturellen Schäden am Unterwasserschiff, lediglich wenige kleine Dellen, Schrammen und Farbabplatzungen.

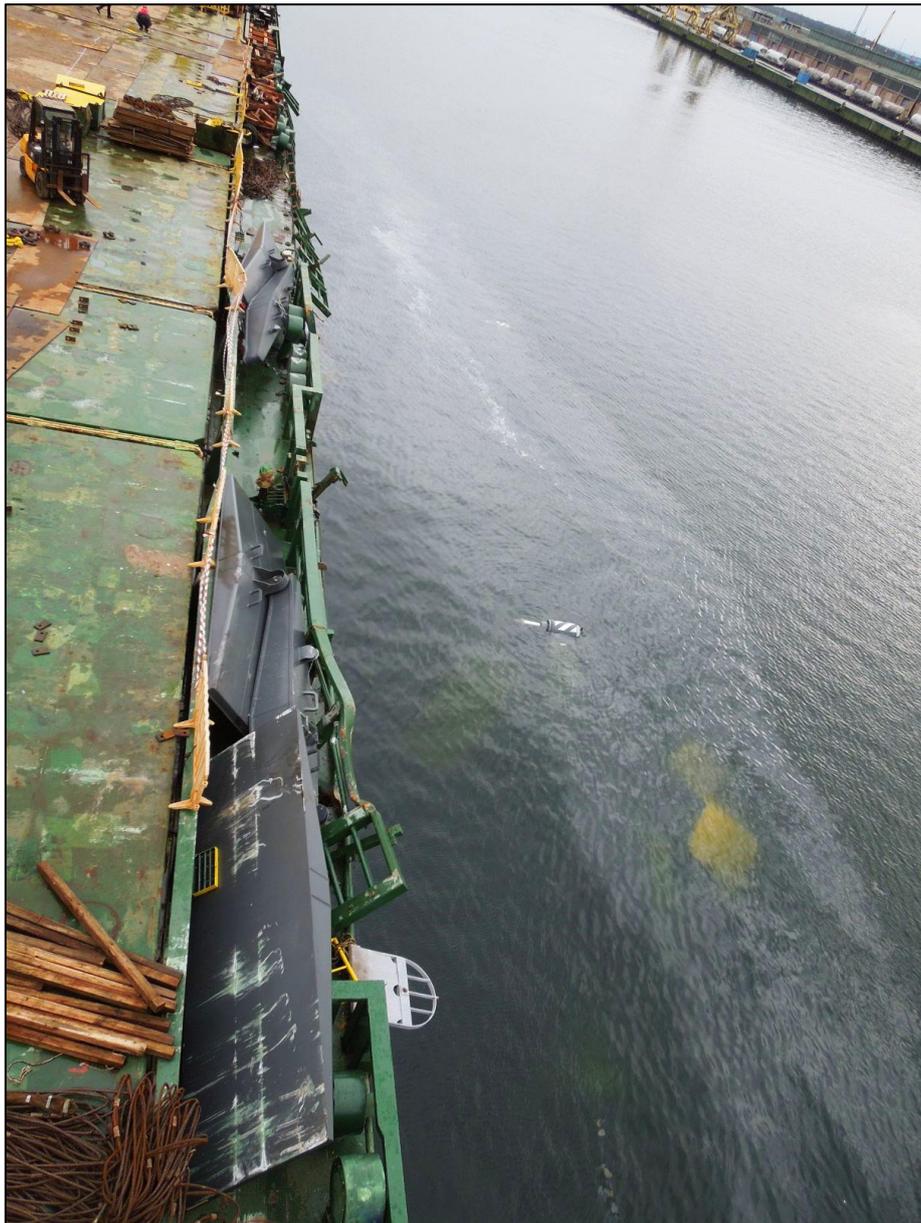


Abbildung 11: Schäden im Bereich des Seitengangs und Ölteppich
Kran 1 unter Wasser erkennbar

Auf der beschädigten Backbordseite der JUMBO VISION (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13) wurden verschiedene Reparaturarbeiten durchgeführt. Dafür wurde das Schiff gedreht und mit der zu reparierenden Seite an die Pier gelegt. Erst nach der Reparatur der stark verbogenen und teilweise fehlenden Reling, der abgebrochenen und verbogenen Peil-, Überlauf- und Entlüftungsstutzen, der Schäden am Hauptdeck (Dellen und Löcher) und des Hebezeugs der über Bord gegangenen Gangway wurde die Klasse von einem Besichtiger von Lloyd's Register bestätigt und die Weiterfahrt gestattet.

Quelle: JUMBO VISION



Abbildung 12: Von Kran 1 verursachte Schäden im Backbordseitengang
(u. a. abgebrochene Abstützplatte)



Abbildung 13: Von Kran 2 verursachte Schäden im Backbordseitengang
(Peilstützen, Entlüftungen, Überläufe, Pallholz, fehlende Reling)

3.2.3 Bergung der Krane

Mithilfe von Tauchern und unterschiedlichen geotechnischen Vermessungstechnologien wie Seitensichtsonar und Fächerecholot¹¹ wurde ein dreidimensionales Bild der Hafensohle erstellt (siehe Abbildung 14) und die exakten Positionen der Krane ermittelt.

Noch am 1. Februar wurden die unter Wasser liegenden Krane betaucht, um die Ausmaße des Schadens und der notwendigen Sperrung zu ermitteln. Am 4. Februar begannen Taucher damit, die Betriebsstoffe aus den Kranen zu pumpen und die Ölaustrittsöffnungen zu sichern. Sie entfernten hierbei auch große Teile des Ölteppichs innerhalb der Ölsperre. Am 8. Februar konnte diese auf den Bereich direkt über der Unfallstelle verkleinert und ein Korridor zur Vorbeifahrt ins Hafenbecken freigegeben werden.

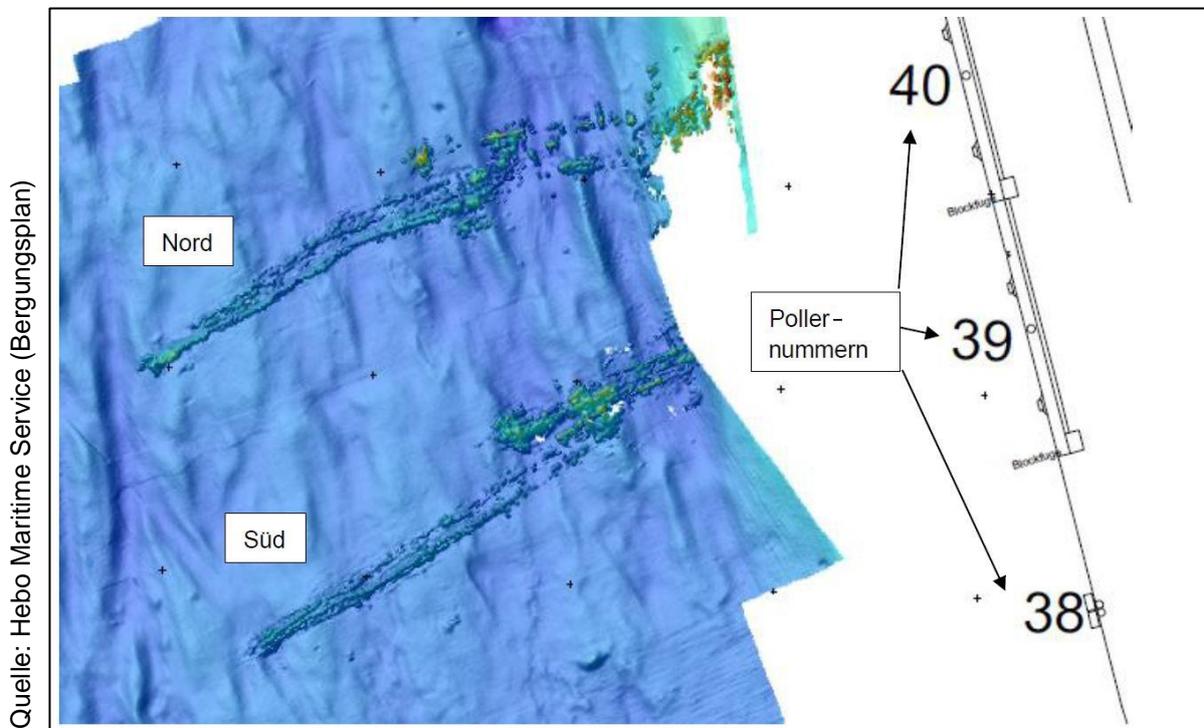


Abbildung 14: Dreidimensionales Bild der vermessenen Hafensohle mit den havarierten Kranen

¹¹ Sonar- und Echolottechnologien erzeugen Schallwellen, mit deren Echolaufzeiten die Entfernung zu reflektierenden Objekten und Oberflächen unterhalb des Schiffs berechnet wird. Dabei fächern und bündeln Seitensichtsonar und Fächerecholot ihre Sendesignale unterschiedlich und arbeiten jeweils in einem anderen Frequenzbereich. Durch die Kombination verschiedener vermessener Streifen des Meeresbodens (bzw. hier der Hafensohle) ist es möglich, ein dreidimensionales Geländebild zu erzeugen.

Quelle: Liebherr-MCCtec Rostock GmbH



Abbildung 15: Bergung eines LHM 550 durch die HEBO LIFT

Zwischen dem 2. und dem 5. März 2020 wurden beide Ausleger unter Wasser demontiert, in zwei Teile zerlegt und separat geborgen, jeweils zuerst das Anlenkstück¹², dann das Kopfstück¹³. Gleich nach dem Unfall war aus Rotterdam ein Schwimmkran mit 800 t Hubkapazität angefordert worden (die HEBO LIFT der niederländischen Firma Hebo Maritime Service), der Ende Februar eintraf und im Verlauf mehrerer Tage (6. – 10. März) die zwei Krane hob (siehe Abbildung 15).

Nach einer letzten Inspektion durch Taucher konnten am 10. März die Ölsperren entfernt und das Becken wieder vollständig für den Schiffsverkehr freigegeben werden. Letzte Kleinteile wurden am 17. März mittels Magnetometer¹⁴ lokalisiert und zwischen dem 24. und dem 31. März geborgen.

3.3 Weiterer Verlauf

Während der Folgezeit, in der ersten Aprilwoche desselben Jahres, wurden zwei weitere Liebherr-Krane – ähnliche Modelle wie die, die am 31. Januar verschifft werden sollten – in Santos (Brasilien) auf die JUMBO VISION geladen und zum Kunden nach Apapa gebracht. Verladung und Reise verliefen problemlos.

¹² Anlenkstück = der Teil des Auslegers, mit dem dieser am Kranturm befestigt ist.

¹³ Kopfstück = der Teil des Auslegers mit der „Spitze“.

¹⁴ Das Magnetometer diente hier der Ortung ferromagnetischer Objekte, also der Identifizierung stählerner Trümmerteile auf der Hafensohle.

3.4 Untersuchung

Im Verlauf der Untersuchungen wurde die BSU mit einer Vielzahl möglicher Unfallursachen konfrontiert. Diese sollen im Folgenden in der abgearbeiteten Reihenfolge präsentiert werden.

3.4.1 Grundsätzliche Feststellungen

3.4.1.1 Das Schwergutschiff JUMBO VISION

Die JUMBO VISION ist ein im Jahr 2000 gebautes, unter niederländischer Flagge fahrendes Schwergutschiff, das von der niederländischen Jumbo Shipping Co. SA bereedert wird.

Aufgrund ihrer zwei eigenen Bordkrane mit je 400 t SWL¹⁵ kann die JUMBO VISION unabhängig von landbasierten Umschlagseinrichtungen operieren und wird deshalb flexibel für den weltweiten Transport von Schwergut und Projektladung eingesetzt.

Zum Unfallzeitpunkt stammten Kapitän, Leitender Ingenieur, Erster und Zweiter Offizier des Schiffes aus den Niederlanden, die übrige Besatzung aus Russland, Kap Verde, der Ukraine und den Philippinen. Bordsprache war Englisch.



Abbildung 16: Die JUMBO VISION am Tag der Begehung durch die BSU

3.4.1.2 Liebherr LHM 550

Der Liebherr LHM 550 ist ein selbstfahrender Hafenmobilkran der Firma Liebherr. Er ist für den Umschlag von Stück- und Massengütern, Containern und Schwerlasten aller Art konzipiert, hat eine Ausladung von 54 m und kann Schwerlasthübe bis 154 t bewältigen. Je nach Ausführung hat er eine Höhe von bis zu 40,3 m und ein Eigengewicht von bis zu 420 t.

¹⁵ SWL = „Safe Working Load“, Nenntragfähigkeit / maximale Arbeitslast.

Der LHM 550 besteht aus einem Unterwagen und einem Kranaufbau (Drehbühne), der drehbar auf dem Unterwagen aufgesetzt ist. Bedient wird der Kran über den Steuerstand in der Krankabine. Zusätzlich ist als Option auch die Bedienung mit einer Fernbedienung möglich, die mit einem Gurt vor dem Oberkörper getragen wird (daher die Bezeichnung „selbstfahrend“). Am Unfalltag war dies der Fall.

Jede Fernbedienung ist über eine beidseitige, interne Kodierung mit einem einzigen Kran eindeutig gekoppelt. Über den Fahrhebel der Fernbedienung wird das sog. „Meisterschaltersignal“ erzeugt. Mit diesem Fahrsignal wird das Fahrwerk des Krans als Ganzes gefahren, da sonst die einzelnen Radsätze getrennt voneinander angesteuert werden müssten.

Der Antrieb des LHM 550 erfolgt hydraulisch. Dabei treibt ein Dieselaggregat über ein Verteilergetriebe mehrere Hydraulikpumpen an, und diese versorgen wiederum die Hydraulikmotoren (hydraulisch parallel geschaltete Verstellpumpen) mit dem erforderlichen Ölvolumenstrom.

Die Radsätze des Krans sind in drei Gruppen aufgeteilt, wodurch eine möglichst gleichmäßige Kräfteinleitung in die Unterwagenstruktur gewährleistet ist. Von den 20 Einzelradsätzen des Fahrwerks mit je vier Rädern sind sechs mit einem Motor angetrieben (rot gekennzeichnet; Lage der Hydraulikmotoren gelb; siehe Abbildung 17). Alle Radsätze sind um 360° drehbar.

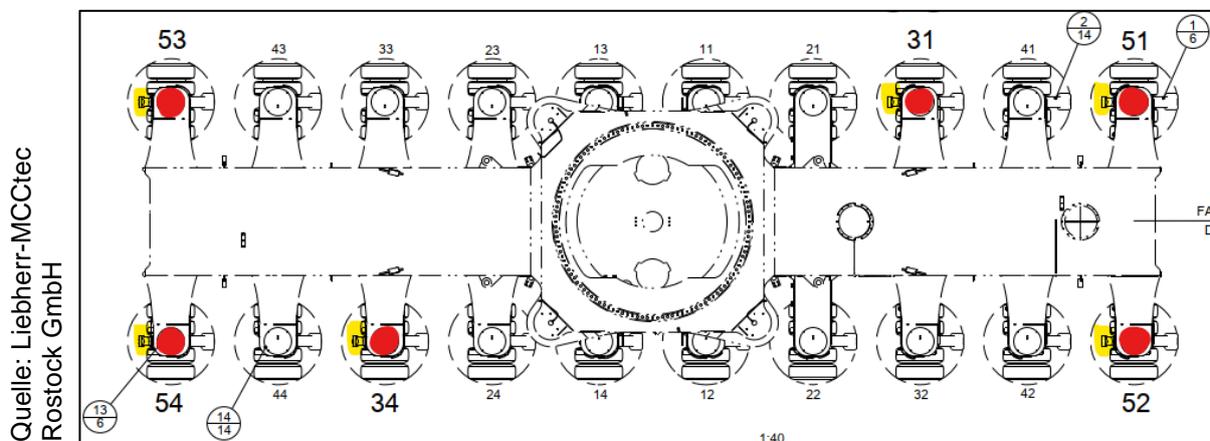


Abbildung 17: Fahrwerk des LHM 550

Über die Stärke des zur Verfügung gestellten Volumenstroms wird die Geschwindigkeit des Krans stufenlos geregelt. Damit die Hydraulik den Kran nicht auch im Stillstand halten muss, verfügt jeder der angetriebenen Radsätze zusätzlich über eine federdruckbelastete Lamellenbremse, die als Haltebremse fungiert und aktiv hydraulisch angesteuert werden muss, damit sie öffnet. Dies bedeutet, dass sie automatisch schließt, wenn die hydraulische Ansteuerung aus irgendeinem Grund wegfällt (z. B. Ausfall des Dieselaggregats oder der Pumpen, Not-Aus, oder regulär eine Sekunde nach Stillstand des Krans; sog. „normally closed“ Prinzip). Da das Abbremsen des Krans hydraulisch erfolgt und die Lamellenbremse eine reine Haltebremse ist, unterliegt sie fast keinem Verschleiß. Die Bremsen sind stark genug ausgelegt, um den Kran ggf. aus der Fahrt abzubremsen. Dies ist allerdings im Normalbetrieb nicht notwendig.

Das Fahrwerk ist in dieser Ausführung dafür freigegeben, bei einer Steigung in Längsrichtung des Krans von bis zu 5 % (2,86°) zu fahren bzw. bei einem ebensolchen Gefälle hydraulisch abzubremesen und stehenzubleiben. Durch das reduzierte Eigengewicht am Unfalltag (es waren nur drei statt fünf Gegengewichte am Kran montiert) erhöhte sich dieser Wert rechnerisch auf 6 % (3,43°).

Liegt die Neigung allerdings in Querrichtung zum Unterwagen vor, verlagert sich der Schwerpunkt des Krans naturgemäß derart, dass eine der drei angetriebenen Radsatzgruppen entlastet wird und eine andere mehr Gewicht und zunehmend alleine die Antriebsleistung aufbringen muss. Daher darf der Kran nur mit einer Neigung in Querrichtung von bis zu 2 % (1,15°) verfahren werden. Dieser Wert veränderte sich am Unfalltag durch die fehlenden Gegengewichte vermutlich ebenfalls, aber in einem deutlich geringeren Maß, da hier die Entlastung einzelner Radsätze die deutlich größere Rolle spielt. Die tatsächliche Querneigung, die der Kran an diesem Tag hätte überwinden können, konnte durch Liebherr nachträglich nicht exakt bestimmt werden.

Die Höchstgeschwindigkeit des LHM 550 beträgt in Längsrichtung 5 km/h. In Querrichtung ist sie auf ein Drittel der Ursprungsgeschwindigkeit reduziert, also auf 1,67 km/h, um die Zusatzbelastung der Radsatzgruppen aufgrund der Beschleunigung beim Anfahren und Abbremsen in Querrichtung zu begrenzen.

Sobald sich die Haltebremsen des Krans öffnen – hydraulisch angesteuert werden – ertönt ein lauter, regelmäßiger akustischer Signalton, um umstehende Personen zu warnen, dass der Kran sich bewegt. Eine Sekunde nach Stillstand des Krans, also wenn die Bremse wieder voll gegriffen hat, endet es. Geht das Meisterschaltersignal durch die entsprechende Fahrhebelbewegung an der Fernbedienung z. B. direkt von „vor“ auf „zurück“, ohne dass der Kran mindestens eine volle Sekunde lang zum Stehen kommen konnte, setzt sich der Signalton ununterbrochen fort.

Solange das Dieselaggregat läuft, sind Ausleger und Unterwagen vollständig beleuchtet. Wird das Aggregat ausgeschaltet, bleibt die Beleuchtung für einige Minuten eingeschaltet, damit der Kranfahrer den Arbeitsbereich sicher verlassen kann, und erlischt dann automatisch.

Für einen sicheren Stand während des Umschlagbetriebs verfügt der LHM 550 über vier hydraulisch absenkbare Abstützzylinder, einen an jeder Ecke des Fahrwerks. Jeder dieser Zylinder hat entweder eine einfach ausgeführte Abstützplatte (siehe Abbildung 4) oder, wie im vorliegenden Fall, eine doppelte Ausführung (siehe Abbildung 18, auch Abbildung 6).

Einer der zwei bestellten Krane (Kran 2, der später zuerst über Bord ging) verfügte über eine Turmverlängerung, die ihn 4,8 m höher und ca. 12 t schwerer machte als den anderen.

Quelle: Karpack GmbH



Abbildung 18: Doppelt ausgeführte Abstützplatte von Kran 2
(aufgenommen nach der Verladung)

Die Steuerungssignale des LHM 550 werden intern aufgezeichnet und auf einem Datenchip gespeichert. Ebenso verfügt der Kran über einen Neigungssensor, der eine lotrechte Ausrichtung des Turms unabhängig von der Untergrundneigung ermöglicht. Die Werte dieses Neigungssensors werden ebenfalls gespeichert.

Die beiden havarierten Krane waren vom Kunden in Basisausstattung bestellt worden. Einzige Ausnahme waren die doppelt ausgeführten Abstützplatten, die durch die Vergrößerung der Aufstandsfläche den Bodendruck reduzieren. Alle Sicherheitsfunktionen (Not-Aus, Totmannfunktion, Benutzerkennung, eindeutige Funkkopplung, sofortige Abschaltung z. B. bei unplausiblen Steuerbefehlen, Herunterfallen der Fernbedienung oder wenn die Einschaltsequenz zu lange dauert) sind standardmäßig Teil der Grundausstattung des LHM 550, ebenso die interne Datenaufzeichnung.

Für den Verladevorgang und für das An- und Abschlagen der Krane wird routinemäßig in deren Steuerungssysteme eingegriffen, d. h. Sicherheitsblockaden werden vorübergehend deaktiviert. Dies kann etwa notwendig sein, um Abstützzylinder kurz einzufahren, um Schlingen unter sie hindurchzuführen, obwohl der Kran dies eigentlich blockiert, wenn die Drehbühne nicht parallel zum Unterwagen steht. Ähnliches kann für die Ausleger notwendig sein, die während des Hebevorgangs auf einer bestimmten Höhe gehalten, also ggf. bewegt werden müssen, obwohl der Kran natürlich gerade nicht sicher steht. Diese Einschränkungen des Sicherheitssystems werden nach dem

Abstellen an Deck des Schiffes sofort wieder zurückgenommen. Auch am Unfalltag war dies gemäß Datenaufzeichnungen der Fall.

3.4.1.3 Am Unfallgeschehen beteiligte Personen

Direkt am Unfallgeschehen beteiligt waren der Kranfahrer, der Port Captain und der Kapitän.

Der deutsche Kranfahrer arbeitete als Mechatroniker und Auslandsmonteur bei Liebherr. Er fuhr den LHM 550 oft und hatte entsprechend viel Erfahrung mit dem Handling dieses Krans und anderer Modelle, und war mit seinen technischen Eigenheiten vertraut. Für die Dauer der Verlade- und Sicherungsarbeiten am 31. Januar war er den Weisungen des Port Captains unterstellt. Zum Unfallzeitpunkt befand er sich an Deck zwischen den beiden verladenen Kranen auf den Lukendeckeln.

Der argentinische Port Captain hatte bei den Verlade- und Sicherungsarbeiten die Aufsicht an Deck. Er erhielt seine Anweisungen von Jumbo Shipping und vor Ort vom Kapitän der JUMBO VISION. Seit mehr als 20 Jahren arbeitete er bei Jumbo Shipping in dieser Funktion. Vorher war er zehn Jahre lang als Kapitän auf verschiedenen Schiffstypen gefahren, u. a. auch auf Schwergutschiffen. Vor dem Unfall hatte er bereits fünf ähnliche Verladevorgänge von Hafenkranen geleitet, drei davon in Rostock bei Liebherr. Zum Unfallzeitpunkt befand er sich an Deck, zwischen den beiden verladenen Kranen auf den Lukendeckeln.

Der niederländische Kapitän der JUMBO VISION fuhr seit 1991 als Kapitän, seit 2009 auf den Jumbo-Schiffen. Auch er hatte vor dem Unfall bereits mehrere Reisen als Kapitän mit an Deck verladenen mobilen Hafenkranen durchgeführt. Während des Verladevorgangs der beiden Krane am 30. und 31. Januar leitete er die Hebearbeiten von der Pier aus, nach dem Vier-Augen-Prinzip gemeinsam mit dem Ersten Offizier. Später zum Unfallzeitpunkt befand er sich auf der Brücke. Zum Port Captain, Bootsmann und Ersten Offizier hielt er über Funk (UHF) Sprechkontakt. Außerdem hatte er dank eines Monitors, der den Decksbereich ab Achterkante Brücke zeigte, einen gewissen optischen Überblick über das Geschehen.

Es befanden sich weiterhin die folgenden, nicht direkt am Unfall beteiligten Personen an Deck: zwei ABs¹⁶, der Bootsmann und der Erste Offizier, die mit der Sicherung des achteren eigenen Ladegeschirrs beschäftigt waren; zwei weitere ABs, die sich zwischen den Kranen an Deck befanden und Laschmaterial für die seefeste Sicherung der mobilen Hafenkranen an Deck vorbereiteten; der Zweite Offizier, der Dritte Offizier und der Fitter, die ebenfalls die Sicherung der Decksladung vorbereiteten; sowie vier Mitarbeiter und ein Vorarbeiter des Stauereiunternehmens, die sich im Achterdecksbereich aufhielten.

3.4.1.4 Besichtigung der Unfallstelle

Die BSU wurde am Vormittag des 1. Februar 2020 im Zuge der Rufbereitschaft durch einen Anruf der Anwaltskanzlei der Reederei über den Vorfall informiert. Noch am gleichen Tag besuchten Untersucher der BSU das Schiff an seinem Liegeplatz in

¹⁶ AB = „able-bodied seafarer“ = Vollmatrose Deck.

Rostock. Die verunfallten Krane waren gut unter Wasser auszumachen (siehe Abbildung 11), die Ölsperre war ausgebracht.

An Deck waren die Stahlplatten noch so zu sehen, wie sie unmittelbar nach dem Unfall gelegen hatten. Hierbei fielen besonders vier Platten auf, die sich nicht mehr mittschiffs befanden, sondern an den seewärtigen Rand geschoben worden waren (siehe Abbildung 19, auch Abbildung 5). Alle anderen Platten lagen noch in ihrer ursprünglichen Position.

Quelle: Battermann & Tillery GmbH



Abbildung 19: Position der Stahlplatten an Deck nach dem Unfall
(Blick nach achtern)

Es wurde an Deck außerdem eine verhältnismäßig große Menge verteilten Sandes vorgefunden, von dem eine Probe genommen wurde.

Neben zwei Anwälten der vertretenden Kanzlei kamen noch zwei Beamte der Wasserschutzpolizei Rostock und zwei Vertreter der P&I-Versicherung dazu. Die Besatzung, vor allem der Kapitän, wurde zum Unfallhergang befragt. Der Port Captain und der Kranfahrer standen nicht für eine Befragung zur Verfügung. Durch die Anwaltskanzlei wurden später schriftliche Schilderungen des Unfalls von allen anwesenden Personen nachgeliefert. Die VDR-Daten wurden durch die Untersucher gesichert.

Am 13. Februar 2020 fand ein weiterer Besuch zweier Untersucher der BSU an Bord statt. Neben dem fotografischen Festhalten des allgemeinen Zustands des Lukendeckels und der Schäden an Gangbord, Entlüftungen, Überläufen, Peilrohren,

Reling etc. wurden u. a. auch die Reifen- und anderen Schleifspuren an Deck dokumentiert und vermessen.

Am selben Tag nachmittags fand in den Räumlichkeiten von Liebherr in Rostock ein Treffen aller an der Untersuchung des Unfalls beteiligten Parteien statt (die Geschäftsführung von Liebherr-MCCtec Rostock GmbH und deren anwaltliche Vertretung, ein maritimer Sachverständiger, zwei Untersucher der BSU und zwei Vertreter der Wasserschutzpolizei Rostock). Liebherr legte hier einmal den Unfallhergang dar, basierend auf den zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Erkenntnissen.

Die Aussagen der beteiligten Personen stimmten darin überein, dass Kran 2 nicht den Steuersignalen seiner Fernbedienung zu folgen schien. Daraus ergaben sich die ersten Arbeitshypothesen der Untersucher zum Unfallhergang, und sie stellten die Fernbedienung sicher, die der Erste Offizier der JUMBO VISION nach dem Unfall an sich genommen hatte. Sie war (im Gegensatz zu der von Kran 1) nicht über Bord gefallen, weil zum Unfallzeitpunkt mit ihr gearbeitet worden war.

3.4.2 Hypothese 1: Unzuverlässige Funkverbindung

Die erste von mehreren Unfallhypothesen, denen die BSU der Reihe nach nachging, war also die folgende: Wie zuverlässig war die Funkverbindung gewesen, über die die Fernbedienung und der Kran miteinander „kommuniziert“ hatten?

Um diese Frage zu beantworten, wurde vom Hersteller HBC-radiomatic die Bedienungsanleitung der Fernbedienung angefordert.

3.4.2.1 Überspringen des Funksignals

Laut Anleitung ist es nicht möglich, dass das Funksignal einer Fernbedienung „überspringt“ und plötzlich zu einem anderen Kran eine Verbindung aufbaut. Wie bereits erwähnt, ist jede Fernbedienung eindeutig über eine interne Kodierung mit einem einzigen Kran gepaart, um ebendies zu verhindern. Auch muss jede Funkverbindung zwischen Sender und Empfänger zunächst über eine Infrarotverbindung und einen eindeutigen Schaltvorgang aktiviert werden.

3.4.2.2 Abreißen des Funksignals

Ein komplettes Abreißen des Funksignals ist als Unfallursache ebenfalls nicht denkbar. Zum einen reagiert das Funksystem bei einer Unterbrechung der Funkverbindung mit dem Aufleuchten einer roten LED und einem sog. „Nullstellenzwang“, der eine weitere Bedienung nicht zulässt, bis der Fahrhebel in Nullstellung gebracht und der Start-Taster erneut gedrückt wurde. Hierfür war im Verlauf des Unfalls gar keine Zeit: Das letzte Verfahren von Kran 2, bis er ins Wasser fiel, dauerte nicht einmal eine volle Minute. Zum anderen zeigt das Display der Fernbedienung durchgehend die Feldstärke des Funksignals an, damit der Fahrer sich näher zum Kran bewegen kann, wenn dies erforderlich ist. Dies musste er laut Aussage jedoch zu keinem Zeitpunkt.

Die Anleitung gibt keinen konkreten Zahlenwert für die Funkreichweite an, doch selbst die aufgeführte, deutlich geringere Infrarotreichweite (für die Aktivierung der

Funkverbindung) von 20 m wurde am Unfallabend nicht überschritten, da der Fahrer direkt neben dem Kran stand.

3.4.3 Hypothese 2: Fehlfunktion

Hatte die Fernbedienung zum Unfallzeitpunkt überhaupt richtig funktioniert?

Am 5. Februar 2020 hatte ein Untersucher der BSU auf dem Firmengelände von Liebherr in Rostock die Möglichkeit, die sichergestellte Fernbedienung auszuprobieren und auf mögliche Grenzen hin zu überprüfen.

Unter Anleitung eines Liebherr-Technikers und nach der Funkkopplung mit einem baugleichen LHM 550 wurden zunächst mehrfach alle Standardfunktionen durchgefahren, auf die der betreffende Kran problemlos reagierte. Danach wurden auch ungewöhnliche Fahrbefehle und Handlungen seitens des Bedieners ausprobiert, wie z. B. mehrere gleichzeitige Befehle, widersprüchliche Hebelstellungen, sowie nicht waagrecht halten, schütteln oder fallen lassen der Fernbedienung (jeweils nach ausdrücklich erteilter Erlaubnis). Das Ergebnis war jedes Mal dasselbe: „Verstand“ der Kran einen Befehl nicht oder war der sichere Betrieb gefährdet, blieb er sofort stehen.

Der Techniker bestätigte außerdem, dass er ein Überspringen eines Funksignals oder ein Abreißen desselben jeweils nicht für möglich halte, vor allem wenn der Fahrer sich direkt neben dem Kran befindet.

Sowohl ein unzuverlässiges Funksignal als auch eine Fehlfunktion der Fernbedienung konnten damit als Unfallursache ausgeschlossen werden.

3.4.4 Hypothese 3: Fehlbedienung

Unter Berücksichtigung der Zeugenaussagen lag es nun nahe, als nächste mögliche Unfallursache einen Bedienfehler im Zusammenhang mit den gegebenen Fahrbefehlen anzunehmen.

3.4.4.1 Datenchips

Nach der Bergung konnten aus beiden havarierten Kranen die Datenchips sichergestellt und – dank ihrer geschützten Verbauung auch nach mehreren Wochen unter Wasser – ausgelesen und ausgewertet werden. Diese (u. a. grafischen) Auswertungen wurden der BSU durch Liebherr-MCCtec Rostock GmbH zur Verfügung gestellt, zusammen mit ausführlichen Erläuterungen bezüglich ihrer Interpretation.

Aus Abbildung 20 lässt sich der folgende Überblick über die Signalwerte des „Unfallkrans“ Kran 2 in der Minute vor dem Unfall rekonstruieren. Anhand der Werte lässt sich genau rekonstruieren, was zu den jeweiligen Zeitpunkten geschah.

20:48:21 Uhr: *Der Kran wird angefahren.*

- *Ein Signal für das Fahren in eine Richtung (hellgrau) liegt an.*
- *Die Haltebremsen werden angesteuert, also hydraulisch gelöst (hellgrün).*
- *Das Meisterschaltersignal (hellblau) steigt in positiver Richtung an.*

20:48:23 Uhr: *Der Kran wird in die andere Richtung umgesteuert.*

- Ein Signal für das Fahren in die andere Richtung (rot) liegt an (zweite Fahrwerkspumpe).
 - Das Signal für das Fahren in die ursprüngliche Richtung (hellgrau) fällt ab auf null.
 - Die Haltebremsen bleiben angesteuert (hellgrün) und damit gelöst.
 - Das Meisterschaltersignal (hellblau) fällt und erfährt einen Nulldurchgang und einen Vorzeichenwechsel.
- Bestätigung, dass zunächst in die falsche Richtung (Landseite) gefahren wurde, bevor der Fehler bemerkt und in die richtige Richtung (Seeseite) umgesteuert wurde.

20:48:36 Uhr: Alle Fahrbefehle gehen auf null.

- Das Fahrsignal für das Fahren in Richtung Seeseite (rot) geht auf null.
 - Das Ansteuerungssignal für die Haltebremsen (hellgrün) geht auf null.
 - Das Meisterschaltersignal (hellblau) geht auf null.
 - Der Betrag des seitlichen Neigungswinkels (dunkelgrün) vergrößert sich stetig.
- Bestätigung, dass durch ein Loslassen des Fahrhebels versucht wurde, anzuhalten (damit ein Hindernis aus dem Weg geräumt werden konnte).

20:48:38 Uhr: Der Kran wird wieder umgesteuert.

- Das Signal für die Fahrt in Richtung Landseite (hellgrau) liegt an.
 - Die Haltebremsen werden angesteuert und damit wieder gelöst (hellgrün).
 - Das Meisterschaltersignal (hellblau) steigt in positiver Richtung an.
- Bestätigung, dass in die Gegenrichtung umgesteuert wurde (weil der Befehl zum Anhalten nicht funktioniert hatte).

20:48:57 Uhr: Die Abstützzylinder werden ausgefahren.

- Die Abstützzylinder werden angesteuert (gelb und magenta).
 - Der Neigungswinkel (dunkelgrün) pendelt um einen Wert von ca. 4-5°.
- Bestätigung, dass auch dieser Versuch, den Kran zum Stehen zu bringen, stattgefunden hat.

20:48:58 Uhr: Die Fahrsignale hören auf.

- Bis auf die Ansteuerung der Abstützzylinder (gelb und magenta), die aktiv wieder zurückgenommen werden müsste, gehen alle Steuer- und Fahrsignale auf null.
- Bestätigung, dass kurz vor dem Unfall keine Fahrbefehle mehr gegeben wurden und der Fahrhebel losgelassen, also auf null gelegt wurde.

20:49:01 Uhr: Das Neigungswinkelsignal (dunkelgrün) erfährt kurz einen starken Ausschlag in die Gegenrichtung¹⁷, bevor es schnell wieder abfällt und bei -8° abschneidet (übersteuert)¹⁸.

→ Bestätigung, dass der Kran mit einer ruckartigen Kippbewegung vom Lukendeckel gekippt und dann über Bord gefallen ist.

¹⁷ Die ruckartige Kippbewegung beim Fahren über den Lukendeckelrand verursacht hier so starke Beschleunigungswerte, dass der Messwert des Neigungssensors (die Erdbeschleunigung) kurzzeitig verfälscht wird (Überlagerung durch externe Beschleunigung / Trägheit). Der Zeitpunkt dieses Ausschlags ist demnach der Zeitpunkt der ruckartigen Kippbewegung, trotz des falschen Vorzeichens.

¹⁸ Gehen gemessene Eingangssignalwerte über den kalibrierten Empfangsbereich einer signalverarbeitenden Einheit hinaus, tritt eine Übersteuerung, d. h. ein „Abschneiden“ des dargestellten Eingangssignals am kalibrierten Maximal- bzw. Minimalwert, auf. Hier ist der Betrag des Neigungswinkels ab dem Zeitpunkt, an dem der Graph exakt waagrecht ist, also größer als die maximal +/- 8°, die verarbeitet werden können.

Quelle: Liebherr-MCCtec Rostock GmbH

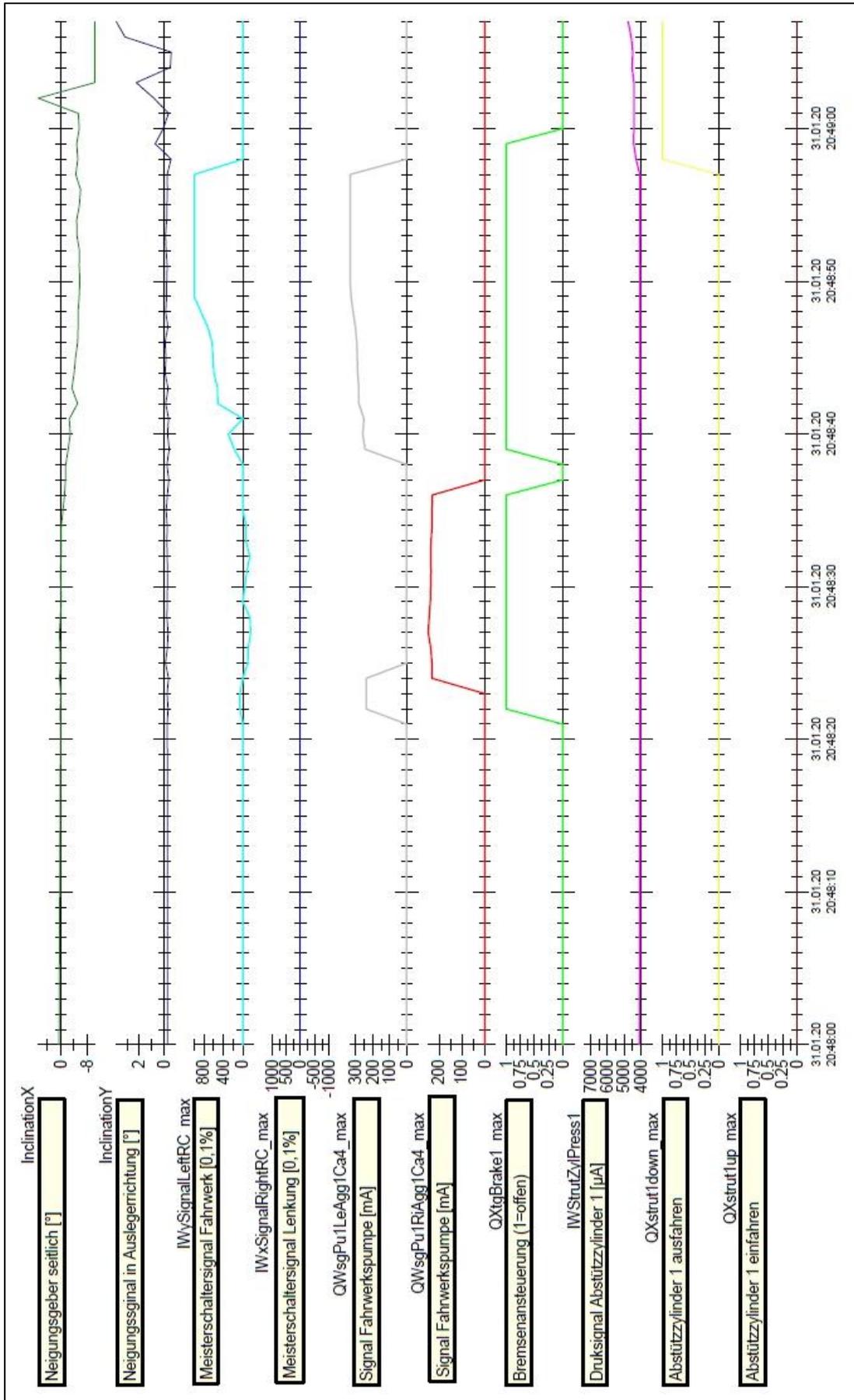


Abbildung 20: Überblick: Stell- und Sensorsignale von Kran 2 in der Minute vor dem Unfall

Abbildung 21 zeigt für denselben Zeitraum nur die Signale der beiden Fahrwerkspumpen sowie das Meisterschaltersignal in der Gegenüberstellung.

Die Steuerung erzeugt alle 25 Millisekunden ein Ansteuerungssignal, die Aufzeichnung auf dem Datenchip erfolgt aus Gründen der Datenreduktion aber nur alle 1000 Millisekunden. Daher werden von den 40 Steuerungssignalen pro Sekunde nur der Maximalwert (rote Kurve) und der Minimalwert (grüne Kurve) innerhalb dieser Sekunde aufgezeichnet. Alle aufgezeichneten Werte liegen also zwischen der roten und der grünen Kurve.

Aus diesem Grund wurde der scheinbare Nullwert des hellblauen Meisterschaltersignals in Abbildung 20 um 20:48:29 Uhr nicht als solcher betrachtet – denn der Darstellung auf Abbildung 21 ist zu entnehmen, dass der Wert hier keineswegs ganz auf null zurückgeht. Der Nullwert kurz darauf um 20:48:36 Uhr hingegen ist „echt“, da hier beide Kurven auf null gehen. Nur hier lag der Fahrhebel in Nullstellung.¹⁹

Die Auswertung der Datenchips zeigt, dass sich die Schalthandlungen des Kranfahrers mit seiner späteren Aussage decken. Auch der von den Zeugen beschriebene Unfallhergang lässt sich durch diese Auswertung bestätigen. Eine Fehlbedienung durch den Kranfahrer ist somit als Unfallursache ebenfalls ausgeschlossen. Außerdem belegen diese Aufzeichnungen, dass das Funksignal zum Kran tatsächlich nie abbricht, da alle Schaltvorgänge bis zum Unfallzeitpunkt aufgezeichnet wurden.

¹⁹ Der waagerechte Bereich *dieser* Kurven ist kein Übersteuern, da hier kein *Eingangssignal* (Messwert) zu groß, sondern der Maximalwert eines *Ausgangssignals* (Stellwert) erreicht ist (maximale Auslenkung des Fahrhebels). Der Signalwert entspricht im waagerechten Bereich der Kurve also durchgehend dem Ablesewert (Fahrhebel wird am Anschlag gehalten) und ist, im Gegensatz zu einer Übersteuerung, nie größer.

Quelle: Liebherr-MCCtec Rostock GmbH

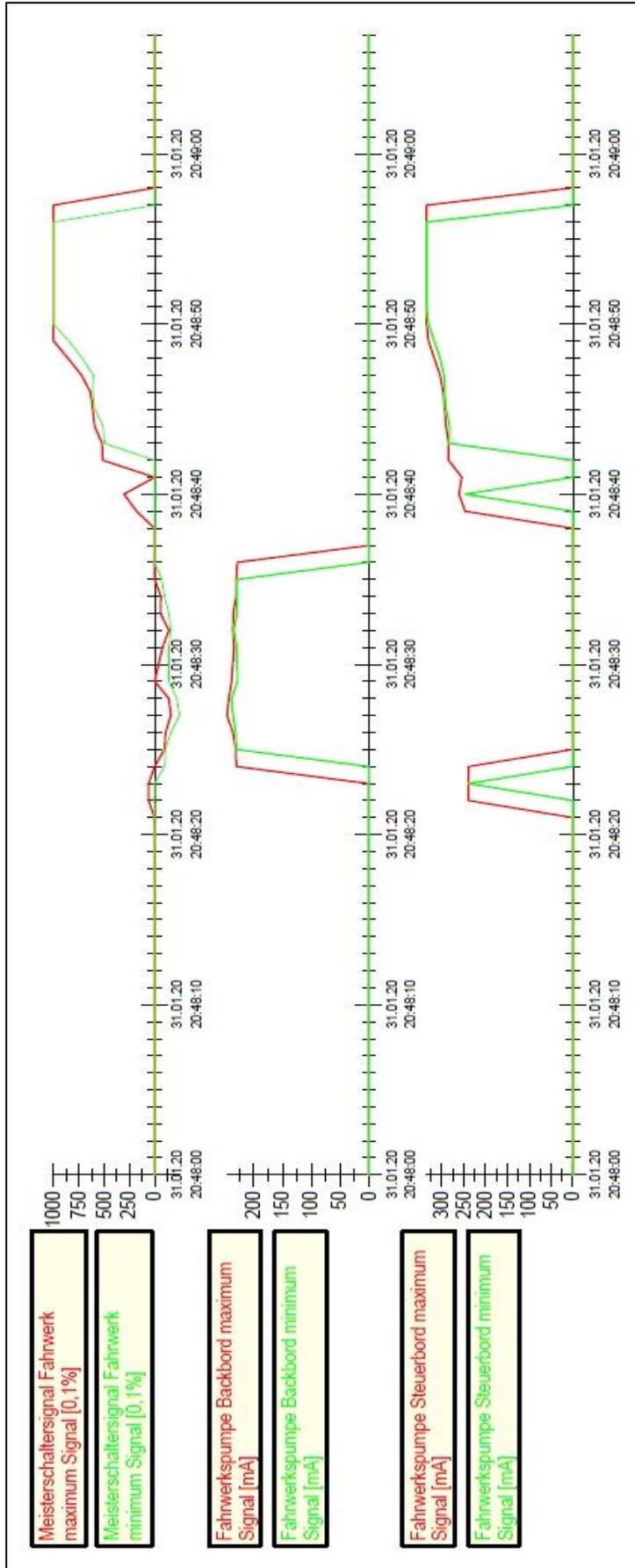


Abbildung 21: Detail: Fahrwerksansteuerung Kran 2

3.4.5 Hypothese 4: Widrige Witterungsverhältnisse

Nach Ausschluss einer fehlerhaften Fernbedienung oder einer Fehlbedienung wurde von der BSU nun untersucht, ob die meteorologischen Verhältnisse unfallursächlich gewesen sein könnten.

3.4.5.1 Gutachten des DWD

Um einen Überblick zu bekommen, wurde beim Deutschen Wetterdienst ein Wettergutachten für den Unfalltag in Auftrag gegeben.

Am 31. Januar 2020 wehte der Wind in Rostock mit 5 bis 6 Bft aus westlichen Richtungen, wobei vormittags bei Böen und durch örtliche Düseneffekte Windspitzen bis 8 Bft herrschten. Bei guter Sicht und leichtem Nieselregen herrschten Temperaturen um 5 °C.

Zum Unfallzeitpunkt waren die Lukendeckel durch den fast durchgehenden Nieselregen nass, was die Zeugen auch übereinstimmend aussagten. Der Wind hatte auf ca. 5 Bft abgeflaut.

Das Gutachten zeigt, dass die Wetterbedingungen der jeweiligen Tagesabschnitte korrekt in die Entscheidungen zur Durchführung bzw. Unterbrechung der Verlade- und Ladungssicherungsarbeiten eingeflossen sind.

Zum Unfallzeitpunkt war der Wind nicht annähernd stark genug, um den Kran ins Wasser zu drücken, schon gar nicht gegen die Kraft seines hydraulischen Antriebs.

3.4.5.2 Reibwertgutachten

Als nächstes sollte untersucht werden, welchen Einfluss die durch das regennasse Deck verminderte Reibung auf den Unfall gehabt haben könnte. Die BSU gab hierzu ein Reibwertgutachten in Auftrag. Da es für möglich gehalten wurde, dass die Besatzung den an Deck gefundenen Sand bewusst zur Reibungsminderung ausgebracht, also ein diesbezügliches Problem befürchtet hatte, wurde auch die Sandprobe für eine Übersendung vorbereitet.

Nach Sichtung der Unterlagen meldete der verantwortliche Sachverständige jedoch zurück, dass ein Gutachten in seinen Augen nicht sinnvoll sei. Zwar könne man zwischen den Stahlplatten und einem nassen, stählernen Lukendeckel von einem Reibungskoeffizienten²⁰ von $\mu \approx 0,05$ ausgehen, also von so gut wie keinerlei Reibwiderstand. Doch lägen die Stahlplatten fast alle noch an ihrem ursprünglichen Platz, hätten sich also größtenteils nicht mit dem Kran seitlich bewegt.

Weiterhin hätten die Räder des verunfallten Krans ohnehin zum Teil direkt an Deck gestanden. Hier ergäbe sich ein Reibungskoeffizient von ca. $\mu \approx 0,5$ („Reifen auf Stahl nass“), was einem Reibungswinkel²¹ von 26,6° entspräche. Dieser Krängungswert sei aber nach übereinstimmenden Aussagen zum Zeitpunkt des ersten Anhalteversuchs

²⁰ Alle genannten Reibungskoeffizienten (auch Reibzahl) μ sind Haftreibungskoeffizienten.

²¹ Winkel, bis zu dem bei einer gegebenen Werkstoffpaarung (Auflage/Untergrund) noch kein Rutschen eintritt. Der Reibungskoeffizient ist der Tangens des Reibungswinkels, also das Verhältnis der Winkelkatheten.

nicht annähernd erreicht gewesen. So wurde von einem Reibwertgutachten abgesehen.

Bei einem weiteren Besuch der BSU-Untersucher an Bord der JUMBO VISION, am 15. Mai 2020 in Hamburg, berichtete der Kapitän, der an Deck vorgefundene Sand sei nicht durch die Besatzung ausgebracht worden, sondern schlicht Schmutz und mit den Stahlplatten an Bord gekommen.

Widrige Witterungsverhältnisse schieden als alleinige Unfallursache nun ebenfalls aus. Durch den Gutachter war ein sehr geringer Reibungswert zwischen Lukendeckel und Stahlplatten bestätigt worden. Die Vermutung, die Besatzung habe ihrerseits Probleme mit der Reibung vorhergesehen und deshalb proaktiv den Sand ausgebracht, war widerlegt.

3.4.6 Hypothese 5: Wasserseitige Vorkrängung

Als nächstes stellte sich die Frage, ob der Untergrund beim Verfahren von Kran 2 bereits so stark geneigt war, dass dieser die Steigung nicht mehr bewältigen konnte oder ins Rutschen geriet. Hatte eine Vorkrängung in Richtung Wasserseite vorgelegen? Oder hatte eine falsche Ballasthandlung während des Verfahrens dazu geführt?

3.4.6.1 Demonstration eines Ballastvorgangs

Der Kapitän demonstrierte Untersuchern der BSU am 15. Mai 2020 an Bord der JUMBO VISION die Dauer eines Ballastvorganges, bei dem die Krängung der JUMBO VISION von 0° auf 2° gebracht wurde (inkl. Anlaufphasen der einzelnen Pumpen etc.). Dies sollte zeigen, dass ein Mit- bzw. Gegenballasten in der Geschwindigkeit, in der der Unfall sich zugetragen hatte, nicht möglich gewesen wäre. Von dem Moment, in dem Kran 2 in Bewegung gesetzt wurde, bis zum mutmaßlichen Zeitpunkt des Überbordgehens vergingen etwa 42 Sekunden. Der demonstrierte Ballastvorgang dauerte fast zwei Minuten. Alle Zeugen hatten übereinstimmend ausgesagt, zu Beginn des Verfahrenvorgangs sei das Schiff aufrecht gewesen. Ein misslungener Ballastvorgang während des Verfahrens schied also aus. (Weder die Schiffskrängung noch die Füllstände von Ballasttanks werden vom VDR aufgezeichnet.)

3.4.6.2 Kranneigung vs. Schiffsneigung

Der Kapitän wies ebenfalls nachdrücklich darauf hin, dass seiner Auffassung nach die Neigungsgeber der Krane nicht zwingend die Neigung des Untergrunds aufzeichnen, da die Krane sich nicht zuverlässig lotrecht ausrichten würden. Als Beleg stellte er der BSU Fotos vom Verladevorgang der „Ersatzkrane“, die im April 2020 von Santos nach Apapa gingen, zur Verfügung (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).

Dies stellte die Aussagekraft der Neigungswinkelgeber der Krane als Maß für die Neigung des Untergrunds zunächst infrage.

Quelle: JUMBO VISION



Abbildung 22: Verladung baugleicher Krane auf der Folgereise: Blick an Deck
Die Türme des bordeigenen Ladegeschirrs und des Liebherr-Krans sind nicht parallel;
die gleich weit ausgefahrenen Abstützzylinder haben unterschiedliche Abstände zum Deck

Quelle: JUMBO VISION



Abbildung 23: Verladung baugleicher Krane auf der Folgereise: Blick auf den Horizont
Das zeichnerische Einfügen von Rechtecken zeigt, dass das Schiff keine Krängung
hatte (eigenes Ladegeschirr, links, hatte rechten Winkel zum Horizont),
der verladene Kran aber dennoch geneigt war (rechts; kein rechter Winkel)

3.4.6.3 Überwachungskameras

Der BSU lagen schon früh zwei Videomitschnitte des Unfalls vor, beide stammen von Überwachungskameras im Rostocker Hafen. Eine filmte die JUMBO VISION von achtern (siehe Abbildung 24 ff.), eine schräg von der Seite (Abbildung 27). Beide Aufnahmen zeigen das Schiff in relativ weiter Entfernung (Abbildung 28). Die sehr hellen Lichter am Ausleger von Kran 2 an Deck verhinderten scheinbar ein ordnungsgemäßes Funktionieren des Autofokus der von achtern filmenden Kamera: Das Bild stellt sich erst dann scharf, als Kran 2 (samt Beleuchtung) über Bord fällt – in den entscheidenden Momenten vor dem Unfall und währenddessen ist es unscharf. Die andere Kamera zeigt das Schiff in so weiter Entfernung, dass die Qualität der Bilder durchgehend schlecht ist.

Dennoch ist in den Videos deutlich zu beobachten, wie beide Krane ins Hafenbecken fielen – am deutlichsten der zuerst fallende Kran 2, weil er zu diesem Zeitpunkt in Betrieb und sein Ausleger beleuchtet war. Doch auch das Eintauchen des unbeleuchteten Krans 1 kurz danach ist gut zu erkennen.

Ebenso ist zu erkennen, dass es keine signifikante Vorkrägung der JUMBO VISION vor dem Unfall gab (siehe Abbildung 24). Dies entspricht qualitativ den Werten des Neigungswinkelsignals der Datenchip-Auswertung (siehe Abbildung 20) und den Zeugenaussagen.

Eine wasserseitige Vorkrägung hat demnach nicht vorgelegen. Am Unfalltag hat der Neigungswinkelgeber die Neigung des Untergrunds also offenbar korrekt wiedergegeben. Möglicherweise ist die Ausrichtung des Kranturms nicht automatisch ein Hinweis auf die Messungen des Neigungssensors.

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH
(über Wasserschutzpolizei Rostock)

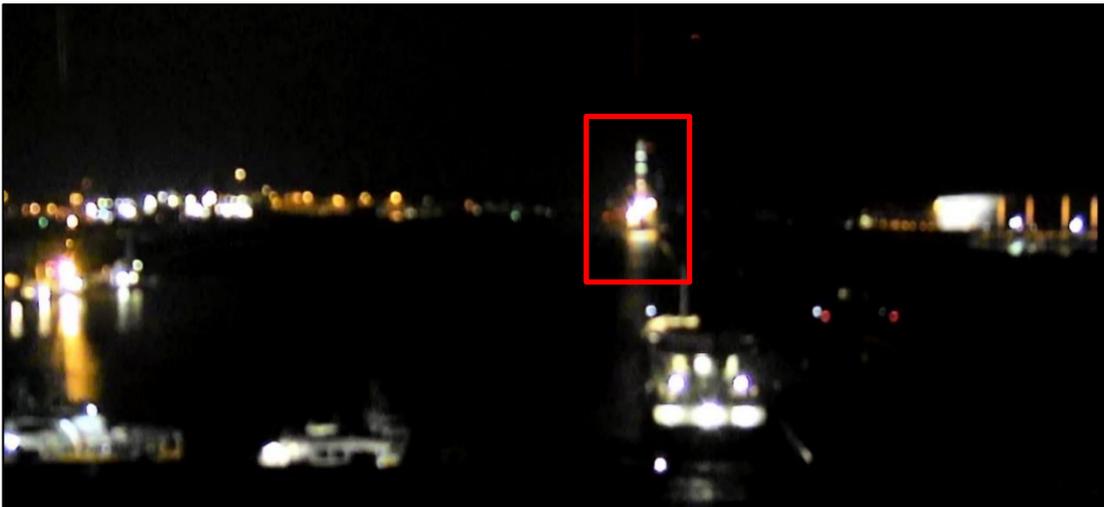


Abbildung 24: Screenshot Überwachungskamera; direkt vor dem Unfall

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH
(über Wasserschutzpolizei Rostock)



Abbildung 25: Screenshot Überwachungskamera; fallender Kran 2

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH
(über Wasserschutzpolizei Rostock)



Abbildung 26: Screenshot Überwachungskamera; eintauchender Kran 1
(alle: Ausschnitt; Ansicht von achtern)

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH
 (über Wasserschutzpolizei Rostock)



Abbildung 27: Screenshot zweite Überwachungskamera; vor dem Unfall
 (Ansicht von der Seite)

Quelle: ROSTOCK PORT GmbH

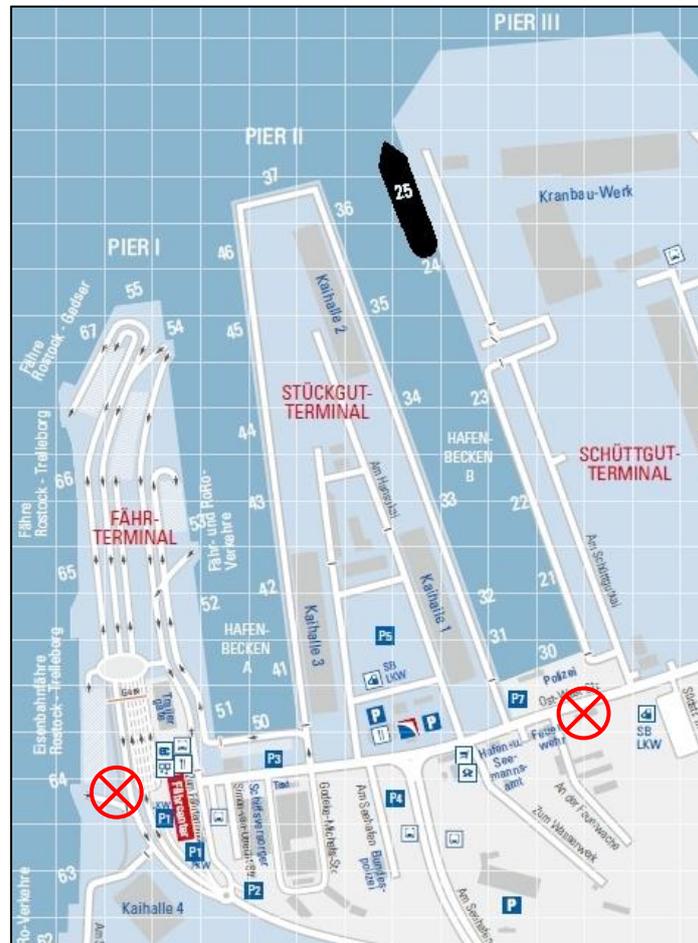


Abbildung 28: Standorte der Überwachungskameras 
 in Relation zu Liegeplatz 25

3.4.7 Hypothese 6: Zusammenstoß mit bordeigenem Ladegeschirr

Kurz nach dem Unfall sagte ein anonymer Zeuge im Radio aus, er habe gesehen, wie das bordeigene Ladegeschirr der JUMBO VISION mit einem der an Deck verladenen Krane kollidiert sei und ihn dann ins Hafenbecken geschoben habe. Auch die Hypothese wurde – wie nachfolgend aufgezeigt wird – widerlegt.

3.4.7.1 Überwachungskameras

Um der Aussage nachzugehen, wurde die Filmsequenz untersucht, die das Schwenken des Bordgeschirrs zeigt.



Abbildung 29: Screenshot Überwachungskamera kurz vor Schwenken des eigenen Ladegeschirrs, (Kran 1 noch in Betrieb)

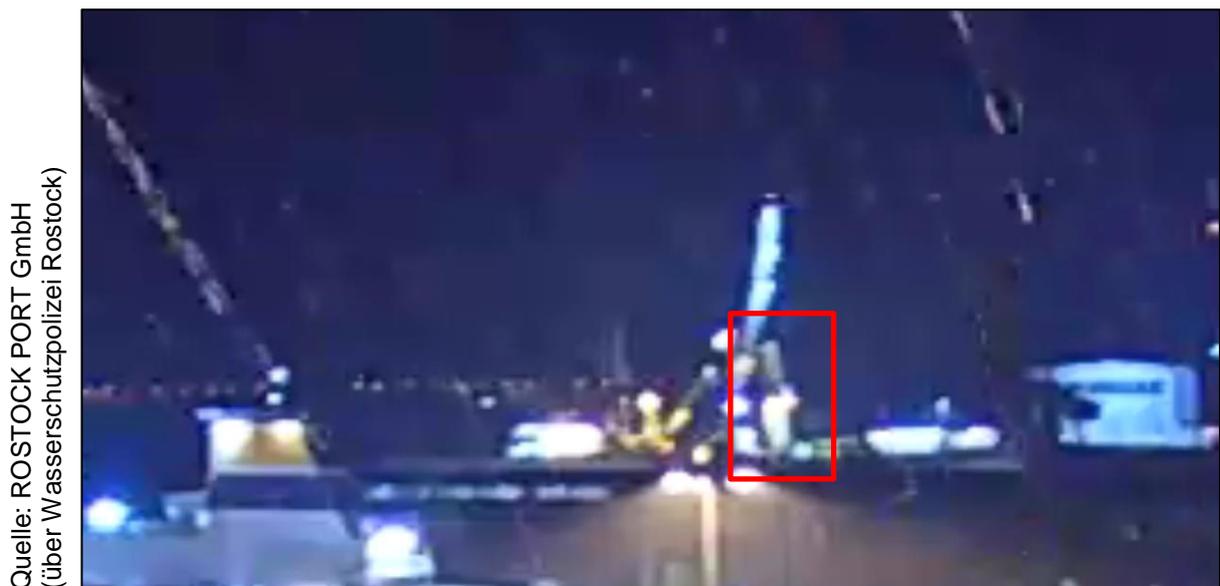


Abbildung 30: Screenshot Überwachungskamera nach Schwenken des eigenen Ladegeschirrs, (Kran 1 nicht mehr in Betrieb)

Die von der Seite filmende Kamera zeigt diesen Schwenkvorgang ca. zweieinhalb Minuten vor dem Unfall (Abbildung 29 und Abbildung 30). Den Aussagen der Zeugen an Bord ist zu entnehmen, dass parallel zu den Ladungssicherungsvorgängen das bordeigene Ladegeschrirr seefest gesichert werden sollte (siehe auch S. 18). Auf der von achtern gefilmten Aufzeichnung ist deutlich zu erkennen, wie das Schiff auf diesen Schwenkvorgang reagierte.

Anhand der Filmaufnahmen und mithilfe einer digitalen, grafischen Vermessungstechnik („Photogrammetrie“) ermittelte Dr. Manfred Wiggenhagen vom Institut für Photogrammetrie und Geoinformation (IPI) der Leibniz Universität Hannover im Auftrag der BSU den Winkelwert des Auslegers von Kran 2 gegen den Horizont.²²

Zum Schwenkzeitpunkt 20:45:59 wurde ein maximaler Auslegerwinkel von 92,2° ermittelt, also ein deutliches „Überholen“ zur Landseite (siehe Abbildung 31). Der Neigungssensor von Kran 2 zeichnete zum selben Zeitpunkt eine landseitige Neigung von 2,1° auf.²³

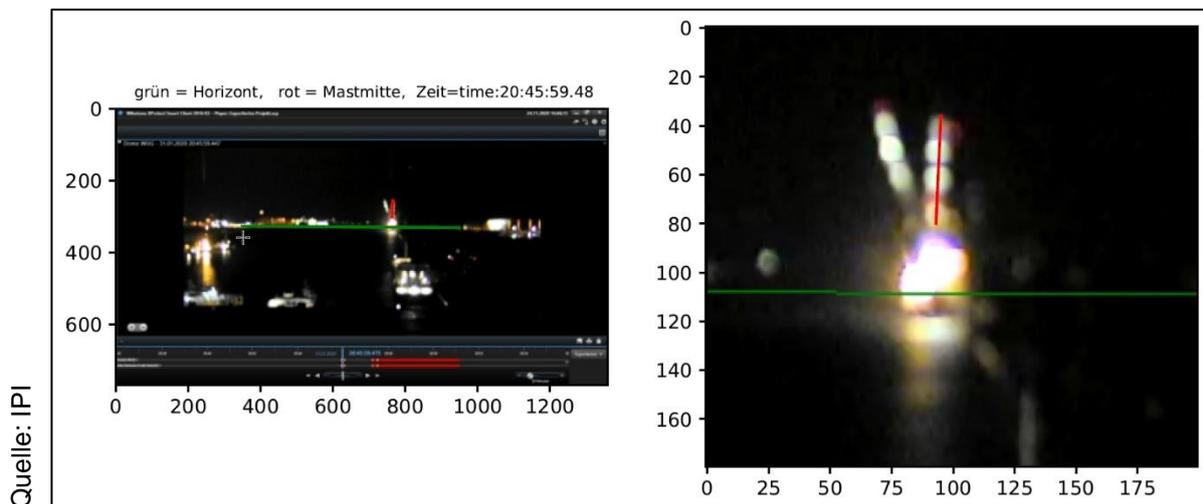


Abbildung 31: Photogrammetrie:
 landseitige Krängung durch Schwenken des eigenen Ladegeschrirrs
 (ca. zweieinhalb Minuten vor t_0 ; Messwert 92,2°)

Der Schwenkvorgang des eigenen Ladegeschrirrs war also deutlich sichtbar. Er war allerdings beendet und die dadurch ausgelöste Krängung bereits wieder ausgeglichen, bevor Kran 2, ebenfalls deutlich sichtbar, in Bewegung gesetzt wurde.

Die Messungen des IPI bestätigten außerdem noch einmal, dass zum Unfallzeitpunkt keine wasserseitige Vorkrängung vorlag (siehe auch Abschnitt 3.4.6.3).

3.4.7.2 VDR-Mikrofone

Auch die Tonmitschnitte des VDR der JUMBO VISION widerlegen ein gleichzeitiges Bewegen von Ladegeschrirr und Kran 2. Deutlich zeitlich voneinander abgesetzt zeichneten die Außenmikrofone in den Brückennocken zunächst die Hydraulikpumpen

²² Werte < 90°: gemessene Auslegerneigung zur Seeseite, Werte > 90°: zur Landseite.

²³ Der nicht grafisch aufbereitete Rohdatensatz für diesen Zeitabschnitt liegt der BSU vor.

des Ladegeschrirs auf und dann, nach einer Pause ohne Krangeräusche, den Warnton des fahrenden Krans 2 (einen sich regelmäßig wiederholenden akustischen Signalton). Ebenso ist keinerlei Kontakt zwischen Ladegeschrir und Kran zu hören (eine Art Krachen wäre zu erwarten).

3.4.8 Hypothese 7: Einfluss von Stabilität und Rollverhalten

Die Hypothese, Probleme mit der Stabilität hätten möglicherweise mindestens einen Beitrag geleistet zum Unfallgeschehen, stand von Anfang an neben allen anderen Theorien im Raum.

Die Tatsache, dass die JUMBO VISION stabilitätstechnisch auffällig „weich“ auf das einfache Schwenken des eigenen Ladegeschrirs reagiert hatte, bot weiteren Anlass zu dieser Vermutung.

Die Untersucher der BSU wandten sich mit der Bitte um Erstellung eines Gutachtens an Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger vom Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit der Technischen Universität Hamburg (TUHH)²⁴. Die Fragen, die ihm gestellt wurden, waren diejenigen, die die Untersucher nach wie vor umtrieben:

- Wie konnte es dazu kommen, dass sich ein seitlich verfahrens Kran nicht mehr anhalten ließ, obwohl solche Beladungsvorgänge mit baugleichen Kranen schon oft durchgeführt worden waren?
- Welche Möglichkeiten hätte es gegeben, den Unfall zu verhindern?

Der TUHH wurden alle Unterlagen und Daten übermittelt, die auch der BSU zur Verfügung standen.

3.4.8.1 Überwachungskameras

Zunächst untersuchten BSU und TUHH die Bewegungen der JUMBO VISION direkt vor dem Unfall eingehender.

Wie in Kapitel 3.4.7.1 erläutert, bewirkte bereits die Bewegung des bordeigenen Ladegeschrirs – ein Standardvorgang – eine Krängungsänderung, die sich in einer Größenordnung bewegte, bei der der LHM 550 laut Herstellervorgaben bei seitlicher Neigung nicht mehr verfahren werden darf (mehr als $2\% \triangleq 1,15^\circ$, bzw. durch die fehlenden Gegengewichte noch etwas mehr), auch nach der Berücksichtigung von Messungenauigkeiten bzw. unter der Annahme, dass hier kein Absolut- sondern ein Tendenzwert gemessen wurde.

Die photogrammetrischen Messungen wurden daher auf die Minute vor dem Unfall ausgeweitet. Zunächst konnte anhand von „Schlüsselereignissen“ des Unfallablaufs abgeglichen werden, dass die Kameras und die Aufzeichnungen der Datenchips zeitlich synchron waren. Als nächstes wurde das IPI gebeten, die Auslegerneigung zu vorgegebenen Zeitpunkten zu bestimmen (siehe Abbildung 32).

²⁴ Im Folgenden „Stabilitätsgutachten“.

Quelle: IP1

Bild: t0.jpg, Winkel 88.31 °, Zeit: time:20:48:21
Bild: t1.jpg, Winkel 86.82 °, Zeit: time:20:48:36
Bild: t2.jpg, Winkel 85.72 °, Zeit: time:20:48:41
Bild: t3.jpg, Winkel 84.30 °, Zeit: time:20:48:51
Bild: t4.jpg, Winkel 84.42 °, Zeit: time:20:48:56

Abbildung 32: Photogrammetrisch ermittelte Krängungswinkel

Aufgrund der Qualität der zugrundeliegenden Bilder, und weil der Ausleger nicht exakt lotrecht nach oben stand, wurden die so bestimmten Winkel nicht als absolute Krängungswinkel der JUMBO VISION betrachtet, sondern als Differenz- bzw. Tendenzwerte. Auch der Einfluss der Bewegung des Krans relativ zum Schiff (also seiner Fahrt) wurde vernachlässigt.

t_0 war der Zeitpunkt, an dem Kran 2 in Bewegung gesetzt wurde. Es wird davon ausgegangen, dass das Schiff hier keine Krängung hatte. Dies wurde übereinstimmend von sämtlichen Zeugen ausgesagt und entspricht neben den o. g. Ausführungen zur Vorkrängung auch den Werten des Neigungswinkelgebers des Datenchips von Kran 2 (siehe Abbildung 20).

Zum Zeitpunkt t_1 (15 s nach Losfahren), als sich aus Sicht der Beteiligten noch kein Problem darstellte, hatte die JUMBO VISION demnach bereits ca. $1,5^\circ$ Krängung zur Seeseite.²⁵

Zwei Sekunden danach versuchte der Kranfahrer, den Kran durch Aussetzung des Meisterschaltersignals (Fahrhebel loslassen) zu stoppen. Zum Zeitpunkt t_2 (20 s nach Losfahren; ca. $2,5^\circ$ Krängung) war dies bereits gescheitert und es wurde versucht, umzusteuern, ohne das gewünschte Ergebnis.

Die Zeitpunkte t_3 (30 s nach Losfahren) und t_4 (35 s nach Losfahren; jeweils ca. 4° Krängung) fallen in die Phase, in der der Kran sich unkontrolliert weiter in Richtung Seeseite bewegte. Zum Zeitpunkt t_4 wurde erfolglos versucht, die Abstützzyylinder auszufahren.

Unmittelbar danach bewegte sich Kran 2 mit der seeseitigen Radsatzreihe ruckartig vom Lukendeckel, und etwa fünf Sekunden später, gute 40 Sekunden nach dem Losfahren, fiel er ins Hafenbecken.

Die zunehmende Krängung zwischen den Zeitpunkten t_0 (Losfahren) und t_4 (ausfahren der Abstützzyylinder) ist in den Filmaufnahmen deutlich erkennbar (siehe Abbildung 33).

²⁵ Alle hier genannten Krängungswerte ergeben sich als Differenz zum Winkel zum Zeitpunkt t_0 .

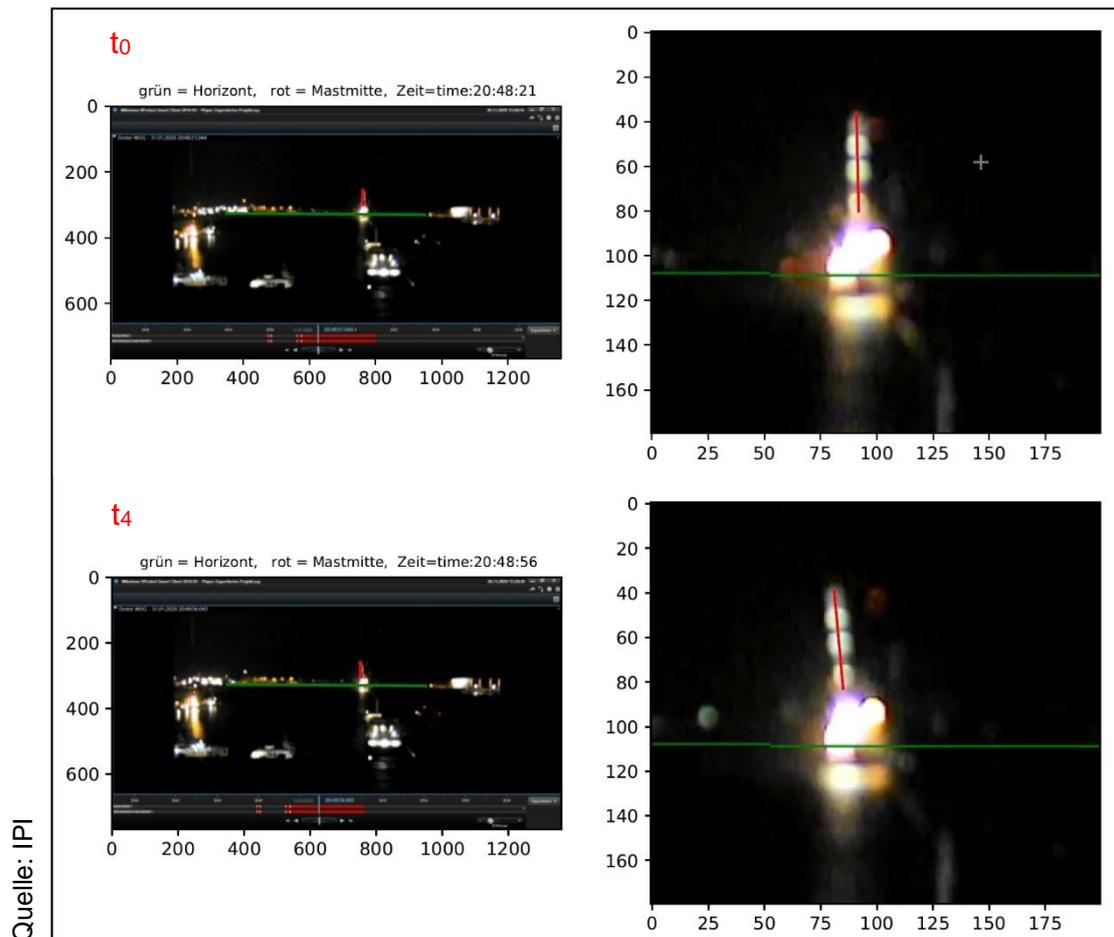


Abbildung 33: Photogrammetrie: Vergleich t_0 und t_4
 ($t_0 \triangleq 0^\circ$ Krängung, Messwert $88,31^\circ$; $t_4 \triangleq 4^\circ$ seeseitige Krängung, Messwert $84,42^\circ$)

Hier begannen die ersten Auswertungen für das Stabilitätsgutachten. Krüger vollzog die berechneten Winkel nach, indem er ein grafisches „Pendel“ auf den Bildschirm legte – einfache Klebebandstreifen, mit deren Hilfe die Auswanderung des Auslegers deutlich zu beobachten und zu messen war. Seine so errechneten Winkelwerte liegen dicht an denen des IPI (siehe Abbildung 34, hellblaue Kurve).

Abbildung 34 zeigt die ermittelten Winkel des IPI und der TUHH sowie die des Neigungsgebers von Kran 2 über einen Zeitraum von knapp zwei Minuten in der Gegenüberstellung. Es ist über den Verlauf des letzten Verfahrens bis zum Unfall klar eine *zunehmende* Krängung erkennbar – im Gegensatz zur ursprünglich angedachten, bereits zum Zeitpunkt t_0 bestehenden (und widerlegten) *Vorkrängung*. Die beobachtete Krängung scheint keinen linearen Charakter zu haben, wie man es für einen mit konstanter Geschwindigkeit seitwärts fahrenden Kran vielleicht erwarten würde, sondern gleicht eher einer Schwingung.

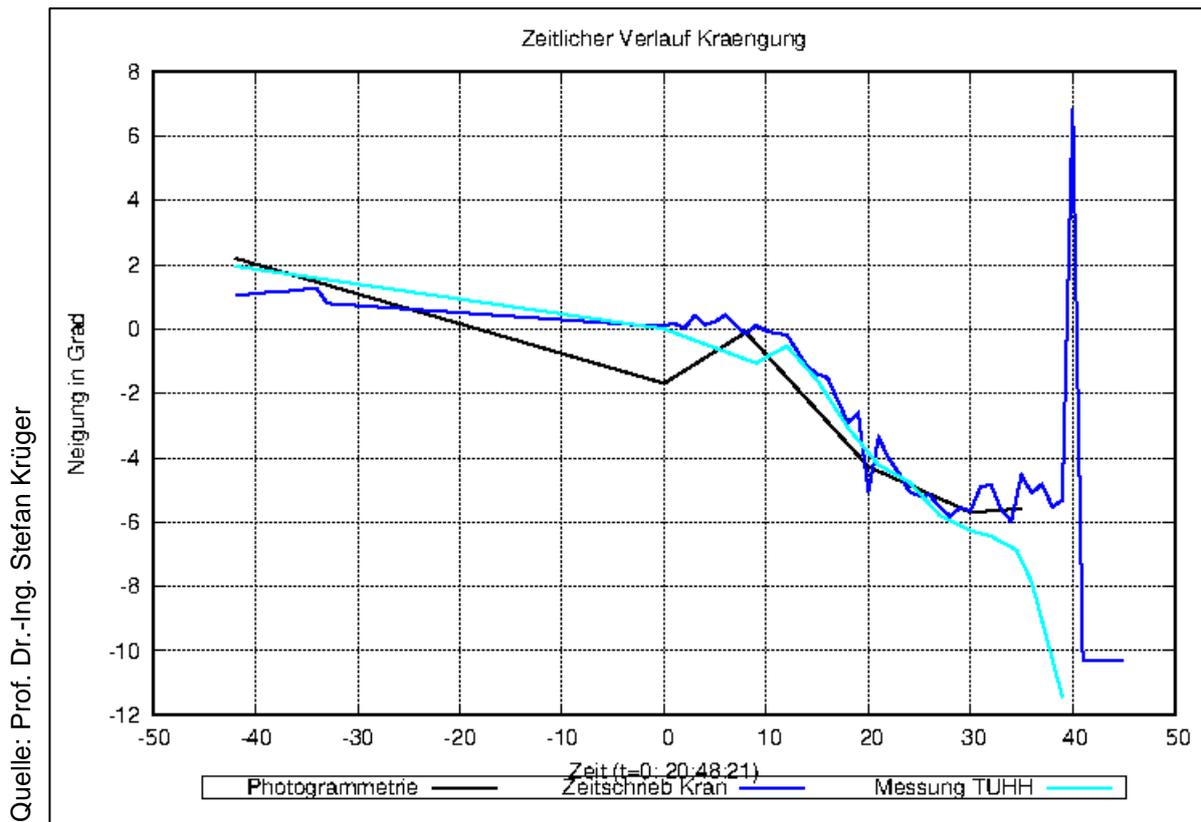


Abbildung 34: Rollwinkel über die Zeit nach allen drei Messmethoden

15 s nachdem Kran 2 in Bewegung gesetzt wurde, sollte er erstmalig angehalten werden. Der Fahrhebel wurde dafür (erfolglos) in Nullstellung gebracht. Abbildung 34 zeigt, dass die JUMBO VISION hier bereits eine Krängung von ca. 1 – 2° hatte – also wurde die Grenze für die maximal zulässige Querneigung des Untergrunds im Fahrbetrieb vielleicht bereits überschritten.

Sowohl die von Wiggenhagen als auch die von Krüger gemessenen Krängungswinkel bestätigten nun auch zahlenmäßig die Tendenz der Werte des Neigungswinkelgebers von Kran 2. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass das vom Kapitän bei der Verladung der Liebherr-Krane während der Folgereise beobachtete Phänomen – dass ein verladener Kran unabhängig vom Schiff eine Neigung einnimmt (siehe S. 40 f.) – in der Unfallnacht nicht vorlag, der Neigungswinkelgeber des Krans am 31. Januar also keine Werte aufzeichnete, die sich grob von der Neigung des Untergrunds unterschieden. Bei einem fabrikneuen Kran kann laut Liebherr auch davon ausgegangen werden, dass der hydraulische Niveauegleich der Radsatzgruppen korrekt eingestellt ist.

3.4.8.2 VDR-Mikrofone

Die Untersucher interessierten sich nun auch dafür, wie und was zu den o. g. Zeitpunkten auf der Brücke und an Deck kommuniziert wurde.

Anhand der Schlüsselereignisse konnte festgestellt werden, dass die Aufzeichnungen des VDR gegenüber denen der Kran-Datenchips und der Hafenkameras um drei Sekunden nachlaufen. Es waren vor allem zwei der (immer nur eine Minute langen)

Audiodateien interessant: der Mitschnitt des zentralen Brückenmikrofons zum Unfallzeitpunkt, sowie der des dem Unfall am nächsten gelegenen Außenmikrofons (Backbord-Brückennock) für denselben Zeitraum.

Die zwei Tondateien wurden mit einem Audioeditor entauscht und visualisiert, dann wurden die beiden Visualisierungen zeitsynchron gegenübergestellt (siehe Abbildung 35). Oben ist die Tonspur des Außenmikrofons dargestellt, unten die des Brückenmikrofons. Weiterhin wurden verschiedene Ereignisse und Zeitabschnitte in die Grafik eingetragen, um dem Betrachter eine Orientierung zu ermöglichen.

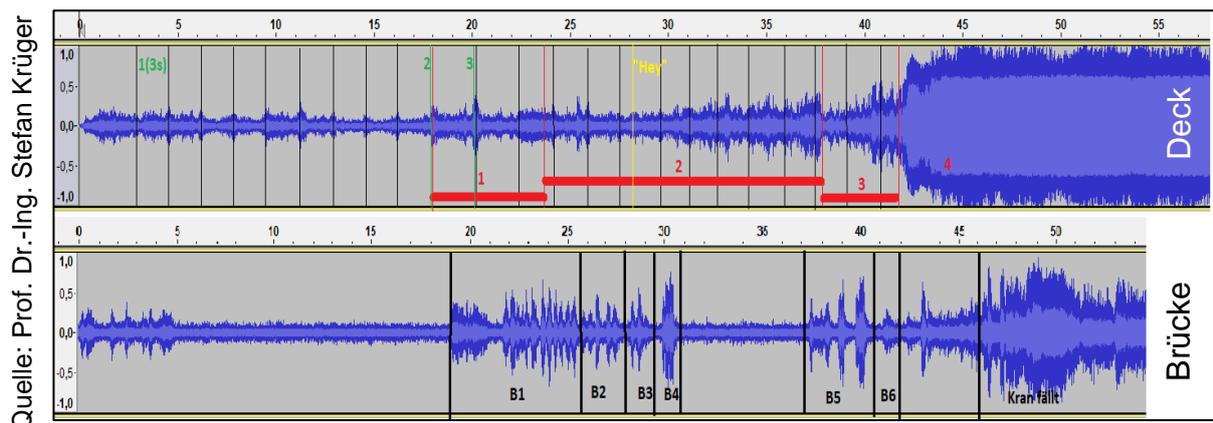


Abbildung 35: Visualisierung der beiden relevanten VDR-Tondateien
Aufzeichnung beginnt um 20:48:15 Uhr VDR-Zeit = 20:48:18 Uhr in den anderen Medien

Das **Mikrofon auf der Brücke** zeichnete die Funkkommunikation zwischen dem Kapitän, der zum Pumpen von Ballast dort war, und den an Deck Aufsicht führenden Personen (Erster Offizier, Port Captain) auf. Es ist lediglich der Kapitän zu verstehen, die Gegenseite ist verrauscht. In Abbildung 35 unten ist das, was der Kapitän (in zunehmender Dringlichkeit und Lautstärke) sagt, in sechs Bereiche (B) aufgeteilt.

- B1 (ca. 20:48:34 Uhr auf den Datenchips): unverständliche Ansage über Funk; Kapitän erwidert: „*Yeah, stop, I'm not that fast! Stop, stop, stop, stop, stop, stop!*“
- B2: „*Let me know first, come on guys.*“
- B3: „*We got five degrees!*“
- B4: „*Stop!*“
- Pause
- B5: „*Stop with this crane, stop! Stop!*“
- B6: unverständlicher Ausspruch (eventuell ein Fluchen)

Danach ist das Krachen umfallender Stühle und herunterfallender Gegenstände zu hören; dies ist der Moment der kurzen, kräftigen Schlagseite, während der die Krane

über Bord gingen. In der Audiodatei der sich anschließenden Minute (nicht visualisiert) hört man, wie der Kapitän sich kurz sammelt und dann sofort die Order gibt, die Vollzähligkeit aller sich an Bord befindlichen Leute festzustellen.

Zum Zeitpunkt, als der Kapitän „We got [sic] five degrees!“ sagt, kann man an allen drei Kurven in Abbildung 34 übereinstimmend tatsächlich ziemlich genau fünf Grad Krängung ablesen (ca. 25 s nach t_0). 5° Krängung entsprechen einer Neigung von 8,7 %. Das analoge Inklinometer auf der Brücke kann maximal einen Krängungswert von 5° anzeigen.

Das **Außenmikrofon** zeichnete vor allem das Fahrgeräusch (akustischer Signalton) von Kran 2 auf, sowie Zeitbereiche mit einem stufenweise immer lauter werdenden, schleifenden Hintergrundgeräusch, das als (mit zunehmender Drehzahl und / oder in zunehmender Anzahl) durchdrehende Räder des Krans und sich verschiebende Stahlplatten gedeutet werden kann.

In die Visualisierung der Decks-Audiodatei (Abbildung 35 oben) wurde zunächst für jeden Signalton eine senkrechte schwarze Linie eingezeichnet. Das Fahrgeräusch fängt demnach drei Sekunden nach Beginn der Tondatei an (um $t_0 = 20:48:21$ Uhr) und setzt sich fast bis zum Ende fort. Nur zwischen 16 s und 20 s (also zwischen 20:48:34 und 20:48:38 Uhr) fehlt es. Hier ist keine schwarze, sondern sind eine rote und eine grüne Linie eingezeichnet. Das Fahrgeräusch setzt also tatsächlich genau dann aus, als der Fahrhebel, und damit das Meisterschaltersignal, auf null geht (vgl. Abbildung 20). Beim schnellen Umsteuern hingegen (nach Bemerkungen der falschen Fahrrichtung zwei Sekunden nach dem Losfahren) kommt es gar nicht dazu, dass das Fahrgeräusch aussetzt, da die Haltebremsen nicht genügend Zeit haben, um zu greifen (siehe auch Abschnitt 3.4.1.2 Liebherr LHM 550).

Mit den senkrechten grünen Linien wurden Schlüsselereignisse markiert:

- **1**: Kran 2 fährt los ($\triangleq t_0$).
- **2**: Kranfahrer legt Fahrhebel auf null (kein Signalton; s. o.).
- **3**: Kranfahrer gibt Signal zum Umsteuern ($\triangleq t_2$).

Die roten Bereiche **1**, **2**, und **3** zeichnen sich durch stufenweise stärker werdende Durchdreh- und Schleifgeräusche aus. In Bereich **4** schwellen diese noch einmal kräftig an, und dann sind laute, krachende, übersteuerte Geräusche zu hören, bei denen es sich offensichtlich um die Geräusche handelt, die das Fallen von Kran 2 begleiten.

Etwa zu dem Zeitpunkt, als der Kapitän auf der Brücke auf die 5° Krängung hinweist – nachdem auch der letzte Versuch, den Kran (mit den Abstützzyklindern) zum Stehen zu bringen, bereits gescheitert war – ruft an Deck jemand „**Hey**“.

3.4.8.3 Datenchips

Auch eine Gegenüberstellung des vom Neigungsgeber von Kran 2 aufgezeichneten Krängungsverlaufs und dem Verlauf des Meisterschaltersignals wurde der BSU durch Liebherr zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 36, obere zwei Kurven). Auch hier sind einige Ereignisse des letzten Verfahrens bis zum Unfall eingezeichnet.

Quelle: Liebherr-MCCtec Rostock GmbH

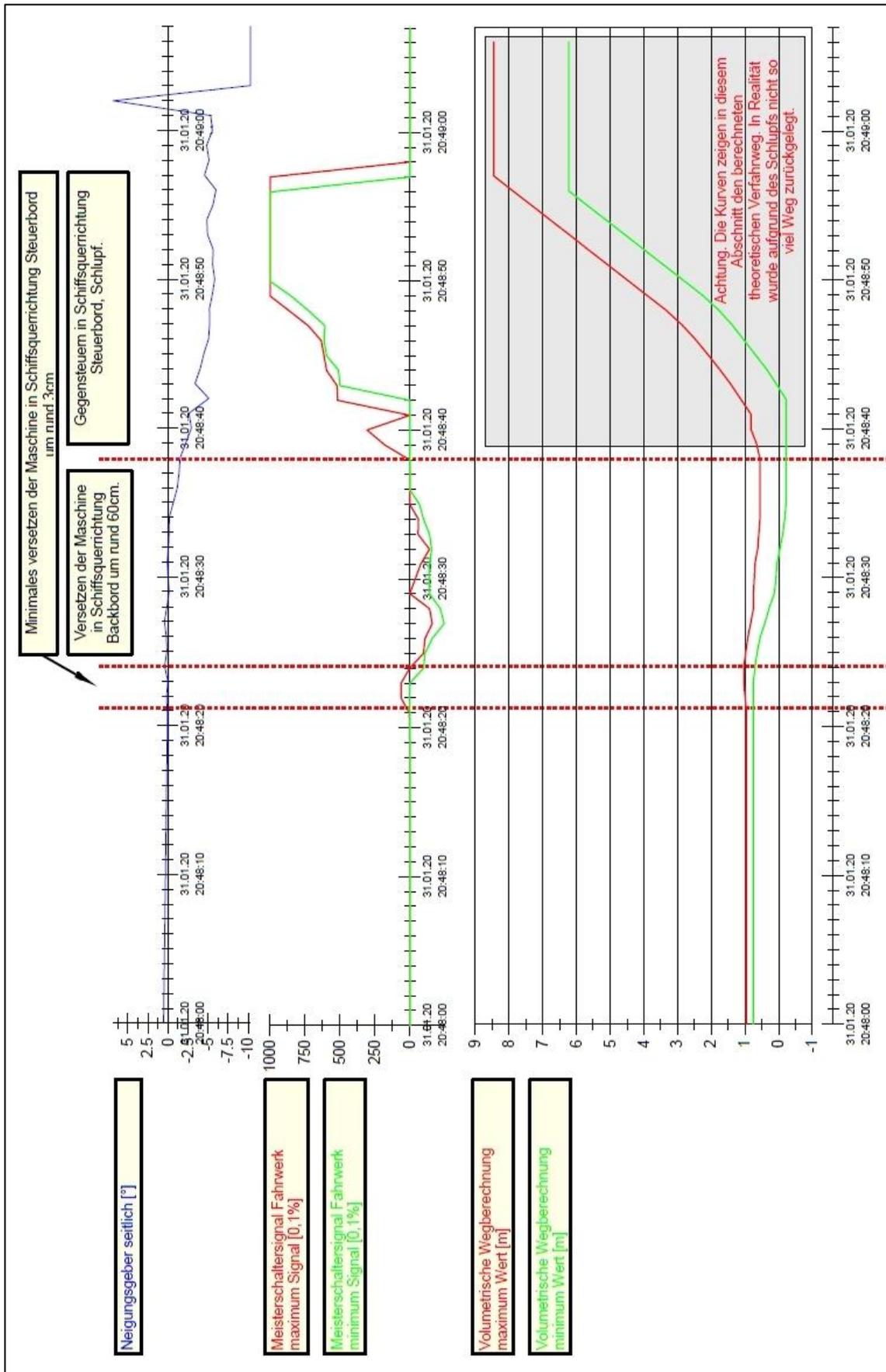


Abbildung 36: Detail: Neigung, Meisterschaltersignal, technischer Fahrweg

Die dritte, unterste Kurve (bzw. das unterste Kurvenpaar) dieser Abbildung ist der rechnerische Verlauf der vom Kran zurückgelegten Distanz. Diese ergibt sich u. a. aus dem in einem bestimmten Zeitabschnitt umgesetzten Hydrauliköl-Volumenstrom und dessen Pumprichtung, sowie dem Umfang der Räder des LHM 550.

Dieses Kurvenpaar ist folgendermaßen zu interpretieren:

Der Anfangswert ist nicht null, weil der Kran vorher bereits verfahren wurde. Er entspricht hier also nicht dem Beginn der Aufzeichnungen. Für die Diskrepanz zwischen Minimum- bzw. Maximumwertkurve (rot und grün) gilt die Erklärung von S. 37 analog.

Das Kurvenpaar stellt ein Integral dar, nämlich die zeitliche Integration einer Funktion der Hydrauliköl-Volumenströme und damit der Bewegung. Das Vorzeichen der Kurvensteigung an einem beliebigen Punkt entspricht also grundsätzlich der Richtung der zurückgelegten Distanzen (vorwärts oder rückwärts, bzw. landwärts oder seewärts). Demzufolge ist hier errechnet worden, dass der Kran sich nach dem Scheitelpunkt der Kurve um 20:48:38 Uhr wie geplant wieder in die Gegenrichtung bewegte. Dies war jedoch bekanntermaßen nicht der Fall.

Geht man davon aus, dass der Kranantrieb zwar (wie vom Fahrer vorgegeben) in die Gegenrichtung *arbeitete*, das hydraulische Antriebssystem des Krans diesen allerdings nicht zur Umkehr bewegen konnte, lässt sich das Phänomen erklären.

Wird (wie zum Zeitpunkt des Scheitelpunkts geschehen, siehe Abbildung 36, Meisterschaltersignal zum selben Zeitpunkt) der Fahrhebel (Meisterschalter) auf null gelegt, fördert auch die Hydraulikpumpe zum Antrieb der Antriebsmotoren kein Öl mehr. Die Hydraulikmotoren stoppen dann aufgrund des resultierenden Druckaufbaus auf der Gegenseite der Motoren. Dieser Gegendruck stellt sich entsprechend der zum Bremsen bzw. Halten des Krans erforderlichen Last ein.

Nach einer Sekunde wurden hier die Lamellenbremsen drucklos geschaltet und federbelastet geschlossen (siehe Abbildung 20, hellgrüne Kurve der Bremsenansteuerung, Zeitpunkt 20:48:37). Beim Wiederauffahren in die andere Richtung (Auslenken des Fahrhebels in die entgegengesetzte Richtung bzw. Vorzeichenwechsel beim Meisterschaltersignal) förderte die Pumpe wieder und stellte den entsprechenden, nun in die Gegenrichtung fließenden Volumenstrom an den Motoren zur Verfügung, was zum dargestellten rechnerischen Verfahrensweg des Krans in Richtung Landseite führte, die der Kranfahrer auch hatte herbeiführen wollen. Doch der Kran fuhr weiter in Richtung Seeseite.

Zunächst wurde in allen Antriebsmotoren derjenige Öldruck aufgebaut, der für die Bewegung des Krans erforderlich war. Doch dann drehte offenbar mindestens ein Radsatz durch (bekam „Schlupf“). Dies geschieht, wenn der anliegende Druck die Reibkräfte zwischen den Rädern und dem Untergrund überwindet, also bei für den

betreffenden Vorgang zu geringer Reibung. Hier herrschte die geringste Reibung zwischen den ausgelegten Stahlplatten und dem Deck.²⁶

Der Volumenstrom der Pumpe floss nun zunehmend durch die Antriebsmotoren der in Richtung Landseite durchdrehenden Radsätze (die die unter sich liegenden Stahlplatten in Richtung Seeseite unter sich hindurchschoben). Weil deshalb an den verbleibenden angetriebenen Radsätzen ein zu geringer Druck für die Überwindung der Neigung des Untergrunds anlag, rollten sie mit dem Kran weiter „bergab“ statt in die angeforderte Richtung, und aufgrund der zunehmenden Schlagseite auch mit zunehmender Geschwindigkeit. Durch diese aufgezwungene Bewegung gleichsam wie Pumpen arbeitend, förderten diese Radsatzmotoren hierbei (immer mehr) *zusätzliches* Ölvolumen, welches dann (in zunehmender Menge) durch die Antriebsmotoren der (deswegen immer schneller) durchdrehenden Radsätze floss.²⁷ Möglicherweise ist der Kran in dieser Phase zusätzlich noch im Ganzen gerutscht.

Die abgelesenen Distanzwerte nach dem Scheitelpunkt (in der Datenanalyse grau hinterlegt) geben also nur den theoretischen Fahrweg des Krans wieder, wenn

- das gesamte Ölvolumen, welches in diesem Zeitbereich durch die Pumpe gefördert wurde, gleichverteilt durch die Motoren aller angetriebenen Radsätze geflossen wäre
- und alle Radsätze über ausreichende Reibung zur Übertragung des Antriebsmomentes verfügt
- und den entsprechenden Weg an Deck zurückgelegt hätten (vorausgesetzt, dieser Weg hätte auf dem Lukendeckel zur Verfügung gestanden).

In der Realität kam es jedoch zum Durchdrehen einzelner Radsätze und zum Verschieben der an Deck ausgelegten Stahlplatten. Deshalb rollte der Kran weiter in Richtung Seeseite, obwohl die maximal mögliche Fahrtriebsleistung des Krans in Richtung Landseite wirkte. Die gesamte zur Verfügung stehende Fahrtriebsleistung wurde also durch die durchdrehenden Räder, durch den Schlupf, „vernichtet“.

Dies ist der Grund, weshalb die Untersucher der BSU einige wenige der ausgelegten Stahlplatten in Richtung Seeseite verschoben vorfanden (siehe Abbildung 19). An dieser Stelle befanden sich die durchdrehenden Radsätze (bzw. mindestens einer), die in Richtung Landseite arbeiteten und die Platten dabei unter sich durchschoben, während sich der Kran als Ganzes in die Gegenrichtung bewegte, also in dieselbe Richtung wie die Platten. Alle anderen Radsätze rollten nur und bewegten die Platten dabei nicht.

Hier erklärt sich auch die Diskrepanz zwischen einigen Zeugenaussagen (siehe S. 20): Ein paar der Zeugen berichteten von Rädern, die sich in Richtung Landseite drehten,

²⁶ Der Haftreibungskoeffizient für „Stahl auf Stahl“ ist $\mu \approx 0,3$, im nassen Zustand mit $\mu \approx 0,05$ noch deutlich geringer.

²⁷ Nach Aussage von Liebherr kann ein Überströmen über die Druckbegrenzungsventile (aufgrund der geringen Fahrweggeschwindigkeit sowie der zu diesem Zeitpunkt bereits vorhandenen Decksneigung) hier ausgeschlossen werden.

andere von Rädern, die sich in Richtung Seeseite drehten. Beide Gruppen hatten recht, je nachdem, wo sie während des Unfalls standen bzw. welche der Räder sie jeweils im Blick hatten.

Aufgrund des Schlupfs kann den Kurven der Fahrweg demnach nur bis zum Scheitelpunkt (Zeitpunkt 20:48:38) korrekt entnommen werden. Der Kran ist bis zu diesem Zeitpunkt mindestens 60 cm (rote Kurve; Anfang des Fahrvorgangs bis Scheitelpunkt) und maximal 120 cm (grüne Kurve analog) gefahren.

3.4.8.4 Gutachten zu Stabilität und Rollverhalten der JUMBO VISION

Alle bisher erläuterten Untersuchungsergebnisse fließen in die Erstellung des Stabilitätsgutachtens ein. In diesem Kapitel wird der Inhalt des Gutachtens ohne Wertung durch die BSU wiedergegeben.

Mitarbeiter des Instituts für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit modellierten zunächst mithilfe des Spantrisses des Schiffes und der von Jumbo Shipping bereitgestellten Stabilitätsunterlagen ein Spantformmodell, das die Stabilität der JUMBO VISION im für den Unfall relevanten Bereich korrekt abbildete.

Das Modell verhielt sich wie das Schiff, nur die Rollzeit wurde nach einem eigenen, genaueren Rechenverfahren berechnet und nicht nach den „vereinfachten Annahmen des IMO-Wetterkriteriums, welche die konkrete Einzelmassenverteilung der konkreten Beladungssituation überhaupt nicht berücksichtigen“²⁸. Mithilfe des genaueren Modells ergab sich für die JUMBO VISION am Unfalltag eine Rollzeit von 19,81 s, im Gegensatz zu den in den Unterlagen angegebenen 17,35 s (nur dieser Wert stand der Besatzung zur Verfügung).

Um die Wirkung der Fahrbewegungen von Kran 2 auf die JUMBO VISION zu simulieren, wurde sich eines für diese Zwecke umfunktionierten Seegangsprogramms bedient, das Schiffsbewegungen in allen sechs Freiheitsgraden berücksichtigt, und in das das Spantformmodell des Schiffes eingegeben wurde.

Doch welche Kräfte und Momente wirkten konkret während des Verfahrens von Kran 2 bis zum Unfall auf die JUMBO VISION?

Zunächst identifiziert das Stabilitätsgutachten die Momente, die vor dem ersten Anhalteversuch (dem Umsteuern) auf die JUMBO VISION einwirkten, dann quantifiziert es sie²⁹, schließlich bewertet es die gefundenen Ergebnisse.

Es wird besonders hervorgehoben, dass alle Krängungswinkelmessungen einen stark nichtlinearen Verlauf aufweisen (eine Zeitlang keine Zunahme, trotz Verfahrens des Krans, dann plötzlich eine starke Zunahme etc.). Neben statischen Effekten (Krängungsmoment durch die lineare Verschiebung des großen Krangewichts) hätten

²⁸ Direkt zitierte Abschnitte sind kursiv gedruckt und wurden nur in Hinblick auf die für BSU-Berichte vorgegebenen Formatierungsrichtlinien verändert.

²⁹ Details siehe „Gutachten über das Überbordgehen von zwei Kranen in Rostock am 31.01.2020“, separat herunterzuladen unter https://www.bsu-bund.de/DE/Publikationen/Unfallberichte/Unfallberichte_node.html.

also offensichtlich auch dynamische eine Rolle gespielt (Rollmomente durch die Anfahr- und Bremsvorgänge des Krans, die eine stärker werdende Rollschwingung anregen).

Die ermittelten Momente²⁹ seien konservativ, da Einflüsse wie z. B. das Moment durch die Elastizität des Krans (v. a. seiner Bereifung) absichtlich nicht betrachtet wurden.

Zusammenfassung der ersten 13 Sekunden (die Entfernungswerte entsprechen den minimal bzw. maximal möglichen Strecken, die der Kran laut Berechnung von Liebherr verfahren wurde):

- *Der Kran beschleunigt mit $0,03 \text{ m/s}^2$ bis $0,06 \text{ m/s}^2$ in Richtung Landseite. Dadurch entsteht ein **Rollmoment nach Seeseite**.*
- *Der Kran verfährt $0,03 \text{ m}$ bis $0,06 \text{ m}$ nach Landseite. Daraus resultiert ein **Krängungsmoment nach Landseite**.*
- *Der Kran bremst mit $0,03 \text{ m/s}^2$ bis $0,06 \text{ m/s}^2$ und erzeugt dabei ein **Rollmoment nach Landseite**.*
- *Der Kran beschleunigt mit $0,03 \text{ m/s}^2$ bis $0,06 \text{ m/s}^2$ nach Seeseite und erzeugt dabei ein **Rollmoment nach Landseite**.*
- *Der Kran verfährt mit konstanter Geschwindigkeit nach Seeseite und erzeugt dabei ein **linear steigendes Krängungsmoment nach Seeseite**.*
- *Dabei werden nach 13 s (gerechnet ab Losfahren des Krans) $0,6 \text{ m}$ bis $1,2 \text{ m}$ Fahrweg nach Seeseite erreicht. Der Kran verfährt dabei mit einer Geschwindigkeit von mindestens $0,06 \text{ m/s}$ bis höchstens $0,12 \text{ m/s}$.*

Als nächstes betrachtet das Gutachten den zunehmenden Einfluss von Schlupf auf die Kranräder während des Zeitraums nach dem (erfolglosen) Umsteuern. In dieser Phase konnten die Kranräder aufgrund des größer werdenden Schlupfs immer weniger Antriebsmoment aufbringen, um den Kran anzuhalten.

Laut Angaben von Liebherr könne ein regelrechtes Kippen des Krans erst mit dem Fahren der seeseitigen Radsatzreihe über den Lukendeckelrand erfolgt sein; dies habe demnach während der vorangegangenen Fahrt keine Rolle gespielt.

Aus dem Stauplan für die Reise ergebe sich ein Gesamtfahrweg bis zum Kippen von Kran 2 von $4,1 \text{ m}$, und aus den möglichen gefahrenen Wegstrecken analog Fahrgeschwindigkeiten und Querbeschleunigungen.

Zusammenfassung des weiteren Verlaufs (die Entfernungswerte entsprechen den minimal bzw. maximal möglichen Strecken, die der Kran laut Berechnung von Liebherr verfahren wurde):

- *Der Kran ist bis zu diesem Zeitpunkt (13 s nach Losfahren des Krans) einen Verschiebeweg von 0,6 m bis 1,2 m gefahren.*
- *Der Kran beschleunigt jetzt in Richtung Seeseite, weil die Hydraulik kein Antriebsmoment mehr aufbringt und weil zu diesem Zeitpunkt die Krängung des Schiffes Richtung Seeseite dadurch weiter zunimmt.*
- *Etwa nach 20 s beginnt der Kran zu rutschen, bis ein Radsatz über die Lukendeckelkante fährt. Bis zum Kippen hat der Kran etwa eine Wegstrecke von 4,1 m zurückgelegt.*
- *Unterstellt man zunächst, dass der Kran bis zum Zeitpunkt des versuchten Anhaltens eine Verfahrestrecke von 0,6 m zurückgelegt hätte, dann verbleiben jetzt noch 3,5 m, die der Kran dann in 28 s zurückgelegt hat. Das ergibt eine zeitlich gemittelte Geschwindigkeit von 0,125 m/s. Unterstellt man dagegen, dass der Kran bis zum Anhaltezeitpunkt 1,2 m verfahren wäre, dann ergeben sich noch 2,9 m, die der Kran dann in 28 s verfahren bzw. gerutscht ist, was einer mittleren Verfahrgeschwindigkeit von 0,104 m/s entspricht.*

Um ihren Einfluss auf die JUMBO VISION zu simulieren, wurden die ermittelten Rollmomente innerhalb des oben beschriebenen Seegangsprogramms auf das rechnerische Schiffsmodell aufgebracht, unter Zugrundelegung einer Verfahrestrecke von zunächst 0,6 m und eines Anfangsmetazentrums von $G'M = 0,85$ m (wie im Ladefall).

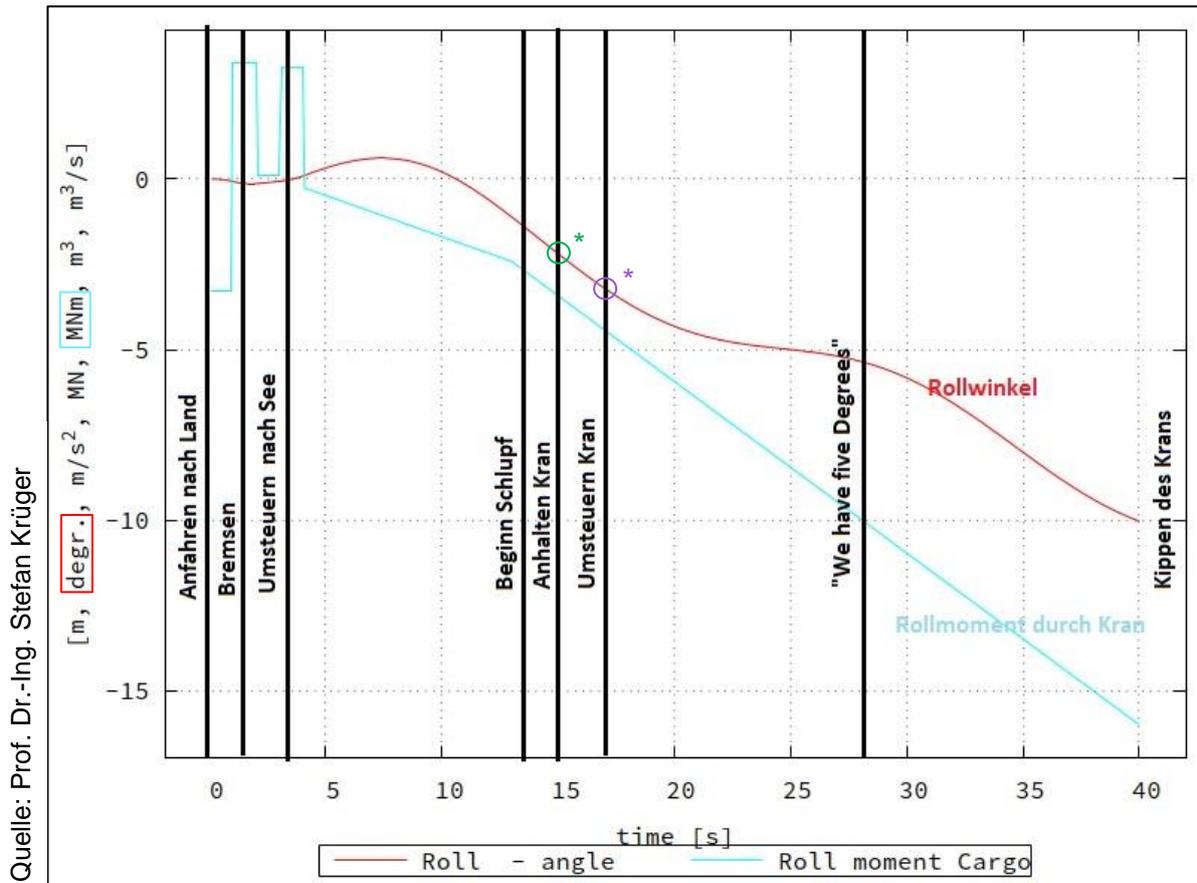


Abbildung 37: Simulation: auf das Schiff wirkende Momente und resultierende Rollwinkel

Die Interpretation von Abbildung 37 zeigt: Auch in der Simulation hatte das Schiff zum Zeitpunkt des Ausrufs des Kapitäns etwa 5° Krängung. Man sieht außerdem deutlich, welchen Effekt das schnelle Umsteuern des Krans, also seine Interaktion mit dem Schiff, gleich nach dem Anfahren hatte: Das Moment in Richtung Seeseite und die zwei Momente in Richtung Landseite (hellblaue Kurve) wirkten auf das Schiff wie auf eine Schaukel und regten eine stärker werdende Rollschwingung an (rote Kurve). Dem ersten fast unmerklichen Rollen in Richtung Seeseite folgte eine etwas stärkere Bewegung in Richtung Landseite. Dann rollte die JUMBO VISION kräftig in Richtung Seeseite zurück, beschleunigt durch den nun in dieselbe Richtung fahrenden Kran 2. In die Phase dieses kräftigen Zurückrollens fielen die erfolglosen Versuche, den Kran anzuhalten – der erste davon sogar etwa auf den Wendepunkt (*) der betreffenden Schwingungsperiode, d. h. etwa auf den Zeitpunkt der maximalen Rollgeschwindigkeit.

Anders formuliert „trafen“ die Anfahr- und Abbremsmomente offenbar exakt die halbe Roll-Eigenperiode der JUMBO VISION in ihrem Beladungszustand an dem Tag.

Neben der durch das stetige Verfahren des Krans verursachten statischen Krängung gab es mit dieser Rollschwingung also auch noch einen dynamischen Effekt, der den statischen Krängungswinkel, gegen den der Antrieb des Krans „anarbeiten“ musste, zusätzlich erhöhte. Dies erklärt auch die vorher beobachtete nichtlineare Charakteristik des gemessenen Krängungsverlaufs (siehe Abbildung 34).

Zum Zeitpunkt des erfolglosen Umsteuerns nach 18 s (*) errechnete die Simulation einen wirksamen Krängungswinkel (statischer Winkel plus Rollbeschleunigungsanteil) von 3,7°, also 6,5 % – mehr als dreimal so viel wie die vom Hersteller angegebene maximal erlaubte Untergrundneigung in Querrichtung von 1,15°, selbst wenn man die leichte Erhöhung dieses Werts durch die fehlenden Gegengewichte berücksichtigt.

Der Vergleich mit den anderen Messmethoden des Krängungswinkelverlaufs der JUMBO VISION während des letzten Verfahrens von Kran 2 zeigt, dass die Simulation (rote Kurve) das Rollverhalten des Schiffes im gegebenen Zeitraum mit guter Genauigkeit wiedergibt (Abbildung 38). Außerdem bestätigen Simulation und Messwerte, dass die Rollperiode des Schiffes tatsächlich näher am von der TUHH ermittelten Wert (19,81 s) lag als an dem mit dem IMO-Wetterkriterium errechneten (17,35 s; siehe auch S. 56).

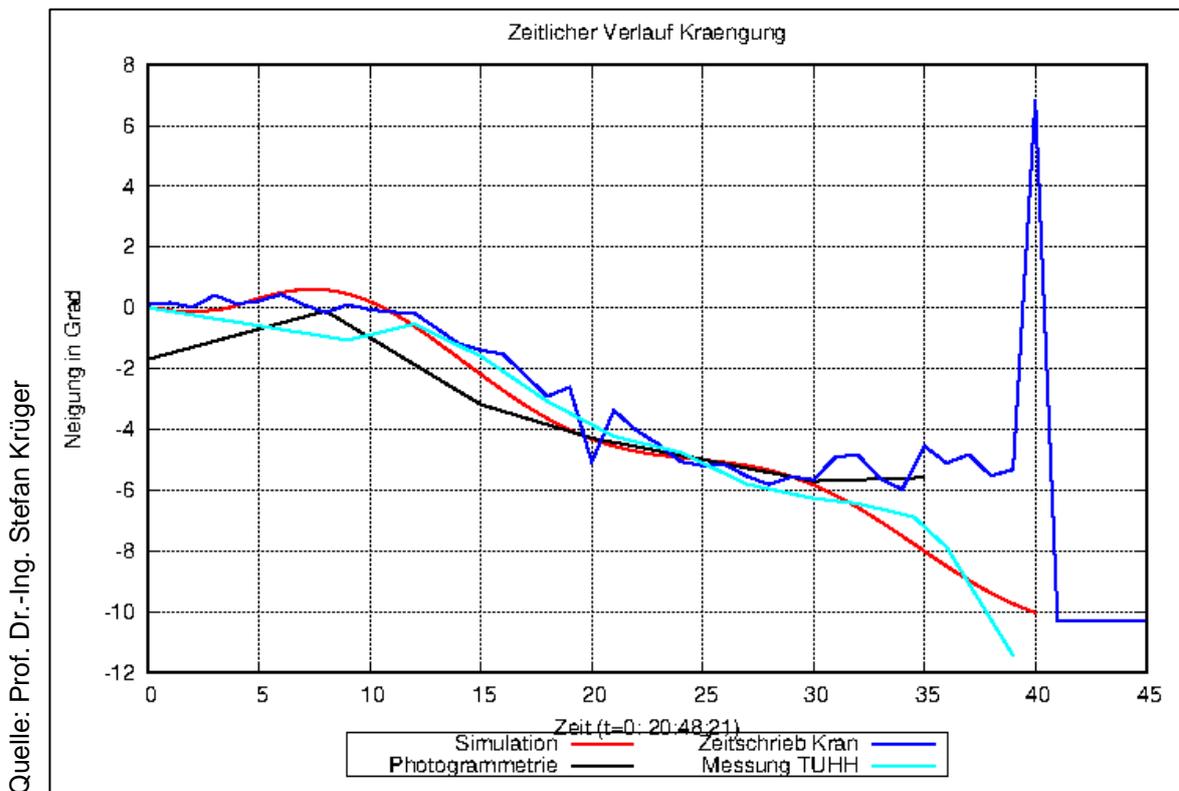


Abbildung 38: Rollwinkel über die Zeit nach allen drei Messmethoden plus Simulationswerte

Im weiteren Verlauf prüft das Stabilitätsgutachten die Einflüsse

- einer größeren theoretischen Verfahrstrecke,
- einer größeren Anfangsstabilität,
- einer größeren anfänglichen Winkelgeschwindigkeit
- und einer geringeren anfänglichen Winkelgeschwindigkeit.

Alle diesbezüglichen Berechnungen führen allerdings zu deutlich weniger passenden Ergebnissen:²⁹ Entweder entsprechen sie dem vom IPI gemessenen Krängungswinkelverlauf in Phasenlage und / oder Amplitude deutlich schlechter als die simulierte Rollschwingung (Abbildung 38) oder sie zeigen fast gar keinen Einfluss

auf sie. Diese Kontrollberechnungen bestätigen also die eingangs getroffenen Annahmen bezüglich Anfangsstabilität und Verfahrweg sowie die in Abbildung 38 gezeigten Werte.

Um zu überprüfen, ob die Grundannahme, dass überhaupt eine Rollschwingung ausgelöst wurde, richtig war, führte das Institut an Bord eines anderen Schiffes eine Vergleichsmessung mit einem elektronischen Präzisionsinklinometer durch (Auflösungsgenauigkeit 2/100 Grad). Hier handelte es sich um einen anderen Schiffstyp mit anderen Stabilitätskennwerten (z. B. $G'M > 3$ m, also deutlich mehr), und der Kran wurde nur in Längsrichtung verfahren, doch verladen wurde auch hier ein LHM 550. Die Messungen zeigten selbst beim Verfahren in Längsrichtung einen geringfügigen Einfluss auf das Rollverhalten (in Querrichtung) des Schiffes. Auch regte die Bewegung einer Traverse mit dem bordeigenen Ladegeschrir von Backbord nach Steuerbord eine leichte Rollschwingung an. Qualitativ bestätigten die Messungen die Annahmen der oben ausgeführten Rechnungen also.

Im letzten Kapitel des Stabilitätsgutachtens werden verschiedene, vom Unfalltag abweichende Voraussetzungen durchgerechnet, um zu erörtern, ob und wie der Unfall an Bord der JUMBO VISION hätte vermieden werden können. Zu den Grundvoraussetzungen schreibt Krüger:

Der Unfall geht unseren Berechnungen nach hauptsächlich auf ein nicht ausreichendes Stabilitätsmanagement während des Verfahrens des Krans zurück. Die Stabilität des Schiffes war durch das Einholen des Stabilitätspontons soweit herabgesetzt, dass ein Verfahren des Krans kaum noch möglich war, wenn der herstellerseitige Grenzwert von 2 % Neigung während des Verfahrens hätte eingehalten werden wollen.

Der Unfallablauf lässt für uns grundsätzlich den Schluss zu, dass die Schiffsführung nicht gewusst haben kann, dass bereits beim Erreichen eines statischen Krängungswinkels von $1,15^\circ$ der herstellerseitige Grenzwert für das Verfahren des Kranes überschritten war.

Das geht für uns auch daraus hervor, dass das versuchte Anhalten des Krans nicht aus Stabilitätsgründen bzw. aus Gründen des Überschreitens eines kritischen Krängungswinkels erfolgt ist, sondern weil ein Hindernis (Laschmaterial) dem weiteren Verfahren des Krans im Weg war (siehe Zeugenaussagen Port Captain und Kranfahrer). Aus dem Meisterschaltersignal ergibt sich, dass das Anhalten des Kranes deswegen etwa 15 s nach dessen Losfahren eingeleitet wurde. Die Tonaufzeichnungen weisen dahingehend aus, dass die Brücke erst nach 21 s aufgefordert hat, die Kranfahrt zu verlangsamen. Auch aus dem brückenseitigen Hinweis, dass 5° Krängung erreicht sind, geht nicht hervor, dass man sich darüber im Klaren war, dass dieser Krängungswinkel bereits so kritisch war, dass der Kran nahezu zwangsläufig über Bord gehen musste.

Zu dieser Gesamtsituation passt auch die Tatsache, dass durch das vorherige Verschwenken des bordeigenen Kranes bereits eine Krängungswinkeldifferenz erreicht wurde, die erheblich größer war als der zulässige herstellerseitige Grenzwert für das Verfahren des Kranes bei seitlicher Neigung.

Daraus ergibt sich unzweifelhaft, dass die zum Verfahrzeitpunkt vorhandene Stabilität des Schiffes nicht in einem vernünftigen Verhältnis zu der für das sicherere Verfahren des Krans zulässigen Neigung war. Daraus kann man zunächst folgern, dass der Unfall in jedem Falle vermieden worden wäre, wenn die Stabilität des Schiffes höher gewesen wäre. Das wäre eindeutig dadurch zu erreichen gewesen, wenn ein Stabilitätsponton noch draußen gewesen wäre.

Nun ist es denkbar, dass es aufgrund betrieblicher Abläufe nicht möglich war, den Stabilitätsponton hereinzuholen, wenn die beiden Krane ihre endgültige Stauposition erreicht hatten. In diesem Falle wäre die Stabilität des Schiffes ja praktisch nicht in sinnvollem Maße beeinflussbar gewesen. Die dann geringere Stabilität hätte nun bewirken müssen, dass besondere Maßnahmen hätten eingeleitet werden müssen, um ein sicheres Verfahren des Krans auch unter diesen Umständen noch gewährleisten zu können. Der Unfallablauf legt aber nahe, dass solche Maßnahmen nicht ergriffen worden sind. Wir werden daher im Folgenden untersuchen, welche weiteren Möglichkeiten man gehabt hätte, auch bei der vorhandenen Stabilität des Schiffes die endgültige Stauposition des Krans sicher zu erreichen.

Grundsätzlich hält Krüger es auch in weniger heiklen Beladungsfällen für notwendig, die Schiffsneigung ständig exakt zu überwachen (also ein „akkurates Stabilitätsmanagement“ z. B. mithilfe eines elektronischen Präzisionsinklinometers walten zu lassen).

Mithilfe des Simulationsmodells wurden mögliche weitere Maßnahmen und Szenarien untersucht, die in der Unfallnacht denkbar bzw. anwendbar gewesen wären:²⁹

- Das kurzzeitige, versehentliche Verfahren in Richtung Landseite bewirkte einen Negativeffekt, „*der etwa in 20 cm Anfangsstabilität des Schiffes ausgedrückt werden kann*“. Dennoch hätte ein Wegfallen dieses nicht unerheblichen Effekts wohl nicht dazu geführt, dass der Kran zum Zeitpunkt des ersten Anhalteversuchs auch hätte angehalten werden können, da die JUMBO VISION selbst dann noch einen Krängungswinkel von 2,07° gehabt hätte und die weiteren Einflüsse wie ein nasser Lukendeckel und Schlupf den Unfall begünstigt hätten. Das falsche Anfahren, so der Schluss, habe den Unfallablauf demnach ebenfalls begünstigt, sei aber nicht alleine unfallursächlich gewesen.
- Als Nächstes wurde simuliert, wie sich eine Vorkrängung von 1° in Richtung Landseite ausgewirkt hätte. Bei exakt gleichbleibendem Unfallablauf wäre schon beim versehentlichen Verfahren in Richtung Landseite ein Krängungswinkel von 2,23° erreicht worden. Der Kran hätte möglicherweise bereits dann nicht angehalten werden können und wäre auf die Pier gefallen.
- Als Letztes wird die Frage gestellt, ob es einen Unterschied gemacht hätte, wenn der Kranfahrer der Feststellbremse die Zeit gegeben hätte, vollständig einzurasten. Unter der Annahme, dass es dadurch möglich gewesen wäre, die Räder zum Stillstand zu bringen, wäre durch das Abbremsen ein zusätzliches Moment entstanden, das genau zum Zeitpunkt der maximalen Rollbeschleunigung in Richtung Seeseite auf den Kran gewirkt hätte, wobei sich

ein Neigungswinkel von 5,79° eingestellt hätte. Zwar wäre dies nicht genug gewesen, um den Kran im Ganzen kippen zu lassen, doch wäre er aufgrund seiner ursprünglichen Beschleunigung und der Beschaffenheit des Untergrunds mit hoher Wahrscheinlichkeit weitergerutscht, hätte dabei den Krängungswinkel weiter vergrößert und wäre letztendlich womöglich dennoch über Bord gegangen.

Aus diesen Berechnungen schließt Krüger, dass der Kran unter diesen Umständen zwangsläufig nach dem Losfahren über Bord gehen musste, und dass wohl nur ein „*adäquates Stabilitätsmanagement*“ den Unfall hätte verhindern können. Dies hätte eine kontinuierliche und präzise Überwachung der Neigung des Schiffes und ein extrem vorsichtiges Verfahren des Krans bedeutet. Das versehentliche Verfahren in die falsche Richtung hätte dann keine Rolle gespielt.

Eine größere Stabilität der JUMBO VISION, so das Stabilitätsgutachten, hätte den Unfallverlauf mindestens positiv beeinflussen, eventuell sogar verhindern können. Die „*ungünstigen Untergrundverhältnisse*“ hätten dem Unfall „*zusätzlich Vorschub geleistet*“.

3.4.9 Hypothese 8: Durchdrehender angetriebener Radsatz

Parallel zu Krügers umfassender Analyse des Zusammenwirkens des LHM 550 und des Rollverhaltens der JUMBO VISION entstand im Auftrag der BSU ein weiteres unabhängiges Gutachten, in dem die hydraulisch betriebenen Fahrwerke des LHM 550 und die damit zusammenhängenden Abläufe während des Unfalls eingehender betrachtet wurden.³⁰

3.4.9.1 Gutachten über die Besonderheiten des hydraulischen Antriebs des LHM 550

Prof. Dr.-Ing. Christopher Friedrich Wirz, Leiter der Fachgruppe Schiffsmaschinenbau an der TUHH mit langjähriger Erfahrung u. a. in der Entwicklung und Konstruktion hydraulischer Antriebstechnik, untersuchte in einem Gutachten die folgende Fragestellung:

Wie konnte es dazu kommen, dass Kran 2 außer Kontrolle geriet und über Bord fiel?

Die Ausführungen des Hydraulikgutachtens sind in die Beschreibung des Antriebs des LHM 550 eingeflossen (siehe Abschnitt 3.4.1.2). Zusätzlich beschreibt Wirz die grundsätzliche Funktionsweise des hydrostatischen (hydraulisch betriebenen) Fahrtriebs des LHM 550 anhand des vereinfachten Beispiels eines geschlossenen Hydraulikkreises mit zwei parallelgeschalteten Motoren. Er hebt dabei die folgenden physikalischen Voraussetzungen hervor:³¹

- Über beide Motoren ist der Druckabfall (= die Druckdifferenz vor / hinter dem Motor) stets gleich groß.

³⁰ Im Folgenden „Hydraulikgutachten“.

³¹ Details siehe „Gutachten / Analysebericht zum Zwischenfall auf M/V Jumbo Vision im Rostocker Hafen im Januar 2020“, separat herunterzuladen unter https://www.bsu-bund.de/DE/Publikationen/Unfallberichte/Unfallberichte_node.html.

- Bei gleicher Belastung beider Motoren führt dies zu gleichen abgegebenen Drehmomenten und gleichen Drehzahlen.
- Wird nur einer der Motoren belastet und der andere läuft leer, wählt der Volumenstrom den Weg des geringsten Widerstandes und fließt nur noch durch den leerlaufenden Motor. Dieser dreht nun folglich mit der doppelten Drehzahl, während der belastete Motor stehenbleibt.
- Wird einer der Motoren durch eine äußere Kraft angetrieben, wirkt er selber wie eine Pumpe und baut einen Volumenstrom auf, der dem anderen Motor zugeführt wird und diesen mit antreibt.

Auf den LHM 550 übertragen (also auf sechs statt zwei parallelgeschaltete Motoren) bedeutet dies, dass alle angetriebenen Radsätze das gleiche Drehmoment abgeben, solange alle von ihnen Bodenhaftung haben. Verliert einer die Haftung, bricht an dessen Antriebsmotor die antreibende Druckdifferenz zusammen und in der Folge auch an allen anderen Radsätzen (s. o.). Kommt es nun z. B. zu einer Neigung des Untergrunds, kann der Kran frei rollen, wobei die fünf verbleibenden, rollenden Radsätze (bzw. deren Motoren) wie Pumpen arbeiten und den so geförderten Ölvolumenstrom zusätzlich durch den durchdrehenden Radsatz abführen. Dieser dreht dann mit der fünffachen Geschwindigkeit (und in der Folge, mit zunehmendem geförderten Volumenstrom, immer schneller). Wirz: *„Der Fahrtrieb kann nun der beschleunigenden äußeren Kraft keine Bremswirkung mehr entgegensetzen.“*

Im weiteren Verlauf wird der Einfluss der mechanischen Haltebremsen des LHM 550 untersucht. Diese sind, wie in Abschnitt 3.4.1.1 beschrieben, federbelastet und gemäß dem sog. „normally closed“-Prinzip geschlossen, solange der Kran nicht gefahren wird oder sie nicht aktiv angesteuert und geöffnet werden. Sie sind *„üblicherweise so bemessen, dass sie das Fahrzeug aus der Fahrt bis zum Stillstand abbremsen können.“* Das Öffnen der Bremsen gegen die Feder durch den Förderstrom der Pumpe geschieht relativ schnell, das Schließen hingegen, bei dem die Feder das Öl aus dem Bremszylinder zurück in den Systemtank drücken muss, benötigt mehr Zeit (ca. 0,3 s). Wie erwähnt, muss der Fahrhebel dafür über den entsprechenden Zeitraum losgelassen werden, also in Nullstellung liegen bleiben. Dies gilt auch für den Fall, dass der Betriebsdruck wie oben beschrieben zusammenbricht.

Der nächste Abschnitt des Hydraulikgutachtens gilt den Umgebungs- und Randbedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls. Hier werden u. a.³¹ die folgenden Sachverhalte erläutert:

- die kritischen Werte für die Neigung des Untergrunds in Längs- bzw. Querrichtung beim Verfahren: entstehen durch Schwerpunktverlagerung und damit einhergehend durch ungleich verteilte Belastung der Radsätze;
- ein eventuelles Kippen über die schmale Seite des Fahrwerkes: lag hier nicht vor, da nach Angaben von Liebherr erst bei einer Untergrundneigung von 11 – 12 % ($\cong 4,95 - 5,4^\circ$) zu erwarten;

- die Zeit, bis die Räder nach einem Legen des Fahrhebels auf „null“ vollständig abgebremst sind: 1 s systemimmanente Verzögerung + ca. 0,3 s Dauer des Schließvorgangs des Bremszylinders = ca. 1,3 s;
- die Untergrundbeschaffenheit: Stahlplatten unter den Fahrwerken; diese und das Deck waren regennass sowie stellenweise (und ungleichmäßig) sandig.

Im nächsten Kapitel erfolgt die Interpretation des Unfallhergangs. Zunächst wird dafür überschlägig die auf jeden Radsatz wirkende Vertikalkraft (Gewichtskraft) berechnet, sowie der dazugehörige Haftreibungswert, der für ein Durchdrehen mindestens eines Radsatzes überwunden werden muss, sofern der Kran sich auf einem ebenen, trockenen, sauberen Untergrund befindet.³¹

Auf diesen Werten basierend wird in der Folge die tatsächliche Höhe des Schwerpunktes der Krane sowie die Dynamik des Prozesses (anfahren, abbremsen, Rollbewegungen des Schiffs) mit einbezogen. Demnach wurde die sich auf dem geneigten Schiff „oben“ befindliche Radsatzreihe bis auf ein Drittel der ursprünglich wirkenden Vertikalkräfte entlastet. Je nach Literaturquelle wurde hier ggf. bereits der trockene Haftreibungswert unterschritten.

Doch die herrschenden Bedingungen beeinflussten das Geschehen zusätzlich. Der Untergrund war nass. Außerdem war eine stärker werdende Rollschwingung angeregt worden, durch die ein Neigungswinkel erreicht wurde, bei dem offenbar mindestens einer der „oberen“ angetriebenen Radsätze die (durch die o. g. Umstände reduzierte) Haftreibung zum Untergrund überwand und durchdrehte.

Wie im einleitenden Teil des Hydraulikgutachtens erläutert, führt ein Durchdrehen auch nur eines Radsatzes zum Zusammenbrechen der gesamten Antriebs- bzw. Haltekraft, sodass der Kran in der Folge mit den verbleibenden Rädern nur noch in die Richtung der Neigung rollen kann. In einem solchen Fall könnten allein die Haltebremsen unter Umständen ein Abbremsen des Krans bewirken, ein Umsteuerversuch (also ein Versuch, den Antrieb gegen die Rollrichtung arbeiten zu lassen) sei hingegen zum Scheitern verurteilt.

Entsprechend fasst das Gutachten den wahrscheinlichsten Unfallhergang wie folgt zusammen:

- Durch die verschiedenen Anfahr- und Bremsvorgänge mit Kran 2, die unglücklicherweise die halbe Rolleigenperiode des Schiffs „trafen“, wurde eine stärker werdende Rollschwingung angeregt.
- Während der Fahrt des Krans in Richtung Seeseite wurde dabei ein Rollwinkel (also Neigungswinkel des Untergrunds) erreicht, der ausreichte, um einen der „oberen“ angetriebenen Radsätze durchdrehen zu lassen.
- Daraufhin brach das gesamte Antriebsmoment zusammen: Während der durchdrehende Radsatz mit hoher Drehzahl in Richtung Landseite arbeitete, rollten die anderen Radsätze (und mit ihnen der gesamte Kran) kraftlos in Fahrtrichtung weiter.

- Ein Umsteuern war technisch nicht mehr möglich.
- Mit zunehmender Bewegung in Richtung Seeseite verstärkte sich der Neigungswinkel des Schiffs zusätzlich, bis der Kran über den Lukendeckelrand rollte und ins Wasser stürzte.
- Durch die so entstandene sehr starke Krängung rutschte auch der bis dahin stehende Kran 1 über Bord.

3.4.10 Hypothese 9: Unzureichende Kommunikation

Die Erkenntnisse der beiden Gutachten warfen aus Sicht der BSU diverse Fragen auf, die die Kommunikation bezüglich des Transports und der Verladung der beiden Krane betrafen.

Für ein korrektes Stabilitätsmanagement, wie es das Stabilitätsgutachten erläutert, hätten die Beteiligten an Bord der JUMBO VISION die Grenzen des Fahrwerks des LHM 550 kennen müssen. Doch ihnen war der kritische Wert für eine Neigung des Untergrunds in Querrichtung beim Bewegen des Krans ($2\% \triangleq 1,15^\circ$) offensichtlich nicht bekannt. Die Tatsache, dass Kran 2 nicht angehalten werden sollte, weil dieser Wert erreicht worden war, sondern wegen eines Hindernisses, legt dies nahe.

Eine Nachfrage bestätigte, dass Liebherr diesen Wert nicht kommuniziert hatte, da in keiner der Vorgespräche die Rede davon gewesen sei, dass die Krane nach dem Verladen quer an Deck hätten verfahren werden müssen. Es habe lediglich ein Verfahren in Längsrichtung erfolgen sollen, das keine kritische Krängung erzeugt hätte. Die Lage der ausgelegten Stahlplatten an Deck (ausschließlich mittig) bestätigte dies.

Doch nach Aussage des Schiffs sei das Verfahren in Querrichtung an Liebherr kommuniziert worden. Einerseits sei das genaue Vorgehen (inklusive der geplanten Richtung des Verfahrvorgangs) bei der Vorabbesprechung zwischen dem Port Captain und Liebherr sowie in den Toolbox Meetings vor den Verladevorgängen Thema gewesen. Andererseits sei auch Kran 1 nach seiner Verladung am Vortag ein Stück quer verfahren worden, woran sich niemand gestört habe.

Die BSU konnte die Widersprüche zwischen den Aussagen nicht abschließend auflösen, auch weil die Toolbox Meetings nicht protokolliert wurden. Die Tatsache, dass beide Seiten den Sachverhalt unterschiedlich erinnern, belegt mindestens Probleme in der Kommunikation.

Des Weiteren wurde die Problematik der Ausleger der beiden LHM 550, die nur mithilfe einigen Hin- und Herfahrens an Deck abgelegt werden konnten, bei der Beladungsplanung an Land nicht berücksichtigt. Dasselbe traf auf die Stabilitätspontons zu, die über die fertig gesicherten Krane hinweg nicht hätten eingeholt werden können. Das geplante Vorgehen am Unfalltag wurde bezüglich dieser beiden Punkte nicht vom Schiff an die Planungsabteilung von Jumbo kommuniziert. Seitens der Besatzung war es in der Vergangenheit immer ausreichend gewesen, eine solche Bewegung mit den zur Verfügung stehenden, bordeigenen Mitteln zu berechnen.

Die fehlende, lückenhafte oder missverständliche Kommunikation von technischen Werten auf der einen Seite und von Arbeitsabläufen auf der anderen haben das Unfallgeschehen nach Auffassung der BSU ebenfalls begünstigt.

4 AUSWERTUNG

Die Untersuchung führte die im Folgenden zusammengefassten Erkenntnisse zutage.

4.1 Stabilität

Einerseits erfüllte die *statische* Stabilität der JUMBO VISION mit $G'M = 0,85$ m rechnerisch die Kriterien für einen Seetransport der beiden Krane im gesicherten Zustand auf den zugewiesenen Staupositionen. Die an Bord mit dem Ladungsrechner durchgeführte Berechnung der Verschiebung des Gewichts von Kran 2 an Deck bestätigte dies.

Die Stabilität war aus Sicht der Besatzung – ohne Wissen um die beim Verfahren entstehenden *dynamischen* Effekte, sowie mit den ihr zur Verfügung stehenden Mitteln für die Berechnung – ausreichend. Stabilität wird lediglich in Bezug auf die Sicherheit des Schiffes geprüft, die zu keinem Zeitpunkt gefährdet war.

Andererseits bot die vorhandene Stabilität keine ausreichende Sicherheitsmarge für die *dynamischen* Effekte, die das Verfahren dieser hohen und schweren Krane mit ihren aufgetoppten Auslegern verursachte. Am Unfalltag war die Stabilität folglich insgesamt ungenügend für das geplante Vorgehen. Dies belegen sowohl das Stabilitätsgutachten als auch das „weiche“ Verhalten des Schiffs zum Zeitpunkt des Schwenkens des bordeigenen Ladegeschirrs.

4.1.1 Verfahrensequenz

Zu diesem Umstand gesellte sich noch die anfängliche Verfahrensequenz (bzw. die Schnelligkeit, in der sie durchgeführt wurde), die im Zusammenspiel mit der sehr langen Rollzeit des Schiffes eine stärker werdende Rollschwingung anregte, die genau mit der Richtung der Verfahrensbewegung von Kran 2 zusammenfiel. Die kritische Neigung in Querrichtung war somit sehr schnell überschritten.

4.1.2 Rollschwingung

Die angeregte, stärker werdende Rollschwingung fiel kräftiger aus, als es bei einer günstigeren Stabilitätssituation der Fall gewesen wäre: Die Rollperiode wäre bei größerer Stabilität kürzer gewesen, die Rollwinkel kleiner. Möglicherweise wäre es bei größerer Stabilität und geringerer Rollzeit zu einem „Zurückrollmoment“ gekommen, das einen positiven Einfluss gehabt hätte. Dies wäre auch der Fall gewesen, wenn man die Stabilitätspontons hätte ausgebracht lassen können, bis beide Krane ihre finale Stauposition erreicht hätten.

Der Unfall ereignete sich während des ersten kräftigeren Überholens durch die angeregte Rollschwingung. Diese wurde gestört, und war demzufolge sofort vorbei, als sich die Gewichts- und Stabilitätsverhältnisse der JUMBO VISION mit dem Überbordgehen der Krane schlagartig veränderten. Da das Verfahren des Krans zeitgleich und in dieselbe Richtung wie diese kräftige Überholbewegung erfolgte (mit den genannten fatalen Folgen), werden die an Bord befindlichen Personen das Überholen nicht als Folge einer sich aufschaukelnden Rollschwingung wahrgenommen haben.

Das kräftige Überholen infolge der Rollschwingung steht nicht im Widerspruch zum *statischen* Krängungswinkel von $0,4^\circ$, den das Ladungsprogramm an Bord für das reine Verschieben des Krangewichts um die anvisierten 30 cm errechnete.

4.1.3 Stabilitätsmanagement

Wäre man an Bord wie von Krüger beschrieben vorgegangen (präzise und kontinuierliche Überwachung der Neigung des Schiffes und extrem vorsichtiges Verfahren des Krans), wäre der Unfall möglicherweise verhindert worden.

Es lässt sich im Nachhinein nicht sagen, ob man den Kran auf diese Art auch bis in die geplante Endposition hätte verfahren können. Einerseits war die vorab berechnete statische Stabilität für die Endposition zwar ausreichend, doch andererseits wäre der Einfluss der jedes Mal beim Anfahren angeregten Rollschwingung möglicherweise zu groß gewesen, um bis an den Rand fahren zu können. Zumindest jedoch hätte man dabei mit einiger Wahrscheinlichkeit den Kran nicht verloren.

Allerdings hätte dem Schiff für ein derartiges Vorgehen ein elektronisches Präzisionsinklinometer zur Verfügung stehen müssen. Dies entspricht jedoch nicht dem vorgeschriebenen Ausrüstungsstandard.

Weiterhin hätte es überhaupt ein Bewusstsein dafür geben müssen, dass das konsequente Anfahren und Abbremsen der Krane zu *stärker werdenden* Rollschwingungen führen konnte („aufschaukeln“), und zwar umso heftiger (in Periode und Amplitude umso größer), je „weicher“ das Schiff ist. Die schnelle Folge von Fahrbefehlen, die niemand problematisch fand, belegt, dass dies bei keinem der Beteiligten der Fall war. Die BSU ist allerdings der Auffassung, dass ein solches Wissen – auch im Kontext guter Seemannschaft und selbst in der Schwergutfahrt – nicht zwingend vorausgesetzt werden kann. Die damit einhergehenden Gefahren waren somit auch bei angemessener Sorgfalt nicht zwingend voraussehbar.

4.2 Kranantrieb

Durch die angeregte, stärker werdende Rollschwingung wurde eine Neigung erreicht, die mindestens einen der angetriebenen Radsätze von Kran 2 derartig entlastete, dass er durchdrehte. Die wetterbedingten Untergrundverhältnisse an Deck begünstigten dies.

Mit dem Durchdrehen dieses Radsatzes brach das gesamte Antriebsmoment des Krans zusammen. Die verbleibenden Radsätze rollten kraftlos in Neigungsrichtung, also in Richtung Seeseite, und förderten dabei noch zusätzlich Hydrauliköl in den durchdrehenden Radsatz. Dieser drehte in der Folge immer schneller in Richtung Landseite durch und schob Stahlplatten unter sich hindurch.

Der Versuch des Umsteuerns war aus den o. g. Gründen zum Scheitern verurteilt. Die Haltebremsen hätten den Kran zwar womöglich zum Stehen gebracht, aufgrund der schnellen Abfolge von Schaltbefehlen hatten sie jedoch nicht die Zeit zu greifen. Womöglich aber wäre die bereits bestehende Beschleunigung des Krans, verstärkt um das dann dazukommende Bremsmoment, groß genug gewesen, um ihn dennoch über Bord rutschen zu lassen.

4.3 Ausgelegte Stahlplatten

Zwischen den stählernen Lukendeckeln und den ausgelegten Stahlplatten herrschte die geringste Reibung („Stahl auf Stahl“ $\mu \approx 0,3$ bzw. schlimmstenfalls „Stahl auf Stahl nass“ $\mu \approx 0,05$). Dies war reibungstechnisch also die Schwachstelle.

Sobald Kran 2 mit einer Radsatzreihe die Platten verlassen hatte, herrschten unter den verschiedenen angetriebenen Radsätzen unterschiedliche Haftreibungszustände. Die Haftreibungsdifferenz zwischen den „oberen“ (entlasteten) Radsätzen und den „unteren“ (stärker belasteten) Radsätzen wurde also zusätzlich vergrößert, da Letztere nun dem größeren Haftreibungswert von „Gummi auf Stahl“ unterlagen. Dies begünstigte die Überwindung der Haftreibung bei einem der entlasteten, „oberen“ Radsätze.

4.4 Kommunikation

Die Erkenntnisse in Abschnitt 3.4.10 (Hypothese 9: Unzureichende Kommunikation) legen zumindest nahe, dass dem Unfall ein Kommunikationsdefizit vorausgegangen sein muss.

Dem Schiff war der kritische Wert für eine Neigung des Untergrunds in Querrichtung beim Verfahren des LHM 550 nicht bekannt. Laut Aussage von Liebherr sei ihnen nicht mitgeteilt worden, dass der Kran quer verfahren werden müsse. Laut Jumbo und der JUMBSO VISION sei dies jedoch sehr wohl geschehen. Dieser Widerspruch konnte von der BSU nicht aufgelöst werden.

Weiterhin waren die an Bord notwendigen Arbeitsabläufe, um die Ausleger der zwei Kran abzulegen und die Stabilitätspontons einzuholen, im Vorfeld nicht an die Beladungsplanung an die Planungsabteilung von Jumbo Shipping kommuniziert worden.

Diese Defizite in der Kommunikation wirkten sich nach Auffassung der BSU mindestens unfallbegünstigend aus.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Auf Basis der ausgewerteten Untersuchungsergebnisse kommt die BSU im vorliegenden Fall zu den im Folgenden aufgeführten Schlussfolgerungen.

- Die **Stabilität** der JUMBO VISION war in der Unfallnacht **nicht ausreichend**. Sie hätte für den Transport der fertig gesicherten Krane ausgereicht (*statische Einflüsse*), nicht aber ohne Weiteres für ihr Verfahren und Abbremsen an Deck mit aufgetoppten Auslegern (*dynamische Einflüsse*). Dem steht nicht entgegen, dass die Besatzung dies in Anbetracht der ihr zur Verfügung stehenden Mittel nicht wissen konnte.
- Die **Stabilitätspontons** waren zum Zeitpunkt des Unfalls **bereits eingeholt**. Mit ihnen hätte das Schiff jedoch über ausreichend Stabilitätsreserve verfügt, um ihn zu verhindern. Nach Beendigung der Ladungssicherungsarbeiten wäre es aber nicht mehr möglich gewesen, sie einzuholen.
- Die **Anfahr- und Bremsmomente regten eine stärker werdende Rollschwingung an**. Aufgrund der geringen Stabilität war diese in Amplitude und Schwingungsdauer (Rollzeit) größer, als sie es vermutlich auf vorangegangenen Reisen mit ähnlichen Decksladungssituationen war. Ein „weiches“ Schiff ist insgesamt anfälliger für Rollbewegungen aller Art, also auch für die Anregung einer stärker werdenden Rollschwingung („aufschaukeln“).
- Sowohl die **Verfahrsequenz** von Kran 2 gleich zu Anfang als auch später seine **stetige Bewegung in Richtung Außenkante verstärkten diese Rollschwingung** ungünstig.
- Auch die **lange Rollzeit** addierte sich zu den unfallbegünstigenden Effekten (kein rechtzeitig eintretendes „Rückrollmoment“).
- So wurde bereits kurz nach Beginn des Verfahrens von Kran 2 eine **Neigung erreicht, die größer war als der herstellerseitig vorgeschriebene Grenzwert** für das Verfahren des Krans.
- Aufgrund der geringen Reibung zwischen Stahlplatten und Deck bekam **mindestens ein angetriebener Radsatz Schlupf**. Dieser in der Folge immer schneller durchdrehende Radsatz verbrauchte zusätzlich die verbleibende hydraulische Fahrleistung von Kran 2.
- **An Bord** war der **kritische Wert für Querneigung des Untergrunds** beim Verfahren des LHM 550 **von 1,15° offensichtlich unbekannt**. Dies führt die BSU auf ein Kommunikationsdefizit zwischen den beteiligten Parteien zurück.
- **Das Schiff kommunizierte sein geplantes Vorgehen** nach der Verladung der Krane (*zuerst* Einholen der Stabilitätspontons, *dann* Verfahren der Krane an Deck) **nicht** an die Planungsabteilung von Jumbo Shipping.

- Der Vorgang des **Ablegens der Ausleger der Krane** und des eigenen Ladegeschirrs sowie das Vorgehen beim **Einholen der Stabilitätspontons wurden dem Schiff überlassen**.
- Die dynamischen Einflüsse des **Anfahrens und Abbremsens der Krane** an Deck **flossen in die Vorabplanung nicht ein**. Es ist davon auszugehen, dass die mit der Vorabplanung befassten Personen mit den betreffenden Effekten nicht vertraut waren.
- Zwar wäre der Unfall theoretisch zu verhindern gewesen, wenn ein **präzises Stabilitätsmanagement** betrieben worden wäre. Doch Schiffe sind bislang nicht mit elektronischen Präzisionsinklinometern ausgerüstet und Besatzungen nicht für ein solches Vorgehen sensibilisiert.

6 BEREITS DURCHGEFÜHRTE MAßNAHMEN

Vor dem Unfall war es auf Schiffen von Jumbo Shipping gängige Praxis, Krane wie den LHM 550 nach dem Verladevorgang noch an Deck zu verfahren. Seitdem sind die folgenden Änderungen eingeführt worden:

- Grundsätzlich ist ein Verfahren von Kranen an Deck zu vermeiden.
- Sollten besondere Umstände dies dennoch erfordern, muss zuvor eine Risikobeurteilung erstellt und dem „Manager Operations“ und dem „Manager QHSE“ zur Genehmigung vorgelegt werden.
- In jedem Fall werden an beiden Lukendeckel-Enden (vorne und achtern) Hemmschuhe („stop blocks“) ausgelegt und die Krane mit Festmacherleinen und Winden gesichert.

Die BSU begrüßt die Vorgabe, Krane wie den LHM 550 nach Möglichkeit nicht mehr an Deck zu verfahren, ausdrücklich, und sieht folglich von einer diesbezüglichen Sicherheitsempfehlung ab.

Die Wirksamkeit der Hemmschuhe und der Sicherung mittels Festmacherleinen sollte allerdings eingehender untersucht werden (Bruchlast von Festmacherleinen, Anschlagwinkel, Anschlagpunkte, Arbeitssicherheit bei Bruch einer Leine etc.). Hierzu liegen der BSU keine Erkenntnisse vor.

7 SICHERHEITSEMPFEHLUNGEN

Die folgenden Sicherheitsempfehlungen stellen weder nach Art, Anzahl noch Reihenfolge eine Vermutung hinsichtlich Schuld oder Haftung dar.

7.1 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Die BSU empfiehlt dem BMVI in seiner Eigenschaft als Flaggenstaatsvertreter in den verschiedenen Ausschüssen der IMO Folgendes:³²

7.1.1 Ausrüstungspflicht mit elektronischen Präzisionsinklinometern

Schiffe über 3.000 BRZ sollten obligatorisch mit elektronischen Präzisionsinklinometern oder gleichartigen (Inertia-)Systemen ausgestattet werden, um dem Kapitän / der Besatzung diese Informationen in Echtzeit zur Verfügung zu stellen.

7.1.2 Aufzeichnung von Rollwinkel, -periode und -beschleunigungen durch den VDR

Auf Schiffen über 3.000 BRZ, die obligatorisch mit einem VDR ausgerüstet sind, sollten der tatsächliche Rollwinkel, die Rollperiode und Rollbeschleunigungen für den Zweck der Seesicherheitsuntersuchung aufgezeichnet werden.

7.2 Jumbo Shipping Co SA

Die BSU empfiehlt Jumbo Shipping Co SA Folgendes:

7.2.1 Überarbeitung interner Abläufe in Bezug auf die Vorabplanung von Beladungsfällen

In allen Abläufen (z. B. im ISM-System), die die Erstellung, Berechnung und Vorabplanung von Beladungsfällen und Stabilitätsunterlagen betreffen, sollte sichergestellt werden, dass auf Planungsseite die Abläufe an Bord während der Verladung bekannt sind. Dies gilt vor allem für praktische Fragen wie den Zeitpunkt, an dem die Stabilitätspontons eingeholt werden, oder ob Objekte nach ihrer Verladung noch bewegt werden müssen bzw. dürfen.

Die diesbezüglichen Informationen sollten entsprechend aktualisiert und aktuell gehalten werden. Die Abläufe sollten angepasst werden.

³² Diese Sicherheitsempfehlungen entsprechen inhaltlich (in Bezug auf das Inklinometer und die VDR-Aufzeichnungen) der für Containerschiffe im gemeinsamen Untersuchungsbericht von BSU, Dutch Safety Board (DSB) und Panama Maritime Authority (PMA), „Überbordgehen von Containern von der MSC ZOE 01.– 02. Januar 2019“, abrufbar unter https://www.bsu-bund.de/DE/Publikationen/Unfallberichte/_functions/unfallberichte_table_2020.html?nn=1357168.

Nach Ansicht der BSU ist im Lichte der vorliegenden Untersuchung und vor dem Hintergrund, dass verlässliche Krängungswerte auch für einen sicheren Lade- und Löschbetrieb von großer Bedeutung sind, eine Wiederholung dieser Forderung für alle Schiffstypen ab 3.000 BRZ angezeigt.

7.2.2 Überarbeitung interner Abläufe in Bezug auf die Kommunikation zwischen den Schiffen und den für Beladungsplanung zuständigen Personen

In allen Abläufen (z. B. im ISM-System), die die Kommunikation betreffen zwischen den Schiffen und den für die Erstellung, Berechnung und Vorabplanung von Beladungsfällen und Stabilitätsunterlagen zuständigen Personen, sollte sichergestellt sein,

- dass die Schiffe alle notwendigen Informationen in Bezug auf die Ladung erhalten, und
- dass die Planungsabteilung genau weiß, wie die Verladung und Sicherung sich an Bord gestalten werden und
- dass Vorbereitungen protokolliert werden.

Die diesbezüglichen Informationen sollten entsprechend aktualisiert und aktuell gehalten werden. Die Abläufe sollten angepasst werden.

7.2.3 Überarbeitung der Risikobeurteilungen für Verfahrensgänge von Kranen an Deck

Die Risikobeurteilungen für Verfahrensgänge von Kranen an Deck sollten die Erkenntnisse dieses Untersuchungsberichts berücksichtigen, vor allem in Bezug auf die Gefahr der Anregung von stärker werdende Rollschwingungen.

Die Wirksamkeit von Hemmschuhen und einer Sicherung mittels Festmacherleinen sollten in Bezug auf Bruchlast von Festmacherleinen, Anschlagwinkel, Anschlagpunkte, Arbeitssicherheit bei Bruch einer Leine und andere sicherheitsrelevante Aspekte überprüft werden, wo notwendig rechnerisch.

Die diesbezüglichen Informationen sollten entsprechend aktualisiert und aktuell gehalten werden. Die Risikobeurteilungen sollten angepasst werden.

7.3 Liebherr-MCCtec Rostock GmbH

Die BSU empfiehlt Liebherr-MCCtec Rostock GmbH Folgendes:

7.3.1 Kommunikation der für die Verschiffung relevanten Daten

Abläufe, die die Kommunikation von technischen Produktdaten an die Verloader dieser Produkte betreffen, sollten einer Revision unterzogen werden. Vor allem sollte sichergestellt werden, dass auch sämtliche Daten, die die Bewegung ihrer Produkte aus eigener Kraft betreffen, den betreffenden, für die Beladungsplanung zuständigen land- und schiffsseitigen Personen bekannt sind. Vorbereitungen sollten dokumentiert werden.

Die diesbezüglichen Informationen sollten entsprechend aktualisiert und aktuell gehalten werden. Die dazugehörigen Abläufe sollten angepasst werden.

8 QUELLENANGABEN

- Ermittlungsakte der Wasserschutzpolizei (WSP) Rostock
- schriftliche Erklärungen/Stellungnahmen/Zeugenaussagen
 - Schiffsführung (Kapitän)
 - Decksbesatzung (Offiziere, Mannschaft)
 - Port Captain
 - Kranfahrer
- Aufzeichnungen zweier Überwachungskameras im Rostocker Hafen
- Gutachten
 - des Leiters des Instituts für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit der Technischen Universität Hamburg (TUHH) zur Stabilität der JUMBO VISION am Unfalltag („Gutachten über das Überbordgehen von zwei Kranen in Rostock am 31.01.2020“)
 - des Leiters der Fachgruppe Schiffsmaschinenbau der TUHH zur Hydraulik des LHM 550 („Gutachten / Analysebericht zum Zwischenfall auf M/V Jumbo Vision im Rostocker Hafen im Januar 2020“)
 - des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (amtliches Wettergutachten)
- photogrammetrische Messungen des Instituts für Photogrammetrie und Geoinformation (IPI) der Leibniz Universität Hannover
- Unterlagen des Bergungsunternehmens
- Protokoll der Betauchung
- Servicebericht über ausgeführte Reparaturarbeiten am Schiff
- Seekarten Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Täglicher Hafenbericht
- Tabellen für Haftreibungskoeffizienten bei verschiedenen Werkstoffpaarungen
- Bedienungsanleitung für die Fernbedienung des LHM 550
- mündliche Aussage eines (am Unfall nicht beteiligten) Liebherr-Kranfahrers zu den verschiedenen Sicherheitsfunktionen der Fernbedienung des LHM 550
- telefonisch und per E-Mail zur Verfügung gestellte Ausführungen des Bereichsleiters der Produktentwicklung Hafenkranen bei Liebherr (u. a. von den verunfallten Kranen aufgezeichnete Datensätze und auf deren Grundlage berechnete Fahrwege)
- im Vorwege von Jumbo erstellte Stabilitäts-, Lade- und Laschberechnungen für den Ladefall des Unfalltags
- schiffseigenes Stabilitätsprogramm bzw. Ladungsrechner
- Tonaufnahmen des VDR
- von Besatzung, Stauereibetrieb, Wasserschutzpolizei und BSU aufgenommene Fotos
- Berechnungen seitens des Schiffs bezüglich der Trägheit des Anti-Heeling-Systems
- diverse Untersuchungsberichte der BSU

9 ANLAGEN

Die diesem Untersuchungsbericht anliegenden Gutachten

- „Gutachten über das Überbordgehen von zwei Kranen in Rostock am 31.01.2020“ (Stabilitätsgutachten),
- „Gutachten / Analysebericht zum Zwischenfall auf M/V Jumbo Vision im Rostocker Hafen im Januar 2020“ (Hydraulikgutachten),

sind auf der Website der BSU separat herunterzuladen (nur auf Deutsch).³³

³³ https://www.bsu-bund.de/DE/Publikationen/Unfallberichte/Unfallberichte_node.html
