



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

Summarischer Untersuchungsbericht 20/17

Vorkommnis

**Ausfall der Hauptmaschine und anschließendes
Notankermanöver des Bulkcarriers
MS CAPE LEONIDAS am 17. Januar 2017 auf der
Elbe im Bereich Kolmar**

6. November 2019

Bei dem vorliegenden summarischen Bericht im Sinne von § 27 Abs. 5 des Gesetzes zur Verbesserung der Sicherheit der Seefahrt durch die Untersuchung von Seeunfällen und anderen Vorkommnissen (Seesicherheits-Untersuchungs-Gesetz - SUG) handelt es sich um einen vereinfachten Bericht gemäß Art. 14 Abs. 1 S. 2 der Richtlinie 2009/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festlegung der Grundsätze für die Untersuchung von Unfällen im Seeverkehr.

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit den vorgenannten Rechtsgrundlagen 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 Absatz 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@bsh.de

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

Inhaltsverzeichnis

1	FAKTEN	4
1.1	Schiffsfoto.....	4
1.2	Schiffsdaten.....	4
1.3	Reisedaten	4
1.4	Angaben zum Vorkommnis im Seeverkehr	5
2	HERGANG DES VORKOMMNISSSES / UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....	6
2.1	Hergang des Vorkommnisses	6
2.2	Ablauf, Quellen und wesentliche Inhalte der Untersuchung	9
2.3	Untersuchungsergebnisse.....	11
2.3.1	Vorbemerkungen.....	11
2.3.2	Gutachten zu den technischen Ursachen des Maschinenausfalls.....	11
2.3.2.1	Bordbesuch am 18. Januar 2017	11
2.3.2.2	Anschließende Untersuchungen	17
2.3.2.3	Interpretation der Befunde, Ausfallursache	26
2.3.2.4	Rekonstruktion des Verlaufes der Havarie	26
2.3.2.5	Zusammenfassung und Fazit des Sachverständigen	27
3	FAZIT	28
3.1	Ursache des Maschinenausfalls.....	28
3.2	Krisenmanagement	29
3.3	Schlussbemerkung.....	29
4	QUELLENANGABEN.....	30
5	ANLAGE	31

FAKTEN

1.1 Schiffsfoto



Abbildung 1: MS CAPE LEONIDAS

1.2 Schiffsdaten

Schiffsname:	CAPE LEONIDAS
Schiffstyp:	Massengutfrachter
Flagge:	Marshallinseln
Heimathafen:	Majuro
IMO-Nummer:	9488865
Unterscheidungssignal:	V7VL6
Reederei:	Empire Bulkers Ltd., Elliniko, Griechenland
Baujahr:	2010
Bauwerft/Baunummer:	Daehan Shipbuilding Co Ltd. Hwawon, Südkorea (Haenam Shipyard) / 1021
Klassifikationsgesellschaft:	Lloyd's Register
Länge ü.a.:	292,00 m
Breite ü.a.:	45,06 m
Tiefgang maximal:	18,20 m
Bruttoreaumzahl:	93.565
Tragfähigkeit:	180.149 t
Maschinenleistung:	18.660 kW
Hauptmaschine:	Doosan - MAN-B&W 6S70MC-C
Geschwindigkeit:	15,4 kn
Werkstoff des Schiffskörpers:	Stahl
Mindestbesatzung:	20

1.3 Reisedaten

Abfahrtshafen:	Narvik (Norwegen)
Anlaufhafen:	Hamburg
Art der Fahrt:	Berufsschiffahrt / International
Angaben zur Ladung:	Eisenerz
Besatzung:	20
Tiefgang zum Unfallzeitpunkt:	15,10 m
Lotse an Bord:	Ja

1.4 Angaben zum Vorkommnis im Seeverkehr

Art des Ereignisses: Vorkommnis
 Datum/Uhrzeit: 17.01.2017 05:07 Uhr
 Ort: Elbe; Bereich Kolmar
 Breite/Länge: ϕ 53°44,1'N λ 009°26,2'E
 Fahrtabschnitt: Revierfahrt auf der Elbe Richtung Hamburg
 Folgen: keine Personenschäden-/Umweltschäden;
 Verlust des Steuerborankers; keine sonstigen
 Schäden am Schiff

Ausschnitt aus Seekarte „DIE ELBE VON KRAUTSAND BIS SCHULAU“, BSH¹ Nr. 47 (INT 1454)

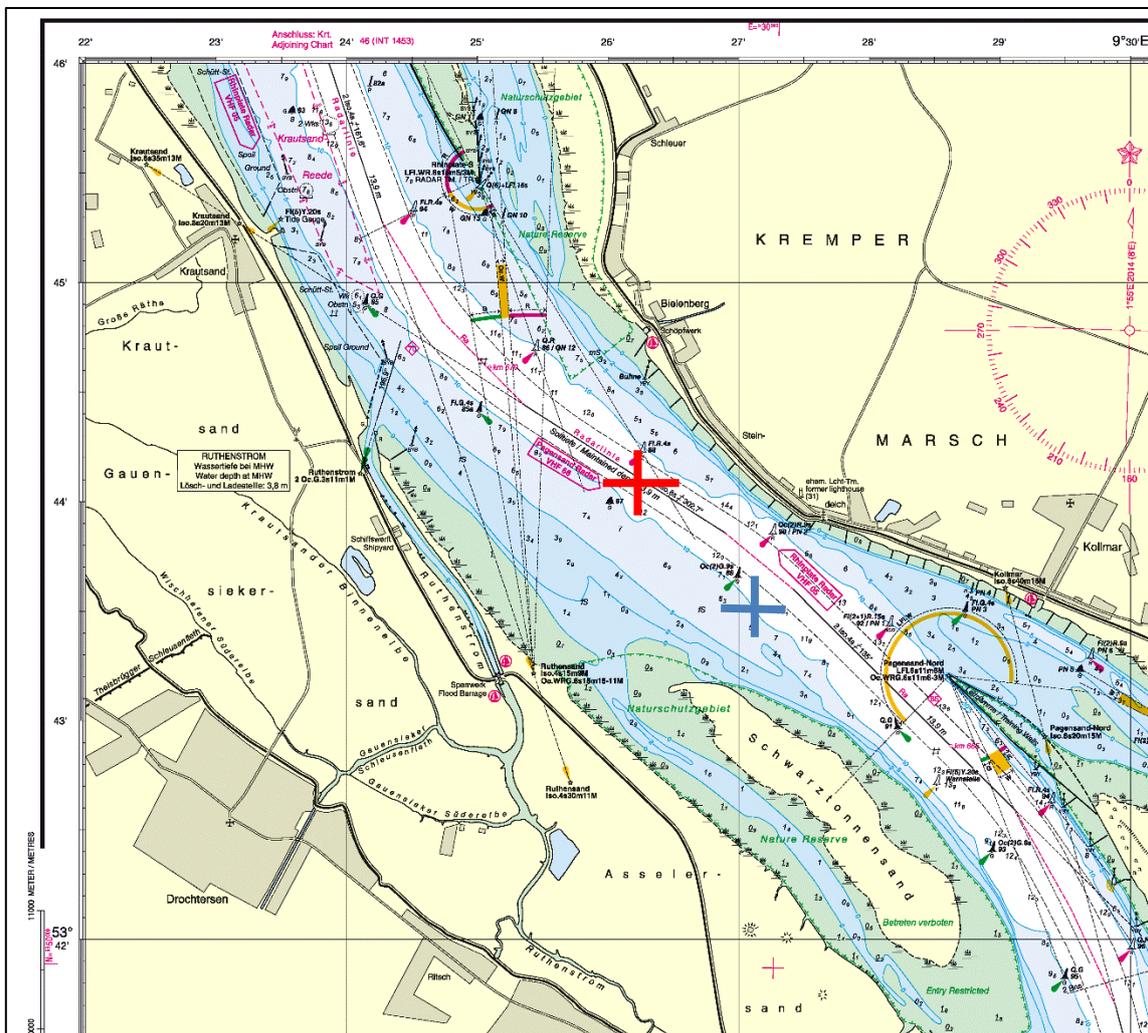


Abbildung 2: Ort des Vorkommnisses

05:07 Uhr: Notankermanöver im Fahrwasser
 10:17 Uhr: Ankerposition südwestlich der Tonne 89
 (nach zwischenzeitlichem Verschleppen; dort Warten auf die nächste Flut)

¹ BSH = Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

2 HERGANG DES VORKOMMNISSSES UND UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

2.1 Hergang des Vorkommnisses

Am **17. Januar 2017** kam es ab ca. **03:30 Uhr²** auf dem voll mit Erz beladenen Bulkcarrier CAPE LEONIDAS (Flagge: Marshallinseln) zu Problemen mit der Hauptmaschine. Das Schiff, das mit einem Lotsen besetzt war, der bei seiner Beratungstätigkeit von einem Radarlotsen in der Verkehrszentrale (Vcz) Elbe unterstützt wurde, befuhr zu diesem Zeitpunkt bei ruhigem Winterwetter die Elbe in Richtung Hamburg. Die CAPE LEONIDAS war tiefgangsbedingt auf die nur bei Hochwasser auf dem gesamten Weg von Brunsbüttel nach Hamburg im Fahrwasser verfügbare maximale Wassertiefe angewiesen. Die bordseitigen Bemühungen, die technischen Schwierigkeiten zu beheben, schlugen fehl. Gegen **04:14 Uhr** fiel die Maschine endgültig aus und ließ sich in der Folgezeit auch nicht wieder starten. Der Lotse informierte deshalb gegen **04:20 Uhr** die Vcz und forderte vorsorglich Schlepperhilfe an. Insgesamt sieben Schlepper aus Brunsbüttel, Stade und Hamburg wurden in Marsch gesetzt. Die Back des Havaristen wurde besetzt und der Steuerbordanker zum Fallen klargemacht. Das Schiff, das beim Ausfall der Maschine mit ca. 12 Knoten gefahren war, verlor anschließend zwangsläufig langsam an Geschwindigkeit, ließ sich zunächst aber auch ohne Antrieb noch längere Zeit gut steuern. Gegen **05:01 Uhr** hatte sich die Fahrt der CAPE LEONIDAS auf ca. 4 Knoten verlangsamt. Da die Steuerfähigkeit deutlich nachgelassen hatte, war nunmehr ein Notankermanöver unausweichlich. Dementsprechend wurde der Steuerbordanker zunächst weggefiert und schließlich um **05:07 Uhr** mit seiner gesamten Länge (13 Kettenlängen) ausgebracht (vgl. **Abb. 3**).

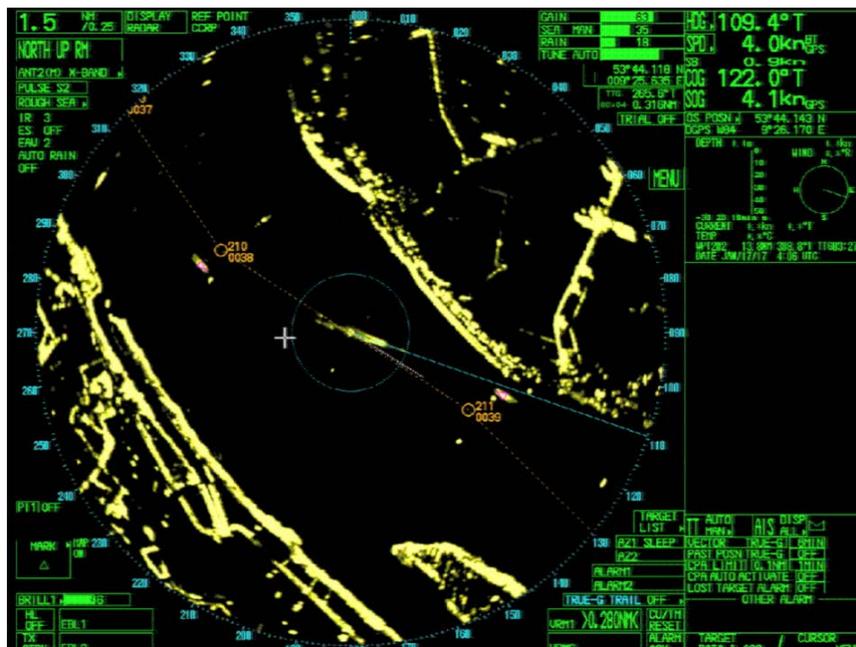


Abbildung 3: Radarbild MS CAPE LEONIDAS zum Zeitpunkt des ersten Notankermanövers³

² Sämtliche Uhrzeitangaben im Bericht sind Ortszeit (LT) = MEZ = UTC + 1 Stunde.

³ Quelle: Screenshot aus Radaraufzeichnung des Schiffsdatenschreibers (VDR) der CAPE LEONIDAS.

Das Schiff konnte dadurch innerhalb der folgenden ca. 15 Minuten vollständig aufgestoppt und ab ca. **05:23 Uhr** auf konstanter Position gehalten werden. Durch den Flutstrom hatte der Ankerlieger zwischenzeitlich über den Backbordsteven um ca. 180 Grad in Richtung See geschwoit (**vgl. Abb. 4**).

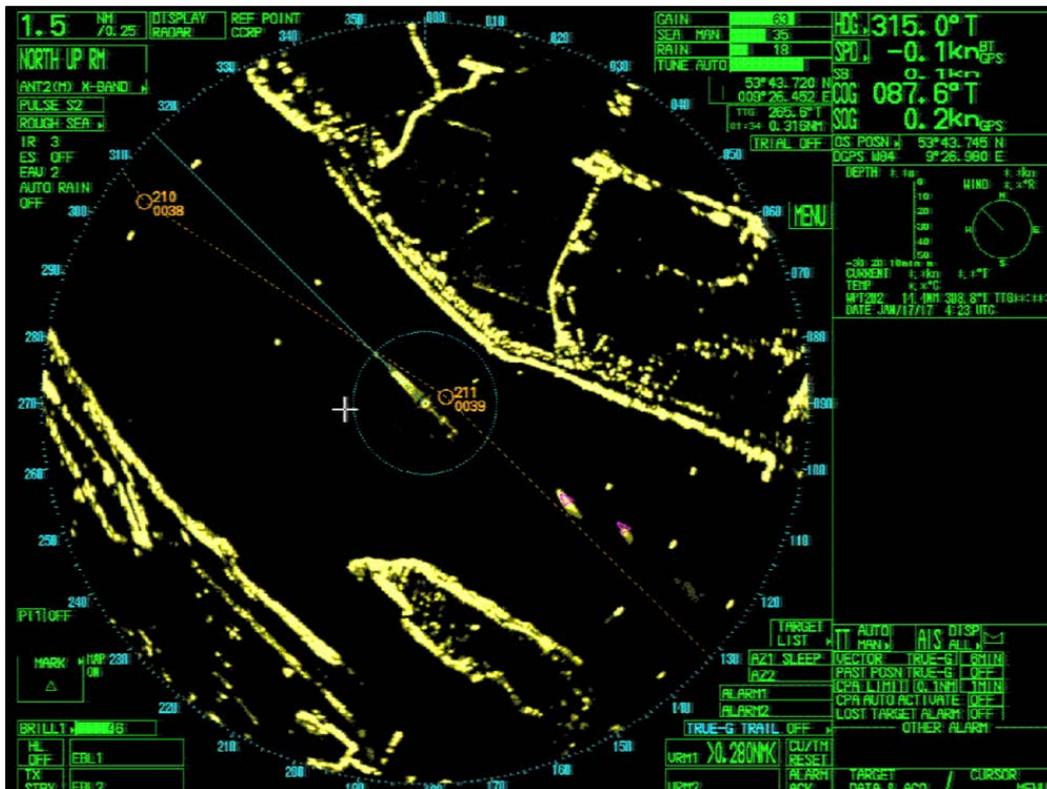


Abbildung 4: MS CAPE LEONIDAS auf der ersten Notankerposition
(nach dem Schwoien Richtung See)

Zwischen **05:34 Uhr** und **06:00 Uhr** erreichten nach und nach zunächst ein Schlepper aus Stade (BUGSIER 18) und drei Schlepper aus Brunsbüttel (WOLF, WAL und BUGSIER 15) die CAPE LEONIDAS. In der Vtz wurde im genannten Zeitraum in Abstimmung mit dem Lotsen und der Schiffsführung des Havaristen entschieden, das Schiff im Fahrwasser ca. 7 bis 8 Kabel in südliche Richtung in den Bereich der Fahrwassertonne 89 zu verholen. Die Auswertung aktueller Peildaten hatte ergeben, dass (nur) dort auch bei Niedrigwasser eine ausreichend sichere Wassertiefe zur Verfügung stehen würde, um ohne Grundberührung auf das für die Weiterfahrt erforderliche nächste Hochwasser warten zu können.

Gegen **06:06 Uhr** wurde zwecks Ausführung dieses Plans zunächst damit begonnen, den Havaristen im Fahrwasser mit Schlepperhilfe über seinen Backbordsteven um 180 Grad (also in Fahrtrichtung Hamburg) zu drehen. Hierzu hatten zuvor zwei Schlepper (BUGSIER 18 und WOLF) achtern festgemacht. Die beiden anderen Schlepper positionierten sich zum Drücken bzw. Stabilisieren achtern bzw. vorn an der Backbordseite der CAPE LEONIDAS. Der Havarist hievte während des Drehmanövers, das gegen **06:51 Uhr** erfolgreich abgeschlossen war (**vgl. Abb. 5**), planmäßig mehrere Kettenlängen seines Steuerbordankers ein.

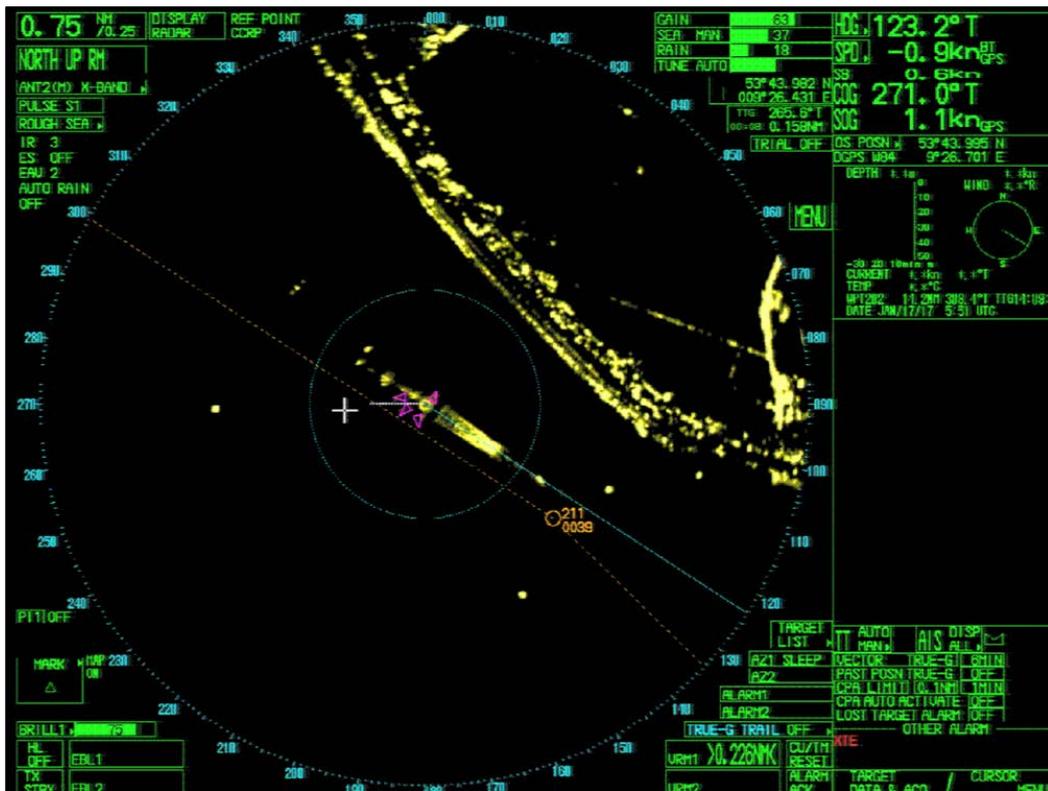


Abbildung 5: MS CAPE LEONIDAS nach dem für das Verholen zur zweiten Ankerposition erforderliche Drehen

Im Zeitraum zwischen ca. **07:00 Uhr** und **07:50 Uhr** trafen die drei aus Hamburg angeforderten Schlepper BUGSIER 7, BUGSIER 22 und BUGSIER 2 beim Havaristen ein. BUGSIER 7 und BUGSIER 22 machten vorne an der CAPE LEONIDAS fest. BUGSIER 2 ersetzte den Schlepper BUGSIER 15, der aus dem Einsatz entlassen wurde, um wieder in Brunsbüttel zur Verfügung zu stehen. Die nun insgesamt sechs am Einsatzort agierenden Schlepper sicherten durch ihr konzertiertes Zusammenwirken und in Abstimmung mit dem Lotsen auf der CAPE LEONIDAS deren stromgerechte Lage auf der Elbe. Der Havarist bereitete sich gleichzeitig durch das langsame Einholen des Ankers auf das bevorstehende Verholmanöver vor. Gegen **08:56 Uhr** stellte man beim Einholen der letzten Kettenglieder des Ankers fest, dass der Draggen⁴ von der Kette abgerissen war.

Parallel zu den vorstehend beschriebenen Aktivitäten hatte die Vcz zwischenzeitlich die NEUWERK (= Mehrzweckschiff der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung) angefordert, um vorübergehend die Tonne 89, auf deren Position der Havarist auf das nächste Fahrwasser warten sollte, einzuziehen. Die NEUWERK erreichte gegen **08:40 Uhr** den Einsatzort und hatte ihren Auftrag gegen **09:00 Uhr** erfüllt.

Behutsam wurde anschließend sofort damit begonnen, die CAPE LEONIDAS zu der geplanten Warteposition zu schleppen. Die NEUWERK blieb dort zunächst liegen, um dem Schleppzug die Orientierung zu erleichtern.

⁴ Draggen = Anker im engeren Sinne = Vorrichtung, die sich in den Meeresboden eingräbt und dadurch die Kette am Boden fixiert.

Um **10:17 Uhr** hatten die Schlepper die CAPE LEONIDAS zur endgültigen Warteposition im Bereich der eingezogenen Tonne 89 bugsiiert. Dort ließ der Havarist seinen Backbordanker fallen und wurde in den folgenden Stunden mit fortdauernder Unterstützung der Schlepper stromgerecht im Fahrwasser gehalten. Eine Grundberührung oder ein Festkommen konnten dadurch vermieden werden.

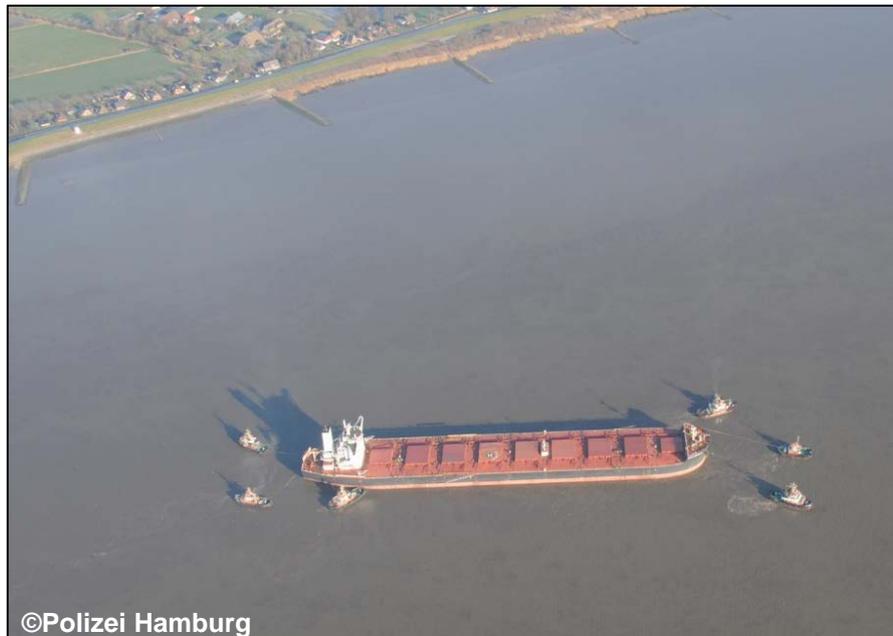


Abbildung 6: MS CAPE LEONIDAS im Fahrwasser der Elbe in der durch Schlepper gesicherten Warteposition im Bereich der eingezogenen Tonne 89

Gegen **14:50 Uhr** setzte sich der Schleppverband mit dem Einsetzen der nächsten Flut Richtung Hamburg in Bewegung. Der Havarist konnte dabei auf Grund der zwischenzeitlich erfolgten Reparatur der Hauptmaschine auf seine eigene Antriebskraft zurückgreifen. Um **20:00 Uhr** machte die CAPE LEONIDAS am Umschlagplatz im Hafen Hamburg fest.

2.2 Ablauf, Quellen und wesentliche Inhalte der Untersuchung

Die Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (BSU) wurde kurze Zeit nach dem Notankermanöver der CAPE LEONIDAS über das Vorkommnis informiert. Ein Untersucherteam begab sich am **18. Januar 2017** im Hafen Hamburg an Bord des Schiffes. Es wurden Interviews geführt, diverse Unterlagen gesichtet, Fotos gemacht und eine Kopie der Aufzeichnungen des Schiffsdatenschreibers (VDR; Typ FURUNO VR-3000) gefertigt. Am Tag des Vorkommnisses war um **11:54 Uhr** eine Sicherung der aufgezeichneten Daten durchgeführt worden. Es konnte dadurch bei der Rekonstruktion der Ereignisse und deren Bewertung neben den sonstigen Quellen auf eine 13-stündige Datenaufzeichnung (vom 16. Januar 2017 um 22:54 Uhr bis 17. Januar 2017 um 11:54 Uhr) zurückgegriffen werden.⁵

⁵ Anm.: Die für den installierten VDR maßgeblichen so gen. „Performance Standards“ schreiben vor, dass zum Zeitpunkt der automatischen oder manuell veranlassten Datensicherung der davorliegende Zeitraum von mindestens 12 Stunden gesichert wird.

Da die BSU bereits anlässlich der Meldung des Vorkommnisses darüber informiert worden war, dass es an Bord des Schiffes technische Probleme mit der Hauptmaschine gegeben hatte, bat das Untersucherteam vorsorglich den Leiter der Arbeitsgruppe für Schiffsmaschinen an der Technischen Universität Hamburg, Professor Dr.-Ing. Friedrich Wirz, die BSU bei der Klärung der technischen Ursachen für den Maschinenausfall als Sachverständiger zu unterstützen. Prof. Wirz nahm zu diesem Zweck an dem Bordbesuch teil und ließ sich von den Ingenieuren detailliert deren Wahrnehmungen und Aktivitäten in Bezug auf die technischen Probleme beschreiben. Der Experte sichtete außerdem die diesbezüglichen und den Maschinenbetrieb seit dem Verlassen des Ladehafens Hafens Narvik insgesamt betreffenden schriftlichen und elektronischen Aufzeichnungen. Um diese Informationen im Verlauf der Untersuchung detailliert auswerten zu können, fertigte das Untersucherteam hiervon Fotos bzw. Kopien an.

Die Befragungen an Bord und die erste überschlägige Sichtung der technischen Aufzeichnungen und Alarmmeldungen ergaben, dass Probleme im Zusammenhang mit der Kraftstoffversorgung des Zylinders Nr. 5 ursächlich für den Maschinenausfall gewesen waren. Das technische Personal der CAPE LEONIDAS hatte demgemäß bereits auf der Notankerposition die beiden Einspritzdüsen und das so gen. „puncture valve“⁶ an der Zylinderstation Nr. 5 gewechselt und dadurch die Maschine wieder einsatzklar machen können.

Die anlässlich des Bordaufenthalts mit Hilfe eines bordseitig vorhandenen Prüfgerätes in Anwesenheit des Untersucherteams und des für die BSU tätigen Experten durchgeführte Druckprüfung der ausgetauschten Einspritzdüsen ergab, dass eine der beiden Düsen defekt war. Die BSU entschied sich daher dazu, die defekte Düse von einem Prüflabor untersuchen zu lassen, um die genaue Art und Ursache der Funktionsstörung in Erfahrung zu bringen.

Da schon die erste an Bord vorgenommene Sichtung der Maschinenalarmlage erkennen ließ, dass bereits kurze Zeit nach dem Auslaufen aus dem Hafen Narvik anlässlich der auf Grund umweltrechtlicher Vorgaben vorgeschriebenen Umschaltung der Kraftstoffversorgung von IFO⁷ auf MGO⁸ Probleme im Bereich des Kraftstoff-Versorgungssystems der Hauptmaschine aufgetreten waren, erbat das Untersucherteam Kraftstoffproben aus den Tagestanks beider Kraftstoffarten. Auch insoweit wurde von der BSU eine labortechnische Untersuchung veranlasst, um etwaige, mit dem Umschaltprozess zusammenhängende bzw. sonstige, aus der Verwendung der genannten Kraftstoffe herrührende Probleme zu identifizieren.

⁶ „puncture valve“ = Bauteil innerhalb der Einspritzpumpe.

⁷ IFO = Intermediate Fuel Oil = schwefelhaltiges Schweröl.

⁸ MGO = Marine Gasoil = Kraftstoff mit niedrigem Schwefelgehalt.

2.3 Untersuchungsergebnisse

2.3.1 Vorbemerkungen

Neben der chronologischen Rekonstruktion des Hergangs des Vorkommnisses und des anschließenden Krisenmanagements, die von der BSU im Wesentlichen an Hand der ausgewerteten VDR-Aufzeichnungen (hier insbesondere Audio und Radar) sowie auf Basis von Zeugenaussagen vorgenommen werden konnte und die bereits oben in Kapitel 2.1 dargestellt worden ist, bildeten die Untersuchungsaktivitäten des von der BSU beauftragten technischen Sachverständigen den maßgeblichen Schwerpunkt der Untersuchung. Der Experte hat die zur Verfügung stehenden, die technischen Probleme an Bord des Havaristen betreffenden Daten und Aufzeichnungen gesichtet und ausgewertet. In sein Gutachten, das er für die BSU gefertigt hat, flossen im Übrigen die Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen der defekten Einspritzdüse und der verwendeten Kraftstoffe ein. Das nachfolgende Kapitel 2.3.2 stellt die wesentlichen Inhalte des Gutachtens in einer von der BSU gekürzten und zu diesem Zweck redaktionell bearbeiteten und um einige Fotos ergänzten Form auszugsweise vor. Der Text wurde kursiv gesetzt, um auch äußerlich zu verdeutlichen, dass Urheber der fraglichen Ausführungen der von der BSU beauftragte Experte Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz ist.

2.3.2 Gutachten zu den technischen Ursachen des Maschinenausfalls

2.3.2.1 Bordbesuch am 18. Januar 2017

2.3.2.1.1 Maschinen-Logbuch

*Der letzte Auslaufhafen vor der Havarie war Narvik, Norwegen. Narvik befindet sich an der Nordwestküste von Norwegen und damit außerhalb der so gen. „Sulfur Emission Control Area“ (SECA). Folglich konnte die Fahrt mit schwefelhaltigem Schweröl („Intermediate Fuel Oil“ (IFO)) begonnen werden. Vor dem Eintritt in die SECA (Nordsee) muss jedoch auf einen Kraftstoff mit einem Schwefelgehalt von max. 0,1% umgeschaltet werden, in der Regel sog. „Marine Gasoil“ (MGO). Im Maschinen-Logbuch fand sich ein unterschriebenes und gestempeltes Dokument, in dem die Umschaltprozedur chronologisch beschrieben wurde (das ist für ggf. spätere Kontrollen bzgl. „SECA compliance“ erforderlich; vgl. unten **Abb. 7**). Demnach wurde die Umschaltprozedur von IFO (dort genannt HSFO (High Sulfur Fuel Oil)) auf MGO (dort genannt LSMGO (Low Sulfur Marine Gasoil)) am 14.01.2017 um 01:30 Uhr begonnen und war um 02:00 Uhr beendet. Sie dauerte demnach 30 Minuten. Die SECA-Grenze wurde um 02:15 Uhr überfahren.*

MV CAPE LEONIDAS

IN COMPLIANCE WITH SECA ZONE REGULATION, USING FUEL OIL CONTAINING 0.1 % SULPHUR OR LESS PRIOR VESSEL ENTERING SECA AREA. THE FOLLOWING PROCEDURES CARRIED OUT.

14 JAN. 2017 / 0130H LT. POSITION: LAT: 62 Deg. 06 min. N LONG: 004 Deg. - 16 min. E
PRIOR vessel entering seca area , COMMENCED change over fuel use from HSFO to LSMGO 0.1 % sulfur content:

ROB :
MDO Storage tank (P) (Designated LSMGO Storage Tank) = 90.11 MT
MGO STOR. TK. (P) = 20.32
MDO Serv. Tank (P) (LSMGO) = 43.9 MT
TOTAL: LSMGO = 154.33 MT
ROB : HSFO = 1795.08 MT

COMPLETED change over from HSFO to LSMGO 14 JAN. 2017@ 0200H LT.
LAT: 62 deg. 02 min. N / LONG: 004 deg. 09 min. E
ROB :
HSFO = 1795.08 MT
LSMGO = 153.59 MT
(TOTAL CONSUMED LSMGO= 0.74 MT)

=ENTRY SECA ZONE=
14 JAN. 2017/ 0215H LT: LAT: 62 deg. 00 min. N / LONG: 004 Deg. 05 min. E
-Vessel ENTERING SECA AREA, remaining HSFO completely flushed out, change over fuel oil use LSMGO 0.1 % sulfur. In compliance with SECA AREA REGULATION.

ROB LSMGO TOTAL = 153.21 MT
(TOTAL CONSUMED LSMGO= 1.12 MT)
ROB :HSFO TOTAL = 1795.08 MT

Attached Bunker Delivery Note for LSMGO 0.1 % sulphur.

PREPARED BY:



Abbildung 7: Nachweis über Kraftstoffumschaltung
(Einfahrt in die SECA-Zone am 14.01.2017)

Das Maschinen-Logbuch selbst enthält bzgl. des 17.01. (Tag der Havarie) die folgenden handschriftlichen Eintragungen:

- „0330 – Main Engine initial malfunction lat. 53-52.8N long. 009-11.5E“
- „0507 – Dropped STBD anchor in pos. lat. 53-49.30N long. 009-26.80E“
- „0534 – First Tugboat arrived 0726 – Last Tugboat arrived“
- “0854 – All chains on deck, STBD anchor missing lat. 53-44.06N long. 009-26.24E”
- “0900 – Commence shifting to emergency anchorage”
- “1018 – Dropped port anchor in pos. lat. 53-43.44N long. 009-27.27E”

- *** Replaced w/ new seal to M.E. F.O. supply pump no.1*
- *** Replaced F.O. injectors F&A to cyl. No. 5 of M.E.*
- *** Replaced w/ recon. Spare puncture valve to cyl. No. 5 F.O inj. pump*

2.3.2.1.2 Aushang zur Kraftstoff-Umschaltung

Seit Inkrafttreten der Kraftstoffschwefel-Grenzwerte in den SECAs (Anfang 2016) müssen an Bord aller Schiffe Maßnahmen für ein angemessenes Umschalten zwischen den hoch- und niedrighschwefligen Kraftstoffarten vorgesehen werden.

Dabei haben sich zwei Verfahren etabliert:

Zum einen kann, und das wird von den Motorenherstellern empfohlen, ein Modul installiert werden, das die Umschaltung automatisch durchführt. Dabei wird der Temperaturgradient (ca. 2K pro Minute) als Führungsgröße eingehalten, wodurch aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen IFO (ca. 130...140°C bei Einspritzviskosität) und MGO (ca. Umgebungstemperatur) eine Umschaltdauer von ca. 1 Stunde nicht unterschritten wird. Stellgröße ist das Umschaltventil (Dreiwegeventil), das den Vorlauf zum Mischrohr des Kraftstoffsystems aus dem IFO- bzw. dem MGO-Tank befüllt.

Zum anderen, und diese Lösung wird aus Kostengründen von vielen Eignern bevorzugt, wird die Umschaltprozedur ausführlich in einer Betriebsanweisung an die Besatzung beschrieben und ausgehängt. Darin wird vor allem auf die (nicht zu unterschreitende) Umschaltdauer hingewiesen; die Umschaltung selbst wird gemäß der Anweisung manuell ausgeführt, indem ein Besatzungsmitglied das / die Umschaltventil(e) bedient.

Die letztere Variante fand sich auf der CAPE LEONIDAS in Form eines eingeschweißten, mehrseitigen Ausdruckes, der an der Wand des Maschinenkontrollraumes (MKR) angeschlagen war (vgl. unten **Abb. 8**). Darin ist, unabhängig von der „Umschaltrichtung“, mehrfach der Hinweis: „Time required for changing over about 45~60 minutes“ enthalten.

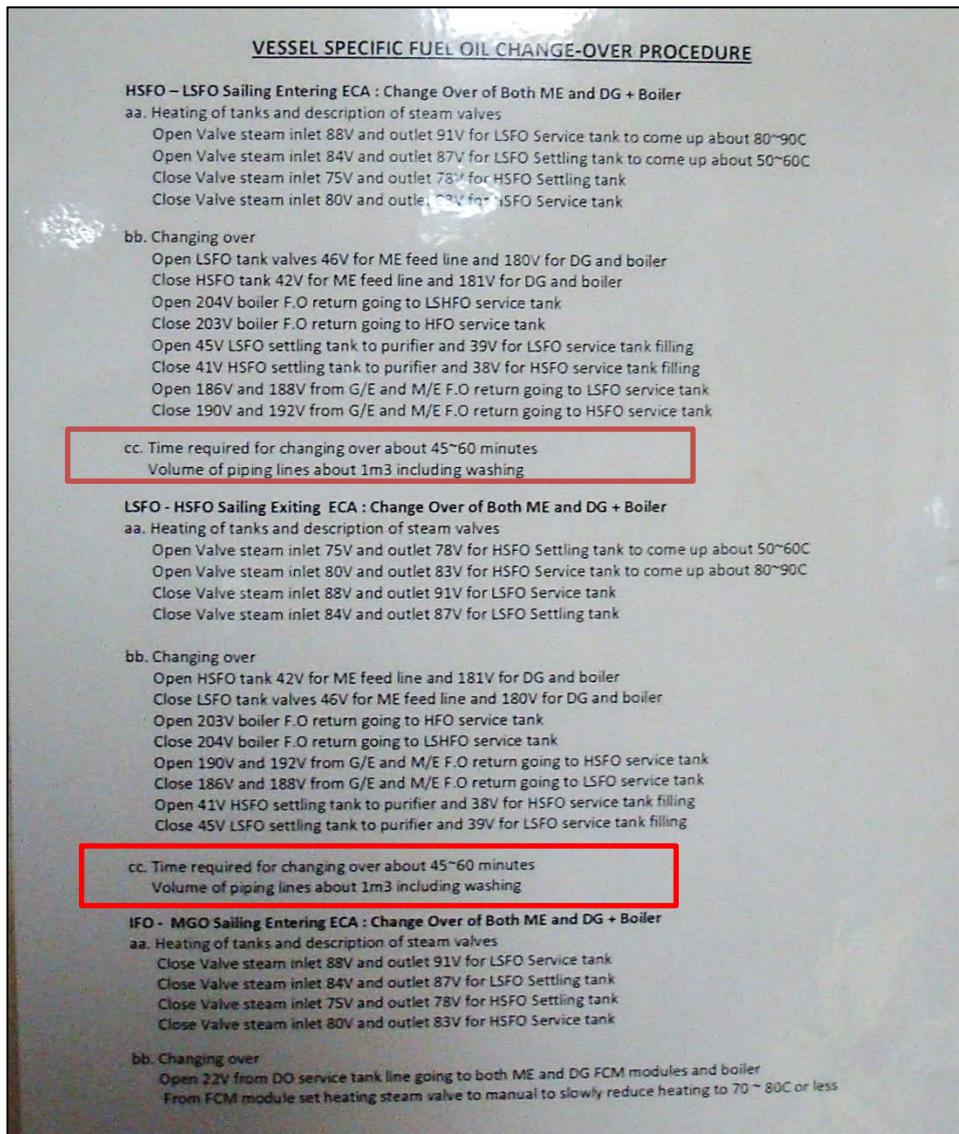


Abbildung 8: Aushang zur Kraftstoffumschaltprozedur im MKR der CAPE LEONIDAS (Auszug)⁹

2.3.2.1.3 Puncture Valve

Das ausgebaute und durch ein Ersatzteil ersetzte Puncture Valve konnte in Augenschein genommen werden. Es war ohne Befund, der auf eine Fehlfunktion hätte hinweisen können.

2.3.2.1.4 Einspritzdüsen

In einer Vorrichtung in der Maschinenraumwerkstatt zur Aufbewahrung von Einspritzdüsen befanden sich zum Zeitpunkt des Bordbesuchs drei Exemplare. Der Leitende Ingenieur wies darauf hin, welche beiden von den drei Düsen von Zylinder Nr. 5 ausgebaut waren, die dritte war ein Ersatzteil. Auf Bitte der Anwesenden wurden die beiden ausgebauten Düsen nacheinander von Besatzungsmitgliedern auf eine neben der Vorrichtung befindliche Testanlage gespannt und abgedrückt. Der Druck, bei dem

⁹ Anm.: Rote Markierung des vorgeschriebenen Zeitraums durch den Verfasser des Untersuchungsberichtes.

die Düsen laut Spezifikation (gemäß Aufdruck auf Testanlage und Erfahrungswerten des Sachverständigen) öffnen / spritzen sollen, beträgt 200...280bar. Die erste der beiden Düsen spritzte tatsächlich bei einem Testdruck von ca. 270bar und war damit in der Spezifikation. Die zweite Düse hingegen wurde mit ansteigendem Druck bis auf 388bar (!!!) beaufschlagt, ohne zu spritzen (vgl. unten **Abb. 9**). Von einer weiteren Erhöhung des Testdruckes wurde aus Sicherheitsgründen für die Umstehenden abgesehen und der Test abgebrochen. Die ausgebauten Einspritzdüsen wurden als Beweismittel sichergestellt und im Nachgang labortechnisch untersucht.



Abbildung 9: Testanlage zur Druckprüfung von Einspritzdüsen im MKR der CAPE LEONIDAS

2.3.2.1.5 Betriebsstoffproben

Auf Bitte des Sachverständigen wurden Kraftstoffproben von IFO und MGO aus den Tagestanks gezogen. Der Leitende Ingenieur stellte saubere Probenflaschen (Fassungsvermögen ca. 1 Liter) zur Verfügung, die er aus den Tagestanks mit den entsprechenden Kraftstoffen befüllte und anschließend beschriftete (vgl. unten **Abb. 10**). Die Proben wurden dem Sachverständigen zum Zweck der späteren Analyse ausgehändigt.



Abbildung 10: Kraftstoffproben aus den Tagestanks der CAPE LEONIDAS

Der Sachverständige versuchte außerdem, aus der fehlerhaften Einspritzdüse eine Probe einer festen schwarzen Substanz herauszukratzen, die sich am oberen Ende im Kraftstoffzulauf befand (vgl. unten **Abb. 11**). Die Ausbeute war jedoch zu gering für eine spätere Analyse.



Abbildung 11: Sichergestellte Rückstände aus dem Kraftstoffzulauf der defekten Einspritzdüse

2.3.2.1.6 Alarme

Der Bildschirm des Alarm Monitoring System (AMS) wurde in Einzelbildern abfotografiert, beginnend mit dem Zeitstempel 13.01. 23:33:55 Uhr, endend mit dem Zeitstempel 17.01. 12:28:24 Uhr.

2.3.2.1.7 Dokumente / Korrespondenz

Gemäß einer an Bord gesichteten E-Mail über die Chronologie vor und während der Havarie wurde am 16.01. abends auf der Wartereede vor der Elbmündung geankert, die Maschinenanlage getestet und auf Hochwasser gewartet. Um 21:24 Uhr wurde der Anker gehievt und mit der Einfahrt in die Elbe begonnen. Zwischen 03:16 Uhr und 03:20 Uhr am Morgen des 17.01. fand ein Lotsenwechsel statt. Zehn Minuten nach dem Lotsenwechsel um 03:30 Uhr habe der Lotse verlangt, die Drehzahl zu erhöhen, um mit dem Hochwasser rechtzeitig nach Hamburg zu gelangen („Elbe River Pilot request to Master to increase RPM to catch the High Tide due next pilot (docking) at 0630hrs to berth at around 0730hrs“). Um 03:30 Uhr begann der Hauptmotor auszufallen („0330hrs – 0420hrs/17 Jan’17: M/E started to fail to increase RPM to full until the Pilot ask me what is the problem and Master told him that I have a M/E trouble and cannot start. ...“)

2.3.2.2 Anschließende Untersuchungen

2.3.2.2.1 Kraftstoffproben

Nach den Erfahrungen des Sachverständigen können die Kraftstoffarten IFO und MGO Unverträglichkeiten aufweisen, die chemischer Natur sind und u. a. zur Ausfällung von so gen. Asphaltene führen können. Asphaltene sind Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die bei Umgebungsbedingungen eine feste bzw. schlammartige Konsistenz haben und das Verstopfen von Filtern und Systemkomponenten mit engen Querschnitten verursachen können. Kraftstoffunverträglichkeiten können also dazu führen, dass z. B. Einspritzdüsen verstopfen. Der Verdacht wurde bestärkt durch die Entdeckung fester / wachsartiger schwarzer Ablagerungen im Zulauf zu den ausgewechselten Einspritzdüsen, die nach dem Abdrücken jedoch nicht mehr isoliert werden konnten.

Als geeignetes Labor für Kraftstoffanalysen wurde die Firma Saybolt van Duyn GmbH in Hamburg ausgewählt. Der Sachverständige überstellte die beiden Proben (IFO und MGO) an das Labor mit der Zielsetzung, zunächst die beiden Proben auf ihre Spezifikation hin zu analysieren und anschließend einen Verträglichkeitstest durchzuführen. Bei letzterem werden beide Stoffe miteinander gemischt und über eine gewisse Zeit unter erhöhter Temperatur gelagert. Anschließend wird geprüft, ob die Mischung homogen ist oder sich ggf. Ausfällungen zeigen.

Sämtliche Testergebnisse waren gemäß dem Analysis Report des Labors vom 06.02.2017 ohne auffälligen Befund. Somit kann bereits an dieser Stelle eine Unverträglichkeit der an der Umschaltung beteiligten Kraftstoffe mit hoher Wahrscheinlichkeit als Teil- oder alleinige Ursache der Havarie ausgeschlossen werden. Warum sich in den Einspritzdüsen feste Ablagerungen fanden, obwohl auch das IFO bei Umgebungstemperatur fließfähig war, konnte nicht abschließend geklärt werden.

2.3.2.2.2 Einspritzsystem / Einspritzdüsen

Die Hauptmaschine der CAPE LEONIDAS verfügt über ein konventionelles, mechanisch gesteuertes Einspritzsystem und besitzt eine Plunger-Einspritzpumpe und zwei Einspritzdüsen je Zylinder.

Nach den Erkenntnissen des Sachverständigen treten seit der Einführung der SECAs und der deshalb erforderlichen Kraftstoffumschaltungen bei Eintritt bzw. Verlassen der SECA vermehrt Probleme an Komponenten des Einspritzsystems auf. Die Probleme haben im Wesentlichen zwei Ursachen:

(1) unterschiedliche Viskositäten von IFO und MGO

Die eine Ursache hängt mit den unterschiedlichen Viskositäten von IFO und MGO bei gleicher Temperatur zusammen. Während IFO bei Umgebungstemperatur eine sehr hohe Viskosität (Zähflüssigkeit) aufweist bzw. mitunter sogar unter den Stockpunkt fällt (also fest ist), ist MGO bei Umgebungstemperatur relativ dünnflüssig. Beide Flüssigkeiten haben die Eigenschaft, dass die Viskosität mit steigender Temperatur abnimmt (bei Erwärmung wird der Stoff dünnflüssig, bei Erkaltung zähflüssig), jedoch auf unterschiedlichem Niveau.

Diese Tatsache kann zu Effekten führen, die mit einem Herzinfarkt oder genau mit dessen Gegenteil (Blutdruckabfall) verglichen werden können: Eine zu hohe Viskosität hat zur Folge, dass der zähe Kraftstoff beim Einspritzvorgang nicht ausreichend zerstäubt werden kann und somit die Verbrennung z. B. zur Rußbildung neigt. Im schlimmsten Fall, wenn der Kraftstoff unter den Stockpunkt abkühlt, kann die zu hohe Viskosität dazu führen, dass sich Pfropfen bilden, die die Durchgänge in der Einspritzdüse verstopfen. Das wäre der „Herzinfarkt“.

Eine zu niedrige Viskosität hingegen führt dazu, dass Kraftstoff in der Einspritzpumpe (vergleichbar mit einer medizinischen Spritze, bestehend aus Plunger und Zylinder) durch die Spalte in unerwünschtem Ausmaß als Leckage abströmen kann. In der Folge kann der erforderliche Einspritzdruck nicht aufgebaut werden und die Leckage in der Einspritzpumpe nimmt zu.

Ein weiterer, äußerst kritischer Aspekt der zu niedrigen Viskosität besteht darin, dass die Viskosität gleichbedeutend ist mit der Schmierfähigkeit des Kraftstoffes, die wesentlich ist für die Schmierung der beweglichen Teile des Einspritzsystems, d. h. der Pumpenplunger im Pumpenzylinder und der Nadeln in den Einspritzdüsen. Wenn die Schmierfähigkeit nicht ausreicht, neigen die aufeinander gleitenden Teile binnen kürzester Zeit zu erhöhter Reibung mit der Folge des so gen. „Fressens“, also des Reibverschleißes mit anschließender Reibverschweißung (Verklebungen).

Negativ wirkt sich aus, dass beide Effekte (resultierend aus der zu hohen und zu niedrigen Viskosität der sich mischenden Kraftstoffe) gleichzeitig auftreten können, wenn die Kraftstoffe spontan miteinander vermischt werden. Die Ausgangssituation ist derart, dass IFO bereits im Tagestank auf ca. 70°C und im Kraftstoffsystem endgültig zur Einstellung der Einspritzviskosität auf ca. 140°C vorgewärmt wird, wohingegen MGO keiner Vorwärmung bedarf und bereits bei Temperaturen über Umgebungstemperatur gefährlich dünnflüssig werden kann.

Falls beispielsweise der Motor außerhalb der SECA-Zone bislang mit IFO betrieben wurde, ist das gesamte Kraftstoffsystem einschließlich der Einspritzkomponenten warm. Das liegt daran, dass die Einspritzanlage eine bestimmte Viskosität erfordert, die bei IFO mit der o. g. Temperatur von bis zu 140°C korrespondiert, die über die Vorwärmung eingestellt wird. Freilich sind damit auch die isolierten Leitungen und Komponenten des Systems auf annähernd diese Temperatur aufgeheizt.

Wenn nun im Zuge des Umschaltvorganges kaltes MGO in das System einströmt, passiert zweierlei: Erstens wird das MGO in der warmen Umgebung stark aufgeheizt, so dass dessen Viskosität noch weiter abnimmt. Gleichzeitig wird das restliche IFO stark abgekühlt, so dass dessen Viskosität zunimmt, es im Extremfall sogar lokal „einfriert“.

Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte und Temperatur, wie im vorliegenden Fall, haben die Eigenschaft, sich nicht miteinander zu vermischen, sondern in adiabaten „Blasen“ getrennt zu bleiben. Dieser Effekt ist zum Beispiel bei „Lava-Lampen“ bekannt, in denen niemals eine Vermischung von Wasser und Wachs erfolgt. Somit treten die beiden genannten, unerwünschten Effekte kumulativ ein: Die dünnflüssigen MGO-Blasen führen zu einem Versagen der Schmierung der Komponenten, gleichzeitig können sich feste IFO-Pfropfen lösen und die Spritzlöcher verstopfen. Fressen und der „Herzinfarkt“ sind die Folge. Das gleiche kann im umgekehrten Fall passieren, wenn bei Verlassen der SECA-Zone zu schnell von MGO- auf IFO-Betrieb umgestellt wird.

(2) thermische Ausdehnung von Bauteilen

Die andere Ursache für etwaige technische Probleme an Komponenten des Einspritzsystems hängt mit den unterschiedlichen Temperaturen bei gleicher Viskosität zusammen, also dem Umkehrfall des oben Beschriebenen. Allerdings sind in diesem Zusammenhang nicht die Flüssigkeiten selbst das Problem, sondern die Bauteile, bzw. deren thermische Ausdehnung. Fast jeder Werkstoff neigt dazu, sich bei Erwärmung auszudehnen und bei Abkühlung zu schrumpfen. So auch Eisen und Stahlwerkstoffe.

Zwar bestehen sämtliche Bauteile der Einspritzkomponenten (Pumpe und Düse) aus Stahl und weisen folglich ähnliche thermische Ausdehnungskoeffizienten auf (= Kennzahl, die die Volumenänderung in Abhängigkeit der Temperaturänderung beschreibt). Das heißt, dass bei gleichmäßiger Temperatur aller Bauteile deren Volumina so zueinander passen, dass die erforderlichen Spaltmaße eingehalten werden. Sowohl bei hohen, als auch bei niedrigen Temperaturen passt demnach alles zusammen, mit der Einschränkung, dass die Geometrie der Teile einen gewissen Einfluss auf Ausdehnung bzw. Schrumpfung hat.

Anders verhält es sich bei schnellen Temperaturänderungen. Wenn beispielsweise eine schnelle Abkühlung stattfindet (und das ist der Fall, wenn von IFO- auf MGO-Betrieb bei Einfahrt in eine SECA-Zone umgeschaltet wird), findet die Abkühlung der Bauteile zunächst an deren Oberflächen statt. Im Falle einer Paarung aus Plunger und Zylinder bzw. Nadel und Düsenkörper bedeutet dies, dass sich der gebohrte Körper (also Zylinder bzw. Düsenkörper) rasch zusammenzieht, während sich der Körper aus Vollmaterial (also Plunger bzw. Nadel) an der Oberfläche zusammenziehen will,

allerdings der noch warme Kern dem entgegensteht. Dadurch schrumpft das Bohrungsinnenmaß schneller als Außenmaß des Vollkörpers. Dabei wird das Spaltmaß zwischen beiden verringert und im Extremfall sogar zu Null.

Dadurch kommt es zu einem Einklemmen des (beweglichen) Vollkörpers im gebohrten Außenkörper. Zwischenzeitlich steigt die Reibung aufgrund des zu geringen Spiels stark an und führt zu einer Aufheizung der Oberflächen, woraufhin die Viskosität abfällt und damit die Schmierfähigkeit des Kraftstoffes endgültig versagt, gleichzeitig wird die Flüssigkeit aus dem Spalt verdrängt, die aber für eine Ableitung der anfallenden Wärme gerade jetzt so wichtig wäre. Es findet binnen kürzester Zeit eine Art Kettenreaktion statt, die unweigerlich zu einem Fressen oder / und Verklemmen der Reibpartner führt. Natürlich kann unter gewissen konstruktiven Umständen ein ähnlicher Effekt bei entgegengesetzter Umschaltrichtung (also von MGO- auf IFO-Betrieb entsprechend Verlassen einer SECA-Zone) auftreten.

Die beiden unter (1) und (2) beschriebenen Ursachen treten in der Regel gemeinsam auf und verstärken einander in ihrer Auswirkung, da die Flüssigkeiten und die Komponenten in Wechselwirkung stehen.

Es drängte sich für den Sachverständigen die Vermutung auf, dass im vorliegenden Fall entweder ein Verstopfen oder ein Verklemmen der betroffenen Einspritzdüse ursächlich für den Motorausfall gewesen sein könnte.

Es wurde daher eine Analyse der sichergestellten Düse beim Materialprüflabor der Fa. MAN PrimeServ in Hamburg veranlasst. Die Firma (Service-Zweigstelle des Motorherstellers) ist einerseits mit den Einspritzdüsen vertraut, andererseits betreibt sie ein unabhängiges Prüflabor mit ausgewiesener Expertise in Metallurgie (Metallkunde) und Tribologie (Reibungskunde).

Das Untersucherteam der BSU und der Sachverständige brachten am 27.01.2017 die betroffene Einspritzdüse zu MAN PrimeServ in Hamburg und wohnten der Erstbefundung bei.

Diese ergab, dass die Düsennadel im Düsenkörper klemmte und nur unter Zuhilfenahme einer mechanischen Presse herausgedrückt werden konnte, nachdem der Düsenkörper vom Oberteil der Düse abgeschraubt worden war.

Das erklärte zunächst, warum die Düse auf der Testanlage (Abdruckvorrichtung) an Bord nicht innerhalb des spezifizierten Druckbereiches geöffnet / gespritzt hatte. Die Düsennadel wies Oberflächenbeschädigungen auf, wohingegen der Düsenkörper zunächst nicht eingesehen werden konnte.

Es wurde vor Ort vereinbart, in einer anschließenden Untersuchung den Düsenkörper zu zersägen und die Oberflächen sowohl des Düsenkörpers als auch der Düsennadel mikroskopisch (durch Raster-Elektronenmikroskop (REM)) untersuchen zu lassen. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob die Oberflächenbeschädigungen durch thermische Einwirkung oder durch die Anwesenheit von abrasiven Fremdpartikeln

verursacht wurde. Letzteres wäre eine einfache Erklärung des Verklemmens, die auf mangelhafte Pflege / Qualität / Aufbereitung des Kraftstoffes hingewiesen hätte.

Die Ergebnisse der Analyse wurden im Gutachten des MAN-Labors vom 15.02.2017 dargestellt (vgl. **Anlage zum Untersuchungsbericht**). Es wird in der Zusammenfassung darauf verwiesen, dass keine Anzeichen von Korrosion oder Fremdpartikeln gefunden werden konnten. Die Materialausbrüche an der Manteloberfläche würden jedoch darauf hinweisen, dass sich beide Komponenten miteinander verklemmt hätten. Es sei daher zu vermuten, dass eine thermische Einwirkung zum Verklemmen der beiden Komponenten geführt habe.

2.3.2.2.3 Auswertung der im Alarme

Der Sachverständige hat die anlässlich des Bordbesuchs im Maschinenkontrollraum gesicherten Alarmmeldungen, die im computergestützten Alarm Monitoring System (AMS) fortlaufend gespeichert werden, analysiert. Da eine erste grobe, bereits an Bord vorgenommene Sichtung der Alarmaufzeichnungen auf einen Zusammenhang zwischen dem Eintritt technischer Störungen an Bord und der durch das Einlaufen in die SECA-Zone bedingten Kraftstoffumschaltung hindeutete, konzentrierte sich der Sachverständige bei seiner Auswertung auf den Zeitraum ab dem Beginn des Umschaltvorgangs (14.01. ab ca. 01:30 Uhr) bis in die Vormittagsstunden des 17.01.

Aus den gelisteten Alarmen lassen sich nach Einschätzung des Sachverständigen die folgenden Schlüsse ziehen:

- Sämtliche Komponenten der Kraftstoff-Versorgungssysteme von Haupt- und Hilfsmaschinen wiesen über den gesamten betrachteten Zeitraum hin abnormale Betriebszustände bezüglich der Drücke und Temperaturen auf.
- Seit 03:02 Uhr am 14.01. (also weniger als eine Stunde nach dem im Maschinentagebuch vermerkten Zeitpunkt der Kraftstoffumschaltung) weist der Hauptmotor eine Abweichung der Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5 auf (vgl. unten die weiß markierte Zeile in **Abb. 12**). Diese Abweichung wiederholt sich. Die später als defekt identifizierte Einspritzdüse stammt ebenfalls von der Zylinderstation Nr. 5.

Die wahrscheinliche Erklärung dafür ist, dass durch die o. g. Effekte eine der beiden Einspritzdüsen von Zylinder Nr. 5 kurz nach dem Umschaltvorgang geklemmt hat, und zwar im geschlossenen Zustand (weil das der Drucktest ergeben hat). Es konnte somit nur noch durch die verbleibende intakte Einspritzdüse Kraftstoff in Zylinder Nr. 5 eingespritzt werden. Der Rest der Kraftstoffmasse, die die Einspritzpumpe fördert, dürfte aufgrund des halbierten Drosselquerschnittes unter erhöhtem (Einspritz-)Druck über Leckage abgesteuert worden sein. Folglich wurde in Zylinder Nr. 5 deutlich weniger Kraftstoff je Arbeitsspiel eingespritzt als in die übrigen Zylinder. Dadurch erfuhr dieser Zylinder weniger Last als die übrigen Zylinder, wodurch dessen Abgastemperatur im Vergleich zu den übrigen Zylindern gefallen ist, und zwar um mehr als 60K. Der zugehörige Alarm ist üblich, weil die Abgastemperaturen der einzelnen Zylinder mit dem Mittelwert aller Zylinder verglichen werden und um nicht mehr als 60K vom Mittelwert abweichen dürfen.



DESC	FUNC	VALUE	UNIT	EVENT	LIMIT	DATE	TIME
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		ALARM	OFF	13/01/2017	23:33:55.80
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		ALARM	OFF	13/01/2017	23:33:56.80
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:33:59.00
AUX. BOILER COMMON SHUTDOWN	SHD	OFF		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:33:59.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:33:59.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:03.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:03.00
AUX. BOILER COMMON SHUTDOWN	SHD	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:11.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:12.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:12.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:14.85
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:15.00
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:19.87
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:19.87
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	OFF		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:22.76
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:22.76
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:34:24.09
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:34:24.09
AUX. BOILER LOW OIL TEMP	TAL	ON		DI ACK	OFF	13/01/2017	23:35:33.32
NO 3 G/E JET FAIL	XA	ON		Normal	OFF	13/01/2017	23:35:33.32
NO 3 G/E JET FAIL	XA	OFF		ALARM	OFF	14/01/2017	00:39:37.40
NO 3 G/E JET FAIL	XA	ON		DI ACK	OFF	14/01/2017	00:40:10.45
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	ON		Normal	OFF	14/01/2017	00:40:10.45
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	14/01/2017	00:40:10.45
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	ON		Normal	OFF	14/01/2017	01:51:58.00
AUTO FILTER CLOGGED FOR M/E FSU	XA	OFF		Normal	OFF	14/01/2017	01:52:25.54
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	14/01/2017	01:53:21.85
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	14/01/2017	01:53:21.85
AUTO FILTER CLOGGED FOR M/E FSU	XA	ON		ALARM	OFF	14/01/2017	01:58:17.60
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		Normal	OFF	14/01/2017	01:58:18.00
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	14/01/2017	01:58:45.00
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	14/01/2017	01:58:57.10
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	14/01/2017	01:58:57.10
ME NO 5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	OFF		Normal	OFF	14/01/2017	02:37:33.80
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	14/01/2017	02:38:01.10
ME NO 5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-81.26	Deg.C	< L	OFF	14/01/2017	02:38:16.71
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		ALARM	-80.00	14/01/2017	03:02:50.80
ME NO 5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-84.89	Deg.C	LO ACK	OFF	14/01/2017	03:03:40.60
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	ON		Normal	-80.00	14/01/2017	03:03:40.60
ME NO 5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	OFF		DI ACK	OFF	14/01/2017	03:03:50.43
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		L Norm	OFF	14/01/2017	03:03:57.43
AUTO FILTER CLOGGED FOR G/E FSU	XA	-59.92	Deg.C	ALARM	-80.00	14/01/2017	03:04:40.00
COMMON ALARM FOR G/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	14/01/2017	04:15:15.40

Abbildung 12: Screenshot aus dem AMS der CAPE LEONIDAS vom 14.01.2017

- Der durch entsprechende Alarmaufzeichnungen belegte Ausfall des kraftstoffgefeuerten Hilfs-Kessels (Aux. Boiler) am 16.01. deutet ebenfalls auf Viskositäts- und Temperaturprobleme während der Kraftstoff-Umschaltung hin. Dadurch fällt in Folge die Vorwärmung der Bunkertanks aus.
- Seit dem 16.01. 09:00:38 Uhr befand sich der Motor vorübergehend nicht mehr in betriebsbereitem Zustand, wurde also anscheinend abgestellt. Das muss manuell geschehen sein, da kein Alarm auf ein automatisches Abschalten hindeutet.
- Anscheinend wurde am 16.01. wiederholt versucht, den Motor erneut zu starten. Alarme zum Abstellen des Motors fehlen bisweilen. Die Fehlversuche können anhand der niedrigen Startluftdrücke vermutet werden, außerdem aus einem entsprechenden Alarm von 21:06:03 Uhr.
- Im Übergang vom 16. zum 17.01. scheint der Start geglückt zu sein, da am 17.01. um 03:29:04 Uhr erneut der Alarm der Temperaturabweichung an Zylinder Nr. 5 erfolgt, was auf einen Motorlauf, aber das fortbestehende Problem der klemmenden Düse hinweist.

- Binnen weniger Sekunden wird anschließend eine Leistungs- bzw. Drehzahlreduzierung angekündigt und die Abweichung der Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5 steigt um weitere 15K. Die Automation hat in dem Fall einen zweiten Setpoint, der neben der Ausgabe eines Alarms („Gelbalarm“) bei weiterem Anstieg der Abweichung eine Leistungsreduzierung zunächst ankündigt und später ausführt („Rotalarm“), wenn sich die Temperaturabweichung nicht normalisiert.
- Eine Sekunde später, um 03:29:18 Uhr, löst die Automation den „Auto Slow Down“-Betrieb, also die angekündigte Leistungsreduzierung, aus (vgl. **Abb. 13**). Dieser Alarm bzw. diese Reduzierung fällt zusammen mit dem im Maschinentagebuch vermerkten Zeitpunkt des Beginns des Motorausfalls und stellt damit nach Einschätzung des Autors den kritischen Moment dar.

DESC	FUNC	VALUE	UNIT	EVENT	LIMIT	DATE	TIME
ME START FAIL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	21:06:03.00
ME START FAIL	XA	OFF		DI ACK	OFF	16/01/2017	21:08:43.00
ME START FAIL	XA	OFF		Normal	OFF	16/01/2017	21:07:05.65
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	23:06:34.40
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		DI ACK	OFF	16/01/2017	23:07:17.00
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	ON		Normal	OFF	16/01/2017	23:08:03.00
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	23:26:13.60
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		DI ACK	OFF	16/01/2017	23:26:52.09
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	ON		Normal	OFF	16/01/2017	23:27:48.06
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	23:29:50.00
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	ON		Normal	OFF	16/01/2017	23:30:28.56
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	23:30:36.03
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	ON		Normal	OFF	16/01/2017	23:32:51.00
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	OFF		ALARM	OFF	16/01/2017	23:33:29.21
G/E LO PURI. ABNORMAL	XA	ON		Normal	OFF	16/01/2017	23:33:32.21
ALCU COMMON ALARM	XA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	03:27:28.20
ALCU COMMON ALARM	XA	OFF		DI ACK	OFF	17/01/2017	03:28:08.92
ALCU COMMON ALARM	XA	ON		Normal	OFF	17/01/2017	03:28:40.06
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-84.95	Deg.C	< L	-80.00	17/01/2017	03:29:04.80
ME EMCY SLOW DOWN PREWARNING	XA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	03:29:12.20
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-75.48	Deg.C	< LL	-70.00	17/01/2017	03:29:17.60
ME AUTO SLOW DOWN	SLA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	03:29:18.40
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-86.92	Deg.C	< L	-80.00	17/01/2017	03:29:45.76
ME EMCY SLOW DOWN PREWARNING	XA	OFF		DI ACK	OFF	17/01/2017	03:29:51.56
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-77.71	Deg.C	Normal	OFF	17/01/2017	03:29:53.71
ME AUTO SLOW DOWN	SLA	OFF		LL ACK	-70.00	17/01/2017	03:29:56.25
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-89.14	Deg.C	Normal	OFF	17/01/2017	03:29:56.25
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-89.14	Deg.C	Normal	OFF	17/01/2017	03:29:56.25
ME NO.5 CYL EXH GAS OUT TEMP DEV.	TIAH	-89.14	Deg.C	Normal	OFF	17/01/2017	03:41:52.17
FWD. I.C.C.P ABNORMAL	XA	-59.94	Deg.C	LL Norm	-70.00	17/01/2017	03:41:52.17
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		L Norm	-80.00	17/01/2017	03:43:13.92
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	04:00:06.00
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	17/01/2017	04:00:06.00
VISCOSITY LOW FOR M/E FSU	XA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	04:00:51.10
AUTO FILTER CLOGGED FOR M/E FSU	VAL	ON		Normal	OFF	17/01/2017	04:05:59.00
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	ON		Normal	OFF	17/01/2017	04:06:34.21
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	ON		Normal	OFF	17/01/2017	04:06:55.09
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		Normal	OFF	17/01/2017	04:06:55.09
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	OFF		DI ACK	OFF	17/01/2017	04:07:14.87
COMMON ALARM FOR M/E FSU	XA	ON		ALARM	OFF	17/01/2017	04:08:19.00
ALCU COMMON ALARM	XA	OFF		Normal	OFF	17/01/2017	04:08:19.00
	XA	OFF		DI ACK	OFF	17/01/2017	04:10:04.51
	XA	OFF		ALARM	OFF	17/01/2017	04:10:17.20

Abbildung 13: Screenshot aus dem AMS der CAPE LEONIDAS vom 17.01.2017

- Es folgen mehrere Versuche während der kommenden Stunden, den Motor zu starten, die jedoch scheitern.

2.3.2.2.4 Auswertung der VDR-Daten

Der aufgezeichnete Datensatz des Schiffsdatenschreibers (VDR) beginnt am 16.01. um 22:54 Uhr, also am Abend vor der Havarie. Der Zeitraum der Kraftstoffumschaltung am frühen Morgen des 14.01. stand daher für die Auswertung nicht zur Verfügung.

Anhand der Aufzeichnung des VDR ereignete sich der endgültige Ausfall der Hauptmaschine (interpretiert durch den Fall der Drehzahl auf null) am 17.01. um 04:14 Uhr.

In **Abbildung 14** ist zunächst der Verlauf der Soll- und Ist-Drehzahl des Hauptmotors dargestellt, der sich aus einer ersten Auflistung („NMEAroh.xlsx“) der VDR-Daten ergeben hat. Diese Auflistung, die dem Sachverständigen durch die BSU zur Verfügung gestellt wurde, ist zeitlich recht grob gerastert, das Zeitintervall beträgt fünf Minuten.

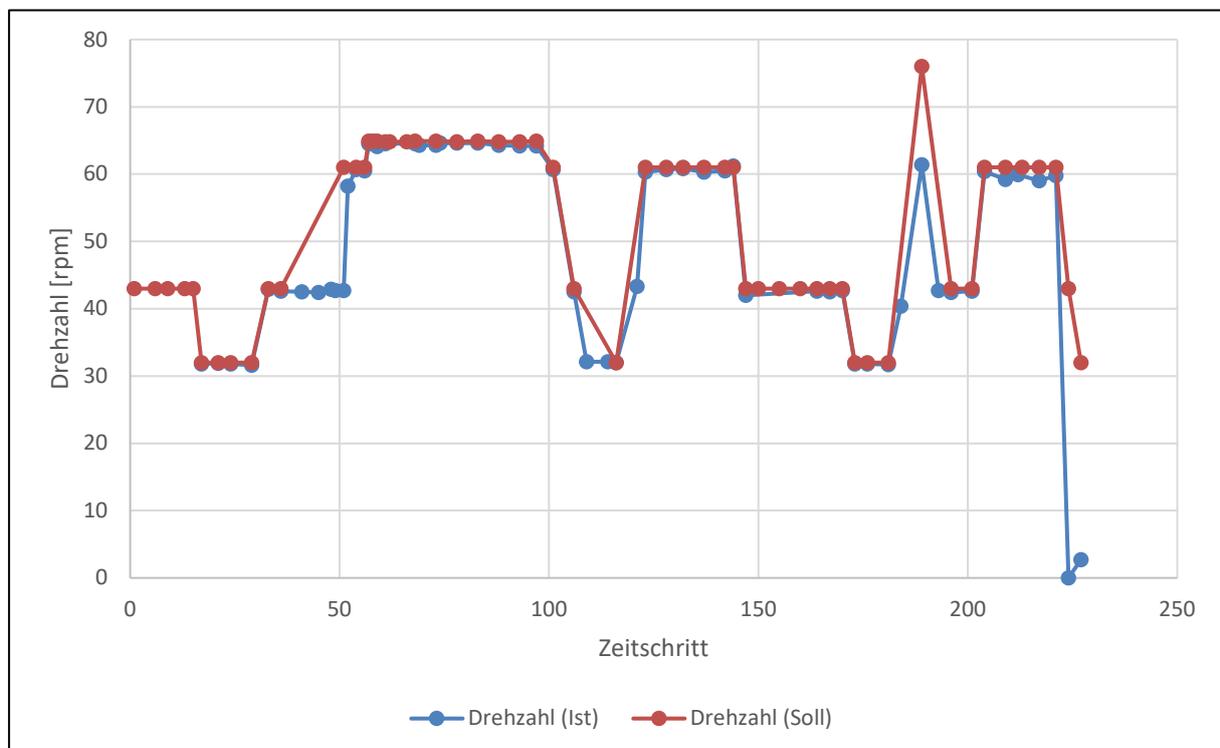


Abbildung 14: Drehzahlverlauf vom 16.01. 22:54 Uhr bis zur Havarie (5-Minuten-Raster)

Die Darstellung beginnt am 16.01. um 22:54 Uhr und endet am 17.01. um 04:19 Uhr (Zeitschritt 230). Der vorletzte Zeitschritt liegt bei 04:14 Uhr. Zu dem Zeitpunkt ist die Ist-Drehzahl auf null gefallen, obwohl der Sollwert bei 43 rpm (revolutions per minute, = Umdrehungen pro Minute) liegt. Dieser Zeitpunkt kann als Zeitpunkt des Ausfalles gedeutet werden. In der Stunde zuvor sind diverse Drehzahlwechsel zu erkennen, wobei gegen Zeitschritt 190 eine Erhöhung der Soll-Drehzahl auf ca. 76 rpm erfolgt, der jedoch eine Erhöhung der Ist-Drehzahl auf nur 62 rpm folgt. Diese Erhöhung ist von einer Drehzahlreduzierung gefolgt, anschließend erfolgt wieder eine Erhöhung auf 62 rpm und endlich das Abstellen des Motors bei Zeitschritt 229, obwohl die Soll-Drehzahl weiterhin bei 43 rpm liegt.

Um den Verlauf der Drehzahl besser deuten zu können, wurde dem Sachverständigen eine feinere Auflösung (in 1 Sekunden-Schritten) der maßgeblichen VDR-Daten durch die BSU zur Verfügung gestellt. Diese ist in den **Abbildungen 15 und 16** zu sehen.

In **Abbildung 15** ist der Zeitbereich am 17.01. von 03:30:00 Uhr (Zeitschritt 1) bis 04:16:35 Uhr (Zeitschritt 792) dargestellt. **Abbildung 16** zeigt als Vergrößerung den Zeitbereich am 17.01. von 04:07 Uhr bis 04:16 Uhr, also die letzten relevanten Minuten bis zum Stillstand des Motors.

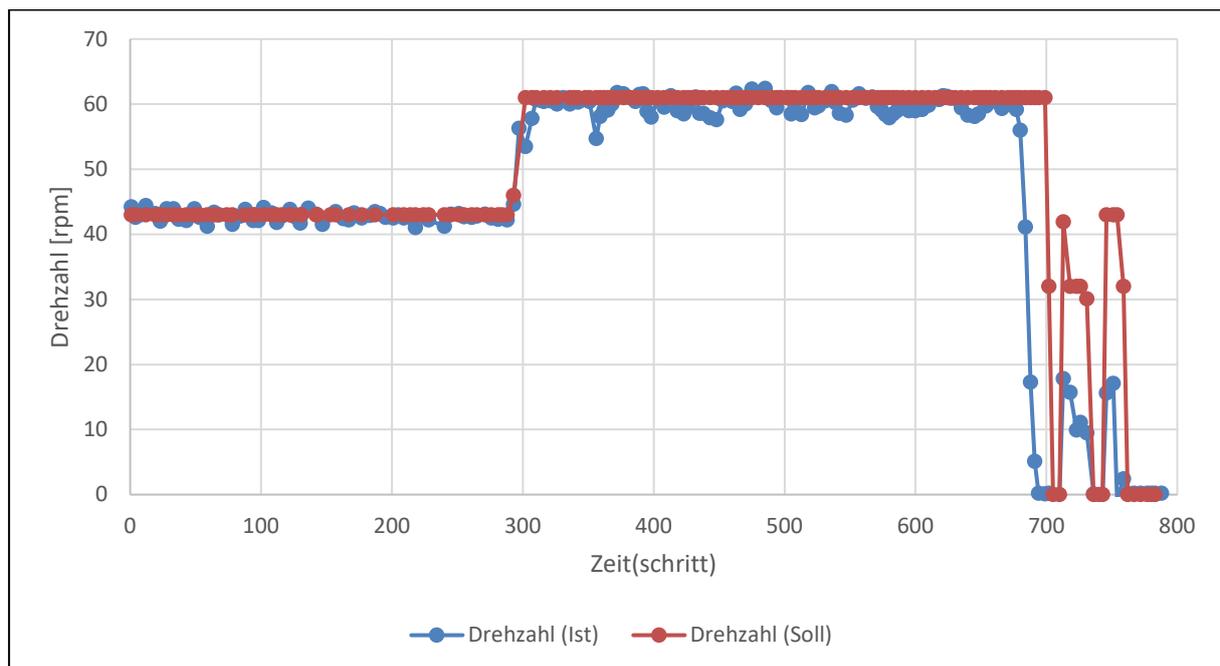


Abbildung 15: Drehzahlverlauf vom 17.01. 03:30 Uhr bis zur Havarie (1-Sekunden-Raster)

Abbildung 15 lässt erkennen, dass nach einem stabilen Drehzahlniveau von 43 rpm (Soll = Ist) die Drehzahl auf ein ebenfalls stabiles Niveau von ca. 61 rpm (Soll = Ist) angestiegen ist. Um Zeitschritt 680 jedoch fällt die Drehzahl trotz des konstanten Sollwertes von 61 rpm auf null. Der Sollwert reagiert kurz darauf und wird ebenfalls auf null gesetzt. Anschließend folgen mehrere Sollwertvorgaben von 43 rpm, auf die jeweils ein kurzer Drehzahlanstieg auf ca. 18 rpm erfolgt, bis zuletzt sowohl Soll- als auch Ist-Wert auf null stehen bleiben. Die letztgenannten Vorgänge können als Startversuche interpretiert werden: Die Automation gibt einen Sollwert vor, der zu einer Aktivierung des Startluftsystems führt. Daraufhin steigt die Ist-Drehzahl zwar, aber nicht über die pneumatische Anlassdrehzahl hinaus, woraufhin der Startversuch jeweils abgebrochen wird.

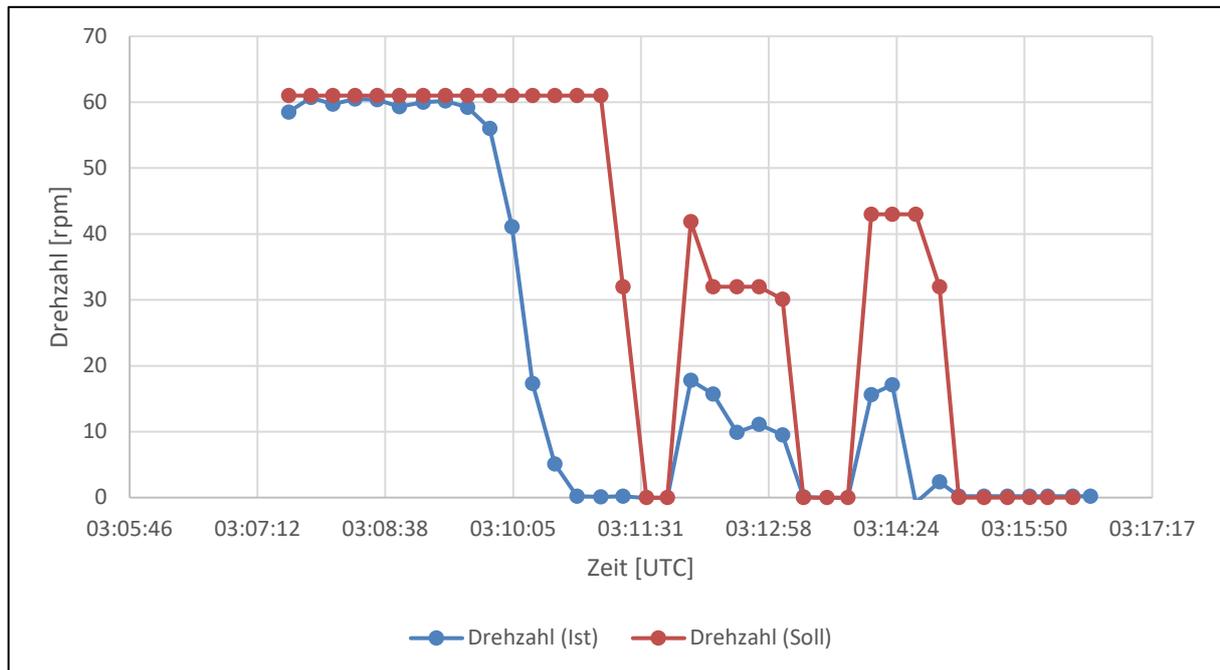


Abbildung 16: Drehzahlverlauf (Großaufnahme) im Moment der Havarie

Abbildung 16 zeigt diesen Vorgang in vergrößerter Auflösung. Nachdem der Motor um 04:09 Uhr ausgefallen ist (Ist-Drehzahl fällt auf null, Solldrehzahl bleibt bei 61rpm), reagiert die Automation zweimal mit Soll-Drehzahlvorgaben von 43 rpm, denen der Motor jedoch nicht folgen kann. Der Zeitpunkt 04:14 Uhr kann so interpretiert werden, dass entweder durch die Automation oder durch manuelles Eingreifen verursacht die Startversuche aufgegeben wurden.

2.3.2.3 Interpretation der Befunde, Ausfallursache

Durch den Abgleich der Befunde des Bordbesuches, der Auswertung der Alarmliste und der VDR-Daten scheint es plausibel, dass der Motor durch die verklemmte Einspritzdüse an Zylinder Nr. 5 und die daraus resultierende und bei erhöhter Last zunehmende Abweichung der Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5 am 17.01. um 04:14 Uhr abgestellt werden musste und sich nicht wieder starten ließ. Damit war das Schiff manövrierunfähig.

2.3.2.4 Rekonstruktion des Verlaufes der Havarie

Die folgende Rekonstruktion des vermutlichen technischen Verlaufes der Havarie basiert auf den faktischen Hinweisen und deren Interpretation durch den Sachverständigen.

Demzufolge wurde am 14.01. gegen 01:30 Uhr mit dem Umschalten von IFO auf MGO kurz vor Einfahrt in die SECA-Zone begonnen. In diesem Zeitraum liefen die ersten relevanten Alarme bezüglich des Kraftstoff-Versorgungssystems des Hauptmotors auf. Die Umschaltung erfolgte gemäß den technischen Gegebenheiten an Bord des Schiffes manuell und dauerte gemäß dem diesbezüglichen Eintrag im Maschinentagebuch insgesamt 30 Minuten. Der Vorgang wurde also in einer kürzeren Zeitspanne durchgeführt als dies gemäß Aushang im Maschinenkontrollraum vorgegeben war.

Etwa eine Stunde später fiel die Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5. Seit diesem Zeitpunkt scheint eine der beiden Einspritzdüsen von Zylinder Nr. 5 verklemmt gewesen zu sein. Das Klemmen hat zwar zu einer Abweichung der Abgastemperatur vom Mittelwert der übrigen Zylinder geführt, beeinträchtigte jedoch zunächst nicht die Lauffähigkeit des Motors.

Zumindest im verfügbaren Aufzeichnungsbereich des VDR wurde die Fahrt bei reduzierter Motordrehzahl bzw. Schiffsgeschwindigkeit fortgesetzt. Auf wiederholte Versuche zur behutsamen Erhöhung der Drehzahl über den kritischen Drehzahlbereich bezüglich Drehschwingungen („Barred Speed Range“, hier >61 rpm) folgte stets eine Reduzierung auf eine niedrige Drehzahl unterhalb des kritischen Drehzahlbereiches (<43 rpm). Damit scheint sich die Abweichung der Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5 stets innerhalb des Gelbalarm-Bereiches von <60K befunden zu haben. Nach dem Lotsenwechsel am 17.01. um 03:30 Uhr wurde allerdings die Drehzahl auf Wunsch des Lotsen versuchsweise zwecks Steigerung der Schiffsgeschwindigkeit erhöht, um mit dem aktuellen Hochwasser Hamburg zu erreichen. Daraufhin wurde jedoch die Abweichung der Abgastemperatur von Zylinder Nr. 5 so hoch, dass der Motor abgestellt wurde bzw. abgestellt werden musste. Anschließende Startversuche gelangen nicht.

2.3.2.5 Zusammenfassung und Fazit des Sachverständigen

Wahrscheinlich war ein zu schnelles manuelles Umschalten von IFO auf MGO vor Einfahrt in die SECA-Zone zwei Tage vor der Havarie ursächlich für den späteren Ausfall des Motors.

Vermutlich in Folge des zu schnellen Umschaltens verklemmte sich eine von zwei Einspritzdüsen von Zylinder Nr. 5, wodurch die Abgastemperatur dieses Zylinders gegenüber dem Mittelwert der anderen Zylinder fiel. Dies wurde von der Automation und dem Alarmsystem erkannt. Eine Weiterfahrt unter reduzierter Geschwindigkeit bzw. Motordrehzahl verhinderte eine noch stärkere Abweichung. Nachdem der Elblotse (ohne Kenntnis der Einschränkung des Motorbetriebes) für die zeitgerechte Bewältigung der letzten Etappe der Revierfahrt eine Erhöhung der Geschwindigkeit empfohlen hatte, löste die steigende Temperaturabweichung ein Abschalten des Motors aus, woraufhin sich dieser nicht wieder starten ließ.

Nach Einschätzung des Sachverständigen kann die Formulierung der im Maschinenkontrollraum ausgehängten, die Kraftstoffumschaltprozedur betreffende Anweisung, nach der die Umschaltung „etwa“ 45-60 Minuten in Anspruch nehmen soll, missverstanden werden. Die fragliche Formulierung kann von Personen ohne vertiefte Kenntnisse des technischen Sachverhaltes so interpretiert werden, dass diese Angabe als Höchstdauer zu verstehen ist. Tatsächlich ist sie aber als Mindestdauer zu verstehen. Es wird daher empfohlen, die Formulierung „etwa“ („about“) durch „mindestens“ („at least“) zu ersetzen.

3 FAZIT

3.1 Ursache des Maschinenausfalls

Ergebnis der durchgeführten labortechnischen Untersuchungen des defekten Einspritzventils und der eingesetzten Kraftstoffe sowie der detaillierten Analyse der vom Alarm Monitoring System der CAPE LEONIDAS aufgezeichneten, den Betrieb der Hauptmaschine betreffenden Alarme durch den von der BSU beauftragten Sachverständigen ist, dass höchstwahrscheinlich thermische Einwirkungen ca. zwei Tage vor der Havarie zum Verklemmen eines der beiden Einspritzventile von Zylinder Nr. 5 der Hauptmaschine geführt haben. Die Abgastemperatur dieses Zylinders fiel dadurch dauerhaft ab. Dieses Manko konnte von der Automation der Hauptmaschine zunächst kompensiert werden. Im Zuge der anlässlich der Revierfahrt auf der Elbe erforderlichen Fahrterhöhung verstärkten sich die negativen Auswirkungen der eingeschränkten Funktionsfähigkeit des Zylinders Nr. 5 auf den Gesamtbetrieb der Hauptmaschine jedoch derart, dass ein Stoppen des Motors unausweichlich war.

Ursächlich für die o. g. thermischen Einwirkungen auf das fragliche Einspritzventil war vermutlich das zu schnelle Umschalten auf den niedrigschwefligen Kraftstoff (MGO) anlässlich des Einfahrens der CAPE LEONIDAS in die SECA-Zone. Der von der BSU beauftragte Sachverständige hat in seinem oben auszugsweise zitierten Gutachten überzeugend erläutert, dass und warum ein zu schneller Kraftstoffwechsel negative Auswirkungen auf das Kraftstoffsystem und insbesondere die Funktionsfähigkeit von Einspritzventilen haben kann.

Fest steht, dass die zeitliche Vorgabe in der im Maschinenkontrollraum ausgehängten Betriebsanweisung für die Umschaltprozedur („*Time required for changing over about 45 ~ 60 minutes.*“) beim Umschalten auf MGO am frühen Morgen des 14. Januar 2017 unterschritten wurden und der Defekt des Einspritzventils höchstwahrscheinlich in unmittelbarer zeitlicher Nähe zu diesem Umschaltprozess eintrat.

Der Geschehensablauf und die vom Sachverständigen beschriebenen, die fraglichen Kraftstoffumschaltprozesse begleitenden physikalischen Effekte sprechen mithin dafür, dass die zu schnelle Kraftstoffumschaltung anlässlich des Einfahrens in die SECA-Zone Ausgangspunkt der zum endgültigen Maschinenausfall führenden Kausalkette war.

Nach Auffassung des Sachverständigen, der sich die BSU vorbehaltlos anschließt, dürfte das zu schnelle Umschalten in entscheidendem Maße durch die nicht eindeutige bzw. nicht klar verständliche Formulierung in der Betriebsanweisung für die Umschaltprozedur, nach der die Umschaltung eine Zeit von „etwa“ 45-60 Minuten „benötigt“, begünstigt worden sein. Die fragliche Formulierung kann von Personen ohne vertiefte Kenntnisse der anlässlich der temporären Kraftstoffvermischung auftretenden physikalischen Effekte so interpretiert werden, dass diese Angabe als Höchstdauer zu verstehen ist. Tatsächlich handelt es sich aber um die Mindestdauer, die unbedingt beachtet werden muss, um nachteilige Folgen für die Funktionsfähigkeit des Kraftstoffsystems und damit der Hauptmaschine insgesamt auszuschließen. Die fragliche Formulierung sollte daher nicht „etwa“ („about“) sondern „mindestens“ („at least“) lauten. Die Problematik der Diskrepanz zwischen der missverständlich

interpretierbaren, aber technisch sehr wichtigen Vorgabe in der Betriebsanweisung und der tatsächlichen (kürzeren) Zeitspanne, in der man die Kraftstoffumschaltung zwei Tage vor der Havarie durchgeführt hatte, wurde dementsprechend bereits anlässlich des Bordbesuchs wegen der grundsätzlichen Bedeutung des Themas mit den Ingenieuren des Schiffes im Maschinenkontrollraum besprochen und von diesen eine Änderung des Aushangs angekündigt.

3.2 Krisenmanagement

Der Ausfall der Hauptmaschine der CAPE LEONIDAS hatte außer dem vorübergehend erforderlichen Notankern des Schiffes im Fahrwasser und der daraus resultierenden partiellen Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs auf der Elbe keine Auswirkungen auf das Schiff und die Umwelt. Insbesondere die drohende Grundberührung bzw. ein Festkommen des Schiffes und eine daraus ggf. folgende Umweltverschmutzung oder längerfristige Sperrung der Zufahrt zum Hafen Hamburg konnten vermieden werden.

Die Auswertung der Aufzeichnung des Schiffsdatenschreibers hat ergeben, dass der äußerst glimpfliche Ausgang der Havarie in erster Linie dem sehr besonnenen und fachlich versierten Agieren des Lotsen an Bord der CAPE LEONIDAS zu verdanken ist. Seine in Abstimmung mit der Vtz getroffene Entscheidung, das Schiff nach dem Ausfall der Maschine mit abnehmender Restfahrt zunächst weiter die Elbe hinaufzusteuern und insbesondere seine den Schleppereinsatz koordinierende Tätigkeit verdienen aus Sicht der BSU höchste Anerkennung. Diese Einschätzung gilt im selben Maße auch für die Schiffsführer und übrigen Besatzungsmitglieder der über mehrere Stunden mit der Sicherung der CAPE LEONIDAS befassten Schlepper.

3.3 Schlussbemerkung

Die Untersuchung des Maschinenausfalls an Bord der CAPE LEONIDAS hat einmal mehr die grundsätzliche Erkenntnis bestätigt, dass technische, den Schiffsbetrieb und/oder die Schiffskonstruktion betreffende Maßnahmen, die der Erhöhung des Umweltschutzes dienen und Ergebnis diesbezüglicher internationaler Vereinbarungen und Regelwerke sind, zu neuartigen Risiken im Hinblick auf einen sicheren Schiffsbetrieb führen, die dann ihrerseits große Gefahren für Schiffsbesatzungen und die Umwelt zur Folge haben können. Umso wichtiger ist es daher, im Rahmen der Organisation des sicheren Schiffsbetriebs und insbesondere auch anlässlich der Aus- und Fortbildung der Seeleute, den mit der Einführung neuartiger Technologien einhergehenden spezifischen und ggf. ebenfalls neuartigen Risiken und insoweit zu beachtenden Vorsichtsmaßnahmen unbedingt die erforderliche Beachtung zu schenken. Da diese Erkenntnis sich nicht an einen bestimmten, eng zu umreisenden Adressatenkreis richtet und im Übrigen die Havarie der CAPE LEONIDAS weitgehend folgenlos blieb, verzichtet die BSU auf die Herausgabe einer diesbezüglichen Sicherheitsempfehlung anlässlich des Vorkommnisses. Mit der Veröffentlichung des vorliegenden summarischen Untersuchungsberichtes soll dem Fachpublikum aber auch der übrigen interessierten Öffentlichkeit gleichwohl die Möglichkeit gegeben werden, Kenntnis von den Ursachen der Havarie der CAPE LEONIDAS insbesondere vor dem Hintergrund des insoweit betroffenen Spannungsfeldes, in dem sich Schiffssicherheit einerseits und gesteigerte Umweltschutzanforderungen andererseits systembedingt oftmals bewegen, zu nehmen.

4 QUELLENANGABEN

- Informationen von Bord der CAPE LEONIDAS (Zeugenaussagen, Dokumente)
- Aufzeichnungen des Schiffsdatschreibers (VDR) der CAPE LEONIDAS
- Alarmprotokoll der Maschinenanlage der CAPE LEONIDAS
- Untersuchungsbericht Nr. 2017/0052 vom 15.02.2017 „Werkstofftechnische Untersuchung an einem geschädigten Kraftstoffeinspritzventil“, MAN Diesel & Turbo SE PrimeServ Hamburg (Werkstoffprüflaboratorium)
- Analysis Report Nr. 10303/00014027.1/L/17 (Kraftstoffanalyse) vom 06.02.2017, Saybolt van Duyn GmbH, Hamburg
- Gutachten/Analysebericht zur Havarie von M/V CAPE LEONIDAS auf der Elbe im Januar 2017 vom 05.07.2017, Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz, Technische Universität Hamburg, Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau
- Fotos Polizei Hamburg

5 ANLAGE

Werkstofftechnische Untersuchung des geschädigten Kraftstoffeinspritzventils:

	Untersuchungsbericht Examination report	Nr. 2017/0052 No. Rev. 0 Seite 1/6 Page
	Bearbeiter: Gross / Surajew Author	Datum 15.02.2017 Date
<p>Auftraggeber: Technische Universität Hamburg-Harburg Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau (M-12) Am Schwarzenberg-Campus 4 21073 Hamburg z. Hd. Herrn Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz</p> <p>Anlage: MV Cape Leonidas Maschinen-Typ: S70MC-C IMO-Nr.: 9488865 Baujahr: 2010</p> <p>Werkstofftechnische Untersuchung an einem geschädigten Kraftstoffeinspritzventil</p> <p>Vorbemerkungen</p> <p>Am 17. Januar 2017 ereignete sich während eines Motorenbetriebes ein Triebwerksschaden am Hauptmotor des Frachtschiffes MV Cape Leonidas. Bei der ersten Vorort-Schadensbewertung wurde ein nicht intaktes Kraftstoffeinspritzventil vorgefunden. Dieses schadhafte Einspritzventil wurde dann am 27. Januar im Hause der MAN Diesel & Turbo SE / PrimeServ Hamburg einer weiteren Begutachtung unterzogen. Bei der Begutachtung ist das komplette Schadensteil in seine Einzelteile zerlegt worden, wobei ein Verklemmen der Düsennadel im Düsenkörper festgestellt wurde. Diese beiden Bauteile sind danach unter Krafteinwirkung auseinandergenommen worden. Auffällig dabei waren mehrere Oberflächenbeschädigungen im Bereich der Mantelfläche der Düsennadel sowie der Innenbohrung des Düsenkörpers. Diese Oberflächenbeschädigungen sollten laut Auftraggeber durch uns, dem akkreditierten und unabhängigen Werkstoffprüflabor im Hause der MAN, mikroskopisch untersucht werden. Bei der Untersuchung sollte festgestellt werden, ob das Verklemmen der beiden Komponente durch eine thermische Einwirkung oder durch abrasive Fremdpartikel hervorgerufen wurde.</p> <p>Untersuchungsumfang</p> <p>Die schadhafte Oberflächenabschnitte des Düsenkörpers und der Düsennadel wurden mittels Stereo- sowie Raster-Elektronen-Mikroskopie hinsichtlich der Schädigungsart untersucht.</p> <p>Ergebnisse</p> <p>Sowohl der Düsenkörper als auch die Düsennadel sind von Beschädigungen an der Oberfläche gezeichnet (<i>siehe Seite 3</i>). Die Oberflächenbeschädigungen an der Düsennadel wurden im Raster-Elektronen-Mikroskop einer weiteren Untersuchung unterzogen. Dabei konnten keine Anzeichen von Korrosion oder Fremdpartikeln gefunden werden. Alle Einspritzlöcher waren frei von Partikeln und Ablagerungen. Auffällig waren Materialausbrüche an der Manteloberfläche, die höchstwahrscheinlich durch das Verklemmen der beiden Komponenten und dem anschließenden Heraustreiben (Demontage der Komponenten) der Düsennadel aus dem Düsenkörper hervorgerufen wurden (<i>siehe Seiten 4-6</i>). Schlussfolgernd daraus liegt die Vermutung nahe, dass eine thermische Einwirkung zum Verklemmen der beiden Komponenten führte.</p>		
Dipl.-Ing. N. Gross		Distribution list: Technische Universität Hamburg-Harburg MAN Diesel & Turbo SE
<small>Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichtes ist ohne schriftliche Genehmigung nicht gestattet. The test results relate exclusively to the test item. Partial reproduction of this test report is not permitted without express approval in writing. Only the original text in German language is authentic.</small>		<small>Durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) akkreditiertes Prüflaboratorium Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren</small> 

	<p>Untersuchungsbericht Examination report</p>	<p>Nr. 2017/0052 No. Rev. 0 Seite 2/6 Page Datum 15.02.2017 Date</p>						
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="240 539 842 936">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0043</p> </td> <td data-bbox="874 546 1117 631"> <p>Anlieferungszustand Kraftstoffeinspritzventil</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 1048 842 1444">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0044</p> </td> <td data-bbox="874 1055 1284 1140"> <p>Markierung am Kraftstoffeinspritzventil JAN13 353</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 1556 842 1953">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0046</p> </td> <td data-bbox="874 1563 1197 1648"> <p>Einspritzventilkomponenten Düsenkörper und Düsennadel</p> </td> </tr> </table>			 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0043</p>	<p>Anlieferungszustand Kraftstoffeinspritzventil</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0044</p>	<p>Markierung am Kraftstoffeinspritzventil JAN13 353</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0046</p>	<p>Einspritzventilkomponenten Düsenkörper und Düsennadel</p>
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0043</p>	<p>Anlieferungszustand Kraftstoffeinspritzventil</p>							
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0044</p>	<p>Markierung am Kraftstoffeinspritzventil JAN13 353</p>							
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0046</p>	<p>Einspritzventilkomponenten Düsenkörper und Düsennadel</p>							

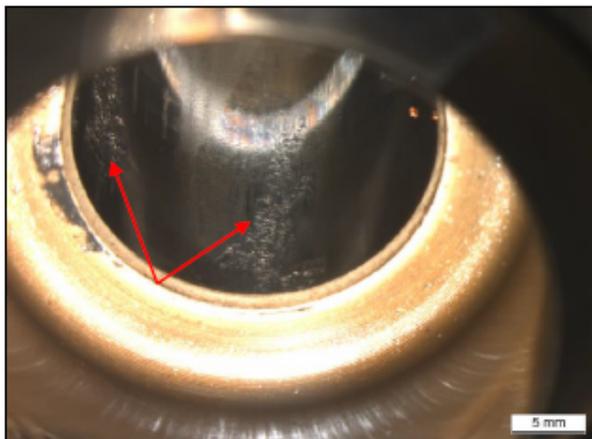
	Untersuchungsbericht Examination report	Nr. 2017/0052 No. Rev. 0
		Seite 3/6 Page Datum 15.02.2017 Date



Labor_2017.02.01_0049

Düsenkörper

Kennzeichnung: 391513050



Labor_2017.02.01_0105

Ansicht A

Die Innenbohrung weist in vier Bereichen Oberflächenbeschädigungen auf.

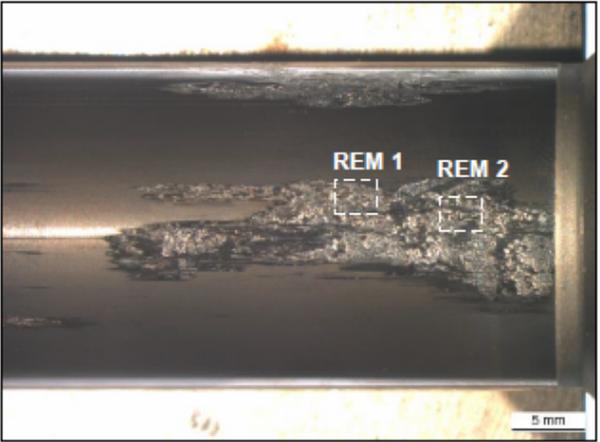
Oberflächenbeschädigungen, siehe Pfeilmarkierungen

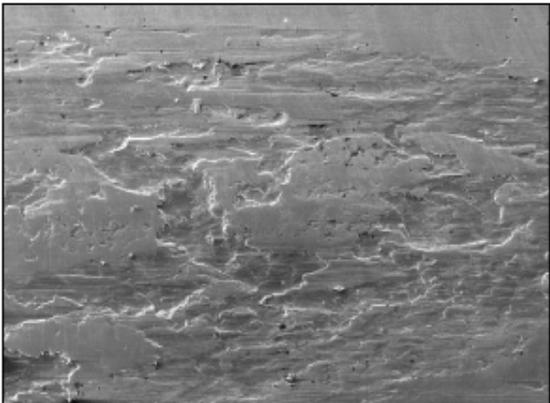
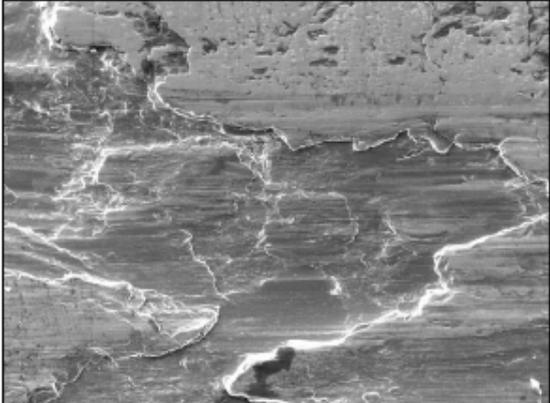
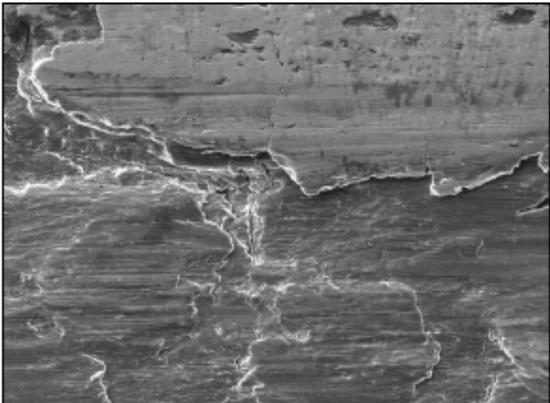


Labor_2017.02.01_0106

Detailvergrößerung

Oberflächenbeschädigungen

	Untersuchungsbericht Examination report	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: none;">Nr.</td> <td style="border: none;">2017/0052</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">No.</td> <td style="border: none;">Rev. 0</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Seite</td> <td style="border: none;">4/6</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Page</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Datum</td> <td style="border: none;">15.02.2017</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Date</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>	Nr.	2017/0052	No.	Rev. 0	Seite	4/6	Page		Datum	15.02.2017	Date	
Nr.	2017/0052													
No.	Rev. 0													
Seite	4/6													
Page														
Datum	15.02.2017													
Date														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0056</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Düsennadel</p> </div> </div>														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0057</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Weitere Ansicht</p> <p>Die Mantelfläche weist in vier Bereichen Oberflächenbeschädigungen auf.</p> <p>Oberflächenbeschädigungen, siehe Pfeilmarkierungen</p> </div> </div>														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center; font-size: small;">Labor_2017.02.01_0107</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Detailvergrößerung</p> <p>Oberflächenbeschädigungen</p> <p>REM-Untersuchung der Oberflächenbeschädigungen</p> <p>REM 1, siehe Seite 5 REM 2, siehe Seite 6</p> </div> </div>														

	Untersuchungsbericht Examination report	<table border="1"> <tr> <td>Nr.</td> <td>2017/0052</td> </tr> <tr> <td>No.</td> <td>Rev. 0</td> </tr> <tr> <td>Seite</td> <td>5/6</td> </tr> <tr> <td>Page</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Datum</td> <td>15.02.2017</td> </tr> <tr> <td>Date</td> <td></td> </tr> </table>	Nr.	2017/0052	No.	Rev. 0	Seite	5/6	Page		Datum	15.02.2017	Date	
Nr.	2017/0052													
No.	Rev. 0													
Seite	5/6													
Page														
Datum	15.02.2017													
Date														
 <p>SEM HV: 20.00 kV WD: 22.61 mm VEGAII TESCAN SEM MAG: 140 x Det: SE Detector 500 µm View field: 3.11 mm Date(m/d/y): 02/09/17 MAN PrimeServ Hamburg Labor_2017.02.01_0112</p>		<p>REM-Untersuchung der Oberflächenbeschädigungen</p> <p><u>REM 1</u></p> <p>Die Mantelfläche weist in diesem Bereich Fressspuren auf.</p>												
 <p>SEM HV: 20.00 kV WD: 22.61 mm VEGAII TESCAN SEM MAG: 677 x Det: SE Detector 200 µm View field: 641.4 µm Date(m/d/y): 02/09/17 MAN PrimeServ Hamburg Labor_2017.02.01_0113</p>		<p>Detailvergrößerung</p>												
 <p>SEM HV: 20.00 kV WD: 22.69 mm VEGAII TESCAN SEM MAG: 1.35 kx Det: SE Detector 100 µm View field: 321.2 µm Date(m/d/y): 02/09/17 MAN PrimeServ Hamburg Labor_2017.02.01_0114</p>		<p>Weitere Detailvergrößerung</p> <p>Ausgebrochenes Material</p> <p>Durch das Klemmen der Düsennadel im Düsenkörper und dem anschließenden Heraustreiben (Demontage der Komponenten) der Düsennadel aus dem Düsenkörper hervorgerufene Materialausbrüche.</p> <p>Abrasive Fremdpartikel auf der Mantelfläche wurden nicht festgestellt.</p>												

