



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

Untersuchungsbericht 405/18

Schwerer Seeunfall

**Zerstörung des Turboladers der Hauptmaschine
mit anschließendem Brand im Maschinenraum
der BALTIC BREEZE
auf der Nordsee
am 14. Oktober 2018**

21.07.2020

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@bsh.de

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

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	FAKTEN	7
2.1	Schiffsfoto.....	7
2.2	Schiffsdaten.....	7
2.3	Reisedaten	8
2.4	Angaben zum Seeunfall / Vorkommnis im Seeverkehr	8
3	UNFALLHERGANG UND UNTERSUCHUNG	10
3.1	Unfallhergang	10
3.1.1	Explosion des Turboladers.....	10
3.1.2	Brandbekämpfung durch die Besatzung	11
3.1.3	Weitere Ereignisse	12
3.2	Untersuchung	15
3.2.1	BALTIC BREEZE	15
3.2.2	Beginn der Untersuchung.....	16
3.2.3	Ermittlungen am 15.10.2018	16
3.2.4	Ermittlungen am 17.10.2018	21
3.2.5	Weiterer Fortgang der Untersuchung	27
3.2.6	Zusätzliche Untersuchungen	34
3.2.7	Weitere Feststellungen.....	35
3.2.8	Besatzung	35
4	AUSWERTUNG	36
4.1	Schaden am Abgasturbolader	36
4.2	Brandbekämpfung durch Besatzung	40
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	41
6	QUELLENANGABEN.....	43
7	ANLAGEN	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schiffsbild BALTIC BREEZE.....	7
Abbildung 2:	Unfallposition	8
Abbildung 3:	AIS-Track der BALTIC BREEZE am 14.10.2018	12
Abbildung 4:	Prinzipskizze Turboaufladung.....	17
Abbildung 5:	Technische Zeichnung des Turboladers	17
Abbildung 6:	Zerstörter Turbolader der Hauptmaschine	18
Abbildung 7:	Zerstörter Turbolader der Hauptmaschine	18

Abbildung 8: Blick auf die Hauptmaschine und die Turboladerplattform.....	19
Abbildung 9: Auffindeorte des Diffusorringes und eines Teils des Verdichterrades..	19
Abbildung 10: Schäden an Lampen und Kabeln.....	20
Abbildung 11: Schaden an der Farbbeschichtung	20
Abbildung 12: Ausdruck aus dem Alarmdrucker.....	22
Abbildung 13: Turboladerplattform mit Luftfiltergehäuse	23
Abbildung 14: Turboladerwelle mit Hydraulikmutter	24
Abbildung 15: Nahansicht der Bruchfläche der Turboladerwelle	24
Abbildung 16: Eine Hälfte des Verdichterrades	25
Abbildung 17: Lageschild der Verdichterseite.....	25
Abbildung 18: Bruchfläche auf der Welle mit Dauerschwingbruch	26
Abbildung 19: Gebrochener Fuß des Turboladers.....	26
Abbildung 20: Verdichterseite des Ladeluftkühlers	27
Abbildung 21: Verdichtergehäuse mit Einströmgehäuse	28
Abbildung 22: Luftfiltergehäuse	28
Abbildung 23: Transport von weiteren Bauteilen	29
Abbildung 24: Abgerissene Turbinenschaufeln und Riss im Lager.....	30
Abbildung 25: Beschädigter Düsenring	30
Abbildung 26: Gespaltenes Verdichterrad	31
Abbildung 27: Rückseite des Verdichterrades mit Dichtungslabyrinthen.....	32
Abbildung 28: Verformte und gebrochene Verdichterschaufeln mit Materialverschmierung	32
Abbildung 29: Gebrochene Verdichterschaufeln nahezu ohne Verformung	33
Abbildung 30: Ausschnitt aus Abbildung 29.....	33
Abbildung 31: Bruchfläche der Rotorwelle mit Ermüdungs- und Gewaltbruchanteil .	38

1 ZUSAMMENFASSUNG

Am 14.10.2018 war der unter der Flagge von Singapur fahrende Autotransporter BALTIC BREEZE auf dem Weg von Drammen nach Cuxhaven.

Das Schiff passiert Helgoland südwestlich und näherte sich der Lotsenversetzposition für die Elbe. Eine Stunde vor dem Erreichen dieser Position sollte mit dem Reduzieren der Drehzahl der Hauptmaschine begonnen werden. Dazu besetzten der 2. Technische Offizier und ein weiteres Besatzungsmitglied den Maschinenraum.

Gegen 01:40 Uhr¹ wurde das automatische Reduzieren der Drehzahl eingeleitet. Kurz darauf ereignete sich ein kurzes Pumpen des Abgasturboladers der Hauptmaschine. Dem folgte die mechanische Zerstörung der Verdichterseite des Turboladers. Das dabei austretende Öl entzündete sich und löste einen Brand aus.

Der 2. Technische Offizier reagierte auf den Brand mit dem Auslösen der auch im Bereich der Turboladerplattform installierten HI-FOG-Feuerlöschanlage und dem Betätigen des Schnellschlussventils für die Kraftstoffversorgung der Hauptmaschine. Er informierte auch die Brücke, von wo aus der Feueralarm für das Schiff ausgelöst wurde. Anschließend verließen die beiden Besatzungsmitglieder den Maschinenraum und begaben sich zur Musterstation.

Nach dem Einleiten der ersten Maßnahmen an Bord des Schiffes informierte der Kapitän um 02:00 Uhr die Verkehrszentrale (VKZ) German Bight über den Brand im Maschinenraum. Durch die VKZ erfolgte dann die Benachrichtigung der zuständigen Stellen an der deutschen Küste.

Die Schiffsführung der BALTIC BREEZE ging früh (um 02:43 Uhr) von einem Erlöschen des Brandes aus und bestätigte dies nach einer Kontrolle im Maschinenraum um 04:35 Uhr.

Zur Lageerkundung an Bord des Schiffes kamen zunächst Einsatzkräfte des Bundespolizeischiffes BAD BRAMSTEDT zum Einsatz. Daneben wurden weitere Polizeiboote und Schiffe der Schifffahrtsverwaltung alarmiert. Nach der Übernahme der Gesamteinsatzleitung durch das Havariekommando wurde eine Brandbekämpfungseinheit der Feuerwehr Cuxhaven mit einem Hubschrauber der Bundespolizei zum Schiff geflogen und dort um 07:14 Uhr abgewünscht.

Nach einer Nachschau durch die Feuerwehr und dem Lüften des Maschinenraums war das Schiff soweit wieder klar. Der zerstörte Turbolader verhinderte aber die sichere Weiterfahrt. Für das Einlaufen in Cuxhaven verfügte die dortige VKZ daher die Annahme geeigneter Schlepper.

Mit zwei festgemachten Schlepper aber aus eigener Kraft begann um 18:04 Uhr die Fahrt nach Cuxhaven. Hier machte die BALTIC BREEZE am 15.10.2018 um 00:24 Uhr an der Seebäderbrücke fest. Bis dahin wurde der Schleppzug durch das Gewässerschutzschiff MELLUM und eine Brandwache der Feuerwehr an Bord des

¹ Alle Zeiten im Bericht in Ortszeit = UTC+2 Stunden = Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ).

Havaristen begleitet. Mit dem Erreichen des Liegeplatzes beendete das Havariekommando die Gesamteinsatzleitung.

Bei der Zerstörung des Turboladers und durch den Brand wurde keine Person getötet oder verletzt. Es wurde keine Gewässerverunreinigung bekannt.

2 FAKTEN

2.1 Schiffsfoto



Abbildung 1: Schiffsbild BALTIC BREEZE

2.2 Schiffsdaten

Schiffsname:	BALTIC BREEZE
Schiffstyp:	Autotransporter
Flagge:	Singapur
Heimathafen:	Singapur
IMO-Nummer:	8312590
Unterscheidungssignal:	9VRQ
Eigner:	Wallenius Lines Singapore
Betreiber:	Wallenius Marine Singapore
Charterer:	United European Car Carriers
Baujahr:	1983
Bauwerft:	Kurushima Dockyard Co. Ltd.- Onishi Yard
Klassifikationsgesellschaft:	Lloyds Register
Länge ü.a.:	164,01 m
Breite ü.a.:	28,00 m
Tiefgang maximal:	9,91 m
Bruttoraumzahl:	29.979
Tragfähigkeit:	12.466 t
Maschinenleistung:	7.934 kW
Hauptmaschine:	Mitsubishi, 1 x 6UEC60HA
Geschwindigkeit:	18 kn
Werkstoff des Schiffskörpers:	Stahl
Schiffskörperkonstruktion:	Doppelboden
Mindestbesatzung:	12

2.3 Reisedaten

Abfahrtshafen:	Drammen/Norwegen
Anlaufhafen:	Cuxhaven/Deutschland
Art der Fahrt:	Berufsschiffahrt/International
Angaben zur Ladung:	Lastkraftwagen
Besatzung:	22
Tiefgang zum Unfallzeitpunkt:	T _V =5,70 m, T _A =6,50 m
Lotse an Bord:	Nein
Kanalsteurer:	Nein
Anzahl der Passagiere:	Keine

2.4 Angaben zum Seeunfall / Vorkommnis im Seeverkehr

Art des Seeunfalls:	Schwerer Seeunfall, Zerstörung des Turboladers und anschließender Brand im Maschinenraum
Datum/Uhrzeit:	14.10.2018, 01:50 Uhr
Ort:	Nordsee, Deutsche Bucht, nahe Tonne E3
Breite/Länge:	φ 54° 03,7'N λ 007° 52,0'E
Fahrtabschnitt:	Hohe See
Platz an Bord:	Maschinenraum
Menschlicher Faktor:	Nein
Folgen:	Zerstörung des Turboladers, schwere Brandschäden im Maschinenraum

Ausschnitt aus Seekarte 87 des BSH

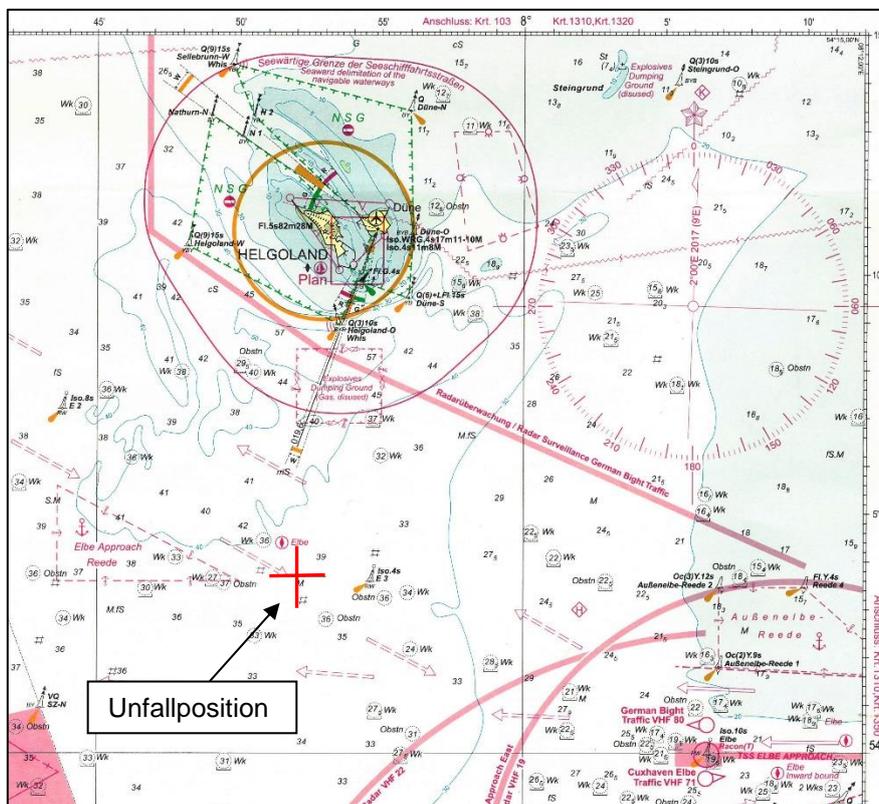


Abbildung 2: Unfallposition

2.5 Einschaltung der Behörden an Land und Notfallmaßnahmen

Beteiligte Stellen:	VKZ German Bight, Havariekommando, Bundespolizei, Wasserschutzpolizei (WSP) Schleswig-Holstein, WSP Revier Cuxhaven, Feuerwehr Cuxhaven
Eingesetzte Mittel:	Bundespolizeischiff BAD BRAMSTEDT (BP 24) und dessen Boarding Team, Hubschrauber der Bundespolizei, Küstenstreifenboot HELGOLAND, Küstenstreifenboot BÜRGERMEISTER BRAUER; Gewässerschutzschiff MELLUM, Gewässerschutzschiff NEUWERK in Bereitschaft ab Cuxhaven; Brandbekämpfungseinheit (BBE) der Feuerwehr Cuxhaven, BBE der Feuerwehr Bremerhaven in Bereitschaft; Ölaufklärungsflugzeug der Deutschen Marine
Ergriffene Maßnahmen:	Erfolgreiche Brandbekämpfung durch Besatzung, Schiff ankert in der Nähe der Tonne E3; erste Ermittlungen an Bord der BALTIC BREEZE durch ein Boarding Team der BAD BRAMSTEDT; Messungen der Temperatur der Außenhaut durch MELLUM; Ernennung der MELLUM zum On-Scene Coordinator; Übernahme der Gesamteinsatzleitung durch Havariekommando; Transport einer BBE (10 Einsatzkräfte) mit Hubschrauber zum Schiff, Bestätigung durch BBE, dass der Brand erloschen ist, anschließend Brandwache durch Feuerwehr bis zum Hafen; Kapitän des Schiffes ordert erforderliche Schlepper, Schiff wird durch festgemachte Schlepper nach Cuxhaven begleitet und macht dort mit Schlepperunterstützung fest; Aufnahme der Ermittlungen durch WSP Cuxhaven und Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung

3 UNFALLHERGANG UND UNTERSUCHUNG

3.1 Unfallhergang

Die Beschreibung des Unfallhergangs beruht auf den schriftlichen Stellungnahmen des Kapitäns, des 2. Technischen Offiziers² und eines weiteren Mitgliedes der Maschinenraumbesatzung³ sowie auf den Aufzeichnungen im Schiffs- und Maschinentagebuch.

Am 14.10.2018 war der unter der Flagge von Singapur fahrende Autotransporter BALTIC BREEZE auf dem Weg von Drammen nach Cuxhaven. Der Hafen von Drammen war am 12.10.2018 gegen 20:30 Uhr verlassen worden. An Bord des Schiffes befand sich eine Ladung von neun Lastkraftwagen und zwei Baggern.

Die Brücke des Schiffes war zum Beginn der nachfolgenden Ereignisse mit einem Nautischen Wachoffizier und einem Ausguck besetzt. Der Maschinenraum war, wie üblich in der Nacht, wachfrei.

Am 14.10.2018 war um 01:12 Uhr eine Kursänderung auf 120° durchgeführt worden, die das Schiff auf einen Kurs brachte, der parallel des empfohlenen Weges von Tonne E 1 zur Tonne E 3 führte. Im weiteren Verlauf passierte das Schiff Helgoland südwestlich und näherte sich der Lotsenversetzposition für die Elbe. In den frühen Morgenstunden wehte der Wind mit 5 bis 6 Bft aus südsüdöstlicher Richtung. Die Luft- und Wassertemperatur betragen ca. 16 °C. Es herrschte klare Sicht.

3.1.1 Explosion des Turboladers

Um 01:20 Uhr wurden der 2. Ingenieur und der Oiler telefonisch durch den Nautischen Wachoffizier gebeten, den Maschinenraum zu besetzen. Das Schiff hatte die zuvor festgelegte Grenze - eine Stunde bis Lotsenversetzposition - erreicht. Fünf Minuten später war der Maschinenraum besetzt. Hier startete der 2. Ingenieur den zweiten Hilfsdiesel. Wenig später bat der Nautische Wachoffizier um den Beginn der Reduzierung der Drehzahl der Hauptmaschine. Der 2. Ingenieur bestätigte dies und leitete die automatische Reduzierung ein. Das war gegen 01:40 Uhr. Die Reduzierung begann von einer Drehzahl von 105 min⁻¹. Da mit der Reduzierung der Drehzahl ein Absinken des Spülluftdrucks einhergeht, schaltete der 2. Ingenieur das Hilfsgebläse für die Hauptmaschine dazu, um den Spülluftdruck aufrecht zu halten. Er begab sich dann vom Maschinenkontrollraum (MKR) in den Maschinenraum, wo er einen Kontrollgang durchführte. Als er wenig später in den MKR zurückgekehrt war, hörte er das Pumpen⁴ des Turboladers. Nach Auskunft des 2. Ingenieurs hatte die Automatik die Drehzahl zu diesem Zeitpunkt um etwa 4 min⁻¹ reduziert. Bevor der 2. Ingenieur

² Im Weiteren als 2. Ingenieur bezeichnet.

³ Im weiteren Verlauf als Oiler bezeichnet.

⁴ Pumpen tritt auf, wenn die Betriebspunkte des Verdichters durch Verminderung der Fördermenge (Durchsatzes) oder durch Anstieg des Enddruckes [...] in den instabilen Bereich geraten. Pumpen ist gekennzeichnet durch zyklisches Fördern und Rückströmen des komprimierten Mediums, begleitet von hohen Vibrationen, Druckstößen und schnellem Temperaturanstieg im Verdichter. Mögliche Folgen sind Lager-, Anstreich-, Laufrad- bzw. Schaufelschäden, die zu Betriebsausfällen führen können. <https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpschutz>, abgerufen am 24.03.2020.

eine Maßnahme ergreifen konnte, hörte er eine Explosion [sic]⁵. Kurz darauf folgte der Alarm für ein Feuer im Spülluftkanal.

Der 2. Ingenieur konnte dann durch das große Fenster vom MKR zum Maschinenraum hohe Flammen zwischen der Turboladerplattform und den Zylinderköpfen sehen. Außerdem war weißer Rauch sichtbar. Daraufhin startete er mit einem Knopfdruck die HI-FOG-Feuerlöschanlage für diesen Bereich. Anschließend informierte er den Nautischen Wachoffizier auf der Brücke über das Geschehene und darüber, dass er nun die Hauptmaschine stoppen würde. Er forderte ihn außerdem auf, den Feualarm auszulösen.

Nach dem Telefonat wurde die Hauptmaschine durch das Betätigen des Schnellschlussventils für die Kraftstoffversorgung zum Stillstand gebracht. Der 2. Ingenieur schaltete zusätzlich auch die Hilfsgebläse ab, um die Versorgung mit Zuluft zu verringern. Dies geschah alles innerhalb sehr kurzer Zeit. Anschließend verließen beide Besatzungsmitglieder den MKR über den Notausgang.

Der Oiler hatte in den Minuten vor der Explosion den Wasserstand im Ausdehnungstank des Kühlwassers für die Hauptmaschine geprüft. Als er sich in der Nähe des Frischwassererzeugers befand, hörte er einen Alarm. Er begab sich sofort zum MKR, um dort die Ursache für den Alarm zu prüfen. Durch das Fenster vom MKR in den Maschinenraum konnte er dann die Explosion des Turboladers der Hauptmaschine sehen. Kurz darauf verließ er mit dem 2. Ingenieur den MKR.

Der 2. Ingenieur und der Oiler wurden durch das Ereignis nicht verletzt. So konnten sich beide anschließend zur Musterstation begeben und später ihre im Brandfall gemäß Rollenplan vorgesehenen Funktionen übernehmen.

Der Kapitän wurde gegen 01:50 Uhr durch die schnelle Reduktion der Umdrehungen der Hauptmaschine wach. Kurz darauf ertönte der Feualarm für das Schiff. Daraufhin eilte der Kapitän auf die Brücke. Von dort leitete er die Maßnahmen zur Brandbekämpfung.

3.1.2 Brandbekämpfung durch die Besatzung

Unter der Führung des Leiters der Maschinenanlage und in Koordination mit dem Brückenteam und dem Backupteam begann die Besatzung mit der unmittelbaren Brandbekämpfung. Um sich einen Überblick über die Situation zu verschaffen, versuchten um 04:13 Uhr der 4. Ingenieur und einer der Oiler unter Atemschutz über den Rudermaschinenraum den Maschinenraum zu betreten. Dies gelang, allerdings wurde aufgrund der dort vorhandenen Rauchmenge davon abgesehen, weiter vorzudringen. Flammen konnten dabei zumindest nicht mehr festgestellt werden. Durch den Leiter der Maschinenanlage wurde dennoch veranlasst, die HI-FOG-Feuerlöschanlage für weitere Bereiche auszulösen.

⁵ Die mechanische Zerstörung des Turboladers wird in diesem Abschnitt als Explosion bezeichnet. Tatsächlich handelt es sich nicht um eine Explosion, sondern um eine plötzliche Zerstörung aufgrund eines mechanischen Schadens.

Bei einem weiteren Kontrollgang zu einem späteren Zeitpunkt, der ebenfalls über den Rudermaschinenraum durchgeführt wurde, konnte eine Verringerung des Rauchs festgestellt werden.

3.1.3 Weitere Ereignisse

Die Schilderung der weiteren Ereignisse beruht auf den bereits unter Pkt. 3.1 genannten Quellen. Zusätzlich wurde auf das Ereignistagebuch des MLZ und die Einsatzberichte der BAD BRAMSTEDT, der HELGOLAND, der Feuerwehr Cuxhaven und den Meldebericht der VKZ German Bight zurückgegriffen.

Der Kapitän der BALTIC BREEZE informierte am 14.10.2018 um 02:00 Uhr die Verkehrszentrale (VKZ) German Bight darüber, dass sein Schiff wegen eines Brandes im Maschinenraum manövrierunfähig sei. Das Schiff befand sich zu diesem Zeitpunkt westlich der Tonne E 3. Diese Meldung wurde im Rahmen des Informationsverbundes an das Maritime Lagezentrum (MLZ) und das Maritime Rescue Coordination Center (MRCC) Bremen weitergegeben. Um 02:09 Uhr teilte der Kapitän mit, dass es an Bord keine Verletzten geben würde. Informationen zum Brandherd waren noch nicht verfügbar.

Durch das MLZ wurden als Erstmaßnahmen ab 02:08 Uhr die Brandbekämpfungseinheiten (BBE) für Schiffsbrände der Feuerwehren Cuxhaven und Bremerhaven und die Hubschrauberstaffel der Bundespolizei informiert. Daneben gingen Informationen an verschiedene Einsatzkräfte der Polizeien, die daraufhin einen Einsatz begannen. Außerdem wurde die MELLUM aktiviert, die von Helgoland aus zum Havaristen lief.

Der Kapitän der BALTIC BREEZE teilte der VKZ um 02:21 Uhr mit, dass er noch keinen vollständigen Überblick über die Lage habe. Gleichzeitig bat er um die Bestellung von zwei Schleppern über die Agentur des Schiffes, um mit deren Hilfe eine Reede zu erreichen.

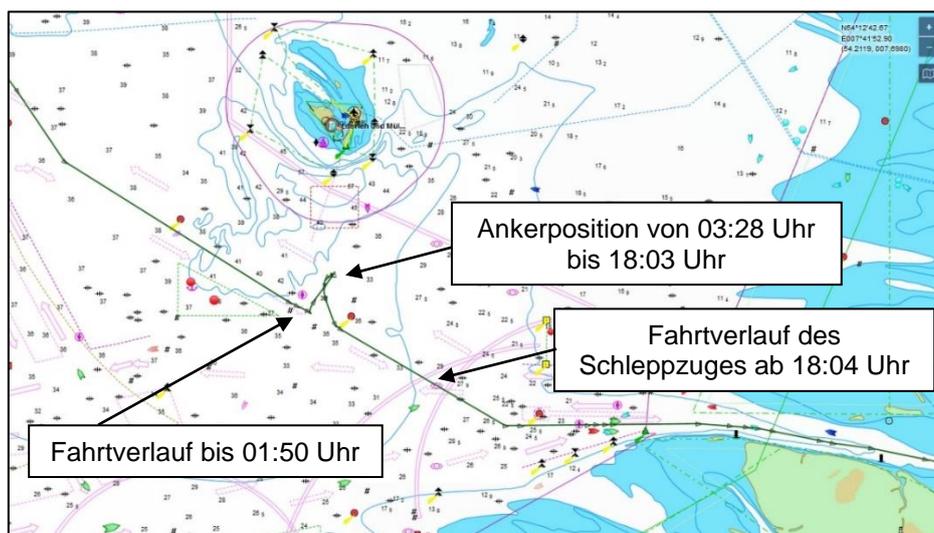


Abbildung 3: AIS-Track der BALTIC BREEZE am 14.10.2018⁶

⁶ Quelle: MarineTraffic.

Um 02:43 Uhr übermittelte der Kapitän die Information, dass der Brand gelöscht sei und die Besatzung nun die Situation prüfe. Gegenüber der VKZ gab er an, dass an Bord keine zusätzlichen Feuerwehrleute nötig seien (02:46 Uhr).

Die durch den Kapitän bestellten Schlepper begannen die Anfahrt zum Havaristen gegen 03:00 Uhr. Es wurde mit einer Anfahrtszeit von ca. 2,5 Stunden gerechnet. Daher ging das Schiff zunächst vor Anker. Wenig später erreichte die BAD BRAMSTEDT die BALTIC BREEZE.

Das Ankermanöver war um 03:28 Uhr abgeschlossen. Etwa zu dieser Zeit begann die Besatzung des Schiffes mit der Erkundung des Maschinenraums. Da zu diesem Zeitpunkt nicht genügend Besatzungsmitglieder zur Verfügung standen, wurde die Bitte der Bundespolizei um das Ausbringen einer Lotsenleiter für eine Kontrolle an Bord zunächst durch den Kapitän zurückgestellt.

Die MELLUM erreichte den Havaristen um 03:40 Uhr und begann mit der Messung der Außenhauttemperaturen. Dabei wurden Werte von 26 °C bis 29 °C im achteren Bereich der Steuerbordseite der BALTIC BREEZE gemessen.

Der Kapitän ermöglichte gegen 04:30 die Kontrolle durch die Bundespolizei und eine Lotsenleiter wurde ausgebracht.

Das Boardingteam der Bundespolizei ging um 05:01 Uhr an Bord. Während der Anfahrt hatten sie an der Außenhaut des Schiffes eine Temperatur von 33 °C festgestellt. Zu dieser Zeit erreichte auch die HELGOLAND den Einsatzort und begann dort mit der Verkehrssicherung.

Um 05:08 Uhr bestätigte der Kapitän gegenüber der VKZ, dass ein Team des Schiffes den Maschinenraum betreten hatte und dass dort keine Flammen festzustellen waren.

Um 05:20 Uhr teilte das Havariekommando allen beteiligten Stellen mit, dass es von seinem Selbsteintrittsrecht Gebrauch gemacht habe und nun die Gesamteinsatzleitung ausübe.

Während der Begehung des Havaristen durch die Bundespolizisten wurde den Beamten über die Ursache des Brandes berichtet. An den Schotten zum Maschinenraum stellten die Beamten eine Temperatur von max. 50 °C und Farbabplatzungen auf der Höhe des Hauptdecks fest. Im Zusammenhang mit der Begehung teilte der Kapitän mit, dass er nun dem Einsatz von professionellen Brandbekämpfern an Bord des Schiffes zustimme.

Um 05:57 Uhr entschied das Havariekommando, dass 2 x 5 Feuerwehrleute der BBE Cuxhaven mit einem Hubschrauber der Bundespolizei zum Havaristen geflogen werden sollten.

Die MELLUM wurde um 06:11 Uhr zum On-Scene Coordinator (OSC) erklärt. Wenig später bekam die NEUWERK den Auftrag nach Cuxhaven zu laufen und sich dort für die Aufnahme weiterer Feuerwehrkräfte und Brandbekämpfungstechnik aus Bremerhaven vorzubereiten.

Der Hubschrauber mit den ersten fünf Feuerwehrleuten startete um 06:38 Uhr in Nordholz. Das Abwischen auf die BALTIC BREEZE war um 07:14 Uhr abgeschlossen.

Um 07:00 Uhr erreichten die beiden durch den Kapitän des Havaristen bestellten Schlepper VB RÖNNERBERG und BERNE das Schiff.

Nach einer Einweisung durch den Kontrolltrupp der Bundespolizei und den Kapitän begann die BBE mit der Erkundung des Maschinenraums. In diesem Zusammenhang begann in Absprache mit der BBE auch die Belüftung des Maschinenraums. Dafür wurde der zum Brandbeginn hergestellte Verschlusszustand aufgehoben. Während der Erkundung konnten weder offene Flammen noch weitere Rauchentwicklung festgestellt werden. Es fand keine Brandbekämpfung durch die BBE statt.⁷

Die nächsten fünf Feuerwehrleute wurden um 08:20 Uhr auf die BALTIC BREEZE abgewünscht.

Nach einer umfassenden Belüftung des Maschinenraums und der Freimessung durch die BBE wurde der Betrieb dort wieder aufgenommen. Die Besatzung begann mit dem Versuch, die Hauptmaschine zu starten. Im weiteren Verlauf verließ das Boardingteam der Bundespolizei den Havaristen und die BAD BRAMSTEDT wurde aus dem Einsatz entlassen.

Da die VKZ für das Einschleppen der BALTIC BREEZE nach Cuxhaven stärkere Schlepper verfügte, wurden die Schlepper VB JADE (75 t Pfahlzug) und VB WILHELMSHAVEN (51 t Pfahlzug) angefordert. Mit dem Erreichen des Einsatzortes gegen 14:00 Uhr wurden die zuvor eingetroffenen Schlepper entlassen. Auch die HELGOLAND wurde zu dieser Zeit von ihrer Aufgabe entbunden.

Die ersten fünf Feuerwehrleute verließen den Havaristen gegen 11:00 Uhr. Sie wurden an Bord der BÜRGERMEISTER BRAUER zurück nach Cuxhaven transportiert. Die anderen Feuerwehrleute verblieben bis Cuxhaven an Bord der BALTIC BREEZE als Brandwache. Da weitere Feuerwehrleute nicht mehr notwendig waren, hatte das Havariekommando die BBE Bremerhaven und die NEUWERK bereits zuvor aus dem Einsatz entlassen.

Die Hauptmaschine der BALTIC BREEZE war nach einem Testlauf um 17:30 Uhr insoweit wieder einsatzbereit, dass sie mit langsamer Fahrt und lokaler Kontrolle betrieben werden konnte. Darüber wurde die VKZ informiert.

Um 17:40 Uhr begann die Besatzung der BALTIC BREEZE mit dem Hieven des Ankers. Anschließend wurden die Verbindungen zum Kopf- und Heckschlepper hergestellt, so dass um 18:04 Uhr die Reise beginnen konnte. Die BALTIC BREEZE fuhr dabei mit eigener Kraft. Die MELLUM begleitete bis zum Erreichen der Tonne 31a der Elbe um 23:45 Uhr. Am 15.10.2018 um 00:24 Uhr war die BALTIC BREEZE an

⁷ Sowohl dieser Einsatz der Feuerwehr als auch die spätere Brandwache waren notwendig, um die Einlaufgenehmigung für das Schiff nach dem Brand zu erhalten.

der Seebäderbrücke in Cuxhaven fest. Damit beendete das Havariekommando die Gesamteinsatzleitung.

3.2 Untersuchung

Für die Untersuchung wurden die an Bord vorhandenen technischen Unterlagen des Herstellers des Turboladers genutzt. Zusätzlich standen Unterlagen wie Serviceberichte und Wartungsprotokolle zur Verfügung. Darüber hinaus wurden die Aufzeichnungen des Alarmdruckers ausgewertet. An Bord waren keine Informationen verfügbar, die einen Rückschluss auf den Verlauf der Drehzahlreduzierung oder zumindest auf deren Beginn zugelassen hätten. Insofern ist ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den auftretenden Alarmen und dem Zustand der Hauptmaschine zu diesem Zeitpunkt nicht herstellbar. Eine solche Aufzeichnung ist nicht verpflichtend.

Die BALTIC BREEZE war mit einem vereinfachten Schiffsdatenschreiber des Unternehmens Consilium ausgerüstet. Da durch den Kapitän keine Notfallspeicherung ausgelöst wurde, konnten während der ersten Besichtigung des Schiffes zwar Daten ausgelesen werden, diese bezogen sich aber nicht mehr auf den Unfallzeitraum. Dazu ist anzumerken, dass durch vereinfachte Schiffsdatenschreiber gemäß des Performance Standards keine Maschinendaten aufgezeichnet werden.

Durch die BSU wurde bei der Überprüfung der vorhandenen Daten festgestellt, dass zwischen dem 10.10.2018, 14:20 Uhr und dem 14.10.2018, 05:58 Uhr jegliche Datenaufzeichnung fehlte. Mit dieser Feststellung wurde der Hersteller des Systems konfrontiert. Dieser teilte mit, dass am 01.08.2018 der letzte vorgeschriebene jährliche Performancetest durchgeführt worden war. Die dabei bzw. zuvor durch die Besatzung festgestellten technischen Probleme wurden im Rahmen der Wartung beseitigt. Anschließend habe die Anlage fehlerfrei funktioniert. Die Ursache für die durch die BSU festgestellte Problematik konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht geklärt werden.

3.2.1 BALTIC BREEZE

Die BALTIC BREEZE handelte es sich um ein Schiff, das zum Transport von Personenkraftwagen, Lastkraftwagen und deren Anhängern oder Trailern, Baumaschinen und anderem rollenden Gerät geeignet war. Für diesen Transport verfügte das Schiff über die üblichen verstellbaren Decks, um die Stellflächen den Notwendigkeiten anpassen zu können. Insgesamt verfügte das Schiff über neun Fahrzeugdecks. Auf diesen konnten 3200 Fahrzeuge transportiert werden. Die Fahrzeuge gelangten über eine achtern an der Steuerbordseite angebrachte Rampe in das Schiff. Zusätzlich verfügte das Schiff über eine Seitenrampe auf der Steuerbordseite.

Der Maschinenraum der BALTIC BREEZE befand sich achtern. Der Maschinenraumschacht zog sich ab dem Freiborddeck auf der Mittschiffslinie durch alle Decks, wobei er sich nach oben verjüngte.

Der durch das Ereignis zerstörte Abgasturbolader war vom Typ MET 66 SC, Seriennummer 10627, Spezifikation DC 3G46ED6L, Baujahr 2007, des Herstellers Mitsubishi.

Aufgrund des Schadens am Turbolader sowie der bei der Reinigung und Reparatur entstehenden Kosten und des Alters des Schiffes wurde die BALTIC BREEZE im November 2018 zum Totalschaden erklärt und außer Dienst gestellt.

3.2.2 Beginn der Untersuchung

Der Bereitschaftshabende der Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung wurde am 14.10.2018 um 09:37 Uhr durch die Besatzung der HELGOLAND über den Seeunfall informiert. Für weitere Informationen wurde dann mit dem Havariekommando Kontakt aufgenommen. Auf diesem Weg, via OSC, wurde der Kapitän der BALTIC BREEZE gegen 15:00 Uhr aufgefordert, die Notfallspeicherung am Schiffsdatenschreiber seines Schiffes auszulösen.

Nachdem klar war, dass die BALTIC BREEZE Cuxhaven erst in den frühen Morgenstunden des 15.10.2018 erreichen würde, wurde auf eine Begehung des Schiffes unmittelbar nach dem Einlaufen am 15.10.2018 um 00:24 Uhr verzichtet. Darüber wurde die Reederei informiert.

3.2.3 Ermittlungen am 15.10.2018

Die Ermittlungen an Bord des Havaristen begannen am 15.10.2018 gegen 10:00 Uhr. Nach einer Besprechung mit den Vertretern der Reederei und dem Kapitän wurde zunächst mit der Sicherung der Daten des Schiffsdatenschreibers begonnen. Zeitgleich wurde der Maschinenraum besichtigt, um sich einen ersten Überblick zu verschaffen.

Im Maschinenraum wurde festgestellt, dass oberhalb der Hauptmaschine ein erheblicher Brandschaden bestand. So stand nach Aussage der Besatzung der Portalkran nicht mehr zur Verfügung, da die elektrischen Anschlüsse beschädigt worden waren. Der Turbolader war auf der Verdichterseite zerstört. Dabei hatte sich das Luftfiltergehäuse und das noch daran befindliche Verdichtergehäuse ca. 3 m nach voraus in Schiffslängsrichtung von seinem eigentlichen Platz entfernt. Eine Hälfte des Verdichterrades war weit durch den Maschinenraum geflogen und befand sich nun auf einer anderen Plattform.

Das grundsätzliche Arbeitsprinzip eines Abgasturboladers wird in der nachfolgenden Skizze dargestellt.

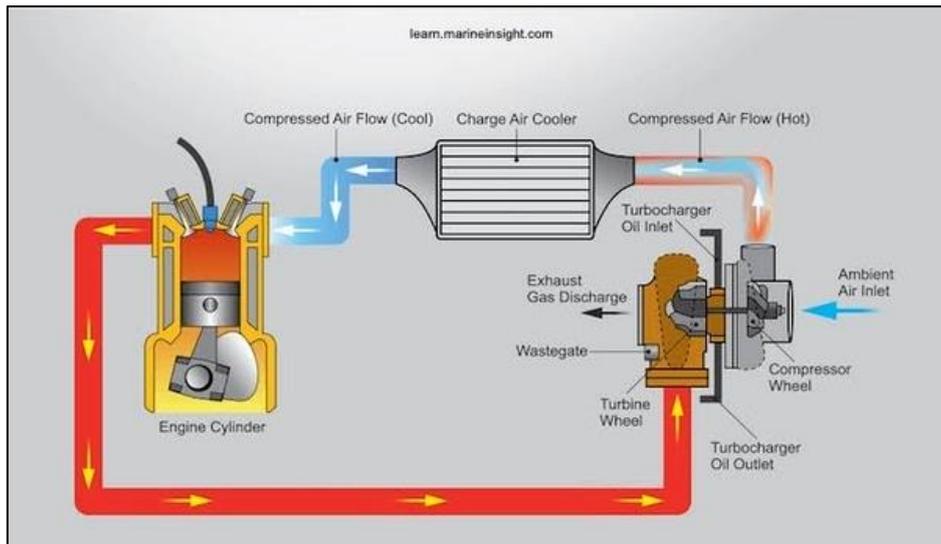


Abbildung 4: Prinzipskizze Turboaufladung⁸

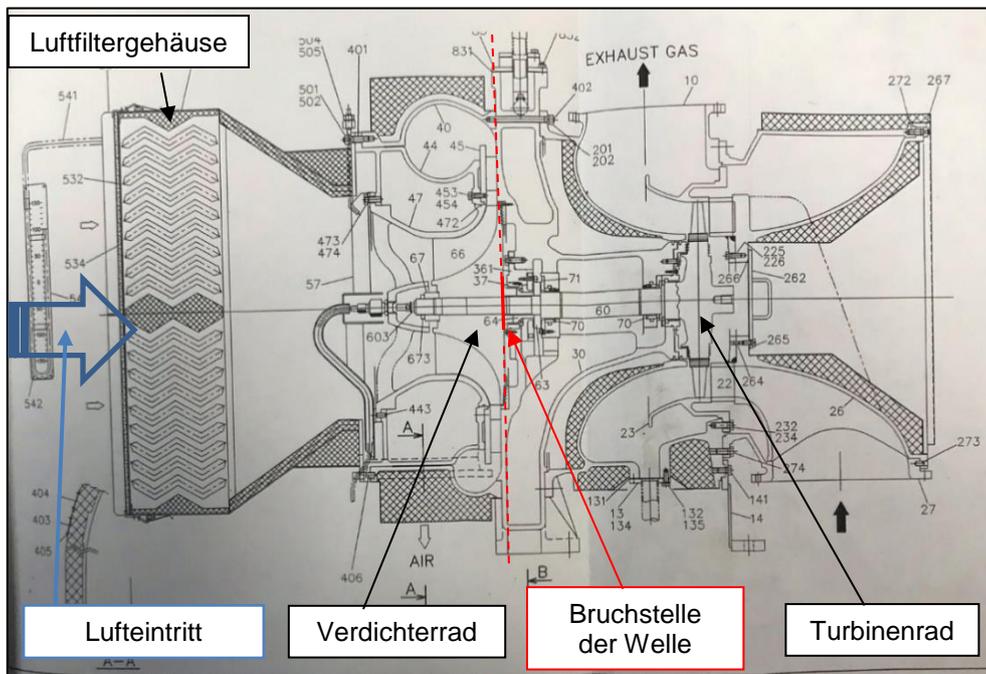


Abbildung 5: Technische Zeichnung des Turboladers⁹

⁸ <https://www.marineinsight.com/main-engine/what-is-turbocharger-surgin/>. Aufgerufen am 31.03.2020

⁹ Aus dem Handbuch des Turboladers.

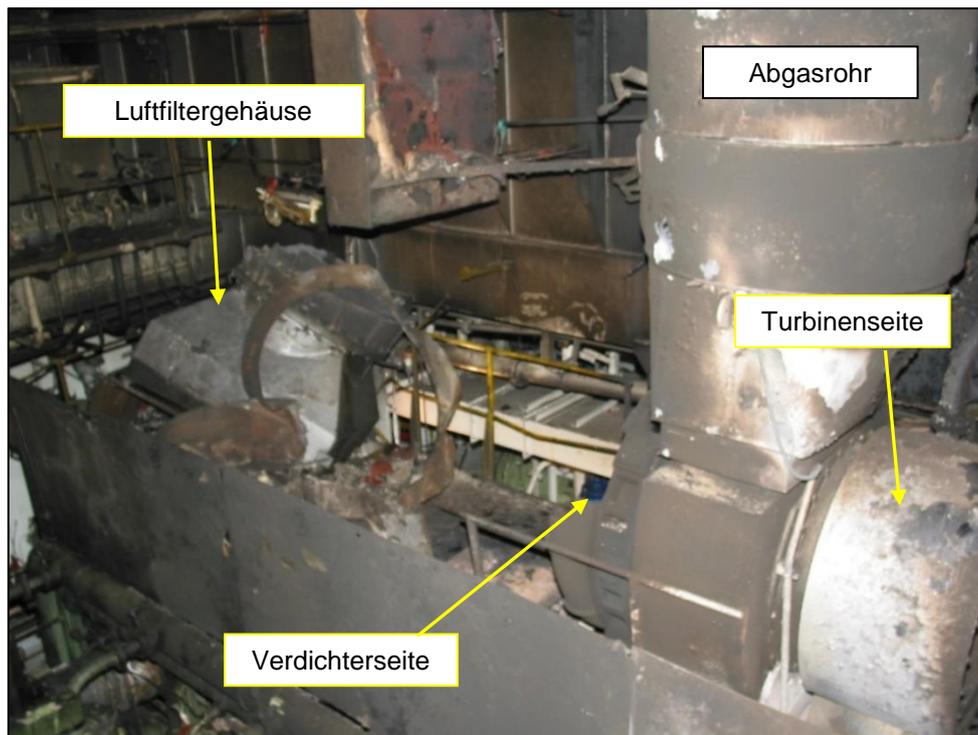


Abbildung 6: Zerstörter Turbolader der Hauptmaschine

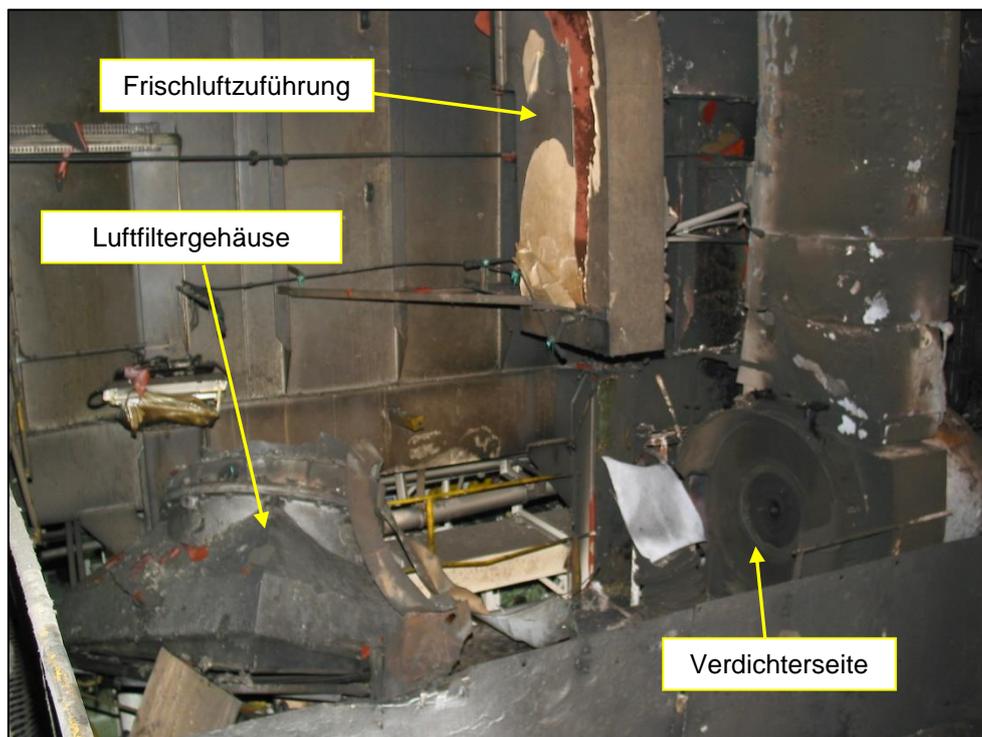


Abbildung 7: Zerstörter Turbolader der Hauptmaschine
Blick auf die Verdichterseite.

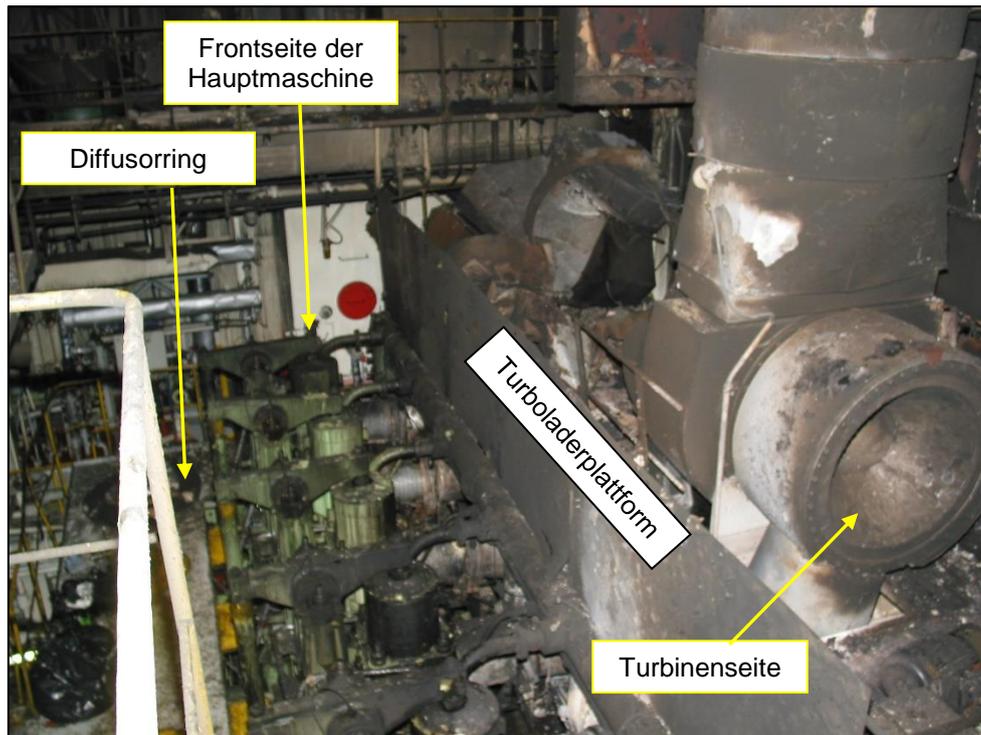


Abbildung 8: Blick auf die Hauptmaschine und die Turboladerplattform
 Links der Fundort des Diffusorringes auf der Plattform der Zylinderstation.

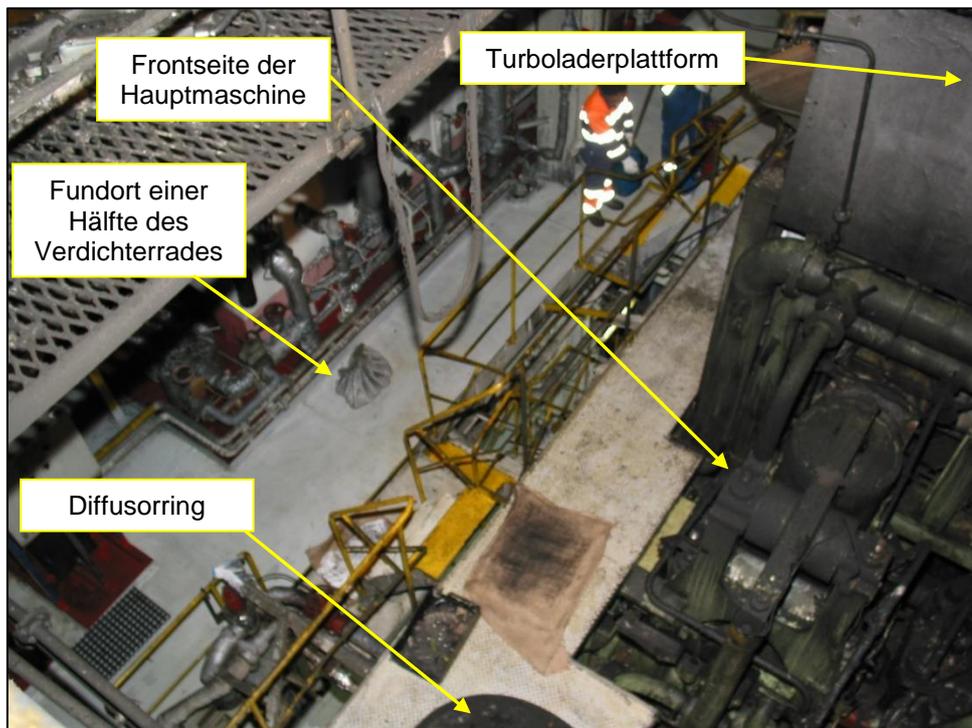


Abbildung 9: Auffindeorte des Diffusorringes und eines Teils des Verdichterrades

Die Besatzung der BALTIC BREEZE stand nur für eine allgemeine Befragung zur ersten Klärung des Geschehenen zur Verfügung. Detaillierte Zeugenaussagen erfolgten später in schriftlicher Form.

Während der ersten Besichtigung wurden unter anderem die folgenden Brandschäden festgestellt.

- Der gesamte Maschinenraumschacht war stark verrußt. Verschiedene Kabelstränge und Lampen waren thermisch belastet worden (Abbildung 10).
- An der Außenseite des Maschinenraumschachtes war es durch die thermische Belastung zu Farbabplatzungen gekommen (Abbildung 11).



Abbildung 10: Schäden an Lampen und Kabeln



Abbildung 11: Schaden an der Farbbeschichtung

Hier die Außenseite des Maschinenraumschachtes an der Steuerbordseite des Freiborddecks.

3.2.4 Ermittlungen am 17.10.2018

Auf der Grundlage der ersten Feststellungen am 15.10.2018 entschied der Direktor der BSU am 16.10.2018, dass zu diesem Ereignis eine vollständige Untersuchung durchgeführt werden sollte. Dazu wurde die Unterstützung durch einen Sachverständigen benötigt. Herr Prof. Dr.-Ing. Behrens vom Institut für Wärmekraft- und Arbeitsmaschinen der Hochschule Bremerhaven erklärte sich dazu bereit.

Im Zusammenhang mit der Untersuchung wurde die Reederei durch die BSU über die Sicherstellung der Fläche der Turboladerplattform und der zum Turbolader gehörenden Bauteile informiert.

Zusammen mit dem Sachverständigen erfolgte am 17.10.2018 eine weitere Befragung der beiden zum Unfallzeitpunkt im Maschinenraum anwesenden Besatzungsmitglieder. Dabei wurden die nachfolgenden Informationen aufgenommen: *„Der letzte Service am Abgasturbolader der Baltic Breeze ist [...] im Jahr 2016 in Polen durchgeführt worden. Darüber liegt dem Unterzeichner ein Bericht der Firma Turbo Poland Turbo Charger Service in Danzig vor. Der Bericht ist vom 10.08.2016 datiert. Nach den Unterlagen auf der Homepage ist die Firma Turbo Poland ein von Mitsubishi für die Überholung von MET Turboladern zertifizierter Betrieb.“*

Bei dem infrage stehenden Service wurde das Laufzeug des Turboladers ausgebaut, die Komponenten gereinigt und vermessen. Ebenfalls wurden die Gehäuse gereinigt. Der Schalldämpfer wurde ebenfalls gereinigt, Teile des Schalldämpfermaterials ausgetauscht. Weiterhin wurde der Rotor dynamisch ausgewuchtet. Darüber liegt ein Auswuchtbericht (Anlage 4) vor.

Nach Auskunft der Besatzung hat der Abgasturbolader seit dieser Überholung ca. 12.000 Betriebsstunden hinter sich.“¹⁰

Zum Unfallverlauf konnten noch diese Informationen erlangt werden:

„...die Fahrtverminderung wurde über die Fahrautomatik der Hauptmaschine durchgeführt und war so ausgelegt, dass pro Minute eine Drehzahlverminderung der Maschine von 2 U/min vorgenommen wurde. Ca. 2 Minuten nachdem die Drehzahlverminderung eingeleitet wurde, hörte der Zweite Ingenieur zwei kurze Pumpstöße des Turboladers, direkt anschließend bemerkte er ein Feuer im Maschinenraum ...“¹¹

Die Auswertung der Aufzeichnungen des Alarmdruckers (Abbildung 12) ergab die folgenden Informationen:

„Die Aufzeichnungen des Alarmdruckers des Maschinenautomationssystems [...] zeigten eine erste Schadensmeldung um 1:45:23 Uhr in Form eines Alarms für Spülluftkanalfeuer. Daraufhin erfolgte um 1:45:30 Uhr ein Slow-Down-Alarm für die Hauptmaschine, um 1:45:37 Uhr wurde der Slow-Down bestätigt. Der Alarm für Spülluftkanalfeuer erschien weiterhin mehrfach und jeweils mit steigenden

¹⁰ Prof. Dr.-Ing. R. Behrens: Gutachterliche Stellungnahme zum Maschinenschaden auf dem Motorschiff „Baltic Breeze“ (IMO-Nr.: 8312590). 2018. S. 5. Im Weiteren als „Gutachten Maschinenschaden“ bezeichnet.

¹¹ Ebda. S 12.

gemessenen Temperaturen. Weitere Alarme traten in der Folge auf, um 1:46:12 kam der Alarm des Ölnebeldetektors, direkt anschließend wurde eine zu hohe Abgastemperatur im Eintritt des Turboladers verzeichnet. Um 1:46:20 Uhr wurde im Alarmdrucker registriert, dass der Schmieröldruck im Turbolader zu niedrig gewesen ist. Hier dürfte der Schaden bereits vorher aufgetreten sein, da der Öldruckverlust vermutlich durch den erhöhten Öldurchsatz durch die beschädigten Lager verursacht wurde. Es folgen weitere Alarme die Hauptmaschine und deren Grenzwerte betreffend, um 1:51:28 Uhr wurde die Maschine automatisch abgestellt. Die danach auftretenden Alarme sind als Folge des Abstellens der Hauptmaschine und als Folge des Maschinenraumfeuers aufgetreten, sind aber nicht direkt für den Schaden relevant.“¹²

ALARM LIST for Baltic Breeze							DC C20		
Date	Time	Tagname	Tag description	Func	Value	Eng.	Cond.	State	
14-10-18	01:02:49.014	COMERR B006	COMM ROS2 ESU DPU6 (5/21)	XA			FAIL	RETURN	
14-10-18	01:02:49.014	COMERR B005	COMM ROS2 C4 DPU5 (5/20)	XA			FAIL	RETURN	
14-10-18	01:45:23.687	SCAFIRE3	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 3	TIAH	62.6	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:24.806	SCAFIRE5	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 5	TIAH	66.6	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:25.256	SCAFIRE4	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 4	TIAH	64.3	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:25.736	SCAFIRE6	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 6	TIAH	64.9	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:26.995	SCAFIRE2	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 2	TIAH	61.8	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:28.044	SCAFIRE5	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 5	TIAH	90.9	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:45:28.394	SCAFIRE3	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 3	TIAH	86.1	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:45:29.173	SCAFIRE4	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 4	TIAH	88.6	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:45:29.583	SCAFIRE6	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 6	TIAH	86.6	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:45:30.589	SLD 04b	SCAVENGING AIR FIRE	SLD			SLOWDN	ALARM	
14-10-18	01:45:31.922	SCAFIRE2	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 2	TIAH	87.6	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:45:36.940	SCAFIRE1	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 1	TIAH	57.2	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:37.279	SAFETY SLD	SLOWDOWN ACTIVE	XA	6.4		HIGH	ALARM	
14-10-18	01:45:38.870	SCAFIRE5	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 5	TIAH	202.9	°C	HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:39.389	SCAFIRE5	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 5	TIAH	215.8	°C	IFH	ALARM	
14-10-18	01:45:40.469	SCAFIRE2	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 2	TIAH	197.0	°C	HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:40.999	SCAFIRE2	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 2	TIAH	220.4	°C	IFH	ALARM	
14-10-18	01:45:42.148	SCAFIRE4	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 4	TIAH	204.0	°C	HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:42.668	SCAFIRE4	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 4	TIAH	214.9	°C	IFH	ALARM	
14-10-18	01:45:43.448	SCAFIRE3	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 3	TIAH	203.4	°C	HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:44.028	SCAFIRE3	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 3	TIAH	215.6	°C	IFH	ALARM	
14-10-18	01:45:51.555	SCAFIRE6	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 6	TIAH	206.8	°C	HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:52.115	SCAFIRE6	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 6	TIAH	213.0	°C	IFH	ALARM	
14-10-18	01:45:52.168	SLD 04b	SCAVENGING AIR FIRE	SLD			SLOWDN	RETURN	
14-10-18	01:45:52.280	SAFETY SLD	SLOWDOWN ACTIVE	XA	0.0		HIGH	RETURN	
14-10-18	01:45:54.544	FIRE	FIRE	XA			ALARM	ALARM	
14-10-18	01:45:58.292	SCAFIRE1	SCAVENGE AIR FIRE CYL. 1	TIAH	76.7	°C	HI-HI	ALARM	
14-10-18	01:46:01.458	SLD 04b	SCAVENGING AIR FIRE	SLD			SLOWDN	ALARM	
14-10-18	01:46:06.521	SAFETY SLD	SLOWDOWN ACTIVE	XA	6.4		HIGH	ALARM	
14-10-18	01:46:12.730	SLD 01	OIL MIST HIGH DENSITY	SLD			SLOWDN	ALARM	
14-10-18	01:46:13.178	AL62-06	M/E T/C IN EXH GAS TEMP	TIAH	455.7	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:46:15.876	AL28-09	M/E T/C LO OUT TEMP	TIAH	65.5	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:46:20.164	AL202	T/C LO IN PRESS LOW	PAL			ALARM	ALARM	
14-10-18	01:46:22.523	AL62-20	M/E CYL 2 EXH GAS DEV TEMP	TIAHL	57.6	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:46:26.359	SLD 06	Exh Gas Cyl 1-6 Deviation	SLD			SLOWDN	ALARM	
14-10-18	01:46:31.414	AL62-021	M/E CYL 2 EXH GAS OUT TEMP	TIAHH	455.2	°C	HIGH	ALARM	
14-10-18	01:46:33.461	AL62-19	M/E CYL 1 EXH GAS DEV TEMP	TIAHL	-53.1	°C	LOW	ALARM	

Abbildung 12: Ausdruck aus dem Alarmdrucker

¹² Ebda. S. 5

Anschließend begann die eingehende Untersuchung des betroffenen Turboladers und seiner technischen Umgebung. Durch den Sachverständigen der BSU wurden dabei unter anderem die folgenden Feststellungen gemacht:

„Der gesamte Verdichter des Abgasturboladers war an diesem nicht mehr vorhanden. Vom Verdichtergehäuse standen nur noch geringfügige Anteile [...] sowie der Luftabführstutzen von der Spirale zum Ladeluftkühler, [...]. [...] die eine Hälfte des Verdichterrades lag in der Nähe des Ansauggehäuses zwischen der Position des Abgasturboladers und dem Ansauggehäuse [Abbildung 13].

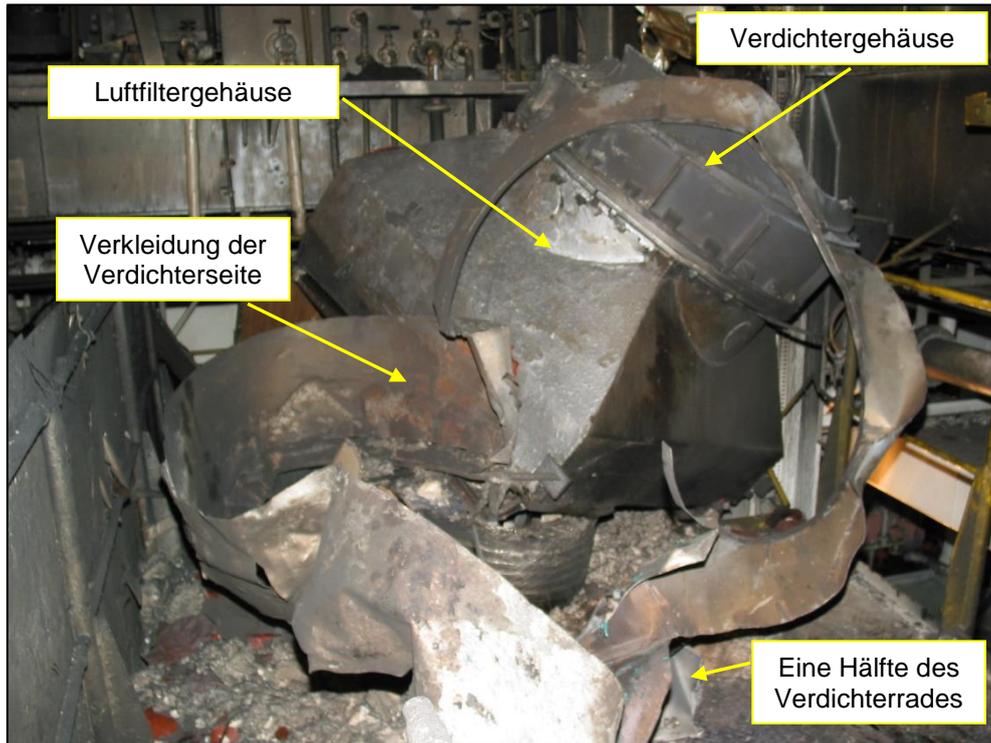


Abbildung 13: Turboladerplattform mit Luftfiltergehäuse
Blick vom Turbolader auf das Luftfiltergehäuse.

Auf der Turboladerplattform waren verschiedene Bruchstücke des Gehäuses und weiterer Turboladerteile verstreut. Die zweite Hälfte des Verdichterrades lag ein Deck tiefer an der Vorderseite der Hauptmaschine [Abbildung 8]. Der Diffusorring befand sich auf dem Deck der Zylinderstation [Abbildungen 8 u. 9] und war stark verformt. Ebenfalls lagen im Bereich der Zylinderstation des Motors Bruchstücke aus dem Verdichtergehäuse. In der Nähe des Diffusors war das Endstück der Turboladerwelle mit der Hydraulikmutter, die zum Anziehen und Vorspannen des Verdichterrades diente, zu finden. Die Mutter saß fest auf dem Endgewinde während das andere Ende dieses Wellenteils eine Verbiegung sowie eine Bruchfläche zeigte [Abbildungen 14 und 15].“¹³

¹³ Ebda. S. 3.



Abbildung 14: Turboladerwelle mit Hydraulikmutter



Abbildung 15: Nahansicht der Bruchfläche der Turboladerwelle

„Das Verdichterrad ist durch die Mittellinie der Welle in zwei Teile gebrochen [...]. Die Bruchfläche zeigt Merkmale eines Gewaltbruchs [...]. Die Schaufeln beider Bruchteile sind ausnahmslos beschädigt und zum Teil komplett bis auf den Grundkörper des Verdichterrades abgetragen [Abbildung 16].



Abbildung 16: Eine Hälfte des Verdichterrades



Abbildung 17: Lagerschild der Verdichterseite

[Abbildung 17] zeigt den Lagerschild des verdichterseitigen Wellenlagers sowie die beschädigte Labyrinthdichtung zwischen Verdichterrückwand und der Rückwand des Verdichterrades. In der Mitte ist der korrespondierende Wellenstumpf mit seiner Bruchfläche zu sehen. Auf dem Wellenstumpf steckt noch die sogenannte Verbindungsklaue, die eine formschlüssige Verbindung zwischen Welle und Verdichterrad herstellt. Auch in diesem Bereich liegen erhebliche Beschädigungen vor. So sind zwei Befestigungsschraubenköpfe des Lagerschilds abgeschert und das innere Labyrinthdichtungsgehäuse zeigt eingeebnete Dichtrillen. Die Bruchfläche der Welle lässt den Schluss zu, dass der Bruch von einer Bearbeitungskante ausgegangen ist, dies ist auf dem vorhergehenden Bild deutlich zu sehen. Außerdem zeigt [Abbildung 18], dass offensichtlich auf der Wellenbruchfläche neben dem Gewaltbruchanteil ein Dauerschwingbruchanteil zu erkennen ist.

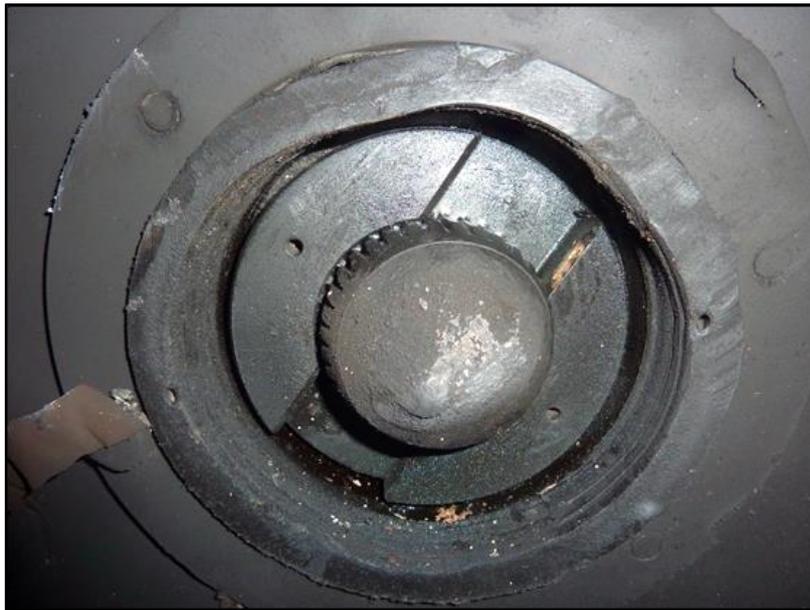


Abbildung 18: Bruchfläche auf der Welle mit Dauerschwingbruch

Der Fuß des Turboladers war gerissen [Abbildung 19].



Abbildung 19: Gebrochener Fuß des Turboladers

Alle oberen Decks des Maschinenraums und die oberen Laufgänge, z.B. auf der Zylinderlaufstation der Hauptmaschine, sind von Splintern und Trümmerteilen des Turboladers bedeckt [...].

Der turbinenseitige Teil des Abgasturboladers [...] scheint von außen zunächst unbeschädigt, wenn man von den Verschmutzungen der Oberfläche durch Ruß und den in diesem Bereich liegenden Trümmerteilen absieht.

Weiterhin wurde bei der Besichtigung am 17.10.2018 geprüft, ob eine Beschädigung oder Versperrung des Ladeluftkühlers vorgelegen hat. Dazu wurde die turboladerseitige Haube des Ladeluftkühlers geöffnet. Der Ladeluftkühler war teilweise erheblich verschmutzt durch Öl und Verbrennungsrückstände sowie kleine Trümmerteile, die wahrscheinlich beim Schadensfall und beim Brand von oben heruntergefallen sind. Nach Öffnen eines Zugangsdeckels wurde das Lamellenpaket des Ladeluftkühlers besichtigt, auf dem Lamellenpaket lagen eine große Anzahl kleiner Materialsplinter, die vermutlich aus dem zerbrochenen Verdichterrad und dem zerbrochenen Verdichtergehäuse stammen, es war jedoch keine großflächige Versperrung zu erkennen die zum Beispiel ein Pumpen des Turboladers ausgelöst haben könnte [Abbildung 20].¹⁴

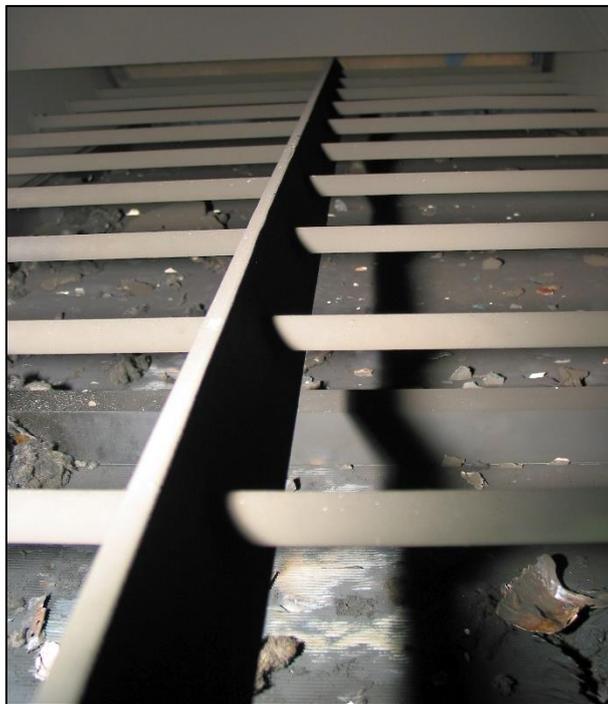


Abbildung 20: Verdichterseite des Ladeluftkühlers

Nach Abschluss der Untersuchung an Bord wurden die beiden Teile des Verdichterrades und das Bruchstück der Turboladerwelle durch die BSU sichergestellt und an den Sachverständigen zur weiteren Begutachtung übergeben. Die Sicherstellung der meisten Bereiche des Maschinenraums wurde an diesem Tag aufgehoben.

3.2.5 Weiterer Fortgang der Untersuchung

Für die vollständige Untersuchung der Ursache war die Demontage des Turboladers notwendig. Für den Zugriff auf den Turbolader musste zunächst die Entscheidung der Reederei über die weitere Verwendung des Schiffes abgewartet werden. Nachdem diese getroffen worden war, ließ die BSU den Turbolader auf ihre Kosten durch eine durch Mitsubishi autorisierte Servicefirma demontieren, aus dem Maschinenraum transportieren und anschließend zu deren Werkstatt befördern. Bei der Demontage

¹⁴ Ebda. S. 3 bis 4.

auf der BALTIC BREEZE und dem Transport aus dem Schiff unterstützte die Besatzung des Schiffes die Arbeiten mit sehr großem Einsatz. Die Demontage erfolgte am 20.11.2018. Bereits am 16.11.2018 waren das Luftfiltergehäuse und das Verdichtergehäuse durch die Besatzung aus dem Maschinenraum transportiert worden. Alle Arbeiten wurden durch Untersucher der BSU begleitet.



Abbildung 21: Verdichtergehäuse mit Einströmgehäuse¹⁵



Abbildung 22: Luftfiltergehäuse

¹⁵ Für Übersetzung.: Air inlet guide.



Abbildung 23: Transport von weiteren Bauteilen

Die Demontage des Abgasturboladers fand am 23.11.2018 in den Räumen der Servicefirma Scan Turbo Handels- und Service GmbH und mit Unterstützung durch deren Mitarbeiter statt. Daran nahmen neben dem durch die BSU beauftragten Sachverständigen und einem Untersucher der BSU auch zwei Ingenieure der BALTIC BREEZE und ein technischer Inspektor der Reederei teil.

Im Gutachten des Sachverständigen wird die Demontage vollständig beschrieben. Nachfolgend wird daraus auszugsweise zitiert:

„... die Firma Scan Turbo [hatte] eine Vorrichtung erstellt, mit der das verdichterseitige Lagerschild abgezogen werden sollte, so dass das Laufzeug des Turboladers demontiert werden könnte [...]. Der Versuch, das Lagerschild abzuziehen, scheiterte jedoch daran, dass die Turboladerwelle wie vorstehend schon beschrieben, verbogen war und sich dadurch die Montagehülse mit der Klaue nicht über das Wellenende ziehen ließ. Dies führte dazu, dass der Lagerflansch, [...], nach einem Weg von ca. 20 mm zerbrach, [...] und sich nicht weiter aus dem Lagergehäuse herausziehen ließ. Daraufhin wurde entschieden, den Lagerschild zurückzuschlagen und zu versuchen, mittels einer hydraulischen Presse das Laufzeug durch die Lagerung und die Klauenhülse mit Gewalt zur Turbinenseite auszupressen. Dieses Vorhaben gelang letztendlich und der Läufer des Turboladers konnte auf der Turbinenseite aus dem Gehäuse gezogen werden. Die dabei aufzubringenden erheblichen Presskräfte führten zu einer Beschädigung der Bruchfläche der Welle [...]. Außerdem wurde die Montagehülse mit der Klaue mit Gewalt über die Kerbverzahnung gezogen, die daraufhin erhebliche Beschädigungen an den Flanken zeigte [...].“

Zur Vorbereitung der Demontage des Läufers zur Turbinenseite wurde auf dieser bereits der Düsenring und das Abgasabströmgehäuse demontiert. Dabei wurde deutlich, dass sämtliche Turbinenschaufeln etwa auf der halben Länge abgerissen waren. Die abgerissenen Stücke lagen zum Teil im unteren Bereich des Turbinengehäuses, zum Teil waren sie jedoch wahrscheinlich beim Auslaufen der Maschine mit dem Abgasstrom im Abgasrohr verschwunden [Abbildung 24]. Die im Gehäuse vagabundierenden Turbinenschaufelabschnitte dürften auch zur Beschädigung des Düsenrings [Abbildung 25] geführt haben. Das Bild zeigt deutlich,

dass Fremdkörper von der Turbinenseite in die feststehenden Düsenringschaufeln gelangt sind.



Abbildung 24: Abgerissene Turbinenschaufeln und Riss im Lager



Abbildung 25: Beschädigter Düsenring

Bei der Demontage zeigte sich auch, dass das Turbinengehäuse komplett vom Lagergehäuse des Abgasturboladers getrennt war [...]. Auch sind erhebliche Risse im turbinenseitigen Teil des Lagergehäuses zu erkennen [...].

[...] Das turbinenseitige Radiallager befand sich noch in Position im Lagergehäuse [Abbildung 24]. Das Lagergehäuse zeigt aber auch bereits Risse, es sind aber noch alle Bestandteile des Lagerstuhls weitgehend in Position. Auf diesem Bild ist auch deutlich zu sehen, dass das Lagergehäuse einen längs verlaufenden Riss erhalten hat, der allerdings an der Bruchfläche rußgeschwärzt ist, so dass er noch zur Laufzeit des Motors entstanden sein muss.

[...] Die Untersuchung des verdichterseitigen Teils des Ansaugluftfiltergehäuses [...] ergab keinerlei Hinweise darauf, dass hier Elemente aus dem Luftfilter fehlen, die eventuell durch den Verdichter gewandert sein könnten. Ebenfalls wurden alle Elemente des Lagersterns im Einströmgehäuse, der den Drehzahlsensor abdeckt, gefunden und konnten zusammengesetzt werden [...]. Auch hier fehlte kein Teil, so

dass davon auszugehen ist, dass die Beschädigung dieses Lagersterns ebenfalls ein Folgeschaden des Turboladerschadens ist und dass nicht ein Bruch des Lagersterns mit anschließender Einbringung von Trümmerteilen in das Verdichterrad zum Schaden geführt hat.



Abbildung 26: Gespaltenes Verdichterrad

Wie bereits vorstehend beschrieben ist das Verdichterrad in zwei Teile gespalten. [...] Das Rad ist gerade gespalten [Abbildung 26], der Riss verläuft senkrecht zur Linie der beiden Befestigungsbohrungen für das Demontagewerkzeug. Außerdem verläuft der Riss parallel zur Bohrung für die Turboladerwelle. Die Schaufeln sind ausnahmslos beschädigt, teilweise sind sie bis auf die Verdichterradnabe abgetragen. Diese stark abgetragenen Bereiche sind auf den beiden Radhälften spiegelbildlich angeordnet. Die Radrückseite zeigt [Abbildung 27]. Hier ist deutlich zu sehen, dass die Vorsprünge, die in die Klauenhülse zwecks Formschlusses hineingreifen, in der Mitte des Rades um die Wellenbohrung herum herausgebrochen und komplett nicht mehr vorhanden sind. Das Dichtungslabyrinth am Außenradius der Radrückseite ist relativ stark verschliffen und abgetragen, aber in den Bereichen, wo die Radscheibe noch komplett ist, noch relativ gut zu sehen, [...].¹⁶

¹⁶ Ebda. S. 9 bis 10.



Abbildung 27: Rückseite des Verdichterrades mit Dichtungslabyrinthen

„Das Material des Rades im Bereich der Klaue ist weitgehend in kleine Stücke zerbrochen und kann nur teilweise identifiziert werden [...]. An der Klaue sind im Bereich der Kanten und der Nuten keine Beschädigungen festzustellen, die darauf hindeuten, dass ein unzureichender Sitz zwischen Rad und Klaue vorgelegen hat. Ob es bei der Montage an den Vorsprüngen des Verdichterrades durch die Klaue zu plastischen Verformungen gekommen ist, ist anhand der vorliegenden Bruchstücke nicht mehr festzustellen.“¹⁷

„Die sehr stark beschädigten und bis auf die Nabe abgetragenen Schaufeln zeigen eine plastische Verformung und ein Verziehen des Materials, was durch eine quer zur Schaufelrichtung aufgetretene Bewegung hervorgerufen worden sein muss, wie die entsprechenden Bewegungsspuren auf den Materialien zeigen [Abbildung 28]. Hierzu ist zu vermuten, dass dies nach dem Teilen des Rades beim Durchschlagen des Diffusors und des Verdichtergehäuses aufgetreten ist.“



Abbildung 28: Verformte und gebrochene Verdichterschaufeln mit Materialverschmierung

¹⁷ Ebda. S. 10.



Abbildung 29: Gebrochene Verdichterschaufeln nahezu ohne Verformung

In [Abbildung 29] sind die beiden Bruchstücke des Verdichterrades zu sehen, auf der linken Hälfte, die etwas stärker geschwärzt ist, ist auffällig, dass die Schaufel, die dem Bruch am nächsten liegt und deren Nachbarschaufel, mit nur sehr geringer Verformung abgebrochen sind. Die in Drehrichtung darauffolgenden Schaufeln zeigen am äußeren Ende eine starke Verformung in Drehrichtung, so dass zu vermuten ist, dass hier Bruchteile aus den vorstehenden Schaufeln durchgeflogen sind. Die beiden Schaufeln, die dem Bruch am nächsten liegen, zeigen keine Bruchmerkmale, die auf einen Bruch unter starker Verformung in Drehrichtung zurückzuführen sein könnten. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass es sich bei diesen Schaufeln eventuell um Dauerschwingbrüche gehandelt hat, die zum Ausbrechen größerer Schaufelteile geführt haben, die dann eine Blockierung des Rades bzw. eine weitere Zerstörung desselben verursacht haben könnten. [Abbildung 30] zeigt die beiden fraglichen Schaufeln sowie die beiden nachfolgenden Schaufeln noch einmal im Detail.



Abbildung 30: Ausschnitt aus Abbildung 29

Hier ist deutlich zu sehen, dass die Bruchcharakteristik auf der ersten und zweiten Schaufel weitgehend ohne Verformung aufgetreten ist, während bei der dritten und

vierten Schaufel nach dem Bruch am oberen Ende starke Verformungen in Drehrichtung mit entsprechenden Materialausbrüchen zu sehen sind, die durch abgebrochene Teile der ersten und zweiten Schaufel verursacht worden sein können.

Sowohl in der Betriebsanleitung des Turboladers als auch in einer speziellen Servicemitteilung (Anlage 1) wird darauf Bezug genommen, dass unbedingt eine einwandfreie Passung zwischen den Vorsprüngen auf den Verdichterradrücken und der Nut in der Klaue vorhanden sein muss. Sollte durch die Klaue vom weichen Aluminium des Verdichterrades ein Span abgehoben werden, der sich dann in den Grund der Klaue begibt und dort eine gleichmäßige Anlage der Klaue auf dem Verdichterrad verhindert, so ist damit zu rechnen, dass aufgrund der Schiefstellung des Rades eine Verbiegung der Welle auftritt, die zu einer Unwucht führt. Wenn dieser Fehler bei der Endmontage nach dem Wuchten des Laufzeugs auftritt, so würde der Turbolader dann mit dieser Unwucht in Betrieb gehen, was entsprechende Konsequenzen bezüglich der Dauerschwingbelastung der Welle und der Bauteile nach sich zöge.

Hinweise für einen inkorrekten Sitz zwischen Klaue und Verdichterrad ließen sich jedoch aufgrund des Zerstörungsgrades der Komponenten nicht mehr feststellen.“¹⁸

3.2.6 Zusätzliche Untersuchungen

Für weiterführende Materialuntersuchungen beauftrage der Sachverständige in Absprache mit der BSU Herrn Prof. Dr.-Ing. Reinders vom FB1-Technologie der Hochschule Bremerhaven. Die in den beiden dazu gefertigten Gutachten gemachten Feststellungen werden im Gutachten von Herrn Prof. Dr.-Ing. Behrens zitiert und hier auszugsweise wiedergegeben. Die vollständigen Gutachten sind in deutscher Sprache auf der Internetseite der BSU verfügbar.

„Das abgerissene Wellenstück mit der Hydraulikmutter und nach dem Zerlegen des Turboladers auch das dazugehörige Gegenstück mit der Kerbverzahnung wurden im Labor für Werkstofftechnik der Hochschule Bremerhaven einer metallographischen Untersuchung unterzogen. Dabei wurde in erster Linie die Bruchfläche der beiden Wellenstücke untersucht, um festzustellen ob hier bereits ein Dauerschwingbruch als Anriss vorhanden gewesen ist.

Bei der Untersuchung (Anlage 2 und 3) wurde festgestellt, dass die Bruchfläche exakt am verdichterseitigen Ende der Kerbverzahnung der Turboladerwelle liegt. Der genaue Bruchausgang liegt am Ende des konischen Auslaufs der Kerbverzahnung, hier ist auf dem wellenseitigen Bruchstück auch eine minimal abgebildete Kante zu sehen. Die Bruchfläche liegt damit parallel zu den Drehriefen, die im Bereich des Übergangskegels deutlich zu erkennen sind. Auf beiden untersuchten Wellenenden ist deutlich sichtbar, dass auf der einen Seite der Welle eine ca. 180° umlaufende sichelförmige Dauerschwingbruchfläche vorhanden ist, die bereits erheblich verhämmt wurde. [siehe auch Abbildung 31]. Die Restbruchfläche des Gewaltbruchs beträgt jedoch mindestens 2/3 der gesamten Querschnittsfläche der Welle an der Bruchstelle. Auch ist offensichtlich, dass die Verbiegung der Welle nicht zu einem Öffnen des Dauerbruchs geführt hat, sondern im Gegenteil diesen geschlossen hat.

¹⁸ Ebda. S. 10 bis 11.

Es ist daher davon auszugehen, dass der Anriss in Folge eines Dauerschwingbruchs nicht schadensauslösend gewesen ist. Aufgrund der starken Verhämmerung der Dauerschwingbruchfläche ist der Ort des Bruchbeginns nicht mehr nachweisbar.

Die Hydraulikmutter, die den gesamten Verdichterrad-Wellenverband zusammengehalten hat, sitzt nach wie vor fest auf der Welle, auch die Kontermutter ist fest. Beide Muttern weisen mechanische Beschädigungen auf, die jedoch höchstwahrscheinlich bei dem Schadenseintritt aufgetreten sind. Ebenfalls sind auf den Teilen leichte Rostspuren zu erkennen, die aber auch durch den Einsatz des Löschwassers bedingt sein können. Auch besteht die Möglichkeit, dass die Korrosionsspuren durch Einwirkungen von Wasser beim Reinigen des Verdichters verursacht wurden. Auf dem Schaft der Welle sind verschiedene Metallaufschmierungen, wahrscheinlich Aluminium, zu sehen, die aber auch während des Schadensablaufs entstanden sein dürften.“¹⁹

3.2.7 Weitere Feststellungen

Im Rahmen der schriftlichen Stellungnahmen wurde berichtet, dass unmittelbar am Turbolader zuvor keine Wartungsarbeiten ausgeführt worden waren. In Drammen war lediglich der Ladeluftkühler gewaschen worden und 14 Tage zuvor hatte die Maschinenraumbesatzung einen Teil des Luftfilters, den Flies, gewechselt.

3.2.8 Besatzung

Der philippinische Kapitän begann seine Karriere nach Abschluss der Philippine Marine School im Jahre 1990 als Kadet. Er wurde zu einem 3. Nautischen Offizier im Jahr 1995, zu einem 2. Nautischen Offizier 1997 und zu einem 1. Nautischen Offizier 2001 befördert. Seit 2007 besitzt er ein Befähigungszeugnis mit Befugnissen zum Kapitän ohne Einschränkungen. Er war überwiegend auf Container- und RoRo-Schiffen tätig. Seit 2014 war er bei dieser Reederei angestellt. Auf der BALTIC BREEZE fuhr er seit 2016. Den aktuellen Einsatz begann er am 07.10.2018.

Der 2. Ingenieur ist Staatsbürger Myanmars und hat einen Abschluss des Institute of Marine Technology inne. Nach dem Abschluss im Jahre 2005 begann er 2006 als Kadet auf Schiffen zu arbeiten. Er wurde 2010 zum 4. Ingenieur, 2012 zum 3. Ingenieur und 2016 zum 2. Ingenieur befördert. Seit 2017 war er bei dieser Reederei angestellt und war überwiegend auf Autotransportern beschäftigt. Der Einsatz auf der BALTIC BREEZE begann am 16.06.2018.

Der Oiler ist ebenfalls philippinischer Staatsbürger. Er begann 1989 als Kadet und wurde anschließend als Oiler eingesetzt. Er arbeitete auf allen Arten von Schiffen. Für diese Reederei war er seit 2003 im Einsatz. Sein aktueller Kontrakt begann am 10.09.2018.

Die Arbeitszeitnachweise des 2. Ingenieurs und des Oilers wurden durch die Reederei übergeben. Sie wiesen keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Gefahr einer Übermüdung auf.

¹⁹ Ebda. S. 11 bis 12.

4 AUSWERTUNG

4.1 Schaden am Abgasturbolader

Im Rahmen des Gutachtens wurden durch den Sachverständigen der BSU die folgenden Schlussfolgerungen aus den zuvor gemachten Feststellungen gezogen: *„Die Drehzahlreduzierung wurde eingeleitet, da das Schiff sich südlich von Helgoland befand und bei der Elbe-Tonne den Lotsen übernehmen wollte. Dazu war eine Reduzierung der Geschwindigkeit des Schiffes notwendig. Die Reduzierung der Motorleistung erfolgt durch das Automationssystem, welches die Motordrehzahl um 2 Umdrehungen pro Minute verringert. Diese langsame Drehzahlreduzierung kann keinesfalls die Ursache für die beiden Pumpstöße gewesen sein. Bei einem Notstopp des Motors ist ein Pumpen des Abgasturboladers nahezu unvermeidlich, bei einer so langsamen Drehzahlreduzierung ist jedoch kein Pumpen zu erwarten.*

Nach dem vorliegenden Schadensbild ist der Schaden eindeutig vom Verdichter des Abgasturboladers ausgegangen. Die Beschädigungen im Bereich der Abgasturbine sind als Folgeschäden anzusehen.

Ein Pumpen des Turboladerverdichters bedeutet, dass im Verdichter eine Störung der Strömung vorgelegen haben muss. Diese kann von außen aufgeprägt sein, z.B. durch eine starke Verminderung des Luftdurchsatzes durch den Verdichter oder eine starke Drehzahländerung desselben.

Hinweise für eine erhebliche Reduzierung des Luftvolumenstroms durch den Verdichter durch nachfolgende Drosselung konnten nicht festgestellt werden. Eine Kontrolle des Ladeluftkühlers ergab, dass keine wesentliche Versperrung desselben vorgelegen hat. Es waren zwar Trümmerteile auf dem Lamellenpaket des Ladungsluftkühlers zu finden [Abbildung 20], die aber nicht eine zum Pumpen notwendige Verminderung des Volumenstroms ergeben haben dürften.

Eine ähnliche Auswirkung hätte eine Temperaturerhöhung der Luft nach dem Ladeluftkühler. Auch dadurch würde der Volumenstrom durch den Verdichter reduziert und der Betriebspunkt würde in Richtung der Pumpgrenze wandern. Als erste Alarmmeldung wurde ein Spülluftkanalfeuer registriert, dass eine solche Erwärmung bewirkt haben könnte. Da der Zeitpunkt des Schadens nicht näher einzugrenzen ist, kann nicht festgestellt werden, ob zuerst die Temperaturerhöhung im Spülluftkanal oder die Zerstörung des Verdichters aufgetreten ist. Im letzteren Fall wäre die Temperaturerhöhung durch Abgasrückströmung zu erklären. Die Temperaturerhöhung im Spülluftkanal müsste aber auch einen akustischen Alarm ausgelöst haben. Der Zweite Ingenieur hat aber, auch auf Nachfrage, erklärt, dass die erste Wahrnehmung einer Unregelmäßigkeit die Pumpstöße gewesen seien.“²⁰

Im Gegensatz dazu hat der Oiler in seiner schriftlichen Stellungnahme geäußert, dass er zuerst einen Alarm hörte und er daraufhin in den MKR zurückkehrte. Zum Zeitpunkt der Besichtigungen des Schiffes lagen die schriftlichen Stellungnahmen allerdings noch nicht vor. Die nachfolgenden Ausführungen des Sachverständigen beziehen sich daher auf den zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Kenntnisstand.

²⁰ Ebda. S. 12 bis 13.

„Falls die Aussage des Zweiten Ingenieurs zur zeitliche Abfolge nicht korrekt sein sollte, wäre auch denkbar, dass aufgrund der erhöhten Schwingungsbelastung der Verdichterschaufeln beim Pumpen ein Bruch erfolgt ist. Normalerweise übersteht die Beschaukelung aber ein kurzfristiges Pumpen. Die beim Pumpen auftretende Drehzahländerung ist aufgrund ihrer Größenordnung nicht geeignet, den vorliegenden Schaden zu verursachen.

Eine weitere mögliche Ursache für das Pumpen stellt eine Änderung der Geometrie der Beschaukelung dar. Diese ist im Regelfall nur durch eine Beschädigung möglich.

Im Bereich der Innenseite des Luftfilters sowie des Einströmgehäuses und der daran befestigten Elemente, wie z.B. der Abdeckung des Drehzahlsensors, war jedoch keine Beschädigung, die zu einer weiteren Beschädigung der Verdichterbeschaukelung geführt haben könnte, nachweisbar.

Eine Störung der Einlaufströmung in das Verdichterrad kann ebenfalls ein Pumpen hervorrufen.

Da nach den Pumpstößen unmittelbar die Explosion des Turboladers erfolgte, ist davon auszugehen, dass eine, wie auch immer geartete, Beschädigung der Verdichterbeschaukelung zu dem vorliegenden Schaden geführt hat.

Es ist daher mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass eine der Verdichterschaufeln selbst gebrochen ist und das Bruchstück die weiteren Schäden verursacht hat. Wie bereits vorstehend geschildert ist an zwei Schaufeln in der Nähe der Bruchfläche des Verdichterrades eine Bruchfläche auffällig, die keine wesentliche Verformung aufweist. Die nebenliegenden Schaufeln in Drehrichtung sind jedoch in ihrem Außenbereich stark verformt und es sind dort Materialteile „herausgeschossen“, was durch Abbruchstücke der vorstehenden Schaufel erfolgt sein kann. Die zweite Schaufel neben dem Bruch [Abbildung 30] ist in der Nähe des Fußes gebrochen, so dass sich hieraus relativ große Bruchstücke ergeben haben dürften. Durch das Fehlen der Schaufeln wären die Pumpstöße auch zu erklären, da dadurch die Strömung im Verdichterrad stark gestört wurde.

Da der Motor zum Zeitpunkt des Schadens noch mit ca. [103] Umdrehungen, also fast Vollast, betrieben wurde, war die kinetische Energie, die im Laufzeug des Turboladers gespeichert war, recht erheblich, da auch die Turboladerdrehzahl noch in der Nähe der Maximaldrehzahl, also im Bereich von etwa 11.000 – 12.000 Umdrehungen, gelegen haben dürfte. Der eigentliche Schadensablauf könnte daher wie folgt ausgesehen haben: Eine oder zwei Schaufeln des Verdichterrades brechen aufgrund eines Schwingbruches ab und zerlegen sich in relativ große Teilstücke. Diese beschädigen die nachfolgenden Schaufeln und verklemmen sich zwischen dem Verdichterrad und dem Verdichtergehäuse. Dadurch wird die Laufzeuggewelle verbogen und es kommt zum Anstreifen des Verdichterrades in den Labyrinthen, die dadurch umlaufend eingeebnet werden. Das heißt, der Verdichter muss mindestens noch eine Umdrehung mit komplettem Verdichterrad gemacht haben. Irgendwann in diesem Vorgang bewirken die Trümmerteile aus der Beschaukelung des Verdichterrades ein mechanisches Blockieren desselben, was durch die hohe kinetische Energie, die im Laufzeug aufgrund der hohen Drehzahl enthalten ist, dazu führt, dass das Rad sich in

der Ebene der Verdichterwelle in zwei Teile zerlegt. Eventuell ist auch schon vorher beim Brechen der Schaufeln eine Einkerbung in der Nabe des Verdichterrades entstanden, so dass dadurch die Position des Bruches vorgegeben war, da die Schaufeln, die für ein Abbrechen infrage kommen, direkt neben der Bruchebene liegen. Die beiden Teilstücke des Verdichterrades werden durch die Fliehkräfte nach außen geschleudert und durchschlagen das Verdichtergehäuse und die Spirale des Turboladers. Diese Komponenten werden dabei in kleine Teilstücke zerlegt.

Das Abreißen der Welle lässt sich zeitlich nicht genau einordnen, es ist jedoch zu vermuten, dass es in einer frühen Phase der Beschädigung, eventuell sogar noch vor dem Zerlegen des Rades, stattgefunden hat. Da die Welle um ca. 15 – 20° verbogen war, muss sie beim Schadensereignis noch intakt gewesen sein, da ansonsten keine Kräfte zur Verbiegung mehr hätten wirken können.

Wie die Untersuchungen des Labors für Werkstoffkunde der Hochschule Bremerhaven zeigen, besaß die Welle einen Anriss in Form eines Dauerschwingbruches, der auch schon an seiner Oberfläche geglättet war, also schon längere Zeit im Betrieb mitgelaufen sein muss.

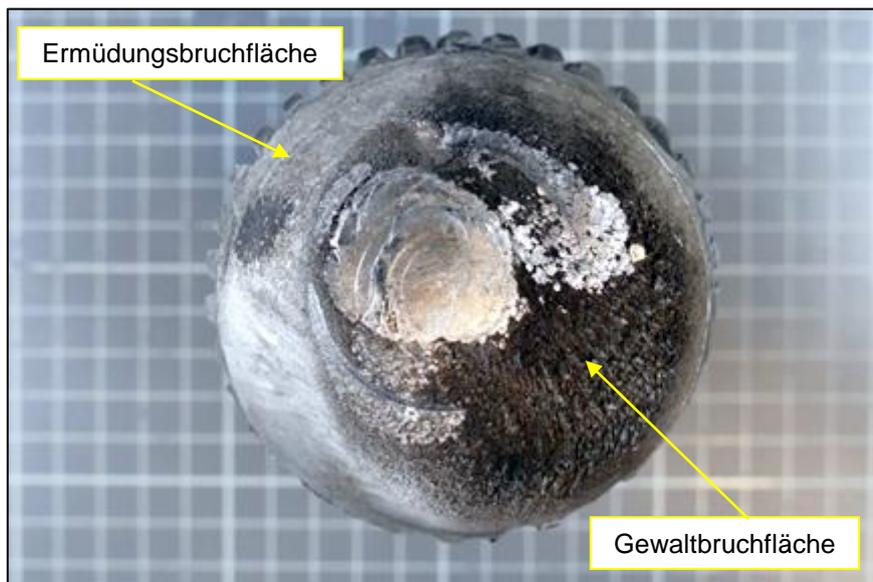


Abbildung 31: Bruchfläche der Rotorwelle mit Ermüdungs- und Gewaltbruchanteil²¹

Dieser Anriss war aber höchstwahrscheinlich nicht bruchauslösend, da die Verbiegung der Welle dazu geführt hat, dass der Anriss geschlossen und nicht geöffnet wurde. Die Verminderung der Querschnittsfläche um ca. 30 % im Bereich der Bruchfläche dürfte jedoch ein Abreißen des Wellenendes bei überhöhter Belastung durch das Blockieren des Verdichterrades begünstigt haben, da in Folge der Querschnittsverminderung die Spannungen in der Welle schneller einen kritischen Wert erreicht haben. Die Ursache des Dauerschwingbruchs ist im Nachhinein nicht mehr eindeutig zu klären. Die metallographischen Untersuchungen zeigen, dass der Bruch parallel zu Bearbeitungsriefen an der Welle aufgetreten ist, das heißt es könnte hier unter

²¹ Abbildung aus: Prof. Dr.-Ing. Reinders: Untersuchung der Bruchfläche eines Abgasturboladers Typ MET 66SC der M/V Baltic Breeze – Teil 2. 2019, S. 4.

Umständen durch eine unzureichende Oberflächenqualität bei der Bearbeitung eine verstärkte Kerbwirkung aufgetreten sein. Die Bruchform der Welle deutet auf Umlaufbiegung hin, was eine typische Überlastung durch Unwucht darstellt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass bei der letzten Montage des Verdichterrades durch die Klaue, die einen Formschluss zwischen der Welle und dem Verdichterrad herstellt, ein Span auf dem Rezess des Verdichterrades abgehoben wurde, der sich dann zwischen Klaue und Verdichterrad verklemmt hat und dadurch für eine Schiefstellung und leichte Verbiegung der Welle gesorgt hat. Dieser Vorgang ist sowohl im Turboladerhandbuch als auch in einer Servicemitteilung des Turboladerherstellers beschrieben und sollte unbedingt vermieden werden, da sich ansonsten eine Verbiegung der Welle mit entsprechenden höheren Belastungen im kritischen Bereich ergeben könnte. An den Bruchteilen des Verdichterrades, als auch an der Klaue waren jedoch keine Spuren eines derartigen Vorganges mehr nachzuweisen.

Da der Motor zum Schadenszeitpunkt noch mit einer sehr hohen Leistung lief, war auch die Abgasenergie, die der Abgasturbine zugeführt wurde, entsprechend hoch. Nach dem Abreißen der Verdichterwelle war für die Turbine kein Lastmoment mehr vorhanden, sodass aufgrund der Energiezufuhr durch die Abgase ein Überdrehen des restlichen Läufers, sprich der Welle und der Abgasturbine erfolgte. Diese Überdrehzahl muss derartige Werte erreicht haben, dass die Turbinenbeschaukelung, wie bereits geschildert, durch die Fliehkräfte abgerissen ist. Die Beschädigung der Turbinenbeschaukelung ist eindeutig als Folgeschaden einzustufen.

Die totale Zerstörung des unteren Teils des verdichterseitigen Lagerstuhls, die Trennung des Turbinengehäuses vom Lagergehäuse, die Rissbildung im turbinenseitigen Teil des Lagergehäuses und der Bruch des Turboladerfußes zeigen, dass bei der Zerstörung des Abgasturboladers enorme radiale Kräfte gewirkt haben müssen.

Die Beschädigungsspuren an der Verdichterrückwand, speziell hier im Bereich des Dichtlabyrinthes und auch die Beschädigungen des Diffusorringes lassen den Schluss zu, dass die beiden Verdichterradhälften sich waagrecht aus ihrer Position entfernt und das Verdichtergehäuse und die umliegenden Bereiche durchschlagen haben. Die Auffindeposition der Radhälften ist bereits geschildert worden. Diese ist natürlich beeinflusst durch die Flugbahn der Trümmerteile und Anschläge derselben an Maschinenraumkomponenten. Hierzu ist jedoch aufgrund des hohen Zerstörungsgrades im Maschinenraum keine Aussage mehr möglich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Schwingungsbruch einer oder mehrerer Verdichterschaufeln auslösend für das Schadensereignis gewesen ist. Ob der Schwingungsbruch durch Ermüdung, Kriechen des Werkstoffs oder eine zurückliegende kurzzeitige Überlastung ausgelöst wurde, ist nicht mehr festzustellen. Auch ist nicht bekannt, ob die Lebensdauerangaben des Herstellers für die Turboladerkomponenten die individuellen Betriebsbedingungen berücksichtigen, wie es bei einem Wettbewerber der Fall ist.

Die übrigen Beschädigungen des Turboladers und der Maschine, sowie des Maschinenraums sind als Folgeschäden anzusehen.“²²

„Aufgrund des Aussehens der Schadensstelle und insbesondere der Verdichterrückwand und des Lagerbereichs des Turboladers ist davon auszugehen, dass nach dem Abreißen der Turboladerwelle und der Zerstörung des Verdichtergehäuses Schmieröl aus dem Lager des Abgasturboladers ausgetreten ist, was sich an durch den Bruch erhitzten Bruchstücken entzündet hat. Der Öldurchsatz durch die Lager beträgt laut Betriebsanleitung [...] ca. 130 l/min. Das bedeutet, dass bei der Dauer des Feuers und bis zum Abstellen der Ölpumpen davon auszugehen ist, dass ca. 30 bis 50 l Schmieröl verbrannt sein können.“²³

4.2 Brandbekämpfung durch Besatzung

Der 2. Ingenieur reagierte unmittelbar auf den Brandausbruch durch die Aktivierung der auch im Bereich der Turboladerplattform installierten HI-FOG-Feuerlöschanlage.

Dies und das Betätigen der Schnellschlussventile für die Hauptmaschine führten zu einem schnellen Verlöschen des Brandes, da mit dem Stillstand der Hauptmaschine auch kein weiteres Öl zum Turbolader transportiert wurde, was dort hätte verbrennen können.

Durch die Besatzung der BALTIC BREEZE wurde im Zuge der ersten Maßnahmen der Verschlusszustand hergestellt. Aufgrund der starken Verrauchung war ein Vordringen in den Maschinenraum zunächst nicht möglich. Daher konnten zu Beginn auch keine Aussagen zur Lage im Maschinenraum getroffen werden.

Insgesamt erscheint den Untersuchern das Vorgehen der Besatzung in der Nachschau als gut koordiniert und planvoll. Die Besatzung löschte den Brand mit den ihr zur Verfügung stehenden Mitteln. Über die Entwicklung an Bord wurde die VKZ jederzeit informiert.

²² Ebda. S. 13 bis 16.

²³ Ebda. S. 5.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Durch die Untersuchung des Sachverständigen wurden fünf mögliche Ursachen für die Zerstörung des Abgasturboladers der BALTIC BREEZE herausgearbeitet. Diese Ursachen könnten sein:

1. Starke Veränderung der Drehzahl der Hauptmaschine innerhalb kurzer Zeit
2. Versperrung des Ladeluftkühlers und damit verbundene Störung der Durchströmung dieses Bauteils
3. Veränderung der Geometrie der Beschaukelung des Verdichterrades durch einen externen Fremdkörper und damit einhergehender Störung der Einlaufströmung
4. Veränderung des Luftwiderstands nach dem Verdichterrad durch einen Brand im Spülluftkanal
5. Veränderung der Geometrie der Beschaukelung durch einen Schaden am Verdichterrad selbst und damit einhergehender Störung der Einlaufströmung

Grundsätzlich ist dazu festzustellen, dass die nicht vorhandenen Daten zu den Betriebszuständen der Hauptmaschine die Untersuchung erschwerten. Dadurch wurde auch die Zuordnung der durch das Alarmlog aufgezeichneten Alarme zu den Betriebszuständen verhindert. Anzumerken ist dazu, dass eine solche Datenerfassung bei Schiffen dieses Baualters eher unüblich ist.

Nachfolgend wird die Wahrscheinlichkeit diskutiert, dass eine der genannten Ursachen zum Auslösen des Schadens geführt hat:

- Zu 1. Im Ergebnis der Untersuchung wird nicht davon ausgegangen, dass es kurz nach dem Beginn der automatischen Reduzierung zu einer signifikanten Drehzahländerung der Hauptmaschine kam. Zwar sind dazu keine technischen Aufzeichnungen vorhanden, jedoch wird davon ausgegangen, dass eine solche Änderung durch die Maschinenraumbesatzung bemerkt worden wäre.
- Zu 2. Die Überprüfung des Ladeluftkühlers ergab keine Anhaltspunkte für diese Annahme.
- Zu 3. Die Überprüfung des Luftfilters und des Einströmgehäuses ergab keinen Hinweis darauf, dass sich von diesen Bauteile lösten, anschließend angesaugt wurden und dabei die Beschaukelung des Verdichterrades beschädigten.
- Zu 4. Es ist wahrscheinlich, dass als erstes Ereignis der Brand im Spülluftkanal auftrat. Die Stellungnahme des Oilers weist zumindest darauf hin. Der Brand führte dann zum Pumpen des Turboladers. Ein Turbolader ist so konstruiert, dass er üblicherweise ein Pumpen ohne Schäden übersteht. Aufgrund der festgestellten Hinweise auf einen bereits bestehenden Schaden an einer oder mehrerer Verdichterschaufeln kann das Pumpen zu einer Überlastung dieser Schaufeln geführt haben. Diese Überlastung führte dann zum Brechen der Verdichterschaufeln und letztendlich zum Totalschaden des Turboladers.

Eine mögliche Ursache für den Brand im Spülluftkanal konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

Zu 5. Genauso wahrscheinlich ist, dass der Schwingungsbruch einer oder mehrerer Verdichterschaufeln aufgrund des Erreichens der Haltbarkeitsgrenze, d. h. ohne Einwirkung von außen, das primäre Ereignis war. Das Einbrechen der Förderleistung im Zuge des Schadens löste die Rückströmung aus, was dann zum Pumpen des Turboladers führte. Unmittelbar darauf kam es zur Zerstörung des Turboladers in der beschriebenen Weise.

Es konnte im Rahmen der Untersuchung nicht sicher bestimmt werden, ob der im Labor für Werkstoffkunde festgestellte Schaden an der Turboladerwelle, der Ermüdungsbruch, zu einem unrunder Lauf der Welle führte und damit möglicherweise ursächlich für den Vorschaden an den Verdichterschaufeln war.

Durch die Untersuchung konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass ein falscher oder mangelhafter Umgang der Besatzung mit dem Turbolader oder eine fehlerhafte Wartung durch die Besatzung zu einem Vorschaden führten, der die Zerstörung des Turboladers begünstigte. Diese Feststellung gilt auch für die Durchführung der letzten Arbeiten am Turbolader durch das Serviceunternehmen.

Da in der Untersuchung keine eindeutige Unfallursache ermittelt werden konnte, enthält dieser Bericht auch keine Sicherheitsempfehlungen.

6 QUELLENANGABEN

- Ermittlungen der Bundespolizei
- Ereignistagebuch des Maritimen Lagezentrums
- Meldebericht der VKZ German Bight
- Lagemeldungen des WSP-Reviers Brunsbüttel
- Bericht, einschließlich Brandbericht, der Polizei Cuxhaven
- Einsatzbericht der Feuerwehr Cuxhaven
- Schiffsdokumente der BALTIC BREEZE
- Handbuch des Herstellers für den Abgasturbolader
- Schriftliche Erklärungen/Stellungnahmen von Besatzungsmitgliedern der BALTIC BREEZE
- Gutachten des Sachverständigen Herrn Prof. Dr.-Ing. Behrens und die damit im Zusammenhang stehenden Gutachten des Sachverständigen Herrn Prof. Dr.-Ing. Reinders
- Seekarte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Abbildungen (soweit nicht an der Abbildung selbst genannt):
 - BSU: Abbildungen 1, 6 bis 11, 13 bis 15, 17, 19 bis 24
 - Gutachten Maschinenschaden: Abbildungen 16, 18, 25 bis 30
 - Gutachten Materialuntersuchung: Abbildung 31.

7 ANLAGEN

Die im Zusammenhang mit der Untersuchung erarbeiteten Gutachten werden in diesem Bericht nur auszugsweise wiedergeben. Das Hauptgutachten mit allen Anlagen ist auf der Internetseite der Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (www.bsu-bund.de) auf Deutsch verfügbar.