



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

## **Untersuchungsbericht 405/20**

### **Weniger schwerer Seeunfall**

**Anfahrung einer Kaimauer durch  
das Tankschiff NORTHSEA RATIONAL  
in Hamburg  
am 25. November 2020**

25 November 2021

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

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

Bei der Auslegung des Untersuchungsberichtes ist die deutsche Fassung maßgebend.

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



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

Fax.: +49 40 3190 8340  
[www.bsu-bund.de](http://www.bsu-bund.de)

## Änderungsverzeichnis

Seite	Änderung	Datum

## Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG .....	6
2	FAKTEN .....	7
2.1	Schiffsfoto.....	7
2.2	Schiffsdaten.....	7
2.3	Reisedaten .....	8
2.4	Einschaltung der Behörden an Land und Notfallmaßnahmen .....	8
2.5	Angaben zum Seeunfall .....	8
3	UNFALLHERGANG UND UNTERSUCHUNG .....	10
3.1	Unfallhergang .....	10
3.2	Untersuchung .....	12
3.2.1	NORTHSEA RATIONAL.....	12
3.2.2	Aufzeichnung Schiffsdatschreiber .....	12
3.2.2.1	NMEA-Daten .....	12
3.2.2.2	Wiedergabe der Daten mit der Software .....	13
3.2.2.3	Audiodaten .....	15
3.2.2.4	Videodaten .....	17
3.2.3	Besatzung .....	20
3.2.4	Untersuchungsverlauf .....	20
3.2.5	Die Ruderanlage der NORTHSEA RATIONAL.....	22
3.2.6	Steuerung der Rudermaschine.....	25
3.2.7	Die Bedienung der Ruderanlage auf der Brücke .....	27
3.2.8	Untersuchung der Rudermaschine.....	31
3.2.9	Rudermaschinensteuerung und Autopilot .....	32
3.2.10	Die elektrische Verbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung .....	35
3.2.11	Relais als potenzialfreie Kontakte zwischen Autopiloten und Rudermaschinensteuerung .....	37
3.2.12	Weitere Untersuchungsschritte .....	38
4	AUSWERTUNG .....	40
4.1	Technische Aufzeichnungen .....	40
4.2	Handlungen der Schiffsführung.....	40
4.3	Notfallsteuerung .....	40
4.4	Signalverbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung .....	41
4.5	Fazit .....	42
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	44
5.1	Unfallursache .....	44
5.2	Beeinflussende Faktoren.....	44
5.2.1	Ruderanlagensteuerung.....	44
5.2.2	Umschalten vom Autopiloten auf FU-Steuerung .....	45
5.2.3	Handbücher.....	46

6	BEREITS DURCHGEFÜHRTE MAßNAHMEN .....	47
7	SICHERHEITSEMPFEHLUNG .....	48
7.1	Hersteller der Ruderanlagensteuerung .....	48
8	QUELLENANGABEN.....	49
9	ANLAGEN .....	50
9.1	Überprüfung der elektrischen Funktionalität der Relais der Ruderanlagensteuerung .....	50
9.2	Untersuchung der Kontaktoberflächen der Relais der Ruderanlagensteuerung .....	50

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Verlauf des Ereignisses auf der Basis der Aufzeichnung des Schiffsdatschreibers .....	16
--	----

### **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: NORTHSEA RATIONAL .....	7
Abbildung 2: Seekarte mit Liegeplatz, Ereignisort und Unfallort .....	9
Abbildung 3: NORTHSEA RATIONAL – Schaden am Bug nach der Anfahrung .....	11
Abbildung 4: Standbild der Wiedergabe Schiffsdatschreiber um 10:20:28 Uhr ....	14
Abbildung 5: Ruderlagen und Kursverlauf .....	15
Abbildung 6: Radarbild 10:18 Uhr, 1. Bild.....	17
Abbildung 7: Radarbild 10:19 Uhr, 1. Bild.....	18
Abbildung 8: Radarbild 10:20 Uhr, 1. Bild.....	18
Abbildung 9: Radarbild 10:21 Uhr, 1. Bild.....	19
Abbildung 10: Radarbild 10:21 Uhr, 4. Bild.....	19
Abbildung 11: Vereinfachte Darstellung einer Drehflügelrudermaschine.....	23
Abbildung 12: Rudermaschine der NORTHSEA RATIONAL.....	24
Abbildung 13: Rudermaschine NORTHSEA RATIONAL, Draufsicht.....	24
Abbildung 14: Bedieneinheit der Ruderanlagensteuerung in zentraler Konsole .....	28
Abbildung 15: Bedieneinheit des Autopiloten .....	28
Abbildung 16: Bedieneinheit der Ruderanlagensteuerung .....	29
Abbildung 17: Beschreibung des Umschaltvorgangs .....	30
Abbildung 18: Fahrstand in der Steuerbordnock .....	30

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Am Morgen des 25. November 2020 legte die NORTHSEA RATIONAL von ihrem Liegeplatz in Hamburg ab, um in Richtung Nordsee zu fahren. Das Schiff ist ein unter der Flagge von Malta fahrender Chemikalien- und Produktentanker. Auf der Brücke befanden sich der Kapitän, der das Ruder bedienende Zweite Nautische Offizier und der beratende Hafенlotse. Zuerst wurde der Köhlbrand passiert. Dann schwenkte das Schiff in die Elbe ein. Als die NORTHSEA RATIONAL annähernd auf dem gewünschten Kurs lag, teilte der Lotse der Schiffsführung mit, dass nun auf Autopiloten geschaltet werden könne. Die Geschwindigkeit des Schiffes betrug zu diesem Zeitpunkt etwa 10 kn. Das nördliche Ufer war auf dem Fluss nicht weit entfernt.

Während des Umschaltvorganges bewegte sich das Ruder plötzlich schnell und unbeabsichtigt nach Steuerbord und erreichte einen Ruderwinkel von 26,7°. Nach kurzer Zeit lief es zurück auf die Mittschiffslage. Durch den Ruderausschlag begann das Schiff nach Steuerbord zu drehen. Die Bemühungen der Brückenbesatzung, die Kontrolle über die Rudersteuerung zurückzuerlangen, schlugen fehl. So drehte die NORTHSEA RATIONAL weiter auf das Ufer zu. Die Schiffsführung reagierte darauf, indem sie die Verstellpropelleranlage auf „Voll Zurück“ legte und anordnete, den Backbordanker fallen zu lassen. So konnte die Aufprallgeschwindigkeit auf eine Kaimauer auf der Nordseite des Flusses verringert werden.

Durch die Anfahrung entstand ein größerer Schaden am Vorschiff der NORTHSEA RATIONAL. Das machte einen Werftaufenthalt notwendig. Auch die Kaimauer erlitt einen größeren Schaden. Durch das Ereignis wurden keine Personen verletzt und es entstand kein Umweltschaden.

Der Untersuchungsbericht befasst sich umfangreich mit den technischen Ermittlungen zur Unfallursache. Dabei wird die falsche Konfiguration der Ruderanlagensteuerung, die sich daraus ergebende starke Beanspruchung elektronischer Bauteile und der kurzfristige Ausfall eines Relais thematisiert. Im Rahmen dieser Ermittlungen wurden drei Gutachten gefertigt. Die Ergebnisse dieser Begutachtungen sind ebenfalls Bestandteil des Berichtes.

Die im Untersuchungsbericht gemachte Sicherheitsempfehlung bezieht sich auf die Verbesserung des Handbuches des Herstellers der Ruderanlagensteuerung.

## 2 FAKTEN

### 2.1 Schiffsfoto



Abbildung 1: NORTHSEA RATIONAL<sup>1</sup>

### 2.2 Schiffsdaten

Schiffsname:	NORTHSEA RATIONAL
Schiffstyp:	Chemikalien- und Produktentankschiff
Flagge:	Malta
Heimathafen:	Valletta
IMO-Nummer:	9334296
Unterscheidungssignal:	9HA2180
Eigner:	North Sea Chemicals AS
Kommerzieller Betreiber:	North Sea Tankers BV
Reederei:	Miklagard S Gemi İşletmeciliği
Baujahr:	2006
Bauwerft:	Celik Tekne Shipyard, Türkei
Klassifikationsgesellschaft:	DNV
Länge ü.a.:	108,5 m
Breite ü.a.:	16,0 m
Tiefgang maximal:	6,4 m
Bruttoraumzahl:	3.991
Tragfähigkeit:	6.232 t
Maschinenleistung:	2.720 kW
Hauptmaschine:	MAN B&W 8L27/38
Geschwindigkeit:	14 kn
Werkstoff des Schiffskörpers:	Stahl
Schiffskörperkonstruktion:	Doppelhülle
Mindestbesatzung:	10

<sup>1</sup> Quelle: Hasenpusch Photo Productions.

### 2.3 Reisedaten

Abfahrtshafen:	Hamburg
Bestimmungshafen:	Malmö/Schweden
Art der Fahrt:	Berufsschiffahrt/International
Angaben zur Ladung:	Fettsäuremethylester (Biodiesel)
Besatzung:	14
Tiefgang zum Unfallzeitpunkt:	$T_v = 6,20$ m, $T_a = 6,50$ m
Lotse an Bord:	Ja
Anzahl der Passagiere:	keine

### 2.4 Einschaltung der Behörden an Land und Notfallmaßnahmen

Beteiligte Stellen:	Nautische Zentrale Hamburg <sup>2</sup> , Wasserschutzpolizei Hamburg
Eingesetzte Mittel:	Drei Schlepper
Ergriffene Maßnahmen:	Schlepperunterstützung bis zum zugewiesenen Liegeplatz

### 2.5 Angaben zum Seeunfall

Art des Seeunfalls:	Weniger schwerer Seeunfall: Anfahrung einer Kaimauer
Datum/Uhrzeit:	25. November 2020, 10:22 Uhr <sup>3</sup>
Ort:	Elbe
Breite/Länge:	$\varphi$ 53° 32,6'N, $\lambda$ 009° 55,04'E
Fahrtabschnitt:	Revierfahrt
Platz an Bord:	Schaden im Bugbereich
Folgen:	Rückkehr in den Hafen, Werftaufenthalt zur Reparatur des Vorschiffes, zuvor Leichterung des Schiffes; Reparatur der Ruderanlage

<sup>2</sup> Name der Verkehrszentrale für das Hamburger Gebiet.

<sup>3</sup> Alle Zeiten im Bericht in Ortszeit (LT = Local Time) = UTC + 1 Stunde, wenn nicht anders bezeichnet.

## Ausschnitt aus Seekarte 1662 des BSH

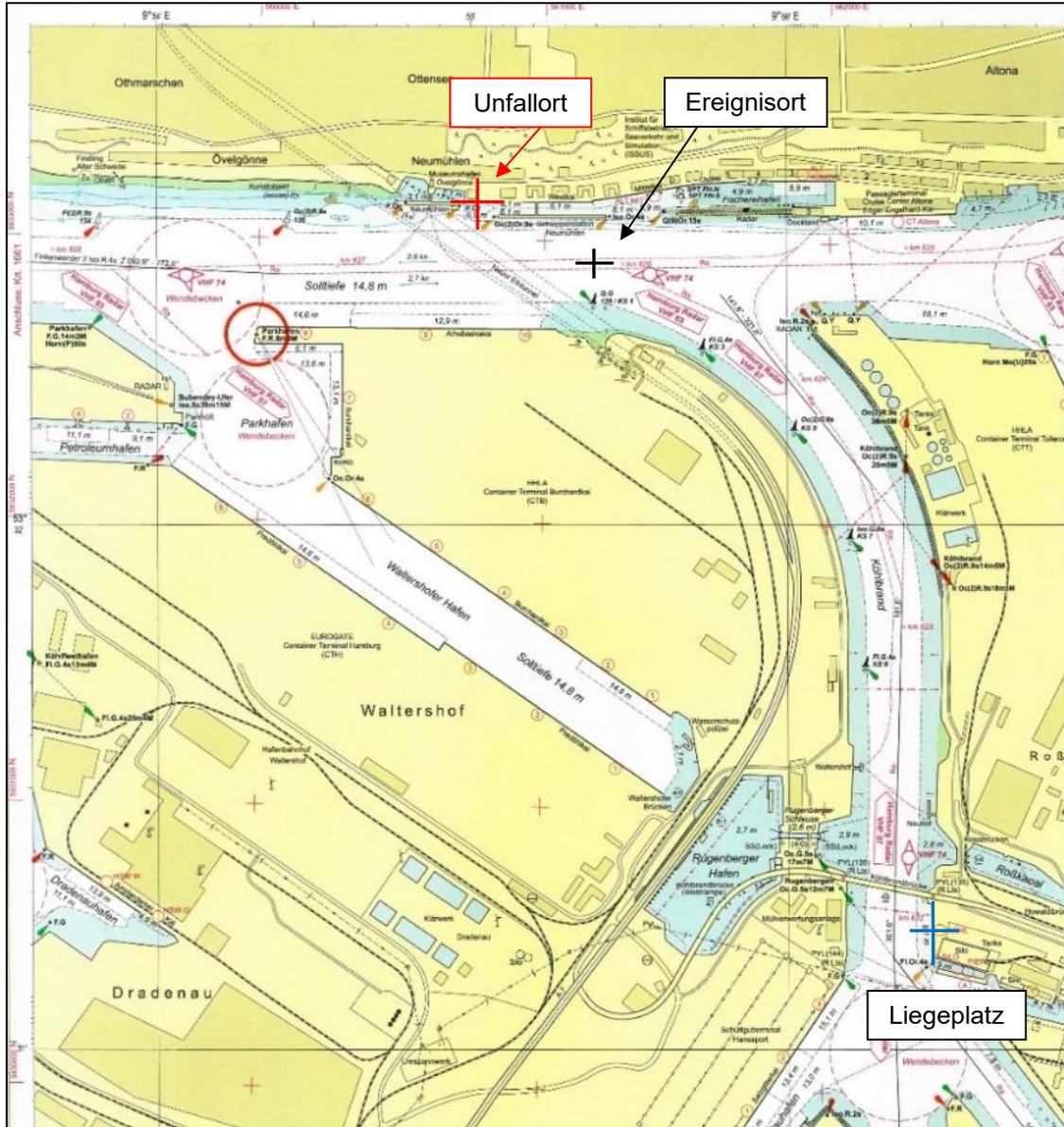


Abbildung 2: Seekarte mit Liegeplatz, Ereignisort und Unfallort

### 3 UNFALLHERGANG UND UNTERSUCHUNG

#### 3.1 Unfallhergang

Das unter der Flagge von Malta fahrende Chemikalien- und Produktentankschiff NORTHSEA RATIONAL sollte am Morgen des 25. November 2020 mit einer Ladung Biodiesel<sup>4</sup> in Richtung Malmö ablegen. Das Schiff hatte diese Ladung in Hamburg am Liegeplatz der ADM Hamburg AG am Köhlbrand übernommen.

Der nachfolgende Unfallhergang beruht auf der Darstellung des Kapitäns und der anderen beteiligten Offiziere des Schiffes.

Nach dem Abschluss der Beladung begann das Seeklarmachen des Schiffes. Die Brücke wurde durch den Zweiten Nautischen Offizier (II. NO) gemäß den Vorgaben der Reederei und anhand einer Checkliste vorbereitet. Die Vorbereitungen zum Auslaufen im Maschinenraum umfassten auch die Überprüfung der Ruderanlage. Dabei wurden keine Fehlfunktionen, Leckagen oder Abweichung vom Normalzustand festgestellt.

Der Hafенlotse erreichte gegen 09:40 Uhr das Schiff. Um 10:05 Uhr waren alle Leinen los und das Schiff legte bei guter Sicht ohne Schlepperunterstützung ab. Der Wind wehte laut Schiffsdatenschreiber in dieser Zeit mit 2 bis 3 Bft aus nordwestlicher Richtung.

Auf der Brücke befanden sich während des Ablegens und der anschließenden Revierfahrt neben dem Lotsen der Kapitän und der II. NO. Dieser fungierte als Rudergänger. Er stand dabei an der zentralen Konsole und betätigte das Ruder manuell. Der Lotse gab die Ruderkommandos direkt an den II. NO. Der Kapitän bediente von der zentralen Konsole aus die Regelung der Steigung des Verstellpropellers nach den Empfehlungen des Lotsen.

Die Linkskurve des Köhlbrands wurde ohne Schwierigkeiten und zum Teil mit reduzierter Geschwindigkeit passiert, da hier Taucherarbeiten stattfanden. Anschließend wurde die Geschwindigkeit wieder erhöht.

Der Köhlbrand wurde dann unter Beibehaltung der Drehung nach Backbord verlassen. So sollte der notwendige Kurs für die Befahrung des Flusses eingesteuert werden. Zu diesem Zeitpunkt lief die Flut entgegen. Als etwa ein Kompasskurs von 275<sup>o5</sup> erreicht war, empfahl der Lotse das Umschalten auf den Autopiloten<sup>6</sup>. Während des Umschaltvorgangs auf den Autopiloten begann das Schiff plötzlich nach Steuerbord zu drehen. Die Drehung wurde durch einen selbständigen und unbeabsichtigten Ruderausschlag nach Steuerbord ausgelöst. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Geschwindigkeit des Schiffes ca. 10 kn. Das nördliche Ufer war nach Angabe des Kapitäns ca. 150 m entfernt.

---

<sup>4</sup> Konkret: Fettsäuremethylester (FAME).

<sup>5</sup> Der Kartenkurs der Radarlinie beträgt in diesem Bereich 269°.

<sup>6</sup> Hier und im Weiteren verwendete Bezeichnung für die Selbststeuerungsanlage. Beide Begriffe meinen eine Anlage zur selbsttätigen Kursregelung eines Schiffes.

Es wurde sofort versucht, mit der Handsteuerung das Schiff nach Backbord zu drehen. Das Schiff setzte jedoch seine Drehung nach Steuerbord fort. Es wurde offensichtlich, dass eine Fehlfunktion der Ruderanlagensteuerung vorlag.

Um die Geschwindigkeit zu reduzieren, legte der Kapitän die Steigung des Verstellpropellers auf „Voll Zurück“. Es war dem Kapitän klar, dass es zu einer Anfahrung am nördlichen Ufer kommen würde. Daher wurde das Typhon eingesetzt, um die Umgebung zu warnen.

Außerdem wurde der Backbordanker mit zwei Kettenlängen fallen gelassen. Das konnte schnell erfolgen, da beide Anker entsprechend vorbereitet waren. Dies wurde durch den Ersten Nautischen Offizier und den Bootsmann ausgeführt, die sich beide noch auf der Back befanden. Beide Maßnahmen verringerten die Aufprallgeschwindigkeit. Das Ausbringen des Ankers verursachte einen leichten Dreh nach Backbord.

In seiner Stellungnahme stellte der Kapitän abschließend fest, dass die letzte Übung zu den Maßnahmen bei einem Fehler an der Ruderanlage fünf Wochen zuvor stattgefunden hatte.

Der Aufprall auf die Kaimauer erfolgte in einem Winkel von ca. 60°. Daher befanden sich die meisten Beschädigungen am Schiff auf der Steuerbordseite des Bugs.

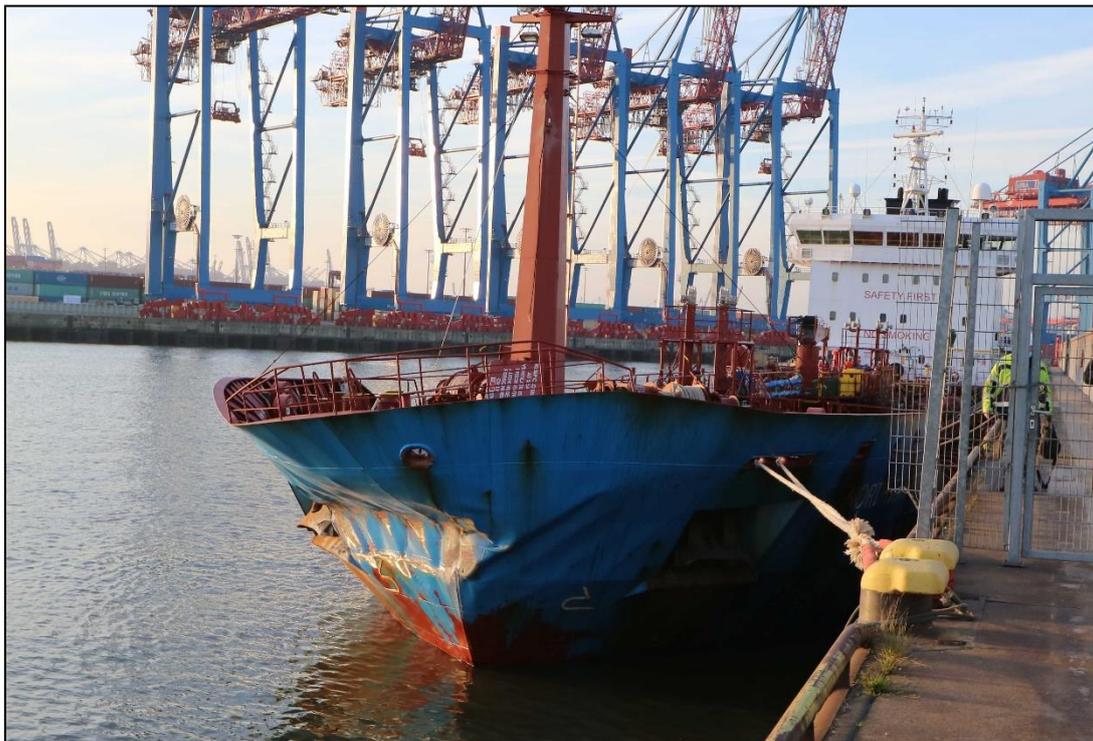


Abbildung 3: NORTHSEA RATIONAL – Schaden am Bug nach der Anfahrung

Die sofort nach der Anfahrung durchgeführten Kontrollen der Räume im Vorschiff und der Tanks ergaben, dass es zu keinem Wassereintritt in das Schiff oder einer Verunreinigung der Umwelt durch austretende Stoffe kam.

Das Schiff konnte sich kurz darauf unter Zuhilfenahme des eigenen Antriebs und durch das Einhieven des Ankers von der Kai lösen. Wenig später machte die Besatzung der NORTHSEA RATIONAL jeweils einen Schlepper vorn und achtern fest. Diese unterstützten das Schiff bei der Fahrt zum zugewiesenen Liegeplatz, wobei ein dritter Schlepper begleitete. Am neuen Liegeplatz war das Schiff um 11:15 Uhr fest.

## **3.2 Untersuchung**

### **3.2.1 NORTHSEA RATIONAL**

Die NORTHSEA RATIONAL wird seit Juni 2020 durch das gegenwärtige Management betrieben, d. h. zu diesem Zeitpunkt wechselte auch die Besatzung.

Das Schiff hat eine für diese Art von Schiff typische Größe von 108 m Länge. Es besitzt 13 Ladetanks mit einem Fassungsvermögen von ca. 6455 m<sup>3</sup>. Die Aufbauten befinden sich achtern.

Das Schiff ist mit einem Verstellpropeller und einem Becker-Ruder ausgerüstet.

### **3.2.2 Aufzeichnung Schiffsdatenschreiber**

Die Daten des an Bord befindlichen Schiffsdatenschreibers vom Typ JRC JCY-1700 wurden am Nachmittag des Unfalltages durch die Unfalluntersucher der BSU gesichert. Dazu wurde die als Speichermedium genutzte CompactFlash-Karte aus dem Gerät entnommen und der Inhalt kopiert. Das Speichermedium wurde anschließend wieder der Besatzung ausgehändigt.

Die auf der Speicherkarte vorgefundene Aufzeichnung deckte den Zeitraum zwischen 02:30:03 Uhr und 15:31:03 Uhr am 25. November 2020 ab. Die Notfallspeicherung war also am neuen Liegeplatz, wo das Schiff nach dem Unfall angelegt hatte, ausgeführt worden.

#### **3.2.2.1 NMEA-Daten**

Für die Untersuchung wurden nur die Daten des für den Unfall relevanten Zeitraums (10:05:22 Uhr bis 10:30:07 Uhr) ausgewertet. Insbesondere die gespeicherten NMEA-Daten<sup>7</sup> zur Ruderanlagensteuerung und dem Autopiloten für die Zeit 10:20 Uhr bis 10:22 Uhr für:

- Override<sup>8</sup>,
- Selected Steering Mode,
- Commanded Rudder Angle,
- Rudder Angel,
- Commanded Heading to Steer und
- Vessels Heading

---

<sup>7</sup> NMEA – National Marine Electronics Association. Die Organisation definiert Standards für die Kommunikation zwischen Navigationsgeräten auf Schiffen.

<sup>8</sup> Nähere Beschreibungen der Bedeutungen in DIN EN 61162-1 – Navigations- und Funkkommunikationsgeräte und –systeme für die Seeschifffahrt – Digitale Schnittstellen – Teil 1: Ein Datensender und mehrere Datenempfänger (IEC 61162-1:2016); hier Pkt. 8.3.55 HTC – Heading/track control command; HTD – Heading /track control data.

waren von Interesse. Aus den Daten ist erkennbar, dass die Ruderanlage um 10:20:20 Uhr begann, das Ruder nach Steuerbord zu legen. Die Ruderanlagensteuerung stand zu diesem Zeitpunkt auf manueller Steuerung. Das Ruder wurde aber laut der Stellungnahme des Rudergängers nicht durch diesen nach Steuerbord gelegt. Die maximale Auslenkung nach Steuerbord wurde mit 26,7° um 10:20:26 Uhr erreicht. Anschließend lief das Ruder wieder zurück. Die Mittschiffslage wurde um 10:20:36 Uhr mit 00,5° erreicht.

Die Untersucher stellten fest, dass während des Zurücklaufens des Ruders in die Mittschiffslage von 10:20:30 Uhr bis 10:20:42 Uhr die Ruderanlagesteuerung von Handsteuerung auf Autopiloten umgeschaltet wurde. Der vorgegebene Kurs (Commanded Heading to Steer) betrug in dieser Zeit 274,8°. Da die Abweichung der Vorausrichtung des Schiffes (Heading) vom Sollkurs mit 275,3° gering war, reduzierte sich der durch den Autopiloten vorgegebene Ruderwinkel von zunächst 06,0° Steuerbord dann auf 00,7° Steuerbord (um 10:20:34 Uhr). Dem folgte auch die tatsächliche Ruderlage.

Für einen kurzen Zeitraum von 2 Sekunden wurden dann durch den Autopiloten eine Ruderlage nach Steuerbord vorgegeben (10:20:36 Uhr; 8,2°), obwohl die Abweichung vom vorgegebenen Kurs inzwischen ca. 3° nach Steuerbord betrug. Ab 10:20:38 Uhr gab der Autopilot eine Ruderlage von 6,5° nach Backbord vor. Die vorgegebene Ruderlage nahm um 10:20:40 Uhr auf 12,7° nach Backbord zu. Das erscheint folgerichtig, da die Abweichung vom vorgegebenen Kurs inzwischen +4,4° betrug. Wie bereits dargestellt, wurde um 10:20:42 Uhr auf die Handsteuerung zurückgeschaltet.

Ein zweites Umschalten auf den Autopiloten erfolgte um 10:20:52 Uhr. Der vorgegebene Kurs betrug zu dieser Zeit 282,1°. Das Heading betrug 282,9°. Um 10:20:54 Uhr wurde auf Handschaltung zurückgeschaltet.

Im weiteren Verlauf bis zur Pieranfahrung blieb die Ruderanlagensteuerung auf Handsteuerung. Ein Umschalten auf Non-Follow-Up-Betrieb (Override) (siehe dazu Pkt. 3.2.6) wurde nicht verzeichnet.

### 3.2.2.2 Wiedergabe der Daten mit der Software

Das Replay (10:05:22 Uhr bis 10:30:07 Uhr) erfolgte mit der bereits bei der BSU vorhandenen und dafür vorgesehenen Software des Herstellers des Schiffsdatenschreibers.

Das erste verwertbare Radarbild wurde um 10:12 Uhr aufgezeichnet, da dieses Radargerät erst zu diesem Zeitpunkt vom Standby-Modus in den Betriebsmodus geschaltet wurde.<sup>9</sup> Das Schiff hatte da bereits die Köhlbrandbrücke passiert.

Die gleichzeitige Wiedergabe der Bewegungsdaten und des dazugehörigen Radarbildes war der BSU mit der Wiedergabesoftware des Herstellers nicht möglich.

---

<sup>9</sup> Die für das Schiff geltenden Performance Standards for Shipborne Voyage Data Recorders gem. Resolution A.861(20) Nr. 5.4.7. schreiben nur die Aufzeichnung eines Radargerätes vor. Die Feststellung zum Einschaltzeitpunkt des genannten Radargerätes lassen nicht den Schluss zu, dass während des Ablegens keines die beiden Radargeräte eingeschaltet war.

Daher erfolgt nachfolgend die getrennte Darstellung einerseits der Bewegungsdaten des Schiffes in Verbindung mit der Audioaufzeichnung des Geschehens auf der Brücke (Tabelle 1) und andererseits der Radarbilder (Abbildungen 6 bis 10).

Die Darstellung innerhalb der Wiedergabesoftware enthielt Informationen zur Geschwindigkeit des Schiffes durchs Wasser (STW = Speed through Water) in digitaler und analoger Form, der Vorausrichtung (Heading), der Ruderlage, der Wassertiefe unter dem Kiel, der Position, der Uhrzeit und dem Wind (Richtung und Geschwindigkeit).

Die Darstellung mit Hilfe der Wiedergabesoftware enthielt keine Informationen über die gewählte Steigung der Verstellpropelleranlage<sup>10</sup> bzw. hinsichtlich der Telegrafenstellung, die Reaktion innerhalb der Ruderanlagensteuerung auf einen Steuerbefehl und die Signalumsetzung (Order and Response) oder den Status oder die Einstellungen am Autopiloten.

Abbildung 4 gibt einen Eindruck über die Darstellung der Daten durch die Wiedergabesoftware. In der Abbildung ist der Zeitpunkt der größten Ruderlage nach Steuerbord (26,7°) dargestellt. Die Geschwindigkeit durchs Wasser beträgt 9,7 kn.

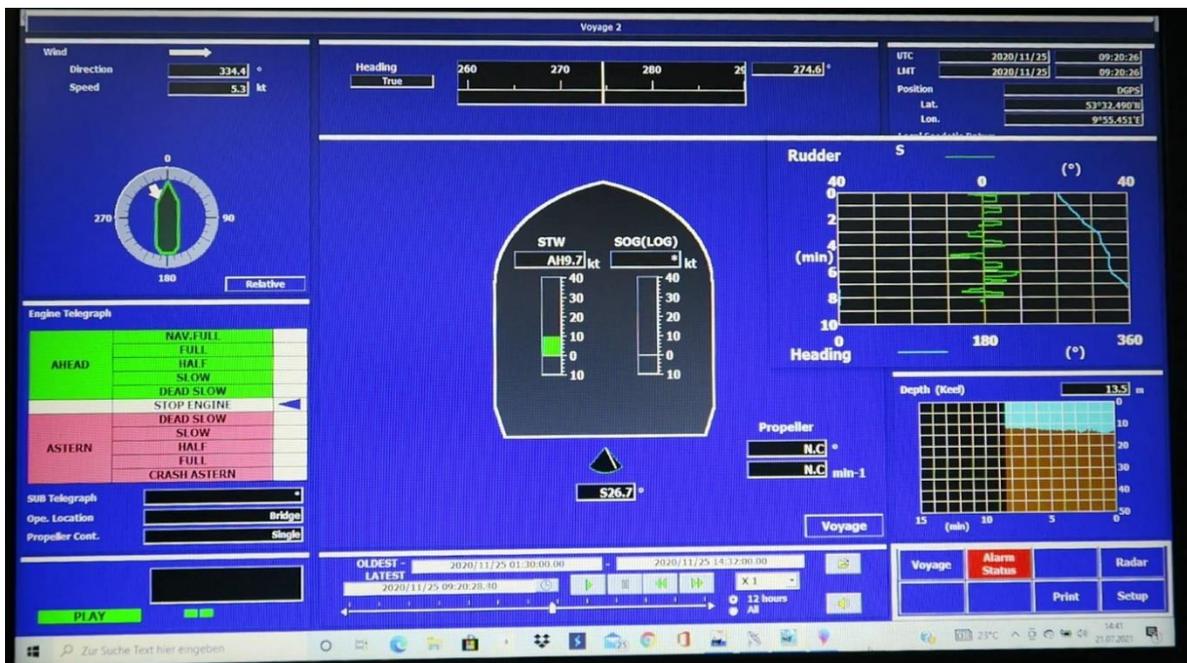


Abbildung 4: Standbild der Wiedergabe Schiffsdatenschreiber um 10:20:28 Uhr

Zeitpunkt der größten Ruderlage nach Steuerbord nach der Fehlfunktion der Ruderanlagensteuerung.

Abbildung 5 ist ein Ausschnitt aus der Darstellung der Daten durch die Wiedergabesoftware. Sie zeigt den Verlauf der Ruderlagen und den Kursverlauf im kritischen Zeitraum, d. h. ca. drei Minuten vor und zwei Minuten nach dem Ausfall. Nach dem starken Ausschlag nach Steuerbord wurde ein weiterer geringerer

<sup>10</sup> Resolution A.861(20) Nr. 5.4.11.

Ausschlag nach Steuerbord (ca. 8°) und ein anschließender Ausschlag nach Backbord (ca. 4°) aufgezeichnet. Dann verblieb das Ruder in annähernder Mittschiffslage.

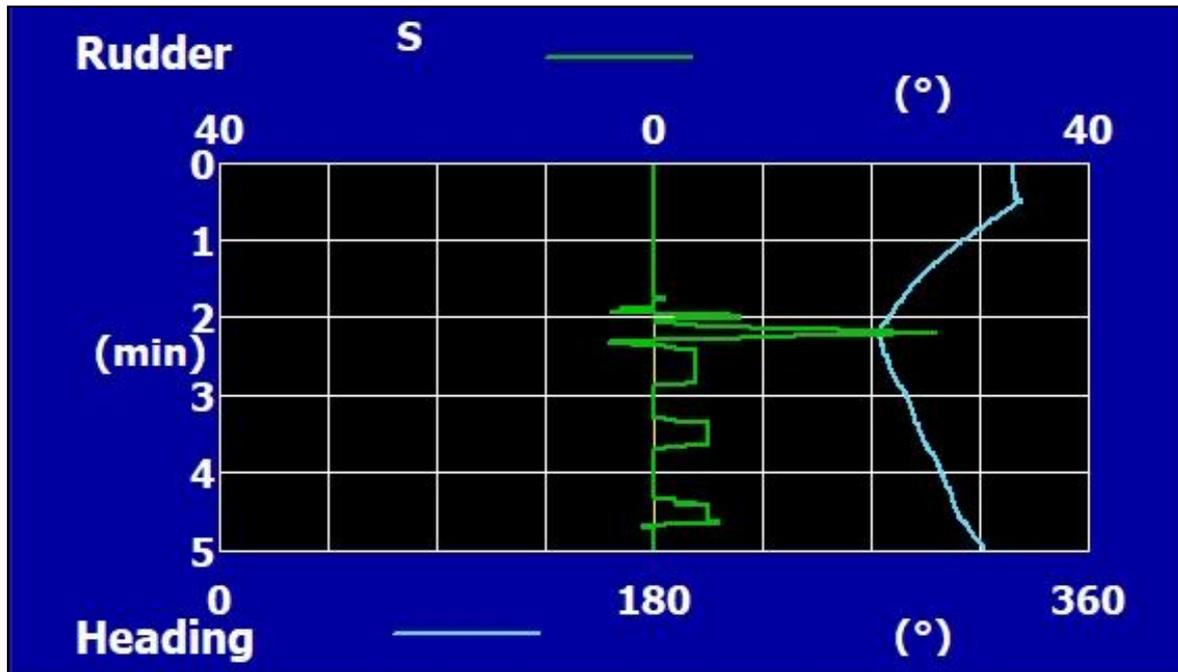


Abbildung 5: Ruderlagen und Kursverlauf ca. drei Minuten vor und zwei Minuten nach dem Ausfall

### 3.2.2.3 Audiodaten

Die nachfolgende tabellarische Darstellung ist eine Zusammenstellung der Positionen des Schiffes aus den Radarbildern sowie der Audio- und Datenaufzeichnung des Schiffsdatenschreibers. Die Darstellung beginnt mit der Ankunft des Lotsen auf der Brücke der NORTHSEA RATIONAL. Der zeitliche Ablauf enthält dabei nur die nach Ansicht der BSU für das Verständnis notwendigen Details. So wird beispielsweise die auf Türkisch geführte Kommunikation des Kapitäns mit der Back nicht aufgeführt. Auch das Auslösen des Typhons wird nur einmal aufgeführt. Die Zeiten in der Tabelle beziehen sich auf die Ortszeit von Hamburg (UTC + 1).

Während des dargestellten Zeitraumes waren auf der Brücke keine akustischen Alarme hörbar. Die Qualität der Audioaufnahme wird durch die Untersucher als sehr gut eingeschätzt.

Tabelle 1: Verlauf des Ereignisses auf der Basis der Aufzeichnung des Schiffsdatschreibers

Zeit	Geschehen	Steuerkurs (HDG) [°]	Geschwindigkeit durchs Wasser (STW) [kn]
09:30	Der Hafentotse erreicht die Brücke.		
09:33	Während des Informationsaustauschs mit dem Lotsen wird als Zielhafen Göteborg angegeben.		
09:59	Der Bugstrahler läuft, das Ablegen beginnt.		
10:08	Der Hafentotse meldet über Funk, dass die Köhlbrandbrücke passiert wird.		
10:12	Tn KS 9 an Backbord querab	001,5	9,2
10:14	Tn KS 7 an Backbord querab, Fahrwassermittte	337	8,2
10:16	Tn KS 5 an Backbord querab (Geschwindigkeit reduziert wegen Taucherarbeiten)	327	7,8
10:18	Tn KS 3 an Backbord querab	300	8,8
10:20:10	Hafentotse: „Come to 275!“. Er teilt der Schiffsführung mit, dass nun auf Autopiloten geschaltet werden könne.	277	10,3
10:20:20	Die Ruderlage beträgt 4,5° nach Backbord.	275,6	10,3
10:20:28	Das Ruder läuft nach Steuerbord und erreicht 26,7° Ruderlage. Es läuft anschließend sofort zurück. Das Schiff beginnt nach Stb. zu drehen.		9,7
10:20:39	Der Hafentotse bemerkt anscheinend das Andrehen nach Steuerbord und empfiehlt daraufhin: „Port ten.“	278	9,7
10:20:44	Hafentotse: „No Autopilot. We keep on hand steering!“		10,3
10:20:46	Hafentotse (an den II. NO gewandt): „What are you doing?“	280	9,8
10:20:48	Hafentotse: „Port ten!“ [Das Ruder liegt nahezu Mittschiffs.]	281	9,9
10:21:02	II. NO gibt zu verstehen, dass das Ruder nicht reagiert.	287	10,4
10:21:05	Hafentotse: „Long horn! Long blast!“		
10:21:07	Hafentotse: „Port twenty the wheel!“	289	10,4
10:21:17	Hafentotse: „Long horn, long horn!“	294	10,3
10:21:22	Lange Signale des Typhons sind hörbar.		
10:21:31	Kapitän: „Let go Anchor?“ Hafentotse: „Let go.“	302	10,2
10:21:35	Hafentotse: „Full astern!“	305	10,3
10:21:42	Hafentotse: „Long horn, long horn!“	311	9,6
10:21:50	Hafentotse: „Long Horn again!“	320	7,4
10:22:10	Auftreffen auf die Kaimauer.	330	7,0

### 3.2.2.4 Videodaten

Nachfolgend wird der Fahrtverlauf anhand von ausgewählten Radarbildern dargestellt (Abbildungen 6 bis 10). In der Zeitanzeige des Radarbildes werden keine Sekunden angezeigt. Pro Minute speichert der Schiffsdatschreiber vier Bilder. Daher enthält die Bildbeschreibung die Bildnummer der jeweiligen Minute, um einen ungefähren Bezugswert zu haben. Es ist erkennbar, dass das Radargerät in der Betriebsform nordstabilisiert, relative Bewegung, dezentrierte Darstellung und im 0,75 sm Bereich betrieben wurde. Der veränderliche Entfernungsmessring (VRM1) war auf 0,155 sm eingestellt.

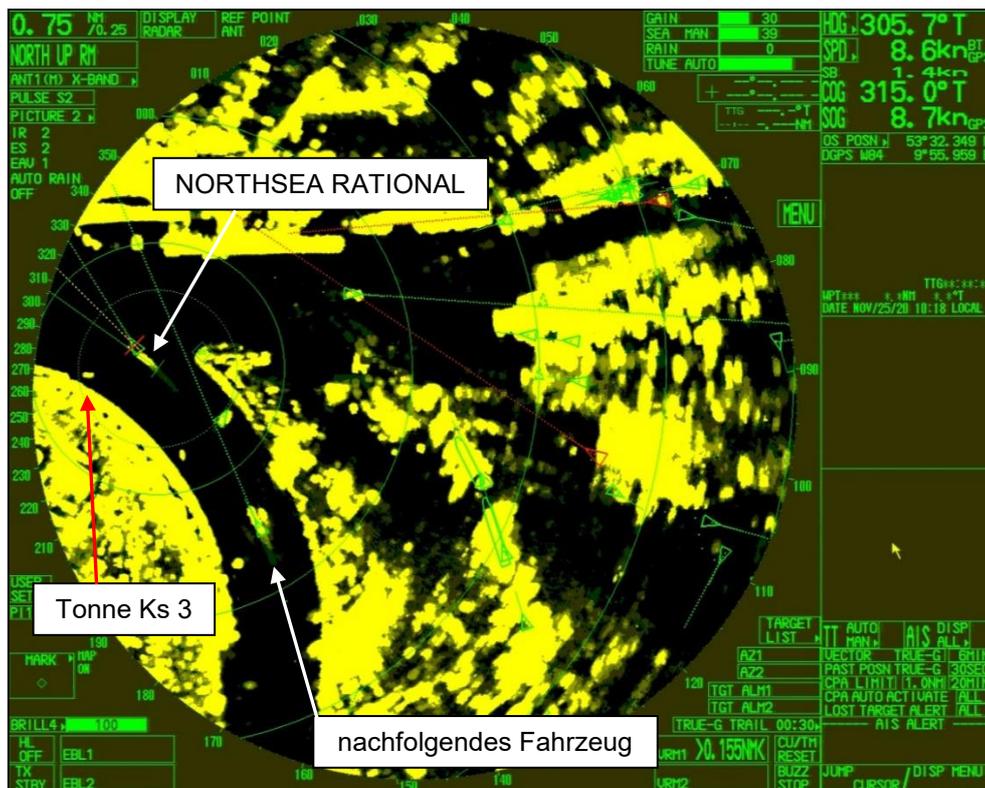


Abbildung 6: Radarbild 10:18 Uhr, 1. Bild<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Quelle: Abbildungen 6 bis 10 entstammen der Aufzeichnung des Schiffsdatschreibers.

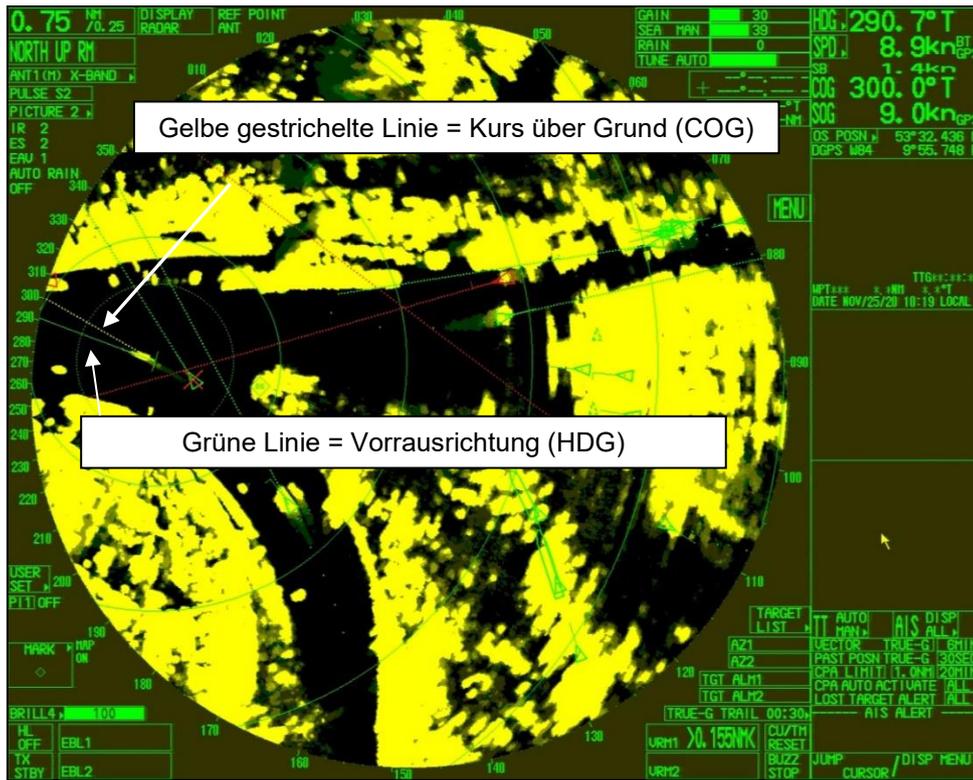


Abbildung 7: Radarbild 10:19 Uhr, 1. Bild

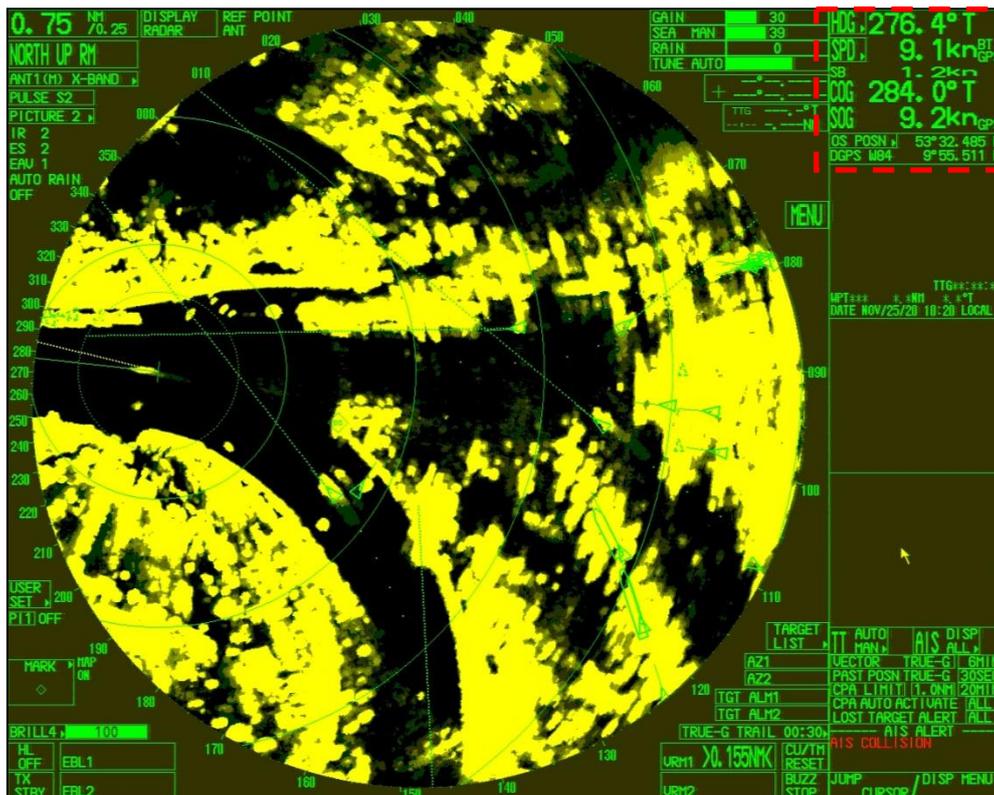


Abbildung 8: Radarbild 10:20 Uhr, 1. Bild

Radarbild etwa zum Zeitpunkt des Auftretens des Fehlers.

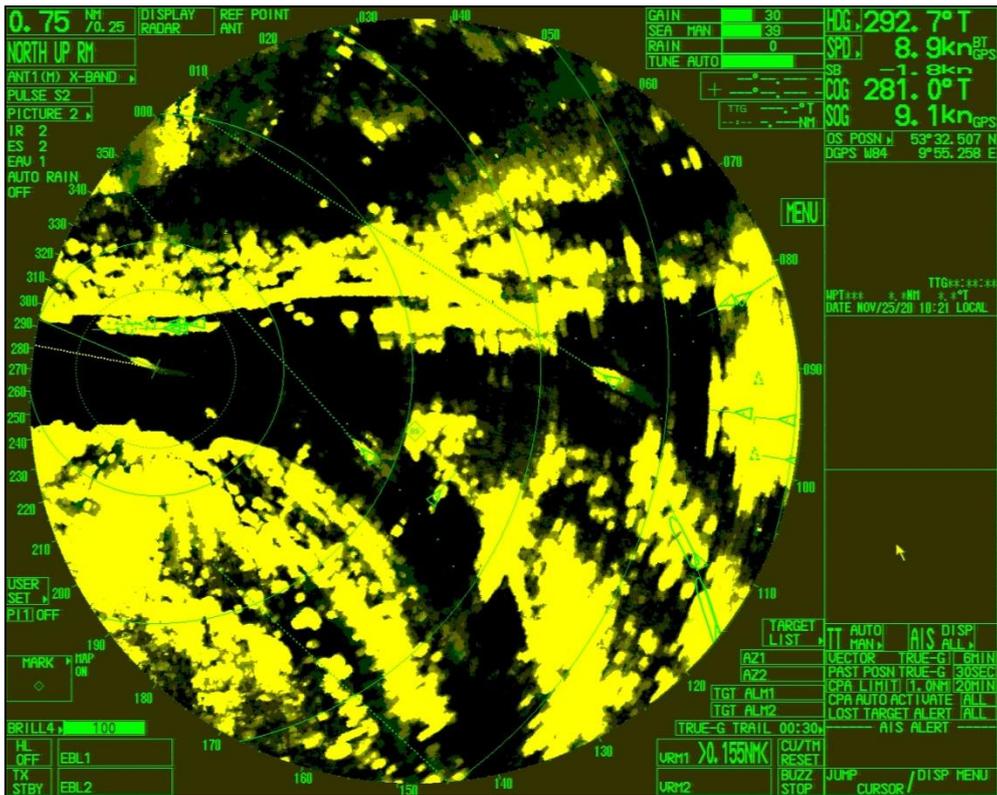


Abbildung 9: Radarbild 10:21 Uhr, 1. Bild

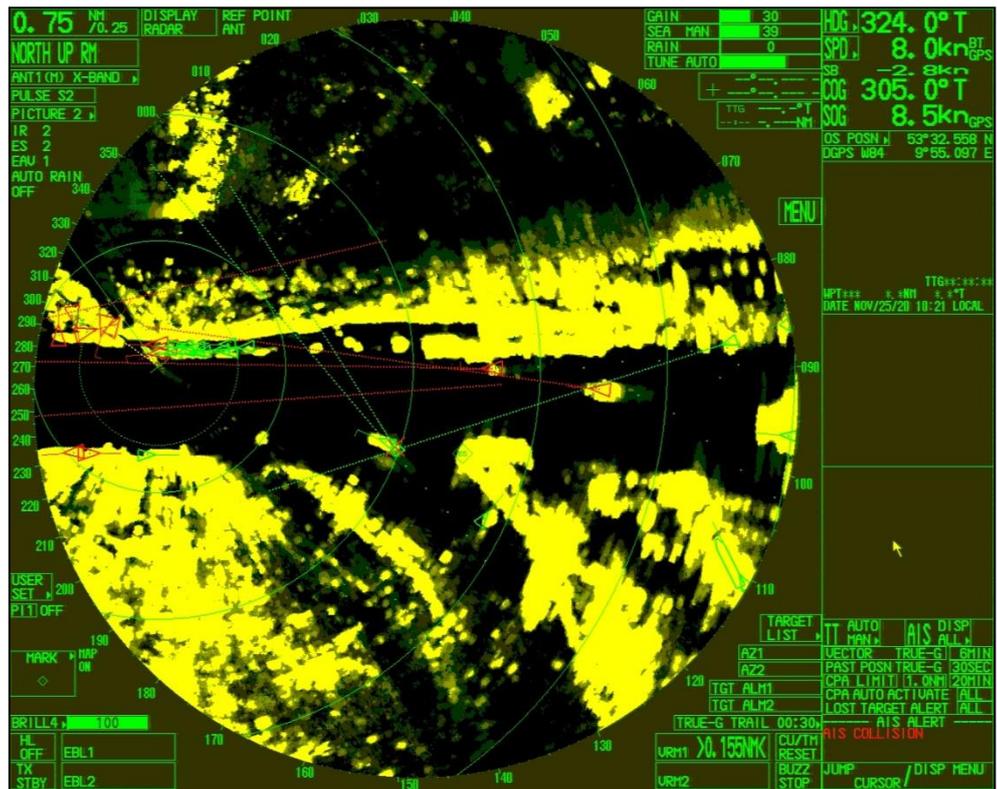


Abbildung 10: Radarbild 10:21 Uhr, 4. Bild

### 3.2.3 Besatzung

Alle 14 Besatzungsmitglieder der NORTHSEA RATIONAL hatten die türkische Staatsbürgerschaft. Als Bordsprache wurde daher die türkische Sprache genutzt. Die Eintragungen in das Schiffstagebuch erfolgten in englischer Sprache.

Der Kapitän war im Besitz eines unbeschränkten Befähigungszeugnisses (STCW II/2) im Management Level. Er hatte seine Karriere im Jahr 2004 begonnen und war seit 2015 als Kapitän tätig. Der Kapitän begann seine Tätigkeit an Bord der NORTHSEA RATIONAL am 10. Oktober 2020. Es war sein erster Kontrakt auf diesem Schiff. Er war zuvor auf vergleichbaren Schiffen, die ebenfalls auf der Werft in Tuzla gebaut worden waren, tätig gewesen.

Der II. NO begann mit der Ausbildung in der Seefahrt im Jahr 2016. Er arbeitete seit 2019 als II. NO auf verschiedenen Tankschiffen. Seine Tätigkeit an Bord der NORTHSEA RATIONAL begann im Juni 2020.

Die durch die oben genannten Besatzungsmitglieder vorgelegten Arbeitszeitznachweise, die einen Zeitraum von vier Tagen vor dem Unfall umfassten, enthielten keine Anhaltspunkte für eine vorliegende Übermüdung der Brückenbesatzung.

### 3.2.4 Untersuchungsverlauf

Die Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (BSU) erhielt um die Mittagszeit des Unfalltages durch die Wasserschutzpolizei Hamburg Kenntnis von dem Ereignis. Das Schiff wurde durch die Seeunfalluntersucher wenige Stunden später das erste Mal aufgesucht. Während dieses Termins wurden der Kapitän und der II. NO zum grundsätzlichen Ablauf des Ereignisses befragt. Umfassende schriftliche Stellungnahmen wurden durch die anwaltliche Vertretung zugesagt und später übermittelt. Durch die Untersucher wurden darüber hinaus die Aufzeichnungen des Schiffsdatenschreibers und weitere Unterlagen gesichert.

Während der Besichtigung demonstrierte der II. NO die Bedienschritte für das Umschalten von Handsteuerung auf die Steuerung durch den Autopiloten und zurück. Dabei traten keine Fehlfunktionen auf.

Im Rahmen der Stellungnahme zum Entwurf wies die Reederei darauf hin, dass aber zuvor ähnliche Fehlfunktionen erneut aufgetreten waren, als die Besatzung die Systeme in Anwesenheit der Wasserschutzpolizei getestet hatte. Auch bei einer Nachuntersuchung am 27. November 2020 in Anwesenheit verschiedener Experten sei ein Ausfall der Ruderanlage aufgetreten.

Während der informatorischen Befragung teilte der Kapitän mit, dass es bereits im Juni 2020 zu einem ähnlichen Ereignis, also dem plötzlichen unbeabsichtigten Ruderausschlag, gekommen war. Da dies im freien Seeraum stattfand, blieb es folgenlos. Während des daraufhin in Immingham am 23. Juni 2020 durchgeführten Services durch eine Fachfirma wurde ein kleiner Schaden an einem Kontakt des Sensors des Ist-Ruderwinkels (Feedback Unit) an der Rudermaschine festgestellt und

behaben. Das zugehörige Service-Protokoll wurde durch die Schiffsführung an die BSU übergeben.

Die maltesische Untersuchungsbehörde wurde am 26. November 2020 über den Unfall und die durch die BSU aufgenommene Voruntersuchung informiert.

Am 3. Dezember 2020 wurde das Schiff für weitergehende Ermittlungen an Bord erneut aufgesucht. Die Untersucher wurden dabei durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz von der Technischen Universität Hamburg, Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau, als technischem Sachverständigen begleitet. Prof. Wirz wurde später durch die BSU mit der Erarbeitung eines Sachverständigengutachtens beauftragt.

Da sich die Ermittlung anschließend auf ein technisches Problem innerhalb der Ruderanlage bzw. deren Regelung konzentrierte, wurden die Ruderanlage und deren Bauteile am 8. Dezember 2020 nochmals durch den durch die BSU beauftragten Sachverständigen untersucht. Bei diesen und allen weiteren Terminen waren auch zwei weitere Sachverständige anwesend, die im Auftrag der Versicherung bzw. des Eigners des Schiffes agierten.

Am 23. Dezember 2020, das Schiff hatte für die Reparaturen am Rumpf inzwischen nach Bremerhaven verholt, wurden Teile der Ruderanlage nochmals durch die Sachverständigen besichtigt.

Nach Würdigung aller bis dahin erlangten Erkenntnisse wurde die Untersuchung der BSU am 6. Januar 2021 von einer Voruntersuchung in eine Hauptuntersuchung übergeleitet. Die anwaltliche Vertretung der Reederei der NORTHSEA RATIONAL wurde über diese Entscheidung informiert.

Das Bauteil Autopilot war zwischenzeitlich zum Hersteller Navitron Systems Ltd. im Vereinigten Königreich gesandt worden. Hier wurde der Autopilot vom Typ NT991G Mk2 am 8. Januar 2021 durch zwei Mitarbeiter untersucht. Alle interessierten Parteien nahmen daran im Rahmen einer Videokonferenz teil.

Während der Untersuchung an Bord wurde das Ruderversagen mit der Fehlfunktion zweier Relais in der Steuerung der Ruderanlage in Zusammenhang gebracht. Für eine zerstörungsfreie elektrische Untersuchung wurden die sichergestellten Relais durch Prof. Wirz für ein Untergutachten an Herrn Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann übergeben.

Ein weiteres Untergutachten über die eingehendere Untersuchung der Relais, hier insbesondere der Kontaktflächen, wurde dann durch die MQ Engineering GmbH gefertigt.

### 3.2.5 Die Ruderanlage der NORTHSEA RATIONAL

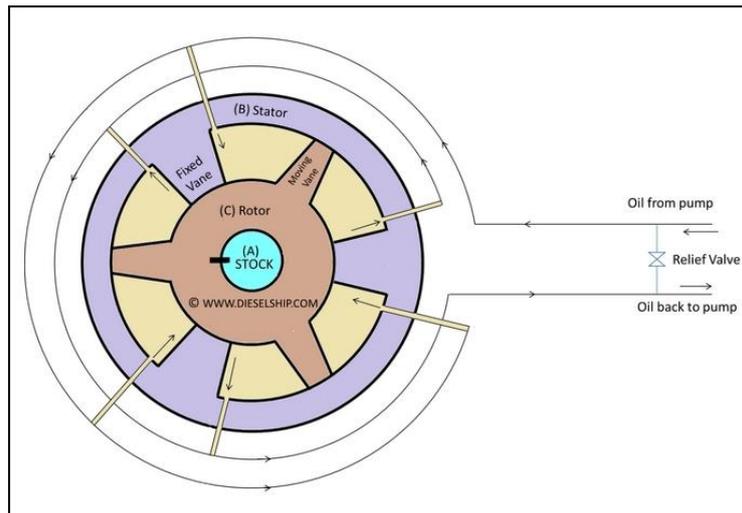
Die nachfolgende Beschreibung der Funktion der Ruderanlage ist Teil des durch Prof. Wirz erarbeiteten Gutachtens<sup>12</sup>. Hier und nachfolgend werden die aus dem Gutachten übernommenen Teile kursiv dargestellt.

*„Die Ruderanlage besteht aus einem Vollschwebe-Flossenruder mit max. 35° Ruderwinkel und einer Drehflügel-Rudermaschine des Herstellers Tenfjord, dessen Produkte über Rolls-Royce und daher mittlerweile über Kongsberg<sup>13</sup> vertrieben und betreut werden.*

*Drehflügel-Rudermaschinen sind sehr kompakte elektrohydraulische Rudermaschinen, deren rotationssymmetrisches Gehäuse die Lagerung des Ruderschaftes sowie die hydraulische Aktuatorik beinhaltet. Der Aktuator wird gebildet, in dem eine auf den Ruderschaft aufgesessene Nabe mit zwei oder drei Flügeln versehen und drehbar im Gehäuse gelagert ist. Das Gehäuse weist ebenfalls gleich viele Flügel, sog. Stopper, auf. Zwischen Flügeln und Stoppfern bilden sich innerhalb des Gehäuses hydraulische Arbeitskammern, von denen je die gegenüberliegenden hydraulisch miteinander verbunden sind. Wenn Hydrauliköl mit einem definierten Volumenstrom in eine der verbundenen Kammergruppen gepumpt wird, weichen die Flügel in Umfangsrichtung aus, um das Öl aufzunehmen. So entsteht eine Drehbewegung. Die Volumina der anderen Kammergruppe verkleinern sich dabei, so dass deren Ölfüllung verdrängt wird. Sobald am Ruderschaft ein Lastmoment anliegt (durch Reibung der Lager oder, im Betrieb, durch ein hydrodynamisches Moment des Ruders), baut sich in der einen Kammergruppe und damit zwischen Flügeln und Stoppfern ein Überdruck auf. Da die andere Kammergruppe derweil drucklos ist, entsteht an den Flügeln eine gerichtete treibende Druckdifferenz, folglich aufgrund der Flügelfläche eine Umfangskraft und aufgrund des Radius' zur Drehachse des Ruderschaftes ein Drehmoment. Um die Drehrichtung zu ändern, wird lediglich der Ölvolumenstrom nicht in die eine, sondern in die andere Kammergruppe gepumpt. Die Kammergruppen tauschen also nur zwischen der Empfänger- und der Verdränger-Rolle.“*

<sup>12</sup> Prof. Dr.-Ing Friedrich Wirz: Gutachten / Analysebericht zur Kollision von M/T Northsea Rational im Hamburger Hafen im November 2020. Nachfolgend als „Gutachten Ruderanlage“ bezeichnet.

<sup>13</sup> Die geschäftlichen Aktivitäten von Rolls-Royce Commercial Marine bei den Steuerungsanlagen von Schiffen und in andern Bereichen wurden 2019 von Kongsberg Maritime übernommen.

Abbildung 11: Vereinfachte Darstellung einer Drehflügelrudermaschine<sup>14</sup>

Es wird eine Rudermaschine mit drei Flügeln dargestellt. An Bord der NORTHSEA RATIONAL ist eine Rudermaschine mit zwei Flügeln eingebaut.

*„Es ist zu betonen, dass die Drehgeschwindigkeit und -richtung der Rudermaschine durch den Betrag und das Vorzeichen des Ölvolumenstromes bestimmt wird, der in die treibende bzw. empfangende Kammergruppe gepumpt wird, und dass es andererseits einen festen Zusammenhang zwischen dem Drehmoment der Rudermaschine und der hydraulischen Druckdifferenz gibt. Dabei wird der Ölvolumenstrom von den Hydraulikpumpen vorgegeben, die Drehgeschwindigkeit ist ein Resultat. Andererseits wird das Drehmoment durch die Betriebsbedingungen am Ruder vorgegeben, so dass die Druckdifferenz ein Resultat ist. Anders ausgedrückt: Eine Pumpe „macht“ keinen „Druck“, sondern sie fördert einen Volumenstrom. Der Druck bzw. die Druckdifferenz, die sich einstellt, ist durch die äußere Last vorgegeben. Es ist nur wichtig, dass die Pumpe einen ausreichend leistungsfähigen Antrieb und eine geeignete Druckfestigkeit und -absicherung aufweist, um gegen die entstehenden Betriebsdrücke anfordern zu können. In der Folge dieser Zusammenhänge können auch Förderrichtung und Druckdifferenz umgekehrte Vorzeichen haben, so dass die Maschine in allen vier Betriebsquadranten arbeiten kann (zwei motorische und zwei generatorische Quadranten). Ein generatorischer Betrieb kann z.B. bei einem überbalancierten<sup>15</sup> Ruder entstehen.“*

*Der maximale Ruderwinkel ist durch die Geometrie der Rudermaschine gegeben. Sobald Flügel und Stopper auf der einen oder anderen Seite zu Block kommen, ist der mechanische Endanschlag erreicht, der i.d.R. bei 37° liegt. Um eine häufige mechanische Belastung zu vermeiden, wird mit Hilfe von elektrischen Endlagenschaltern bei 35° Ruderwinkel je Seite der Pumpenantrieb gestoppt.“*

<sup>14</sup> Quelle: <https://dieselship.com/marine-technical-articles/marine-engineering-knowledge-general/rotary-vane-steering-gear>. Abgerufen am 14.07.2021.

<sup>15</sup> Bei einem Balanceruder befindet sich die Drehachse nicht direkt an der Vorkante des Ruderblattes, sondern ein Stück nach achtern versetzt. Bei einem „balancierten“ Ruder tragen die hydrodynamischen Effekte vor und hinter der Achse zu einer Stabilität der Ruderlage bei. Beim „überbalancierten“ Ruder liegt die Drehachse weiter achtern und die hydrodynamischen Kräfte wirken in Richtung einer Hartruderlage. Das Ruderlegen wird also unterstützt. Beim „unterbalancierten“ Ruder liegt die Drehachse weiter vorn, die Kräfte drücken es in Richtung einer Nullruderlage.

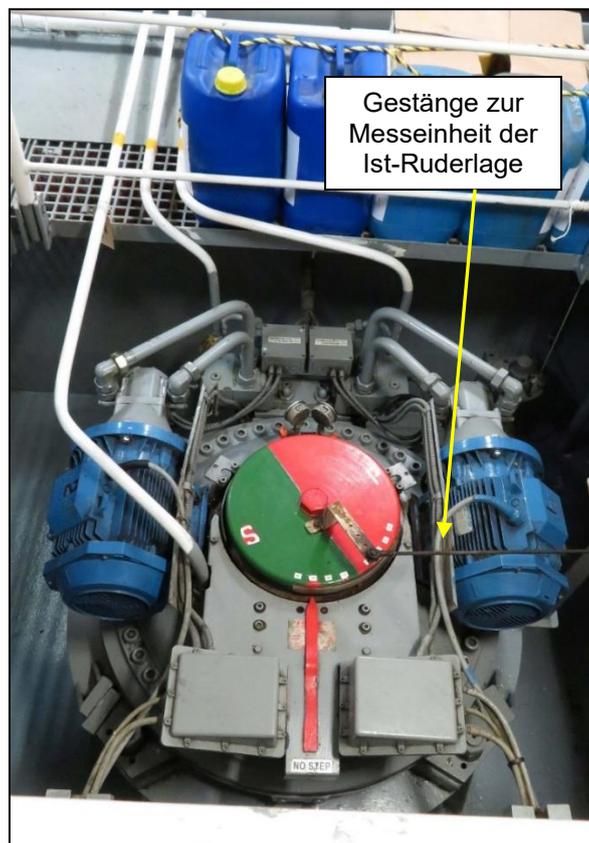
Abbildung 12: Rudermaschine der NORTHSEA RATIONAL<sup>16</sup>

Abbildung 13: Rudermaschine NORTHSEA RATIONAL, Draufsicht

*„Die hydraulischen Pumpenaggregate sind im vorliegenden Fall kompakt am Gehäuse der Rudermaschine montiert (siehe Abbildungen 12 und 13). Gemäß Klassebauvorschriften sind aus Redundanzgründen zwei identische Pumpenaggregate vorgesehen, die hydraulisch parallel geschaltet sind. Die*

<sup>16</sup> Quelle: Abbildungen 12 und 13: Wasserschutzpolizei Hamburg.

hydraulische Anlage ist als geschlossener, gesteuerter Kreislauf ausgeführt. Das heißt, dass die beiden Verbindungen zu den Kammergruppen im Aktuator direkt mit den Pumpen verbunden sind. Vor- und Rücklauf entstehen dabei einzig durch die Förderrichtung der Pumpen und können, entsprechend der gewünschten Drehrichtung des Ruders, wechseln. Jedes Pumpenaggregat besteht aus einer sog. Konstantpumpe (festes geometrisches Schluckvolumen), deren geförderter Volumenstrom proportional zur Pumpendrehzahl ist. Die Pumpe wird von einem Drehstrom-Asynchronmotor angetrieben. Um einen veränderlichen Volumenstrom der Pumpe zu ermöglichen, muss deren Drehzahl und damit auch die Drehzahl des Elektromotors veränderbar sein. Bauartbedingt erfordert das den Einsatz eines Frequenzumrichters, der aus der konstanten Frequenz des Bordnetzes von 50 Hz eine veränderliche Eingangsfrequenz für den Motor wandelt, die dann proportional zur Motordrehzahl ist. Zu jedem Pumpenaggregat gehört ein eigener Schaltschrank, der auch den jeweiligen Frequenzumrichter enthält.

Durch die hydraulische Parallelschaltung der Pumpenaggregate entsteht eine wichtige Eigenschaft der Rudermaschine: Die Volumenströme beider Pumpen summieren sich, die maximale Druckdifferenz bleibt jedoch gleich. Somit kann jede Pumpe einzeln oder beide gemeinsam betrieben werden mit dem Effekt, dass sich die Drehgeschwindigkeit der Rudermaschine durch Hinzunahme der zweiten Pumpe verdoppelt. Das maximale Drehmoment hingegen kann sowohl mit einer Pumpe allein als auch mit beiden Pumpen erreicht werden.

Die Drehbewegung wird erzeugt, in dem ein Ölvolumenstrom in die eine Kammergruppe gefördert und gleichzeitig aus der anderen Kammergruppe ein gleich großer Ölvolumenstrom verdrängt wird.<sup>17</sup>

### 3.2.6 Steuerung der Rudermaschine

„Mit der Rudermaschinensteuerung ist die Erzeugung von Steuersignalen für die Rudermaschine gemeint. Dabei ist mit Steuerung die Steuerung im technischen Sinne gemeint, nicht die Steuerung im Sinne einer Lenkung.

Wie oben beschrieben, hängt die Drehgeschwindigkeit und -richtung der Ruderanlage von Betrag und Vorzeichen des Ölvolumenstromes ab. Betrag und Vorzeichen des Ölvolumenstromes hängen von Drehrichtung und Drehzahl des bzw. der Pumpenaggregate ab. Diese wiederum hängen von elektrischen Eingangsgrößen (Spannung, Strom, Frequenz, und die Vorzeichen dieser Größen) am Elektromotor ab. Die Steuerung hat also die Aufgabe, den Elektromotoren die elektrischen Betriebswerte zu übergeben, damit sie mit der gewünschten Drehzahl und Drehrichtung die Pumpen antreiben.

Aus Sicht des Nautikers gibt es zwei Arten, wie ein Ruder gesteuert werden kann: a) er möchte das Ruder auf einen gewünschten Winkel im verfügbaren Bereich (35°Bb...0...35°Stb) einstellen oder, b) er möchte das Ruder nur weiter in Richtung Backbord oder in Richtung Steuerbord fahren, unabhängig davon, wo es gerade liegt. Zwischen beiden Ansichten besteht eine Diskrepanz: Für die Rudermaschine gibt es nämlich nur die Funktionen „gar nichts tun“, „nach Bb drehen“ und „nach Stb drehen“

---

<sup>17</sup> Gutachten Ruderanlage.

*(mit einer beliebigen Drehgeschwindigkeit). Bezüglich der Signale an die Elektromotoren gibt es also zwischen beiden Arten keinen Unterschied.*

*Demnach kann die nautische Betriebsweise nach b) direkt an die Rudermaschine weitergegeben werden. Man spricht dann vom Non-Follow-Up-Betrieb (NFU) oder von der Zeitsteuerung. Dafür wird nur ein zweifaches binäres Signal benötigt, das entweder über einen Joystick mit drei Stellungen (Bb, 0, Stb) oder über zwei Druckknöpfe (einer gedrückt: Bb, der andere gedrückt: Stb, keiner gedrückt: 0) erzeugt wird. In der Ausführung über Druckknöpfe kann die Rudermaschine dann jedoch auch nur binär bzw. digital gefahren werden. Das heißt, dass eine analoge Abstufung der Drehzahl mit Hilfe der Frequenzumrichter nicht möglich ist, sondern nur die Zustände Stillstand und volle Drehzahl in die eine oder andere Drehrichtung möglich sind.*

*Die nautische Betriebsweise nach a) erfordert den Zwischenschritt einer Positionsregelung. Sie wird als Follow-Up-Betrieb (FU) oder Wegsteuerung<sup>18</sup> bezeichnet. Als Bedienelement wird ein Drehrad oder -knopf (oder ein klassisches „Ruderrad“), ein sog. „FU-Tiller“, verwendet, dessen Winkelposition anhand einer Skala einem Soll-Ruderwinkel entspricht. An der Rudermaschine sind Sensoren für die Erfassung des Ist-Ruderwinkels installiert. Das sind einfache Potentiometer, die eine zum Winkel proportionale Ausgangsspannung erzeugen. In der eigentlichen Rudermaschinensteuerung, einer elektronischen Einheit, die in einem Schaltschrank auf der Brücke installiert ist, werden nun der Ist-Ruderwinkel gemäß Potentiometer und der Soll-Ruderwinkel gemäß FU-Tiller miteinander verglichen. Sind beide Werte gleich, erfolgt das Steuersignal 0 (also gar nichts). Weichen die Werte voneinander ab, entsteht aus der Regelabweichung ein Steuersignal in die entsprechende Richtung. Die Rudermaschine fährt daraufhin so lange in die gewünschte Richtung, bis der Soll-Ruderwinkel erreicht ist.*

*Bei kleinen Regelabweichungen (Differenz zwischen Soll- und Istwert) könnte der Frequenzumrichter seine Vorteile ausspielen: Wenn nur kleine Positionskorrekturen benötigt werden, genügt eine reduzierte Pumpendrehzahl, um in angemessener Zeit die kleine Ölmenge in die Rudermaschine zu fördern. Außerdem kann so vermieden werden, dass es zu einem sog. „peak overshoot“ kommt, also die Ziellage überschritten wird. Eine solche Überschreitung kann dazu führen, dass die Regelung dann in Rückrichtung korrigiert. Entsteht erneut ein Peak Overshoot in die andere Richtung, kann das zu einem Schwingen um die Ziellage führen. Darauf wird später noch speziell eingegangen.*

*Die bisher beschriebene Rudermaschinensteuerung beinhaltet nur den manuellen Betrieb, in dem entweder im NFU- oder im FU-Betrieb das Ruder gesteuert bzw. die Lage geregelt werden kann. Darüber hinaus existiert auf nahezu allen Schiffen ein Autopilot. Dieser hat die Aufgabe, einen vorgegebenen Steuerkurs (engl. Course) des Schiffes zu erreichen bzw. innerhalb eines Hüllbandes einzuhalten. Dafür wird als Stellgröße natürlich der Ruderwinkel verwendet. Insofern stellt der Autopilot eine*

---

<sup>18</sup> Anmerkung des Gutachters: „In der Umgangssprache zu Ruderanlagen wird nicht scharf zwischen den Begriffen Steuerung und Regelung unterschieden. Genau genommen ist eine Steuerung die Beeinflussung einer Größe ohne Kontrolle des Ist-Zustandes, wohingegen eine Regelung die Größe beeinflusst und dabei den Ist-Zustand mit einbezieht.“

*weitere, übergeordnete Regelung dar. In dem Fall wird ein Soll-Ist-Abgleich des Kurses vorgenommen. Ausgabe ist dann der Soll-Ruderwinkel, für dessen Einstellung bzw. Einhaltung die Rudermaschinensteuerung verantwortlich ist. Insofern existiert eine Datenverbindung zwischen Autopilot (im vorliegenden Fall von der Marke Navitron) und Rudermaschinensteuerung (Bestandteil des Lieferumfanges der Rudermaschine und damit von der Marke [Rolls-Royce]. Diese Verbindung kann als FU- oder NFU-Vorgabe gemeint sein. Auch dieser Aspekt wird später noch eine wesentliche Rolle spielen. Die Wahl zwischen manuellem und Autopiloten-Betrieb wird am Autopiloten mit Hilfe eines Wahlschalters getroffen. Wenn von manuellem Betrieb auf Autopilot umgeschaltet werden soll, wird erst der Autopilot angeschaltet und dann an der Bedieneinheit per Knopfdruck die Kontrolle dem Autopiloten zugewiesen. Wird auf manuellen Betrieb zurückgeschaltet, wird der Autopilot abgeschaltet. Auch die Hin- und Hergabe der Kontrolle zwischen Autopilot und manuellem Betrieb wird noch eine Rolle spielen.“<sup>19</sup>*

### **3.2.7 Die Bedienung der Ruderanlage auf der Brücke**

Die Bedienung der Ruderanlagensteuerung war auf der Brücke der NORTHSEA RATIONAL von drei Positionen aus möglich: in der zentralen Konsole und jeweils in den geschlossenen Nocken.

Den vollen Funktionsumfang bot die Ruderlagensteuerung in der zentralen Konsole, dem Brückenpult. Die Bedieneinheit für den Autopiloten befand sich ebenfalls in der zentralen Konsole. Eine Übersicht dieser ist in Abbildung 14 dargestellt.

Neben den Bedienelementen waren Beschreibungen angebracht worden, die zum einen das Umschalten von der Handsteuerung auf die Steuerung durch den Autopiloten und umgekehrt beschrieben. Zum anderen wurde der Vorgang des Umschaltens auf die Notsteuerung, also den NFU-Betrieb, dargestellt.

---

<sup>19</sup> Gutachten Ruderanlage.

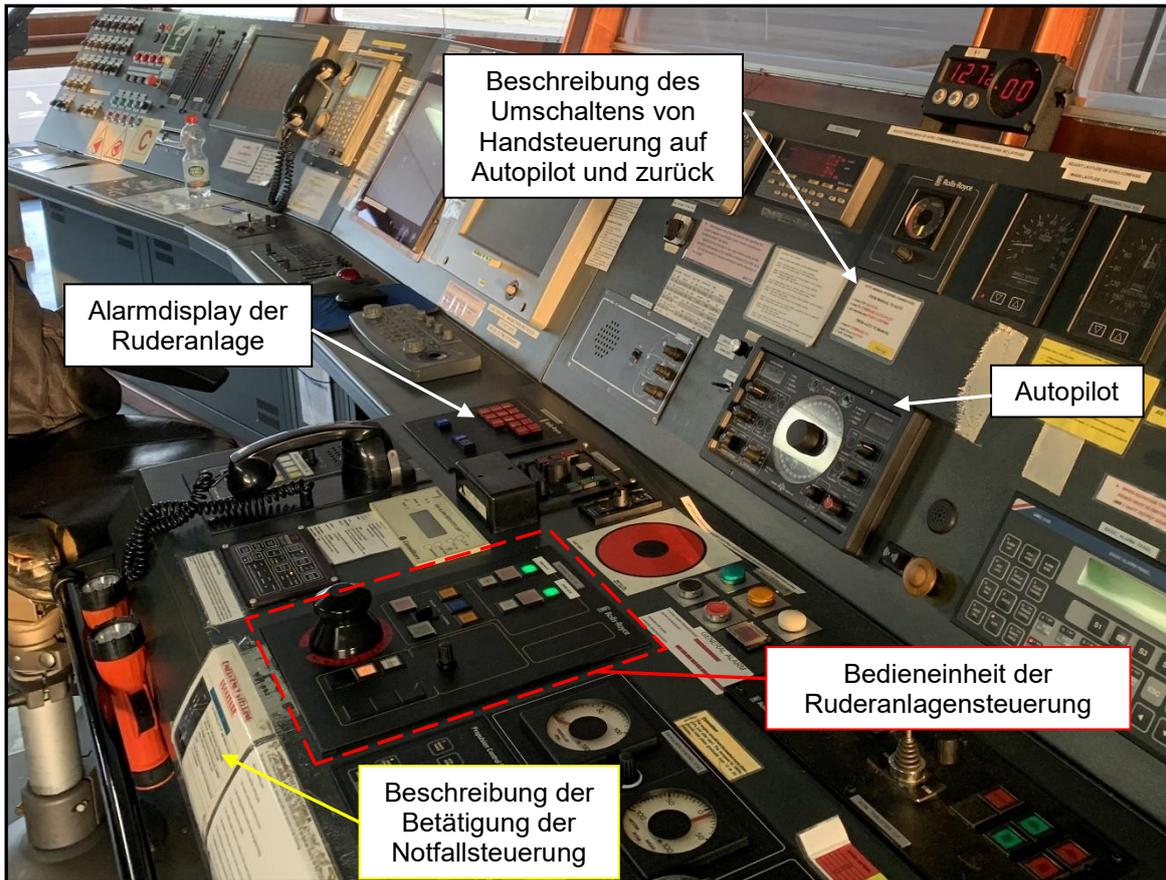


Abbildung 14: Bedieneinheit der Ruderanlagensteuerung in zentraler Konsole



Abbildung 15: Bedieneinheit des Autopiloten

Abbildung 15 zeigt die Bedieneinheit für den Autopiloten im Detail. Rechts unten befindet sich der Drehknopf für das Ein- oder Ausschalten bzw. das Standby.

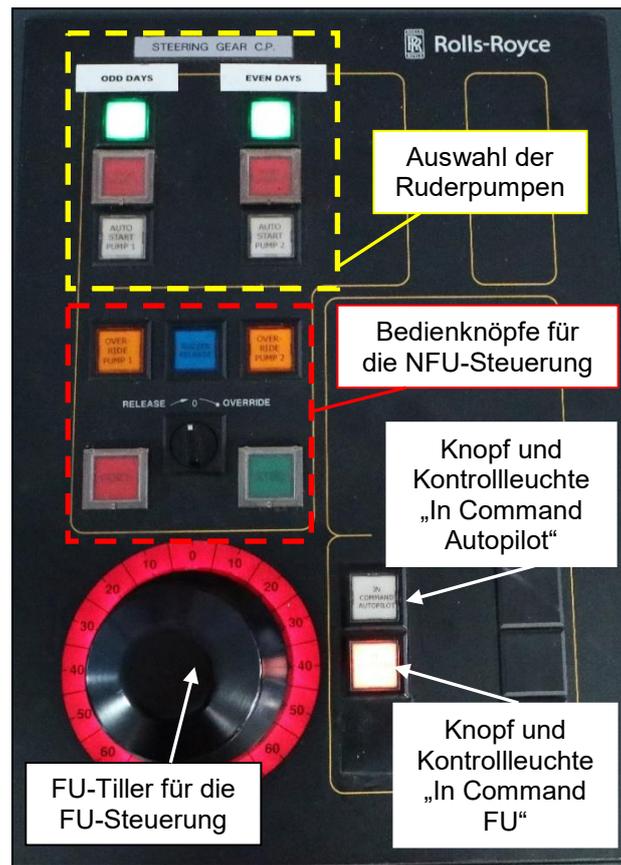


Abbildung 16: Bedieneinheit der Ruderanlagensteuerung

Um von der Handsteuerung auf den Autopiloten umzuschalten, ist es zunächst notwendig, den Autopiloten in Betrieb zu nehmen. Dies geschieht durch das Schalten auf die „Standby“-Position. Nach dem erfolgreich durchlaufenen Selbsttest kann die Selbststeuerung dann auf „ON“ geschaltet werden (Abbildung 15). Anschließend ist es nötig, in der Bedieneinheit der Ruderanlagensteuerung den Knopf „In Command Autopilot“ zu drücken (Abbildung 16). Das durchgängige Leuchten der integrierten Lampe signalisiert die erfolgreiche Übergabe der Funktion. Ein Blinken der Lampe weist auf einen Fehler hin.

Im beschriebenen Fall ist der während der Inbetriebnahme des Autopiloten anliegende Kurs der Steuerkurs, den der Autopilot als Soll-Kurs verfolgt. Eine Änderung des Sollkurses wird am Autopiloten eingestellt und nur dort bestätigt.

Um auf die Handsteuerung zurückzuschalten muss der Knopf „In Command FU“ betätigt werden. Auch hier signalisiert das durchgängige Leuchten der integrierten Lampe die erfolgreiche Übernahme. Danach kann der Autopilot in den Standby geschaltet werden. Tests auf der Brücke des Schiffes am Unfalltag zeigten, dass die umgekehrte Vorgehensweise zum gleichen Ergebnis führt. In beiden Fällen konnte anschließend mit dem FU-Tiller das Ruder gelegt werden.

Die auf der Brücke auf der zentralen Konsole vorgefundene Beschreibung des Umschaltens (siehe Abbildung 17) entsprach der oben beschriebenen Vorgehensweise.

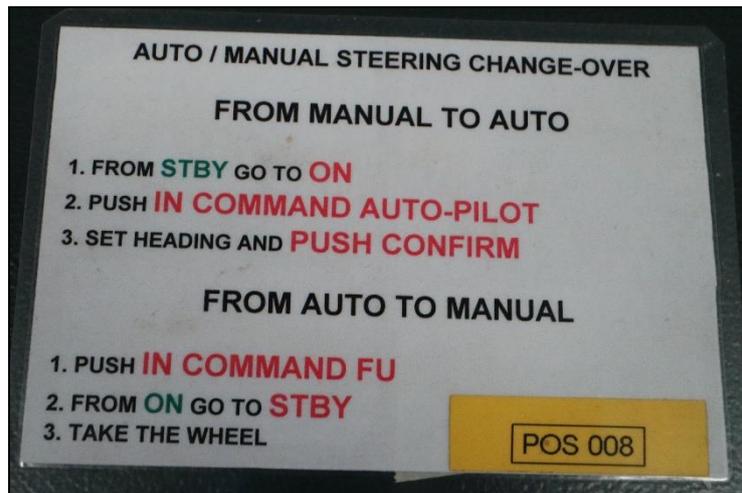


Abbildung 17: Beschreibung des Umschaltvorgangs

Nur an der in der zentralen Konsole eingebauten Bedieneinheit der Ruderlagensteuerung (in Abbildung 16 mit „---“ markiert) bestand die Möglichkeit der Umschaltung von der FU- auf die NFU-Steuerung und zurück. Die FU-Steuerung stellt dabei den Normalbetrieb dar. Die NFU-Steuerung ist die Notfallsteuerung. Beim Umschalten auf die NFU-Steuerung wird der normale Signalweg umgangen. Das bedeutet, dass beispielsweise mit der Betätigung des Druckknopfes für Steuerbord direkt der hydraulische Schaltkreis für das Bewegen des Ruders nach Steuerbord aktiviert wird. Dies wird auch als Override-Funktion bezeichnet.

An den jeweiligen Fahrständen in den geschlossenen Nocken war nur ein kleines Drehrad für die FU-Steuerung sowie eine Anzeige für die Ruderlage installiert (Abbildung 18).



Abbildung 18: Fahrstand in der Steuerbordnock

### 3.2.8 Untersuchung der Rudermaschine

„Die Rudermaschine konnte nach Freigabe durch den Kapitän gefahren werden. Im Rudermaschinenraum ist dafür an den beiden Schaltschränken jeweils eine NFU-Steuerung vorgesehen, die über zwei Druckknöpfe (Bb, Stb) erfolgt. Zuvor wird per Wahlschalter an beiden Schaltschränken (aus, lokale Steuerung, Fernsteuerung von der Brücke) auf lokale Steuerung umgeschaltet. Bei Druck auf z.B. Stb am Schaltschrank No.1 (Bb-seitig angeordnet) fährt das Pumpenaggregat No.1 (Bb-seitig an der Rudermaschine installiert) aus dem Stillstand mit einer Drehzahlrampe<sup>20</sup> von ca. 1s auf Nenndrehzahl, die Rudermaschine dreht nach Stb. Wird der Knopf losgelassen, fährt die Drehzahl innerhalb ebenfalls ca. 1s auf Null zurück und die Maschine bleibt stehen. In Richtung Bb ist das Verhalten analog, ebenso bei Nutzung des Stb-seitigen Schaltschranks und Pumpenaggregates No.2. Dazu ist anzumerken, dass die Frequenzrichter außer der Kontrolle der Rampen zur Reduzierung der Anfahrströme keine Funktion haben, was aber, wie oben bereits ausgeführt, im NFU-Betrieb auch nicht vorgesehen ist. Wenn die Knöpfe bis zu den Endlagen der Rudermaschine gehalten werden, hält die Maschine erwartungsgemäß selbsttätig an. Wenn an beiden Schaltschränken die NFU-Knöpfe gleichzeitig und in die gleiche Richtung betätigt werden, laufen beide Pumpenaggregate erwartungsgemäß, und die Drehrate der Rudermaschine ist erwartungsgemäß verdoppelt.

Eine Besonderheit zeigte sich rasch: Pumpenaggregat No. 2 (PA2) fuhr im wiederholten NFU-Einzelbetrieb mitunter deutlich zu langsam, verglichen mit der stetigen Nenndrehzahl von PA1. Dies zeigte sich auch im gleichzeitigen Betrieb, z.B. wenn PA1 und PA2 gleichzeitig, aber in entgegengesetzte Richtung geschaltet wurden: Anstelle eines Stillstandes entstand ein langsames Kriechen in diejenige Richtung, in die PA1 förderte. Die Ursache für dieses Fehlverhalten konnte vor Ort nicht geklärt werden. Zwischen dem ersten und dem zweiten Termin an Bord ist aber anscheinend die Crew dem Phänomen nachgegangen. Dem Autor wurde von der Besatzung berichtet, dass ein einzelnes Relais im Schaltschrank defekt gefunden und gegen ein baugleiches aus demselben Schaltschrank getauscht wurde, das in einer vermeintlich unwichtigen Funktion installiert und damit verzichtbar gewesen sei. Seitdem liefen beide Pumpenaggregate identisch und einwandfrei. Da sich ein Zusammenhang zwischen dem Unfallhergang und der genannten Auffälligkeit nicht herstellen ließ, wurde diesem Aspekt nach Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht weiter nachgegangen.

Des Weiteren wurde im Rudermaschinenraum geprüft, ob die hydraulische Anlage einwandfrei ist. Eine Hypothese des Autors bestand darin, dass die Drehflügelmaschine eine ungewöhnlich hohe Kriechrate haben könnte. Eine Kriechrate ist bei Drehflügelmaschinen prinzipbedingt unvermeidlich: Da die Abdichtung zwischen den linear aufeinander gleitenden Flächen (z.B. Flügel im Gehäuse oder Anschlag an der Nabe) im Gegensatz zu Stangen- oder Wellendichtungen nie technisch dicht sein kann, liegt bei anliegender Druckdifferenz stets eine Leckage von der Hoch- zur Niederdruckseite vor. Das führt bei balancierten

---

<sup>20</sup> „Drehzahlrampe“ – zeitlicher Verlauf einer Drehzahländerung, also ein Wert für die Drehzahlbeschleunigung. Die Rampe beginnt mit dem Zeitpunkt, an dem die Drehzahländerung beginnt und endet mit dem Zeitpunkt, an dem sie abgeschlossen ist. (vgl. Wikipedia, 08.09.2021).

Rudern dazu, dass das Ruder im ausgelenkten Zustand (Ruderwinkel ungleich  $0^\circ$ ) durch das rückstellende hydrodynamische Moment in die Nulllage zurück "kriecht". Je nach Qualität der Dichtigkeit erfolgt das langsamer oder schneller. Im FU-Betrieb würde diese Kriechbewegung ständig durch die Lageregelung korrigiert werden, wohingegen das Ruder im NFU-Betrieb bis in die Nulllage kriecht, wenn dieses Verhalten nicht bekannt ist bzw. nicht bemerkt wird. Im Falle überbalancierter Ruder kann sich das Verhalten sogar umkehren, denn dann ist das hydrodynamische Moment in Richtung großer Ruderwinkel gerichtet und das Ruder fährt im NFU-Betrieb ggf. unbemerkt bis in die Endlage. Die Vermutung des Autors, ein Aus- bzw. Voreilen des Ruders unter erhöhter Kriechrate könnte unfallursächlich sein, konnte widerlegt werden: Einerseits dürfte das Ruder als Klappenruder eine stark rückstellende Momentencharakteristik haben. Somit könnte es selbst bei erhöhter Kriechrate der Rudermaschine nur zu einem Rücklaufen in die Nulllage, nicht aber zu einem Aus- bzw. Voreilen in die Endlage kommen. Andererseits wurde die Leckrate der Rudermaschine vor Ort überprüft, in dem die Maschine in die beidseitigen Anschläge gefahren und über eine geöffnete Rücklaufleitung der Leckölstrom gemessen wurde. Dieser war für eine Drehflügelmaschine erstaunlich niedrig, so dass es vollkommen unmöglich gewesen wäre, durch interne Leckage ein derart schnelles, ungewolltes Verstellen des Ruders zu erreichen. In dem Zuge konnten noch die Anfahrdücke gemessen werden, die ein Maß für die interne Reibung der Maschine und der Ruderschaftlager sind. Auch diese Werte waren, verglichen mit den Erfahrungswerten des Autors, niedrig und somit unbedenklich. Somit kann festgestellt werden, dass die hydraulisch-mechanische Funktion der Rudermaschine einwandfrei ist.

Eine weitere Funktionsprüfung bestand darin, die FU-Funktion der Rudermaschinensteuerung auf der Brücke zu verifizieren. Per Bordtelefon konnte zwischen Brücke und Rudermaschinenraum kommuniziert werden. Auf der Brücke wurde ein Pumpenaggregat aktiviert und per FU-Tiller ein Ruderwinkel eingestellt. Im Rudermaschinenraum wurde per Wahlschalter am anderen Schaltschrank der lokale Betrieb gewählt und nun versucht, mit den NFU-Knöpfen das Ruder zu bewegen. Es zeigte sich jedoch, dass die dadurch kurz erreichten Lage- und damit Regelabweichungen sofort von der Rudermaschinensteuerung ausgeglichen wurden. Zuletzt wurde im Rudermaschinenraum geprüft, ob die Ruderwinkel-Sensoren (wie oben beschrieben) funktionieren. Dazu wurde das Gestänge zwischen Ruderschaft und Potentiometern (eines für die Anzeige, eines für die FU-Steuerung (beide in jeweils einem grauen Gehäuse integriert), eines für den Autopiloten (in einem eigenen schwarzen Gehäuse)) gelöst und händisch bewegt. Diese Bewegungen wurden einwandfrei auf die Ruderlageanzeige und die FU-Steuerung auf der Brücke übertragen; die Rückmeldung zum Autopiloten konnte nicht eindeutig „im Trockenen“ nachvollzogen werden. Es wurde jedoch durch eine Fachfirma eine Durchgangsprüfung aller Signalleitungen zwischen Sensoren und Brücke vorgenommen, die ohne Befund abgeschlossen wurde. Insofern kann auch eine Fehlfunktion der Potentiometer als Unfallursache ausgeschlossen werden.“<sup>21</sup>

### 3.2.9 Rudermaschinensteuerung und Autopilot

„Nachdem jegliche hydraulische, elektrische oder mechanische Fehlfunktion an der Rudermaschine und deren lokalen Schaltschranken ausgeschlossen werden konnte,

<sup>21</sup> Ebda.

wurde das Augenmerk auf das Zusammenspiel zwischen Rudermaschinensteuerung und Autopilot gerichtet.

Zunächst ist festzuhalten, dass im FU-Betrieb der Rudermaschinensteuerung (RMS) ein einwandfreies Anfahren eines über den Tiller angewählten Ruderwinkels erfolgt, der dann stabil gehalten wird. Dabei wird die Drehzahl des bzw. der Pumpenaggregate bei Annäherung an die Solllage heruntergefahren und bei Erreichen der Solllage gestoppt.

Sobald die Kontrolle auf den Autopiloten (AP) übergeben wird, zeigt sich jedoch in mehrfacher Hinsicht merkwürdiges Verhalten:

- a) Wenn eine Solllage des Ruders im AP-Betrieb angefahren wird (unabhängig, ob der Sollwinkel Null bzw. Mittschiffslage oder ein anderer Winkel ist), fährt die Rudermaschine diesen Winkel unter voller Drehzahl des oder der Pumpenaggregate (PA) an. Sobald der Winkel erreicht ist und überschritten wird (weil die PA noch den vollen Ölstrom fördern) werden die PA umgesteuert und fördern in Gegenrichtung. Es entsteht ein erneuter Peak Overshoot, und der Vorgang kehrt sich um. In dieser Weise setzt sich der Prozess fort, mit einer Periodendauer von ca. 4s. Der Sollwinkel wird somit im Mittel erreicht, jedoch arbeiten die PA permanent um die Solllage und fahren das Ruder um einige Grad Abweichung hin und her. Dieses Verhalten ist in jeglicher Hinsicht unerwünscht: Zum einen führt das „Paddeln“ des Ruders zu einem erhöhten Widerstand des Ruders im Wasser. Damit sind ein erhöhter Leistungsbedarf des Schiffsantriebes und ein erhöhter Kraftstoffverbrauch verbunden. Zum anderen führt das Hin- und Herlaufen zu einem permanenten Wechselbetrieb aller elektrischen und hydraulischen Komponenten, während sie eigentlich ab Erreichen der Solllage im Ruhezustand verharren sollten. Da das Anfahren und Abbremsen jeweils eine erhöhte elektrische, hydraulische und mechanische Belastung sämtlicher Komponenten darstellt, ist angesichts der extrem hohen Anzahl an Schaltvorgängen mit einem stark erhöhten Verschleiß und einer Reduzierung der Lebensdauer der betroffenen Komponenten zu rechnen.
- b) Der Betrag des Sollwinkels, den die Rudermaschine im AP-Betrieb anfährt, ist abhängig von der aktuellen Position des FU-Tillers der RMS im Moment der Übergabe an den AP. Zur Veranschaulichung sei ein Beispiel gegeben:
  - Der FU-Tiller steht auf  $0^\circ$  (Ruder mittschiffs), der Kurs des Schiffes an der Pier ist  $127^\circ$ . Am AP wird ein Sollkurs von  $165^\circ$  vorgewählt. Im Moment der Übergabe an den AP liegt somit eine Kursabweichung vor, die eine Kursänderung nach Stb erfordert. Folgerichtig fährt der AP das Ruder nach Stb, und zwar auf  $+25^\circ$  (nachfolgend wird + für die Richtung Stb und - für die Richtung Bb verwendet). In dieser Lage verharrt es, zeigt dabei aber das unter a) beschriebene Schwingverhalten. Es ist davon auszugehen, dass angesichts der Kursabweichung von  $+38^\circ$  ( $=165^\circ-127^\circ$ ) ein großer anfänglicher Ruderausschlag von  $+25^\circ$  angemessen ist. Dieser verharrt natürlich an der Pier, weil sich der Kurs nicht ändert und die Regelabweichung folglich konstant bleibt.

- *Der FU-Tiller und damit das Ruder stehen auf  $-15^\circ$  (Bb), der Kurs ist weiterhin  $127^\circ$  und am AP wird ein Sollkurs von  $165^\circ$  vorgewählt. Im Moment der Übergabe an den AP fährt das Ruder nun auf lediglich  $+10^\circ$  (Stb) anstelle auf  $+25^\circ$  wie im vorigen Fall.*
  - *Der FU-Tiller und damit das Ruder stehen auf  $+10^\circ$  (Stb), der Kurs ist weiterhin  $127^\circ$  und am AP wird der gleiche Sollkurs von  $165^\circ$  vorgewählt. Im Moment der Übergabe an den AP fährt das Ruder nun auf  $+35^\circ$  (Stb) und verharrt dort schwingend.*
  - *Offensichtlich ist also der Ruderwinkel, den der Autopilot anfährt, nicht ein absoluter Ruderwinkel (z.B.  $+25^\circ$ ), sondern eine Winkeldifferenz zum aktuellen Ausgangs-Ruderwinkel. Dieses Verhalten des Autopiloten ist aus Sicht des Autors sowohl nautisch als auch technisch unsinnig, denn wenn die Übergabe an den AP aus einer vorangegangenen Ruderlage ungleich Null erfolgt, interpretiert der AP den aktuellen Istwinkel ungleich Null als Nulllage.*
- c) *Die Rückgabe der Kontrolle vom AP an die RMS und damit an den manuellen Betrieb erfolgt, wie zuvor beschrieben, durch Abschalten des Autopiloten. Wenn die Ruderlage mittschiffs ist und der FU-Tiller auf  $0^\circ$  steht, funktioniert das einwandfrei und man kann unmittelbar das Ruder über den Tiller steuern. Liegt aber das Ruder mittschiffs und der Tiller steht auf einem davon abweichenden Winkel, so passiert gar nichts: Das Ruder bleibt in seiner aktuellen Position. Lediglich eine Blinkleuchte zeigt an, dass die Übergabe vom AP an die RMS gescheitert ist. Wenn nun aber der Tiller innerhalb einer begrenzten Zeit auf  $0^\circ$  gestellt wird, rastet er gewissermaßen ein und übernimmt von nun an die Rudersteuerung. Das gleiche Verhalten zeigt sich auch, wenn der aktuelle Ruderwinkel vor Übernahme ungleich Null ist, der Tiller aber auf  $0^\circ$  steht. Auch dann kann die Kontrolle erst erreicht werden, indem der Tiller einmal auf den aktuellen Ist-Winkel des Ruders gestellt wird.*

*Diese Besonderheit ist an einer Stelle sowohl in der Bedienungsanleitung des Autopiloten<sup>22</sup> [...] als auch der RMS-Steuerung<sup>23</sup> [...] erwähnt, nämlich, dass der AP die Kontrolle erst freigibt, wenn der Tiller auf dem Ist-Ruderwinkel steht. Da der Autor kein Nautiker ist, kann er keine Einschätzung zu der Sinnhaftigkeit oder dem sicherheitstechnischen Schutzziel hinter dieser Funktion abgeben. Es ist jedoch zu vermuten, dass in einer Stresssituation und / oder bei Unkenntnis über diese Funktion der Fall eintreten kann, dass die Übernahme vom AP auf manuellen Betrieb nicht oder zumindest nicht schnell genug erfolgt.*

*Zuletzt sei erwähnt, dass sich auf der Brückenkonsole direkt oberhalb des FU-Tillers zwei Knöpfe für die Notsteuerung befinden. Diese sind als binäre bzw. NFU-Knöpfe ausgeführt. Wie sich bei der Untersuchung an Bord zeigte, war das Fahren der*

---

<sup>22</sup> Hier in Zusammenhang mit der FU-Steuerung des Herstellers des Autopiloten.

<sup>23</sup> Rolls-Royce Instruction Manual, 1. Control Systems – Steering Mode FU: "If the in command push button is activated, the system require that the order signal is equal to the position of the steering gear before the actual steering mode will be activated. If not, the in command light will start flashing to indicate that the operator must change the order signal. The order must be changed inside a period of 6-7 sec."

*Rudermaschine über diese Knöpfe zu jeder Zeit bzw. aus jeder Ausgangssituation (AP- oder RMS-Betrieb) möglich.“<sup>24</sup>*

Zur Notwendigkeit der Übereinstimmung von Tillerposition und Ist-Ruderwinkel teilte Kongsberg Maritime im Rahmen der Stellungnahme mit, dass dies beabsichtigt sei. So würde eine mögliche versehentliche Verstellung des Tillers an einem der Fahrstände in den Nocken nicht zu einer unbeabsichtigten Auslenkung des Ruders beim Zurückschalten auf die Handsteuerung führen. Damit solle das Bewusstsein der Brückenbesatzung für die Gesamtsituation erhöht werden. Kongsberg Maritime teilte darüber hinaus mit, dass, wenn der Auftraggeber es wünschen würde, technisch auch ein Umschalten bei abweichenden Positionen von Tiller und Ist-Ruderwinkel möglich sei. Grundsätzlich gäbe es dazu von Seiten der Klassifikationsgesellschaften keine Vorgaben. Zu den Vereinbarungen zwischen der Bauwerft und /oder dem damaligen Auftraggeber und dem damaligen Hersteller der Ruderanlagensteuerung könnten heute keine Aussagen mehr gemacht werden.

### **3.2.10 Die elektrische Verbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung**

*„Wie bereits erwähnt, existiert zwischen dem AP und der RMS eine Verbindung, die die Befehle des AP an die RMS überträgt. Diese Verbindung überträgt Signale nur in eine Richtung (vom AP zur RMS), eine Rückmeldung erfolgt auf diesem Wege nicht. Der AP erhält die erforderliche Rückmeldung des Ist-Ruderwinkels direkt über einen eigenen Sensor / Potentiometer an der Rudermaschine.*

*Die elektrische Verbindung zwischen beiden Modulen befindet sich in der Brückenkonsole. Sie ist, soweit das nachvollzogen werden konnte, im Lieferumfang der Bauwerft, die die Schaltpläne und Lieferumfänge von AP und RMS interpretiert und die Verbindung entsprechend ausführt. Interessanterweise findet die Signalübertragung über zwei Relais statt, nämlich ein Bb- und ein Stb-Relais. Dies scheint eine Vorsichtsmaßnahme durch die Werft gewesen zu sein, denn in den Schaltplänen des Autopiloten und der Rudermaschinensteuerung finden sich keine Angaben dazu. Damit sind die elektrischen Kreise von AP und RMS elektrisch voneinander getrennt; man spricht von einem „potenzialfreien Kontakt“. Eine solche potenzialfreie Signalübertragung ist durchaus üblich, um verschiedene elektrische Systeme gegeneinander vor z.B. Spannungsspitzen zu schützen. Das liegt in der Funktionsweise eines Relais: Ein Steuerstrom auf der Primärseite kann auf der Sekundärseite nur ein Öffnen oder Schließen des Sekundärkreises verursachen. Eventuelle Spannungs- oder Stromspitzen auf der einen oder anderen Seite werden prinzipbedingt nicht durchgereicht. Allerdings geht damit einher, dass ein Relais ebenso prinzipbedingt nur für eine digitale (an/aus), nicht aber für eine analoge (stufenlose) Signalübertragung geeignet ist. Im vorliegenden Fall sind die Relais als elektrische Schalter so angeordnet, dass jedes vom Primärkreis des AP angesteuert werden kann und damit den jeweiligen Sekundärkreis entweder aus (bei Steuerspannung 0) oder einschaltet (bei Steuerspannung x). In den beiden Sekundärkreisen der RMS werden damit drei Schaltzustände erzeugt: Beide Relais aus: Beide Sekundärkreise offen, damit Signalspannung auf die RMS 0 V. Ein Relais geschaltet: Ein Sekundärkreis geschlossen, damit Signalspannung auf die RMS*

<sup>24</sup> Gutachten Ruderanlage.

*+10 V. Das andere Relais geschaltet: Der andere Sekundärkreis geschlossen, damit Signalspannung auf die RMS -10 V.*

*Anhand des oben beschriebenen Verhaltens der Ruderanlage im AP-Betrieb und anhand der Schaltpläne von AP und RMS wird offenkundig, dass*

- der AP ein Steuersignal ausgibt, das als finales, binäres NFU-Signal gemeint ist, da er sich selbst aufgrund der Istwinkel-Rückmeldung als FU-Steuerung versteht,*
- die RMS das Eingangssignal als FU-Signal interpretiert, was sinnvoll ist, weil sie selbst ja eine FU-Steuereinheit ist und ein FU-Signal in ein digitales bzw. binäres Signal für die Pumpenaggregate umwandelt,*
- die Relais aber nur ein digitales Signal übergeben können und damit ein Signal, das für eine FU-Steuerung überhaupt nicht geeignet ist.*

*Es ist nämlich so, dass bei einem FU-Signal die Eingangsspannung an der RMS im analogen (also stufenlosen) Bereich zwischen -10...+10 V proportional zu einem Ruderwinkel (-35°...+35°) ist. Ein digitales Signal wie im vorliegenden Fall, und so meint es auch der AP, kann aber nur der FU-Logik („fahre weiter nach Bb (-10 V) oder nach Stb (+10 V)) genügen. Wird dieses digitale Signal dennoch, wie im vorliegenden Fall, auf die RMS übergeben, so interpretiert die RMS das Signal 0 V als „fahre das Ruder in die Nulllage“, das Signal -10 V als „fahre das Ruder nach hart Backbord“ und das Signal +10 V als „fahre das Ruder nach hart Steuerbord“. Aus Sicht der RMS müsste für jeden Ruder-Sollwinkel ungleich 0° oder +/-35° also eine Signalspannung zwischen +/-10 V eingeprägt werden. Dazu ist jedoch weder der gewählte Ausgang des AP noch die Signalübertragung über Relais in der Lage. Es ergibt sich folgende Situation: Der AP möchte das Ruder z.B. auf +17,5° fahren. Dazu schaltet er das Stb-Relais, das folglich im Sekundärkreis der RMS eine Signalspannung von +10 V erzeugt. Die RMS meint, es wäre die Hartlage von +35° gewünscht, und fährt das Ruder mit der maximalen Drehzahl des oder der Pumpenaggregate in Richtung Stb. Damit die RMS den Befehl richtig interpretieren könnte, müsste die Signalspannung +5 V betragen. Sobald daher der Ruderwinkel von +17,5° und damit die Solllage aus Sicht des AP erreicht ist, stellt der AP das Steuersignal ab, um die Position zu halten. Nun entsteht an der RMS die Signalspannung 0 V. Das heißt für die RMS, dass das Ruder wieder in Mittschiffslage gefahren werden soll, und sie steuert die Pumpe(n) auf volle Drehzahl in die Gegenrichtung um. Der AP sieht nun wieder eine Regelabweichung in Form eines zu geringen Winkelbetrages und schaltet das Stb-Relais erneut, die RMS will also das Ruder wieder in die Stb-Hartlage fahren, usw. Somit existieren zwei Steuerungen, die sich jeweils als FU-Steuerung mit einem NFU-Ausgabesignal verstehen. Da zu alledem noch kommt, dass aufgrund des Signal-Vollausschlages (+/-10 V) die RMS jeweils die größtmögliche Regelabweichung vermutet, fahren die Pumpenaggregate jeweils auf volle Drehzahl hoch. Durch die Rotationsträgheit beim Umsteuern entstehen dadurch entsprechend große Peak Overshoots bzw. große Amplituden der Paddelbewegung um die Solllage.“*

Im Rahmen der Stellungnahme zum Entwurf ging Kongsberg Maritime auch auf die Abweichung zwischen Bauplänen und tatsächlicher Ruderanlagensteuerung ein. Der Hersteller machte darauf aufmerksam, dass Ruderanlagen zu einem frühen Zeitpunkt an Bord eingebaut werden. Daher könne man aufgrund des länger zurückliegenden Bauzeitraums keine Details mehr benennen. Grundsätzlich wurden die Arbeiten damals aber von eigenen oder autorisierten Technikern durchgeführt. Die Tatsache, dass für den Autopiloten ein anderer Hersteller gewählt wurde, lässt Kongsberg Maritime zu dem Schluss kommen, dass der Autopilot erst nach dem Einbau der Rolls-Royce-Komponenten an Bord installiert wurde. Es ist wahrscheinlich, dass die fraglichen Relais dann verwendet wurden.

### **3.2.11 Relais als potenzialfreie Kontakte zwischen Autopiloten und Rudermaschinensteuerung**

*„Es liegt auf der Hand, dass in diesem Kontext unter anderem die beiden Relais eine übermäßig hohe Schalthäufigkeit erfahren: So lange der Autopilot in Betrieb ist, werden die Relais mit Zykluszeiten im einstelligen Sekundenbereich an- und ausgeschaltet. Der Autopilot ist geschätzt während der Seereisezeit kontinuierlich im Einsatz; der manuelle Betrieb wird i.d.R. nur während des Manövrierens genutzt. Eine grobe Abschätzung soll dies verdeutlichen: Bei einer Zykluszeit von 4 s (2 s angeschaltet, 2 s ausgeschaltet) ergeben sich 15 Schaltvorgänge pro Minute bzw. 900 Schaltvorgänge pro Stunde. Das entspricht in einem Jahr bei halbem durchschnittlichem Betriebszeitanteil knapp 4 Mio. Schaltvorgängen. Laut Angabe des Herstellers Finder<sup>25</sup> ist die mechanische Lebensdauer mit 20...50 Mio. Schaltspielen und die elektrische Lebensdauer mit 200.000 Schaltspielen angegeben. Die elektrische Lebensdauer wäre demnach bereits nach wenigen Monaten erreicht, die mechanische Lebensdauer nach 5...12 Jahren. Da über das Alter der Relais nichts bekannt ist, könnten die Relais im schlimmsten Fall noch die Originalteile aus dem Neubauzustand des Schiffes und damit seit dem Baujahr des Schiffes 2006 in Betrieb sein.*

*Da die beiden Relais bei Inaugenscheinnahme innerhalb des durchsichtigen Kunststoffgehäuses schwarze Ablagerungen zeigten und der Servicemonteur wenigstens das Stb-Relais nach Ausbau und Durchgangsmessung als defekt bezeichnete (genauer konnte er das zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr wiedergeben), wurde entschieden, die beiden Relais sicherzustellen und genauer zu begutachten. Dazu wurde Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann (Emeritus der Technischen Universität Hamburg, ehem. Leiter des Institutes für Elektrische Energiesysteme und Automation) als Experte für elektrische Komponenten gebeten, die Relais zu untersuchen. Mit Hilfe seiner umfangreichen Mess-Ausstattung konnte er jedoch keine Fehlfunktion der Relais oder deren Stecksockel feststellen.<sup>26</sup>*

*Da sich Prof. Ackermann nicht auf Materialuntersuchungen versteht und die reine zerstörungsfreie Funktionsanalyse der Relais ohne Befund war, wurde das Materiallabor MQ Engineering in Rostock mit der weiteren Untersuchung der Bauteile beauftragt. Die Untersuchungsschritte und Erkenntnisse sind in einem ausführlichen*

<sup>25</sup> Datenblatt Finder Relais (Anm.: Wird nicht im Bericht wiedergegeben).

<sup>26</sup> Ackermann, G.: Findings of the Inspection of the Relay of the Rudder controller M/T Northsea Rational, 29.01.2021. Siehe Pkt. 9.1 der Anlage.

*Bericht<sup>27</sup> wiedergegeben. Demnach handelt es sich bei den sichtbaren Ablagerungen um mechanisches Verschleißmaterial, die die Arbeitskontakte belegen. Am Bb-Relais zeigten sich Furchen und Kratzspuren an den Arbeitskontakten sowie am Gehäuse, die auf eine mechanische Reinigung mit vorheriger Öffnung des Relais zurückzuführen sind. Am Stb-Relais zeigten sich „Zerrüttungen“ an den Arbeitskontakten, also Hinweise auf eine hohe mechanische Beanspruchung der Kontaktflächen, aus denen durch Materialermüdung Stücke herausgebrochen sind. Hinweise auf elektrische Entladungen oder andere elektrische Beanspruchungen wurden nicht gefunden. Allerdings fielen Silbersulfidschichten auf den Arbeitskontakten des Bb-Relais auf, die bekanntermaßen durch die lange Einwirkung von schwefelhaltiger Atmosphäre (wie z.B. Seeluft) entstehen können und den Durchgangswiderstand von Kontakten erhöhen.*

*Der letzte Punkt des Berichtes sei wörtlich wiedergegeben. Zitat Anfang: „Die in beiden Relais vorliegenden Verschleißprodukte sowie die zusätzlich an dem backbordseitigen Relais aufgefundenen Silbersulfidschichten sind daher als potenzielle Ursachen einer zumindest zeitweise eingetretenen Fehlfunktion einzustufen. Die Tatsache, dass die äußeren Kontakte des backbordseitigen Relais „mechanisch gereinigt“ wurden, lässt vermuten, dass bereits zuvor Probleme mit diesem Relais aufgetreten sind und dass diese offensichtlich im Zusammenhang mit den vorliegenden Kontaktoberflächen standen.“ Zitat Ende.“<sup>28</sup>*

### **3.2.12 Weitere Untersuchungsschritte**

*„Noch vor Einbeziehung des Autors wurde die Autopilot-Einheit durch die Firma Diedrichs durch eine baugleiche Einheit ersetzt. Die bisher geschilderten Untersuchungen an Bord fanden demnach mit der Ersatzeinheit statt. Das Original-Teil wurde an die Herstellerfirma Navitron in UK eingeschickt und dort am 8.1.2021 untersucht. Aufgrund der Pandemiesituation nahmen die beteiligten Personen per Videokonferenz an der Untersuchung teil, die von zwei Mitarbeitern der Fa. Navitron nach einem standardisierten und vorher zugänglichen Prüfablauf durchgeführt wurde. Zu Beginn wurde das versiegelte Paket vor laufender Kamera geöffnet. Bei der Untersuchung wurden keinerlei Auffälligkeiten festgestellt. Die anschließende Diskussion ergab jedoch drei interessante Aspekte:*

- Die oben beschriebene Tatsache, dass der Autopilot anstelle absoluter Ruderwinkel nur Winkeldifferenzen einstellt, die vom bei Übernahme anliegenden Ruderwinkel ausgehen, war den Experten von Navitron unbekannt und konnte nicht erklärt werden.*
- Es wurde vorgeschlagen, zur Beseitigung des „Paddelns“ des Ruders eine zusätzliche Einheit zwischen AP und RMS einzubauen, nämlich ein „Analog Steering Interface (ASI)“.*

---

<sup>27</sup> Oelschner, H. (MQ Engineering GmbH): Inspektionsbericht Nr. 52 027 -1, Untersuchung an zwei potentiell schadhafte Relais / Schiffsobjekt „Northsea Rational“, 15.04.2021. Siehe Pkt. 9.2 der Anlage.

<sup>28</sup> Gutachten Ruderanlage.

- *Das Sensorsignal des „schwarzen Gehäuses“, das in den Autopiloten geführt wird, diene dann nur noch der Anzeige der Ruderlage am AP und sei für die Regelung somit außer Funktion.“<sup>29</sup>*

---

<sup>29</sup> Ebd.

## 4 AUSWERTUNG

### 4.1 Technische Aufzeichnungen

Die Handlungen der Personen auf der Brücke ließen sich nur anhand der Audioaufzeichnungen des Schiffsdatenschreibers und der NMEA-Daten beurteilen. Andere technische Aufzeichnungen, wie beispielsweise über die Betätigung von Schaltern an der Ruderanlagensteuerung oder gewählte Ruderlagen, während die Ruderanlagensteuerung auf Handsteuerung stand, waren nicht vorhanden. Die technischen Standards für Schiffsdatenschreiber verlangen die Aufzeichnung solcher Daten auch nur für die Selbststeueranlagen.<sup>30</sup>

Im betreffenden Zeitraum des Umschaltens ist in der Audioaufzeichnung des Schiffsdatenschreibers kein einziges akustisches Alarmsignal zu hören. Insofern bleibt unklar, inwieweit eine Fehlfunktion oder eine nicht erfolgte Übergabe von einer Steuerung auf die andere tatsächlich signalisiert wurde.

### 4.2 Handlungen der Schiffsführung

Beim Auftreten des Ruderversagens befand sich die NORTHSEA RATIONAL etwa auf der Radarlinie. Der Abstand zum nördliche Ufer betrug ca. 240 m. Der Abstand zu den davorliegenden Pontons, an denen Schlepper vertäut waren, betrug ca. 180 m. Zwischen dem Auftreten des Problems (10:20:26 Uhr) und dem Auftreffen auf die Kaianlage (10:22:10 Uhr) vergingen nur 1 Minute 44 Sekunden. Da der Lotse zunächst annahm, dass ein Bedienfehler des II. NO zu der starken Ruderlage nach Steuerbord und damit zum Andrehen des Schiffes geführt hatte, gab er die Empfehlung für Gegenrudder (10:20:39 Uhr) und das Zurückschalten auf die Handsteuerung (10:20:48 Uhr). Erst kurz darauf wurde klar, dass das keine Option war, da die Ruderanlagensteuerung nicht auf die manuelle Eingabe einer Ruderlage reagierte. So verkürzte sich die der Schiffsführung zur Verfügung stehende Zeit auf höchstens 80 Sekunden bis zum Auftreffen auf die Kaimauer. Der Kapitän und Lotse versuchten bis dahin, die Geschwindigkeit des Schiffes durch ein Voll-Zurück-Manöver und das Werfen des Backbordankers zu verringern. Darüber hinaus veranlasste der Lotse die intensive Betätigung des Typhons, um so die Umgebung zu warnen. Das war folgerichtig, da in der unbestimmbaren Fahrtrichtung mehrerer Schlepper an der Neuen Schlepperbrücke und andere Fahrzeuge hinter dem Anleger Neumühlen lagen.

Die eingeleiteten Maßnahmen und die Drehbewegung des Schiffes führten zu einer Geschwindigkeitsreduzierung um ca. 3 kn.

### 4.3 Notfallsteuerung

Die Untersucher gehen davon aus, dass durch die Brückenbesatzung des Schiffes nicht versucht wurde, die Kontrolle über die Ruderanlagensteuerung durch ein Umschalten auf die Notfallsteuerung (NFU-Steuerung) zurückzuerlangen. Die Untersucher sind jedoch nicht der Ansicht, dass ein Umschalten zu einem Umschiffen aller Kollisionsgefahren geführt hätte. Dies begründet sich in der notwendigen Zeit für ein Ruderlegen nach Backbord, die schlechte Anströmung des Ruders bei der wahrscheinlich beibehaltenen Fahrtstufe „Voll Zurück“ und dem negativen Einfluss des

---

<sup>30</sup> A.861(20) 5.4.10 – Performance standards for Shipborne Voyage Data Recorders (VDRs).

Tidenstromes auf den Drehkreis. So wäre die NORTHSEA RATIONAL möglicherweise mit dem Anleger Neumühlen bzw. einem der dort liegenden Fahrzeuge kollidiert.

#### 4.4 Signalverbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung

*„Die Ausführung der Signalverbindung zwischen Autopilot (AP) und Rudermaschinensteuerung (RMS) ist unvorteilhaft ausgeführt und führt dazu, dass die beiden Relais, die den potenzialfreien Kontakt herstellen sollen, eine exzessive Schalthäufigkeit erfahren. Es ist anzunehmen, dass zumindest das Bb-seitige Relais in der Vergangenheit bereits auffällig geworden ist, denn es wurde manuell „gereinigt“. Welche Auffälligkeit zu der Reinigung geführt hat, ist nicht mehr nachvollziehbar, denn das technische Management hat das Schiff erst vor kurzer Zeit übernommen und kennt nicht alle Details der Historie, [dies gilt auch] für die aktuelle Besatzung. Es ist jedoch anzunehmen, dass es sich um eine Fehlfunktion durch die hohe Schalthäufigkeit handelte. Weiterhin ist anzunehmen, dass auch das Stb-seitige Relais früher oder später durch den gleichen Verschleißmechanismus auffällig werden musste. Eine Auffälligkeit bzw. Fehlfunktion eines solchen Relais kann in zweierlei Form in Erscheinung treten: Entweder, das Relais schließt trotz Steuerstromes nicht. Oder, das Relais öffnet trotz Unterbrechung des Steuerstromes nicht oder nur verzögert, es „klebt“.*

*Der erstgenannte Fall kann mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden: Hätte das Stb-Relais oder gar keines der beiden Relais geschlossen, wäre es nicht zu einem Ausschlag des Ruders bei Aktivierung des AP gekommen; das Ruder hätte vielmehr in der Ausgangslage (mittschiffs) verharrt.*

*Der zweitgenannte Fall hingegen wird als sehr wahrscheinlich gesehen: Nach längerer Betriebsruhe der Relais während der Liegezeit des Schiffes wurden die Relais direkt nach Aktivierung des AP erstmalig wieder geschaltet. Ein erster Steuerbefehl des AP an die RMS, das Ruder mehr oder weniger weit nach Stb zu verfahren, schaltete das Stb-Relais. Wenn dieses Relais bei Erreichen der Solllage jedoch trotz Wegnahme des Schaltstromes nicht wieder öffnete, wurde das Ruder solange weiter gen Stb gefahren, bis es dann doch öffnete. Dafür spricht der Verlauf des Ruderwinkels, der laut Aufzeichnungen des Voyage Data Recorders (VDR) zunächst einen weiten Ausschlag auf ca. +27° (Stb) zeigt, ein anschließendes Rückstellen auf 0°, dann noch zwei kleine Ausschläge nach Stb und Bb mit je <10°, bis das Ruder letztlich in Nulllage verharrt. Die Drehgeschwindigkeit des Ruderwinkels ist zwar hoch, aber nachvollziehbar, wenn von einem Betrieb mit beiden Pumpenaggregaten ausgegangen wird, wie es im engen Revier üblich ist. Die durch den starken Ruderausschlag eingeleitete Gierbewegung des Schiffes nach Stb ließ sich zunächst nicht aufhalten, zumal die Rücknahme auf manuelle Steuerung nicht gelang. Dass sie nicht gelang, hängt mit der beschriebenen Eigenschaft des AP zusammen, die manuelle Steuerung erst dann zu freizugeben, wenn der am Tiller eingestellte Soll-Ruderwinkel dem aktuellen Ist-Ruderwinkel entspricht. Es ist davon auszugehen, dass der Tiller in der Hektik nach hart Bb gestellt wurde, um der Gierbewegung<sup>31</sup> entgegenzuwirken. Da der Ist-Ruderwinkel jedoch auf Stb-Seite bzw. in Neutrallage lag, konnte die Übernahme nicht gelingen. Die unmittelbar oberhalb des FU-Tillers angeordneten Notsteuerungs-Knöpfe jedoch hätten ein manuelles Fahren des Ruders*

<sup>31</sup> Anmerkung: Gemeint ist die Drehbewegung des Schiffes nach Steuerbord.

*ermöglicht. Warum von dieser Möglichkeit kein Gebrauch gemacht wurde, konnte nicht geklärt werden. Als in Folge der fortschreitenden Schiffsdrehung nach Stb der Hauptantrieb des Schiffes auf „voll zurück“ gestellt wurde, was bei einer Anlage mit Verstellpropeller im Konstantdrehzahlbetrieb recht zügig umgesetzt wird, kam erschwerend hinzu, dass das Ruder nun nicht mehr in normaler Richtung angeströmt wurde (bildlich gesprochen saugt der Propeller dem Ruder das Wasser weg) und folglich keine Steuerwirkung mehr erzielen konnte. [...]*

*Die Annahme, dass die Relais an der Grenze ihrer Lebensdauer angelangt waren, wird weiterhin durch das baugleiche Relais im Schaltschrank des Pumpenaggregates No.2 gestützt. Jenes Relais befand sich an einer Position in der Anlage, die die Steuerbefehle der RMS durchleitet und somit einer ebenso hohen Schalthäufigkeit ausgesetzt ist wie die Relais auf der Brücke. Dessen Fehlfunktion war offensichtlich, zumal sie von der Besatzung durch den Ersatz des Relais durch ein weniger beanspruchtes Altteil behoben wurde. Der Verbleib jenes schadhafte Relais ist dem Autor jedoch unbekannt, so dass es nicht für verifizierende Untersuchungen zur Verfügung steht.*

*Somit werden die in [Pkt. 3.2.9] beschriebenen Auffälligkeiten a) und c) als für den Unfallhergang relevant angesehen.*

*Die Auffälligkeit gemäß b) scheint irrelevant, ist aber dennoch bemerkenswert. Es scheint, als würde der AP den Ist-Ruderwinkel im Moment der Übernahme als Nullwert interpretieren und seine Änderungen um diese fiktive Nulllage durch vorzeichenrichtige Addition der Soll-Winkeländerungen festlegen. Ob dieses Verhalten durch die Installation des ASI ebenfalls abgestellt werden konnte, war durch den Autor nicht mehr herauszufinden.<sup>32</sup>*

#### **4.5 Fazit**

In seinem Gutachten kommt Prof. Wirz zu folgendem Fazit:

*„Nach Einschätzung des Autors ist der wahrscheinlichste Unfallhergang so zu erklären: Die Signalverbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung war konstruktiv so ausgeführt, dass es während des gesamten Autopilotenbetriebes u.a. zu einer exzessiven Schalthäufigkeit der potenzialfreien Kontakte (Relais) kam. Am Unfalltag versagte im Moment der erstmaligen Übergabe der Steuerung an den Autopiloten das Stb-Relais, in dem es vorübergehend „klebte“. Dadurch fuhr das Ruder auf einen großen Stb-seitigen Winkel und versetzte das Schiff in eine Gierbewegung nach Stb. Diese Bewegung konnte nicht mehr aufgehalten werden, weil die Rücknahme auf manuelle Steuerung eine besondere Bedienweise erfordert hätte, was in dem Moment nicht gelang. [...]*

*Ursächlich für den Unfall war somit die konstruktive Ausführung der Signalverbindung zwischen Autopiloten und Rudermaschinensteuerung; letztendlicher Auslöser hingegen war die vorübergehende Fehlfunktion des Stb-Relais, die auf eine vorangegangene exzessive Schalthäufigkeit mit entsprechendem Verschleiß zurückzuführen ist.*

---

<sup>32</sup> Ebda.

---

*Als Abhilfemaßnahmen können verschiedene Maßnahmen in Betracht gezogen werden:*

- Die Relais, die einer hohen Schalthäufigkeit ausgesetzt sind, werden in regelmäßigen Abständen durch Neuteile ersetzt. Diese Maßnahme wäre jedoch nur eine Begegnung der letzten Folge des unglücklichen Aufbaus des Systems und würde nicht die Ursache beseitigen.*
- Eine direkte Verbindung zwischen Autopilot und Rudermaschinensteuerung würde die (anscheinend anfälligen) Relais vermeiden, so dass es auch nicht zu deren Ausfall kommen könnte. Der unglückliche Aufbau und die unvorteilhafte Betriebsweise (Paddeln des Ruders) würden jedoch auch damit nicht behoben werden.*
- Stattdessen wird als sinnvollste Maßnahme die geeignete Ausführung der Signalverbindung und der zwischen AP und RMS implementierten Signalart (FU vs. NFU bzw. analog vs. digital) empfohlen. Nur damit lassen sich das Paddeln des Ruders und damit eine exzessive Schalthäufigkeit der (dann nicht mehr benötigten) Relais und sämtlicher Komponenten der Rudermaschine vermeiden und stattdessen ein üblicher, schonender und effizienter Ruderbetrieb ermöglichen.“<sup>33</sup>*

---

<sup>33</sup> Gutachten Ruderanlage.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

### 5.1 Unfallursache

Der Unfall der NORTHSEA RATIONAL stellt sich für die Untersucher als Ereignis dar, bei dem die Verkettung der Umstände zur Anfahrung der Pier führten. Ursächlich war der beschriebene Verschleiß an einem Relais, der zu einem Ausfall desselben führte. Dieser kurzfristige Ausfall war damit unmittelbar unfallursächlich. Das Versagen ereignete sich zum Zeitpunkt des Umschaltens auf den Autopiloten. Der Gutachter der BSU und die Untersucher sind der Auffassung, dass dieser Ausfall zum starken Ruderausschlag nach Steuerbord führte. Dieser Ruderausschlag verursachte das Andrehen des Schiffes. Das unmittelbar danach erfolgte Zurücklaufen des Ruders weist nach Ansicht des Gutachters darauf hin, dass zu diesem Zeitpunkt die Funktion des Relais wiederhergestellt war.

Das Versagen des Relais wurde nicht durch eine fehlerhafte Handlung der Besatzung ausgelöst. Es war vielmehr zufällig und nicht manipulierbar.

### 5.2 Beeinflussende Faktoren

#### 5.2.1 Ruderanlagensteuerung

Während des Baus des Schiffes waren in die Ruderanlagensteuerung Relais eingebaut worden, die in dem Schaltplan ursprünglich nicht vorgesehen waren. Die Untersucher nehmen an, dass dieser Einbau durch die Werft vorgenommen wurde. Das hatte zur Folge, dass aus einem Steuersignal, das einen Wert zwischen -10 V und +10 V annehmen konnte, ein binäres Signal gemacht wurde. Dies wiederum führte dazu, dass die Rudermaschine bei jedem Steuerbefehl mit ganzer Kraft arbeitete, was dann ein ständiges Überschwingen und Gegensteuern (Paddeln) verursachte. Dies führte zu einer starken Belastung der Bauteile der Ruderanlage. Zum anderen hatte dies eine sehr hohe Schalthäufigkeit innerhalb der elektrischen Bauteile zur Folge. Die Relais waren hier wie dargestellt in besonderem Maße betroffen.<sup>34</sup>

Die Untersucher sind der Ansicht, dass sich die Besatzung der NORTHSEA RATIONAL bis zu den anlässlich des Unfalls durchgeführten Ermittlungen und Untersuchungen nicht der bestehenden Problematik bewusst war. Dies gilt, obwohl zuvor ein vergleichbares Ereignis eingetreten war. Da der hinzugerufene Service aber einen Fehler fand, wählte die Besatzung sich nachvollziehbar in Sicherheit.

Die Untersucher sind darüber hinaus der Ansicht, dass es der Besatzung und der Reederei, die das Schiff erst seit sechs Monaten in seiner Betreuung hatte, nicht zuzumuten war, alle Systeme des Schiffes auf mögliche Schwachstellen zu untersuchen, zumal die Ruderanlage im normalen Betrieb anscheinend keine Auffälligkeiten zeigte. Das in Punkt 3.2.9 beschriebene „Paddeln“ hätte bei einer längeren Beobachtung des Verhaltens der Ruderanlage im Maschinenraum zwar wahrscheinlich beobachtet werden können, jedoch bestand dafür, wie bereits beschrieben, kein unmittelbarer Anlass. Die Untersucher sehen hier eher die Klassifikationsgesellschaft, die den Bau des Schiffes begleitete, in der Verantwortung.

---

<sup>34</sup> Siehe dazu auch das unter 9.2 genannte Gutachten und Punkt 3.2.11 des Berichtes.

Zu diesem Zeitpunkt hätte die Abweichung in der Konfiguration der Ruderanlagensteuerung auffallen können bzw. müssen.

Die Untersucher fanden keine Anhaltspunkte dafür, dass durch die Besatzung, die sich zum Unfallzeitpunkt an Bord befand, die im Rahmen der Begutachtung festgestellten Manipulationen bzw. Reinigungsversuche an den Relaiskontakten durchgeführt wurden.

### **5.2.2 Umschalten vom Autopiloten auf FU-Steuerung**

Der Versuch des II. NO, während des Rücklaufens des Ruders wieder auf die manuelle Steuerung zurückzuschalten, scheiterte zunächst an dem zu dem Zeitpunkt noch bestehenden Unterschied zwischen der Stellung des FU-Tillers und der tatsächlichen Ruderlage. Dies gelang erst um 10:20:30 Uhr, als die tatsächliche Ruderlage (+09,0°) in der Nähe der Stellung des FU-Tillers (+06,0°) lag.

Die Untersucher gehen davon aus, dass der II. NO dann um 10:20:42 Uhr wieder auf Handsteuerung zurückschaltete, da der Hafenlotse um 10:20:39 Uhr eine Ruderlage von 10° nach Backbord empfohlen hatte, um die beginnende Drehung des Schiffes nach Steuerbord abzufangen.

Die Untersucher gehen außerdem davon aus, dass das Ruder – der FU-Tiller – dann auf die durch den Lotsen empfohlene Ruderlage von „Backbord 10“ gelegt wurde. Das hatte erneut eine Diskrepanz der Stellung des FU-Tillers, nun 10° Backbord, und der tatsächlichen Position des Ruders bei nahezu Mittschiffs zur Folge. Wieder gelang die Übernahme wegen der erneut bestehenden Diskrepanz nicht.

Das Umschalten gelingt nur, wenn die aktuelle Ruderlage, also beispielsweise eine Ruderlage von 10° Steuerbord, und die Position des FU-Tillers möglichst nahe beieinanderliegen oder der Tiller zumindest hin in die Richtung der aktuellen Ruderlage bewegt wird. Der Tiller sollte also idealerweise ebenfalls auf 10° Steuerbord liegen. Jedenfalls gelang es bis zur Anfahrung nicht, die Kontrolle über die FU-Steuerung effektiv zurückzuerlangen.

Während der Untersuchung entstand für die Untersucher aus dem oben Beschriebenen der Eindruck, dass sich die Brückenbesatzung vermutlich nicht vollumfänglich der während des Umschaltens vom Autopiloten auf die FU-Steuerung bestehenden Notwendigkeit der Übereinstimmung von Tiller und Ruderlage bewusst war.

Dass die auf der zentralen Konsole angebrachte Beschreibung des Umschaltvorganges von Autopilot auf FU-Steuerung und vice versa nicht auf die beschriebene Problematik eingeht, kann als Beleg hierfür dienen. Der Besatzung ist hier zwar zugute zu halten, dass ein Umschalten mit einer starken Abweichung der aktuellen Ruderlage und der Position des Tillers nach Auffassung der Untersucher eher unüblich ist. Die starke Abweichung am Unfalltag ergab sich erst durch den kurzzeitigen Ausfall des Relais sowie den sich daraus ergebenden starken Ruderausschlag und wurde durch den Rudergänger nicht beeinflusst oder ausgelöst. Wäre sich die Brückenbesatzung oben beschriebener Problematik bewusst gewesen, hätte sie jedoch aktiv eingreifen und die Steuerung zurückholen können.

Die BSU sieht hier daher ein Schulungsproblem. Die Reederei des Schiffes sollte Anstrengungen unternehmen, um die Besatzungen in allen Belangen der Ruderanlagensteuerung zu trainieren.

In ihrer Stellungnahme zum Entwurf gab die Reederei zu bedenken, dass es sich nicht um eine „normale“ Umschaltsituation handelte. Niemand müsse mit einem solch seltsamen und unbeabsichtigten Verhalten des Ruders rechnen. Daher sei die Abstimmung des FU-Tillers und des tatsächlichen Ruderwinkels in einem solchen Szenario alles andere als intuitiv.

Die Untersucher beschäftigten sich nicht mit der Frage, ob bei einem sofort gelungenen Umschalten vom Autopiloten auf die FU-Steuerung die Anfahrung oder eine andere Kollision hätten verhindert werden können. Die BSU hätte die Antwort als zu spekulativ empfunden.

### **5.2.3 Handbücher**

Bei der Auswertung der Handbücher des Herstellers des Autopiloten und der Ruderanlagensteuerung fiel den Untersuchern auf, dass die Beschreibung der Ruderanlage bzw. des Umschaltvorganges auf die FU-Steuerung im Handbuch nicht als besonders sicherheitsrelevant dargestellt wird. Der Fall der NORTHSEA RATIONAL zeigt aber, dass dabei ein Gefährdungspotential besteht. Die BSU sieht daher die Notwendigkeit einer Hervorhebung im Handbuch zur Ruderanlagensteuerung.

## **6 BEREITS DURCHGEFÜHRTE MAßNAHMEN**

Auf Nachfrage teilte das durch die Reederei beauftragte Serviceunternehmen mit, dass die Schnittstelle für die analoge Steuerung (ASI) an Bord der NORTHSEA RATIONAL installiert wurde. In diesem Zusammenhang wurden auch die Relais entfernt. Außerdem wurden das Gestänge und die Messeinheit für die Ist-Ruderlage entfernt, da diese Funktion nun durch den Autopiloten selbst übernommen wird. Die Ruderanlagensteuerung bietet damit nun die volle Funktionalität auf.

Die anwaltliche Vertretung der Reederei des Schiffes teilte am 8. Oktober 2021 mit, dass die gleiche technische Umsetzung auf dem Schwesterschiff NORTHSEA LOGIC am 6. Oktober 2021 durchgeführt wurde.

Vor dem Umbau wurde auf der NORTHSEA LOGIC der Autopilot während der Revierfahrt nicht mehr genutzt.

Im Rahmen der Stellungnahme zum Entwurf teilte die Reederei mit, dass die Manager der NORTHSEA RATIONAL mit den Schiffsführungen aller Schiffe unter ihrem Management Videotrainings durchführten, in denen die kritischen Umschaltvorgänge an den Ruderanlagensteuerungen behandelt wurden. Außerdem wurden die Brückenhandbücher aller Schiffe überarbeitet. Diese schließen nun ausdrücklich die Verwendung des Autopiloten auf engen Kanälen oder Flüssen aus, auch wenn dies vom Lotsen verlangt oder empfohlen wird. Darüber hinaus schreiben die Handbücher nun vor, dass jeder Wechsel von der automatischen zur manuellen Steuerung und umgekehrt von einem verantwortlichen Offizier überwacht werden muss.

Das Management hat auch die Einweisungsformulare überarbeitet, die nun ausdrücklich das Verfahren für die Umschaltung der Steuerung im Notfall enthalten. Ein Schulungsverfahren an Bord zum Thema "Umschaltverfahren zwischen FU und Notsteuerung" wurde eingeführt.

Zusätzlich wurden in den Ruderhäusern Plakate zur Veranschaulichung des Notsteuerverfahrens angebracht.

Die BSU stellt fest, dass die durch das Management der NORTHSEA RATIONAL umgesetzten Maßnahmen Sicherheitsempfehlungen an die Reederei oder die Schiffsführung überflüssig machen. Der Bericht wurde dahingehend geändert.

## **7 SICHERHEITSEMPFEHLUNG**

Die folgende Sicherheitsempfehlung stellt keine Vermutung hinsichtlich Schuld oder Haftung dar.

### **Hersteller der Ruderanlagensteuerung**

Die Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung empfiehlt dem Hersteller der Ruderanlagensteuerung Kongsberg Maritime die aktuellen Handbücher der Ruderanlagensteuerung so anzupassen, dass sicherheitskritische Bedingungen bei Umschaltvorgängen besser im Text hervorgehoben werden.

## **8 QUELLENANGABEN**

- Ermittlungen der Wasserschutzpolizei
- Zeugenaussagen
- Gutachten
  - Prof. Dr.-Ing. F. Wirz: Gutachten / Analysebericht zur Kollision von M/T Northsea Rational im Hamburger Hafen im November 2020
  - Prof. Dr.-Ing. G. Ackerman: Findings of the Inspection of the Relay of the Rudder Controller M/T Northsea Rational
  - H. Oelschner: Untersuchungen an zwei potentiell schadhaften Relais / Schiffobjekt „Northsea Rational“
- Seekarte 1662 des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Schiffsakten und Aufzeichnungen des Schiffsdatenschreibers des Schiffes
- Handbuch für den Autopiloten NT991G MK2 und Handbuch für das Analogue Steering Interface NT990ASI des Herstellers Navitron
- Handbuch der Ruderanlagensteuerung des Herstellers Rolls-Royce

## **9 ANLAGEN**

### **9.1 Überprüfung der elektrischen Funktionalität der Relais der Ruderanlagensteuerung**

Für die Feststellung der elektrischen Funktionalität wurde durch Herr Prof. Dr.-Ing. Wirz ein Untergutachten an Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Ackermann vergeben. Das daraufhin erarbeitete Gutachten mit dem Titel "Findings of the Inspection of the Relay of the Rudder Controller M/T Northsea Rational" ist auf der Internetseite der BSU zu diesem Fall verfügbar.

### **9.2 Untersuchung der Kontaktflächen der Relais der Ruderanlagensteuerung**

Für die eingehendere Untersuchung der Relais der Ruderanlagensteuerung, hier insbesondere der Kontaktflächen, wurde durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Wirz ein weiteres Untergutachten an die MQ Engineering GmbH vergeben. Das durch Herrn Oelschner erarbeitete Gutachten „Untersuchungen an zwei potentiell schadhaften Relais / Schiffsobjekt „Northsea Rational“ ist ebenfalls auf der Internetseite der BSU zu diesem Fall einsehbar.