

Gutachten / Analysebericht zur Kollision von M/T Northsea Rational im Hamburger Hafen im November 2020

1 Einleitung

Am Vormittag (bei Tageslicht) des 25. November 2020 verließ der kleine Produktentanker M/T Northsea Rational seinen Liegeplatz und bog aus dem Vorhafenbecken ins Fahrwasser der Elbe in Richtung Mündung. Kurz nach dem Einschwenken in das Fahrwasser auf Westkurs vollführte das Schiff eine Rechtskurve und kollidierte kurz darauf mit der Pier am nördlichen Elbufer bei Neumühlen. Es entstand Sachschaden an Schiff und Pier, jedoch glücklicherweise kein Personenschaden.

Das Schiff wurde zum Kronprinzkai verbracht, wo der Autor im Auftrag und in Begleitung der BSU am 3.12.2020 und am 8.12.2020 an Bord gehen und den Vorfall untersuchen konnte. Ein weiterer Bordbesuch fand am 23.12.2020 nach der Überführung nach Bremerhaven im Dock der BREDO Dry Docks statt, wo das Schiff repariert wurde.

2 Zu klärende Fragen

Die BSU bat den Autor um Unterstützung bei der Ursachenforschung. Insbesondere war von Belang,

- ob es ausschließlich technische Ursachen für den Vorfall gibt,
- ob eine einzelne oder mehrere verkettete Ursachen vorliegen und
- wie verhindert werden kann, dass sich ein solcher Vorfall wiederholt.

3 Schilderung des Unfallherganges

Während der ersten zwei Termine an Bord gab die Crew Auskunft über den Unfallhergang und beantwortete Fragen. Der Kapitän sprach als einziges der dabei anwesenden Crewmitglieder Englisch und übersetzte u.a. die Auskünfte des Chief Engineer. Die Schilderung ließ sich in gute Übereinstimmung mit den zur Verfügung gestellten Daten- und Stimmaufzeichnungen des VDR bringen.

Demnach gab der Lotse nach Einschwenken auf Westkurs die Empfehlung zum Umschalten von manueller Steuerung auf Autopilot-Betrieb. Wenige Sekunden darauf schwenkte das Ruder aus der Mittschiffslage auf 27° Steuerbord (Stb) und kurz darauf zurück in etwa die Neutrallage. Als bemerkt wurde, dass der Bug eine Drehrate nach Stb einnahm, wurde vergeblich versucht, vom Autopiloten- auf manuellen Betrieb zurückzuschalten und den Kurs zu korrigieren. Als das nicht gelang, wurde der Hauptantrieb auf voll zurück gestellt, um wenigstens die Schiffsgeschwindigkeit zu reduzieren und den Aufprall abzumildern.

Der Kapitän beschrieb während des ersten Gespräches, dass es einen ähnlichen Vorfall zu einem früheren Zeitpunkt auf offener See gegeben habe, der aber nicht zu einer Kollision

geführt hätte. Dennoch hatte die Crew den Vorfall seinerzeit gemeldet, woraufhin ein Serviceeinsatz des Rudermaschinenherstellers Kongsberg in UK stattgefunden habe. Dabei wurden allerdings keine direkten Hinweise auf das auffällige Verhalten gefunden.

4 Aufbau der Schiffssteuerung

Um die Untersuchungsschritte und die Ergebnisse nachvollziehbar zu machen, wird nachfolgend zunächst der prinzipielle Aufbau der Ruderanlage und der Rudermaschinen-Steuerung beschrieben.

4.1 Ruderanlage

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 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 Stoppern 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 Stoppern 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.

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 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.

Die hydraulischen Pumpenaggregate sind im vorliegenden Fall kompakt am Gehäuse der Rudermaschine montiert. Gemäß Klassebauvorschriften sind aus Redundanzgründen zwei identische Pumpenaggregate vorgesehen, die hydraulisch parallel geschaltet sind. Die 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 60Hz 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.

4.2 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 ($35^\circ\text{Bb} \dots 0 \dots 35^\circ\text{Stb}$) 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“ (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 Wegsteuerung¹ 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.

¹ 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.

innerhalb eines Hüllbandes einzuhalten. Dafür wird als Stellgröße natürlich der Ruderwinkel verwendet. Insofern stellt der Autopilot eine 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 Kongsberg). 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.

5 Untersuchungen an Bord und im Nachgang

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungsschritte fanden während der drei Bordbesuche und in deren Nachgang statt. Bei jenen Terminen (bei einzelnen oder sämtlichen Terminen) waren neben dem Autor folgende Parteien zugegen: BSU (Frau Schindler, Herr Erdbeer), Ahlers & Vogel (Dr. Steingröver), DNV (Herr Jablonski), Döhle Havariekontor (Herr Beltermann), SCUA (Herr Rauschenberger, Herr Katzenmeier), SSP (Herr Eggers), Navitron/Diedrichs Schiffstechnik (Herren Diedrichs), Kongsberg (Herr Neggers).

Unter Begleitung von Besatzungsmitgliedern konnten sowohl die Rudermaschine als auch die Bedieneinheiten auf der Brücke untersucht werden. Die untersuchten Aspekte und die Ergebnisse werden nachfolgend wiedergegeben.

5.1 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 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 Frequenzumrichter 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 Rudern dazu, dass das Ruder im ausgelenkten Zustand (Ruderwinkel ungleich 0°) 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 Anfahrdrücke 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.

5.2 Steuerung und Autopilot

Nachdem jegliche hydraulische, elektrische oder mechanische Fehlfunktion an der Rudermaschine und deren lokalen Schaltschränken ausgeschlossen werden konnte, 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° (Ruder mittschiffs), der Kurs des Schiffes an der Pier ist 127° . Am AP wird ein Sollkurs von 165° 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° (Bb), der Kurs ist weiterhin 127° und am AP wird ein Sollkurs von 165° 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° und am AP wird der gleiche Sollkurs von 165° 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° 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° 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° 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 [1] als auch der RMS-Steuerung [6] 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 Brückenkonzole 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 Rudermaschine über diese Knöpfe zu jeder Zeit bzw. aus jeder Ausgangssituation (AP- oder RMS-Betrieb) möglich.

5.3 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 0V. Ein Relais geschaltet: Ein Sekundärkreis geschlossen, damit Signalspannung auf die RMS +10V. Das andere Relais geschaltet: Der andere Sekundärkreis geschlossen, damit Signalspannung auf die RMS -10V.

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-Steereinheit 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 -10...+10V 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 (-10V) oder nach Stb (+10V)) genügen. Wird dieses digitale Signal

dennoch, wie im vorliegenden Fall, auf die RMS übergeben, so interpretiert die RMS das Signal 0V als „fahre das Ruder in die Nulllage“, das Signal -10V als „fahre das Ruder nach hart Backbord“ und das Signal +10V als „fahre das Ruder nach hart Steuerbord“. Aus Sicht der RMS müsste für jeden Ruder-Sollwinkel ungleich 0° oder +/-35° also eine Signalspannung zwischen +/-10V eingepreßt 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 +10V 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 +5V 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 0V. 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 (+/-10V) 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.

5.4 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 4s (2s angeschaltet, 2s ausgeschaltet) ergeben sich 15 Schaltvorgänge pro Minute bzw. 900 Schaltvorgänge pro Stunde. Das entspricht in einem Jahr bei halbem durchschnittlichem Betriebszeitanteil knapp 4Mio. Schaltvorgängen. Laut Angabe des Herstellers Finder [2] ist die mechanische Lebensdauer mit 20...50Mio. 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 [3].

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 Bericht wiedergegeben [4]. 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 Kontaktflächen standen.“* Zitat Ende.

5.5 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)“.
- 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.

Nach Kenntnis des Autors wurde diese Einheit kurz darauf durch die Fa. Diedrichs eingebaut. Der genaue Aufbau ist dem Autor nicht bekannt. Es ist jedoch zu vermuten, dass die Box an den analogen (anstelle der digitalen) Anschlussklemmen des AP angeschlossen und unter

Umgehung der potenzialfreien Kontakte (i.e. Relais) ein verstärktes Analogsignal in die RMS speist.

Seit dem Einbau des ASI und dem Ersatz der entfernten Relais konnte der Autor keine Verifizierung der Funktion mehr vornehmen, da das Schiff umgehend in Fahrt gehen sollte. Es wurde jedoch berichtet, dass nun alles einwandfrei funktioniere.

6 Interpretation der Ergebnisse

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 die Historie nicht, genauso wenig wie 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 Steuerstrom 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) verharret.

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) [5] zunächst einen weiten Ausschlag auf ca. $+27^\circ$ (Stb) zeigt, ein anschließendes Rückstellen auf 0° , dann noch zwei kleine Ausschläge nach Stb und Bb mit je $<10^\circ$, bis das Ruder letztlich in der Nulllage verharret. 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 einen 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 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 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 Kollision mit der Pier erfolgte in so kurzer Zeit, dass ein besonnenes Reagieren in der Stresssituation nicht erfolgte bzw. erfolgen 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 Schalzhäufigkeit 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 Kapitel 5.2 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.

7 Abhilfemaßnahmen und Empfehlungen

Als Abhilfemaßnahmen können verschiedene Maßnahmen in Betracht gezogen werden:

- Die Relais, die einer hohen Schalzhäufigkeit 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 Schalzhäufigkeit der (dann nicht mehr benötigten) Relais und sämtlicher Komponenten der Rudermaschine vermeiden und stattdessen ein üblicher, schonender und effizienter Ruderbetrieb ermöglichen.

Nach Kenntnisstand des Autors wurde die letztgenannte Maßnahme durch die Firma Diedrichs umgesetzt und die Anlage läuft seitdem unauffällig.

8 Zusammenfassung und 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. Von der Möglichkeit, den Autopiloten durch Benutzung der Notsteuerung (NFU-Knöpfe auf der Brückenkonsole) zu überbrücken, wurde offensichtlich in der Hektik kein Gebrauch gemacht. Kurze Zeit später kollidierte das Schiff mit umgesteuerter Antriebsanlage und daher nicht mehr wirksamem Ruder mit der Pier.

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.

9 Haftungsausschluss

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Es basiert auf den Untersuchungsergebnissen des Autors und den bereitgestellten Informationen. Der Autor ist nur in Fällen von Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit haftbar. Jegliche weiteren Haftungen sind ausgeschlossen.

Holm, 03. September 2021

Prof. Dr.-Ing. F. Wirz

10 Quellenverzeichnis

- [1] Bedienungsanleitung des Autopiloten der Firma Navitron
- [2] Datenblatt Finder Relais
- [3] Gutachten Ackermann
- [4] Inspektionsbericht MQ Engineering
- [5] Aufzeichnung des Voyage Data Recorder
- [6] Bedienungsanleitung der Rudermaschinensteuerung der Firma Rolls-Royce