



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Schlussbericht

der Schweizerischen

Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über die Kollision zweier Dampfschiffe

vom 19. August 2016

in Luzern (LU)

Reg.-Nr. 2016081901

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
3003 Bern
Tel. +41 58 466 33 00, Fax +41 58 466 33 01
info@sust.admin.ch
www.sust.admin.ch

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht wurde ausschliesslich zum Zweck der Verhütung von Unfällen und schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen erstellt. Gemäss Artikel 15 des Eisenbahngesetzes¹ (EBG, SR 742.101) vom 20. Dezember 1957 (Stand am 1. Januar 2021) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung.

Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, Schuld- und Haftungsfragen zu klären.

Alle Personenbezeichnungen in diesem Bericht sind in der männlichen Form gehalten und gelten für die die Funktion ausübende Person, ungeachtet ihres Geschlechts.

¹ Gemäss Art. 1 Abs. 4 im Bundesgesetz über die Binnenschifffahrt (BSG, SR 747.201) vom 3. Oktober 1975 (Stand am 1. Juli 2020).

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Überblick	5
Untersuchung	5
Kurzdarstellung	5
Ursache	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
Glossar	7
1 Sachverhalt	8
1.1 Ort des Ereignisses	8
1.2 Vorgeschichte	9
1.3 Ablauf des Ereignisses	9
1.4 Schäden	10
1.4.1 Personen	10
1.4.2 Schiffe	10
1.5 Beteiligte und betroffene Personen	11
1.5.1 Schiffsführer Dampfschiff Unterwalden	11
1.5.2 Matrose Dampfschiff Unterwalden	11
1.5.3 Maschinist Dampfschiff Unterwalden	12
1.5.4 Schiffsführer Dampfschiff Schiller	12
1.5.5 Reisende	12
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen	12
1.6.1 Transportunternehmen	12
1.6.2 Weitere Unternehmen	12
1.7 Schiffe	13
1.7.1 Dampfschiff Unterwalden	13
1.7.2 Dampfschiff Schiller	15
1.8 Kommunikation	15
1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung	15
1.9.1 Fahrdaten	15
1.9.2 GPS-Aufzeichnung	15
1.10 Besondere Untersuchungen	16
1.10.1 Beauftragungs-, Entwicklungs- und Prüfprozess	16
1.10.2 Untersuchung der Ruderanlage	18
1.10.3 Untersuchung von Komponenten und Teilsystemen	21
1.10.4 Test auf dem Dampfschiff Uri	24
1.10.5 Änderungsprozess	24
1.10.6 Störungsmeldungen	24

1.11	Zusammenarbeit Schiffsführer und Matrose.....	25
2	Analyse	26
2.1	Vorbemerkung	26
2.2	Technische Aspekte	26
2.2.1	Spezifikation und Funktion der Rudersteuerung	26
2.2.2	Verbesserung der Sicherheit	29
2.3	Organisatorische Aspekte.....	30
2.3.1	Beauftragungs-, Entwicklungs- und Prüfprozess.....	30
2.3.2	Fehlermöglichkeits- und Ereignisanalyse	30
2.4	Betriebliche oder prozessuale Aspekte	31
2.5	Menschliche Aspekte	31
3	Schlussfolgerungen.....	33
3.1	Befunde	33
3.1.1	Technische Aspekte	33
3.1.2	Organisatorische Aspekte	33
3.1.3	Betriebliche oder prozessuale Aspekte	33
3.1.4	Menschliche Aspekte.....	33
3.2	Ursachen	34
4	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen	35
4.1	Sicherheitsempfehlungen	35
4.1.1	Anwendung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	35
4.1.2	Anforderungen an rechnerbasierte Steuerungen	36
4.1.3	Nutzung von Daten zur Nachvollziehbarkeit.....	36
4.2	Sicherheitshinweise	37
4.2.1	Übergabe bzw. Übernahme von Fahrständen.....	37
4.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	38

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel Binnenschifffahrt

Beteiligte Unternehmen

Transportunternehmen Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV) AG, Luzern

Weitere Unternehmen Shiptec AG (Shiptec), Luzern
Oelhydraulik Hagenbuch AG (Hagenbuch), Ebikon
(seit 2018 Hagenbuch Hydraulic Systems AG)

Beteiligte Fahrzeuge Dampfschiff Unterwalden (SGV)
Dampfschiff Schiller (SGV)

Ort Luzern (LU)

Datum und Zeit 19. August 2016, ca. 13:35 Uhr

Untersuchung

Am 19. August 2016 um 14:58 Uhr traf die Meldung über die Kollision zweier Dampfschiffe in Luzern beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein. Am gleichen Tag wurde eine Untersuchung eröffnet.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf dem Dampfschiff Unterwalden;
- Fotos;
- Gutachten;
- Pflichtenhefte;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen.

Kurzdarstellung

Bei der Begegnung zweier Dampfschiffe (DS) am 19. August 2016 um ca. 13:35 Uhr im Luzerner Seebecken auf dem Vierwaldstättersee fuhr das Dampfschiff Unterwalden plötzlich eine Linkskurve und kollidierte in der Folge seitlich mit dem Dampfschiff Schiller.

Ursache

Die Kollision des DS Unterwalden mit dem DS Schiller im Luzerner Seebecken ist darauf zurückzuführen, dass der Ruderausschlag in Richtung Backbord aufgrund von zwei fast gleichzeitig getätigten Steuerbefehlen in zwei Fahrständen nicht rechtzeitig korrigiert werden konnte. Die Software der Rudersteuerung war so programmiert, dass sie den erstgegebenen Steuerbefehl auch dann weiter ausführte, als danach gleichzeitig über andere Steuersignalgeber weitere Steuerbefehle gegeben wurden.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Ein Anforderungs- und Prüfprozess, der keine exakten Vorgaben an die Spezifikation der Funktionalität und Prüfung der Software beschrieb und unerwünschte Zustände nicht explizit ausschloss.
- Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) erstreckte sich nicht auf einen Ausfall der Steuerung, Softwaremängel oder Bedienungsfehler und deren Auswirkungen auf die Betriebssicherheit in unterschiedlichen Betriebssituationen.
- Fehlende, eindeutige Verhaltensweisen oder Prozeduren für die Übergabe bzw. Übernahme der verschiedenen Fahrstände führten zu gleichzeitigen Bedienungshandlungen mehrerer Steuersignalgeber.

Zur Verminderung der Auswirkung hat beigetragen:

Das Einleiten eines Notmanövers (Notstopp – Maschinen «voll zurück») durch die Besatzung reduzierte die Auswirkung der Kollision.

Folgende Faktoren haben nicht zur Entstehung des Unfalls beigetragen, wurden aber im Rahmen der Untersuchung als Potenzial für Sicherheitsverbesserungen erkannt:

- Die Konstruktion der Steuersignalgeber bergen wegen der fehlenden Notlaufeigenschaften bei denkbaren Defekten im Schalterelement und dem ungenügenden Schutz vor Feuchtigkeit Risiken für die Betriebssicherheit.
- Für die Übertragung der Steuersignale von den Steuersignalgebern in den Fahrständen zur SPS in die Achterpiek wurden keine abgeschirmten Kabel verwendet.
- Die Steuersignale der Steuersignalgeber der drei Fahrstände werden elektrisch parallelgeschaltet und über zwei digitale Eingänge der SPS empfangen. Dies verhindert eine getrennte Auswertung der Steuerbefehle von den Fahrständen in der SPS und verunmöglicht zum einen eine Priorisierung anstehender Befehle und zum anderen eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Steuervorgängen.
- Die nicht genutzte Möglichkeit, Vorgänge der rechnerbasierten Steuerung zu speichern, verhindert deren Rückverfolgbarkeit und könnte in einem Ereignisfall zu deren Aufklärung einen wichtigen Beitrag leisten.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht werden drei Sicherheitsempfehlungen und ein Sicherheitshinweis ausgesprochen.

Glossar

Vorgaben

AB-SBV	Ausführungsbestimmungen des UVEK zur Schiffbauverordnung vom 11. Dezember 2015, Stand vom 1. Februar 2016 (SR 747.201.71)
EN 60812	Europäische Norm «Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)» (IEC 60812:2006)
SBV	Verordnung über Bau und Betrieb von Schiffen und Anlagen öffentlicher Schifffahrtsunternehmen (Schiffbauverordnung) vom 14. März 1994, Stand vom 1. Februar 2016 (SR 747.201.7)
VSZV	Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014, Stand vom 1. Februar 2015 (SR 742.161)

Begriffe

Achterpiek	Raum im hinteren Teil des Schiffes.
Backbord (BB)	Die linke Seite eines Schiffes, vom Heck zum Bug gesehen.
BAV	Bundesamt für Verkehr
Bug	Der vordere Teil des Schiffes.
DS	Dampfschiff
FMEA	F ailure M ode and E ffects A nalysis (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse oder Gefahren-Risikoanalyse) ist eine Methode zur Identifizierung und Vermeidung von Fehlern sowie der damit verbundenen Risiken.
FOR	Forensisches Institut Zürich
Heck	Der hintere Teil des Schiffes.
Nockfahrstand	Der Aussenfahrstand, auf der Backbord- und Steuerbordseite.
Ruder	Einrichtung am Heck für die Beeinflussung des Fahrwinkels.
SPS	S peicher p rogrammierbare S teuerung
Steuerbord (SB)	Die rechte Seite eines Schiffes, vom Heck zum Bug gesehen.
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Vorsteven	Der vorderste Teil des Bugs, an dem die Bordwände zusammenlaufen.

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Ereignisses



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zum Ort des Unfalls.
Quelle der Karten: Bundesamt für Landestopografie.

1.2 Vorgeschichte

Die Dampfschiffe Unterwalden (DS Unterwalden) und Schiller (DS Schiller) werden von der Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV) AG betrieben. Am 19. August 2016 waren beide Schiffe im Kurseinsatz unterwegs. Das DS Unterwalden befand sich am Ereignistag auf seinem fahrplanmässigen Kurs von Küssnacht am Rigi nach Luzern. Das DS Schiller fuhr am Ereignistag als Kursschiff von Luzern nach Flüelen.

Es war ein warmer, leicht bewölkter, windarmer Sommertag mit uneingeschränkten Sichtverhältnissen.

1.3 Ablauf des Ereignisses

Am 19. August 2016 musste das DS Schiller aufgrund der Verspätung eines anderen Schiffes die Schiffsstation «Verkehrshaus Lido» seeabwärts anfahren. Nach dem Passagierwechsel fuhr das DS Schiller einen grossen Bogen über Backbord, um wieder seeaufwärts Richtung Flüelen zu gelangen. Danach fuhr das Schiff mittig im See, wie nach Kursplan vorgesehen.

Das DS Unterwalden fuhr in entgegengesetzter Richtung seeabwärts zur Schiffsstation «Verkehrshaus Lido». Im Hauptfahrstand des DS Unterwalden befanden sich der Schiffsführer, der Matrose, ein Leichtmatrose und ein Fahrgast, der mit Einverständnis des Schiffsführers den Hauptfahrstand besichtigen durfte. Das DS Unterwalden und das DS Schiller fuhren zu diesem Zeitpunkt parallel versetzt aufeinander zu, um sich wie vorgesehen backbordseitig zu kreuzen und mittels Hornstoss zu grüssen. Zum Gruss verliess der Schiffsführer des DS Unterwalden den Hauptfahrstand und begab sich auf den backbordseitigen Nockfahrstand. Das DS Unterwalden wurde weiterhin vom Matrosen im Hauptfahrstand gesteuert.

Kurz bevor beide Schiffe auf gleicher Höhe waren, schlug das Ruder des DS Unterwalden hart nach Backbord aus (ca. 60° auf dem Ruderlagenanzeiger) und das Schiff fuhr in Richtung des vorbeifahrenden DS Schiller. Das Ruder reagierte weder auf die Steuerbefehle des Schiffsführers noch auf diejenigen des Matrosen. Beide leiteten ein Notmanöver ein (Notstopp – Maschinen mit voller Kraft zurück), um eine mögliche Kollision mit dem DS Schiller zu vermeiden. Die Rudersteuerung wurde nicht von Normal- auf Notbetrieb umgeschaltet.

Der Schiffsführer des DS Schiller, das mit ca. 20 km/h unterwegs war, legte nach dem Erkennen der drohenden Kollision das Ruder «hart» Steuerbord und gab über das Sprachrohr in den Maschinenraum den Befehl «voll voraus»; der Maschinentelegraf stand bereits auf «voll voraus».

Der Kassier auf dem DS Unterwalden erkannte die drohende Kollision und wies die Passagiere im Bereich des Buges an, sich schnell nach hinten zu begeben und sich sofort hinzusetzen.

Der eingeleitete Notstopp verringerte die Geschwindigkeit des DS Unterwalden, konnte jedoch die Kollision mit dem DS Schiller nicht verhindern. Das DS Unterwalden kollidierte auf Höhe der Anlegestelle «Hermitage» in einem Winkel von etwa 90° gegen die hintere Backbordseite des DS Schiller.

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Bei der Kollision des DS Unterwalden mit dem DS Schiller wurden keine Personen verletzt.

1.4.2 Schiffe

1.4.2.1 Schäden am Dampfschiff Unterwalden

Aufgrund des Aufpralls wurde der Bug des DS Unterwalden eingedrückt (Abbildung 3). Der Vorsteven wurde abgeknickt und etwa 1 m über der Wasserlinie entstand ein offener Riss.



Abbildung 3: Schaden am Bug des DS Unterwalden. (Quelle: Luzerner Polizei)

1.4.2.2 Schäden am Dampfschiff Schiller

Beim Anprall entstand auf der Backbordseite etwa 8 m hinter Mitte Radkasten eine Delle in der Scheuerleiste (Abbildung 4).



Abbildung 4: Schaden am DS Schiller. (Quelle: Luzerner Polizei)

1.5 Beteiligte und betroffene Personen

1.5.1 Schiffsführer Dampfschiff Unterwalden

Person	Jahrgang 1955, Anstellung bei SGV.
Berechtigung	Schiffsführer Kategorie B III zur Führung von Motorschiffen ohne Beschränkung der zulässigen Fahrgastzahl und zur Führung von Schiffen mit getrenntem Kommando- und Maschinenfahrstand. ² Schiffsführerausweis ausgestellt durch das BAV am 27.08.1987.
Medizinische Feststellungen	Alkoholtest ergab 0.00 ‰.

1.5.2 Matrose Dampfschiff Unterwalden

Person	Jahrgang 1956, Anstellung bei SGV.
Berechtigung	Schiffsführer Kategorie B II/2 zur Führung von Motorschiffen ohne Beschränkung der zulässigen Fahrgastzahl. Schiffsführerausweis ausgestellt durch das BAV am 29.04.1987.
Medizinische Feststellungen	Alkoholtest ergab 0.00 ‰.

² Dampfschiffe haben in der Regel getrennte Kommando- und Maschinenfahrstände.

1.5.3 Maschinist Dampfschiff Unterwalden

Person	Jahrgang 1961, Anstellung bei SGV.
Berechtigung	Der Maschinist besorgt die selbstständige Bedienung, Kontrolle und Wartung der Maschinenanlage und sämtlicher technischer Einrichtungen. SGV-interne Prüfung am 11.07.2012.
Medizinische Feststellungen	Alkoholtest ergab 0.00 ‰.

1.5.4 Schiffsführer Dampfschiff Schiller

Person	Jahrgang 1963, Anstellung bei SGV.
Berechtigung	Schiffsführer Kategorie B III zur Führung von Motorschiffen ohne Beschränkung der zulässigen Fahrgastzahl und zur Führung von Schiffen mit getrenntem Kommando- und Maschinenfahrstand. Schiffsführerausweis ausgestellt durch das BAV am 15.07.2005.
Medizinische Feststellungen	Alkoholtest ergab 0.00 ‰.

1.5.5 Reisende

Zum Ereigniszeitpunkt befanden sich auf dem DS Unterwalden 139 Passagiere und auf dem DS Schiller 321 Passagiere.

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen**1.6.1 Transportunternehmen**

Schiffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV) AG, Luzern

1.6.2 Weitere Unternehmen

1.6.2.1 Werft und Schiffsbauer

Shiptec AG (Shiptec), Luzern
Die Shiptec AG ist ein Tochterunternehmen der SGV Holding AG.

1.6.2.2 Hersteller, Lieferant Ruderanlage

Oelhydraulik Hagenbuch AG (Hagenbuch), Ebikon
(seit 2018 Hagenbuch Hydraulic Systems AG)

Die Firma Hagenbuch ist seit über 60 Jahren im Gebiet der Ölhydraulik tätig und entwickelt seit Mitte der 90er Jahre auch Software für ihre Produkte. Die Firma Hagenbuch beliefert im In- und Ausland auch Kunden mit Produkten mit hohen Sicherheitsanforderungen (z. B. für die Luftfahrt und Vergnügungsparks) und hat die erforderlichen Zertifikate.

1.7 Schiffe

1.7.1 Dampfschiff Unterwalden

1.7.1.1 Beschreibung

Das DS Unterwalden wurde vom damaligen Industrieunternehmen Escher, Wyss & Cie. ab 1899 gebaut und 1902 dem Verkehr übergeben. Die grössten Revisionen fanden in den Jahren 1949, 1961, 1985 und 2011 statt. Die letzte grosse Generalüberholung wurde zwischen 2008 und 2011 durchgeführt, wofür das DS Unterwalden 2½ Jahre in der Werft stand. Ziel der Revision war es, sich dem ursprünglichen Aussehen des DS Unterwalden von vor 1961 wieder anzunähern. Beide Dampfkessel wurden ersetzt und eine hydraulische Ruderanlage der Firma Hagenbuch installiert.

Die Prüfprotokolle zeigen, dass es vor dem Ereignis zu protokollierten Störungen der Ruderanlage kam. Es handelte sich dabei jeweils um Ausfälle aufgrund eines Nichtreagierens des Ruders auf einen Steuerbefehl. Es sind keine Fälle bekannt, bei denen die Steuerung selbständig und ohne Betätigung eines Steuersignalgebers eine Ruderbewegung ausgeführt hätte.

Das DS Unterwalden wurde von den Schiffsführern als «unruhiges» Schiff beschrieben. Aufgrund der Beschaffenheit des Schiffsrumpfes mit wenig ausgeprägtem Kiel waren, im Vergleich zu anderen Schiffen, häufig Steuerbefehle notwendig, um einen Kurs geradeaus halten zu können.

1.7.1.2 Ruderanlage

Die Ruderanlage der Firma Hagenbuch umfasst den elektrischen Leistungsteil, die elektronische Steuerung, das Hydraulikaggregat sowie die Ansteuerung des bestehenden Heckruderzylinders und ist in der Achterpiek untergebracht. Die Firma Shiptec lieferte u. a. drei Steuersignalgeber, in der Bauform eines Handrades mit elektrischen Kontakten, die im Hauptfahrstand sowie auf beiden Nockfahrständen eingebaut wurden. Die Verkabelung zwischen Steuerschrank und den Nockfahrständen wurde durch Shiptec aufgrund des Elektroschemas von Hagenbuch ausgeführt.

Durch Drehen am Handrad des Steuersignalgebers um ca. 30° im Uhrzeiger- bzw. Gegenuhrzeigersinn in einem der drei Fahrstände wird ein Steuerbefehl als elektrisches Signal für das Auslenken des Ruders erzeugt. Das elektrische Signal wird an die elektronische Steuerung, eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), übermittelt. Die SPS steuert das Hydraulikaggregat an, das über Elektroventile und Hydraulikleitungen den Heckruderzylinder bewegt, der das Ruder positioniert. Zudem steuert die SPS die Anzeigen in den Kontrollpanels im Haupt- und in den Nockfahrständen. Auf diesen Kontrollpanels wird u. a. der Komplettausfall der SPS optisch angezeigt. Zudem sind weitere Bedienelemente angebracht, die mit der SPS verbunden sind und von dieser verarbeitet werden.

Der Hydraulikteil, exkl. Heckruderzylinder, ist zweifach ausgeführt und wird mit einem Leistungsteil 400 V / 50 Hz im Normalbetrieb und einer 24 VDC-Speisung im Notbetrieb betrieben.

Die Auslenkung des Ruders erfolgt zeitproportional zur Dauer der Betätigung des Steuersignalgebers. Wird dieser losgelassen, verbleibt das Ruder in der aktuellen Position, bis der Steuersignalgeber wieder betätigt wird. Soll das ausgelenkte Ruder für eine Geradeausfahrt in die Mittelstellung gebracht werden, erfolgt dies mit der Gegensteuerung, bis die gewünschte Position erreicht ist.

Diese «zeitorientierte Rudersteuerung» unterscheidet sich von einer «richtungsorientierten Lenkung», wie sie beispielsweise bei Automobilen üblich ist. Die Lenkung bzw. die Auslenkung der Räder eines Automobils ist stets abhängig von der Stellung des Lenkrads.

Die Zeit für das Umstellen des Ruders aus der Position 0° in die Position 60° dauert rund 10 Sekunden. Zur Überwachung der Ruderposition ist jeder Fahrstand mit einem «Ruderlagenanzeiger» ausgerüstet.

Die drei Steuersignalgeber sind elektrisch parallelgeschaltet und pro Lenkrichtung (Backbord resp. Steuerbord) mit je einem digitalen Eingang der SPS verbunden. Zwischen den Fahrständen erfolgt keine technische Übergabe. Alle drei Fahrstände sind daher in Bezug auf das Initiieren von Steuerbefehlen gleichberechtigt und jederzeit aktiv.

Der Hauptfahrstand verfügt als einziger über ein Potentiometer, mit dem die Auslenkgeschwindigkeit des Ruders eingestellt werden kann. Diese Einstellung ist nur für den Hauptfahrstand wirksam. Ruderbewegungen, die von den Nockfahrständen ausgeführt werden, erfolgen immer mit der maximalen Ruder-Auslenkgeschwindigkeit.

Die Ruderanlage des DS Unterwalden verfügt über einen Notkreis, der durch Umschalten von Normal- auf Notbetrieb aktiviert wird und bei dem die Steuersignale unter Umgehung der SPS direkt auf das Hydraulikaggregat (Notkreis mit eigener Hydraulikpumpe) wirken. Die Steuersignalgeber sind zu diesem Zweck mit einer zweiten Schalterebene ausgerüstet, die über die gleiche Drehachse des Handrads mit den Hauptkontakten verbunden sind und somit bei jeder Steuerbewegung mitbetätigt werden. Auch die Kontakte des Notkreises der drei Fahrstände sind elektrisch parallelgeschaltet.

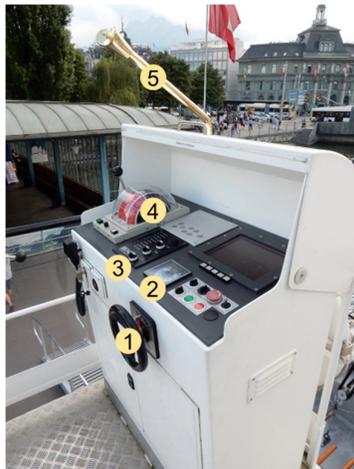


Abbildung 5: Nockfahrstand
Backbord.

Abbildung 6: Hauptfahrstand.

- Legende:
- 1 Steuersignalgeber
 - 2 Ruderlagenanzeiger
 - 3 Kontrollpanel Ruderanlage
 - 4 Maschinentelegraf
 - 5 Sprachrohr

Zum Zeitpunkt des Ereignisses war die Steuerung mit der gleichen Funktionalität bei der SGV auf den Dampfschiffen Unterwalden, Uri, Gallia, Stadt Luzern und auf dem Motorschiff Titlis eingebaut. Zudem war diese Steuerung auch bei drei weiteren Schiffen der Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft (ZSG) sowie der BLS AG vorhanden.

1.7.2 Dampfschiff Schiller

Das DS Schiller war am Unfall beteiligt, aber nicht verursachend und somit nicht Gegenstand der Untersuchung.

1.8 Kommunikation

Der Schiffsführer kann vom Hauptfahrstand aus über einen Maschinentelegrafen dem Maschinisten Anweisungen betreffend Steuerung der Maschine am Maschinenfahrstand übermitteln. Der Maschinist bestätigt dem Schiffsführer die erteilten Anweisungen ebenfalls über den Maschinentelegrafen. Es steht ausserdem ein Sprachrohr zur Verfügung, das an den Maschinenfahrstand gerichtet ist. Weiter kann der Schiffsführer über einen Drucktaster ein akustisches Signal im Maschinenraum auslösen, das dem Maschinisten anzeigt, sich zum Maschinenfahrstand zu begeben.

Der Schiffsführer gab das Kommando für den Notstopp über den Maschinentelegrafen und über das akustische Signal an den Maschinisten.

1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.9.1 Fahrdaten

Auf den Schiffen werden GPS-Daten sowie Warnungen und Alarme der Ruderanlage aufgezeichnet. Weitere Daten, wie z. B. Steuerbefehle und die Auslenkung des Ruders, werden nicht aufgezeichnet.

1.9.2 GPS-Aufzeichnung

1.9.2.1 Dampfschiff Unterwalden

Die Auswertung der GPS-Daten zeigt, dass das DS Unterwalden mit 23 km/h aus dem Bereich Meggenhorn kommend die Station «Verkehrshaus Lido» angesteuert hat. Der dabei gefahrene Kurs wich leicht von der vorgegebenen Route zwischen Hermitage und Seeburg ab, in Richtung der Route des DS Schiller. Um 13:32:25 Uhr, ca. 30 Sekunden vor dem Anprall, änderte das Schiff seinen Kurs Richtung Backbord. In diesem Moment betrug die Distanz zwischen den beiden Schiffen (zwischen dem Bug des DS Unterwalden und der späteren Anprallstelle beim DS Schiller) rund 160 m. Etwa zeitgleich reduzierte sich die Geschwindigkeit. Um 13:32:53 Uhr erfolgte die Kollision mit 7 km/h.

1.9.2.2 Dampfschiff Schiller

Die GPS Daten konnten nicht nach Geschwindigkeit und Kurs ausgewertet werden. Der Track zeigt aber, dass das DS Schiller ca. 100 m vor der späteren Aufprallstelle eine deutliche Kursänderung nach Steuerbord gemacht hat. Nach dem Aufprall lief das Schiff fast geradeaus, ca. 300 m bis zum Stillstand.

1.10 Besondere Untersuchungen

1.10.1 Beauftragungs-, Entwicklungs- und Prüfprozess

1.10.1.1 Beauftragung SGV – Shiptec

Die SGV, als Eigentümerin und Betreiberin des DS Unterwalden, beauftragte Shiptec mit der Modernisierung der Ruderanlage. Die Anforderung war, dass die Steuerung analog zu bisher eingesetzten elektronischen Steuerungen auf Schiffen der SGV funktionieren und der Schiffsbauverordnung genügen soll.

1.10.1.2 Plangenehmigungsverfahren

Im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens, das vor einer Ausführung zu erfolgen hat, reichte Shiptec dem BAV u. a. die folgenden technischen Unterlagen zur Prüfung und Genehmigung ein:

- Hydraulikschema
- Elektroschema
- FMEA

Das BAV genehmigte den Umbau anhand dieser Unterlagen.

1.10.1.3 Beauftragung Shiptec – Hagenbuch

Die Shiptec AG hat am 14. Oktober 2009 die Firma Hagenbuch mit der Entwicklung der gesamten Ruderanlage (Hydraulik- und Elektroniksteuerung) des DS Unterwalden beauftragt. Für diesen Auftrag gab es kein Pflichtenheft. Das Projektteam bestand aus Vertretern von SGV, Shiptec und Hagenbuch.

Bereits im Jahre 2000 beauftragte Shiptec Hagenbuch mit der Entwicklung und Lieferung einer Rudersteuerung (Hydraulikaggregat) für ein anderes Schifffahrtsunternehmen.

1.10.1.4 Entwicklung der Steuerung

1.10.1.4.1 Konzeptbeschreibung

Die technische Ausführung, verschiedene Überwachungseinrichtungen sowie das Verhalten der Steuerung bei Ausfall technischer Komponenten sind im Dokument «Konzeptbeschreibung DS Unterwalden, SGV Luzern» von Hagenbuch beschrieben. Hingegen enthält das Konzept keine Angaben zum Verhalten der Steuerung bei Fehlfunktionen der Software. Dieses Dokument wurde im Projektteam (SGV, Shiptec, Hagenbuch) erarbeitet, während der Entwicklung laufend aktualisiert und seit der Inbetriebnahme der Ruderanlage im Jahre 2011 auch aufgrund von Modifikationen angepasst. Die letzte Änderung datierte vom 1. Juli 2016 und betraf die Ergänzung mit einer Funktionsüberwachung von Ventilen.

So wurde u. a. definiert, dass zwischen den Fahrständen keine technische Übergabe der Rudersteuerung stattfinden soll. Die drei Fahrstände (Hauptfahrstand und Nockfahrstände) sollen diesbezüglich gleichberechtigt sein. Entsprechend sind die drei Steuersignalgeber nicht gegeneinander verriegelt, sondern parallel an der SPS angeschlossen. Das Konzept enthält jedoch keine Angaben dazu, wie die Ruderanlage reagieren soll, wenn mehrere Steuersignalgeber gleichzeitig betätigt werden. Aufgrund der Parallelschaltung der Steuersignalgeber besteht seitens SPS keine Möglichkeit auszuwerten, von welchem Fahrstand ein Rudersteuerbefehl ausgeht.

Im selben Abschnitt der Konzeptbeschreibung wird festgelegt, dass von den vorhandenen vier Kontakten eines Steuersignalgebers jeweils zwei für den Hauptantrieb (Normalbetrieb) und zwei für den Not- bzw. Hilfsantrieb (Notbetrieb) verwendet werden. Die Kontakte für den Hauptantrieb werden parallelgeschaltet und in die SPS eingelesen. Die Kontakte für den Notantrieb werden auch parallelgeschaltet, jedoch direkt mit dem Hydraulikaggregat verbunden. Die Steuersignalgeber wurden von der Shiptec evaluiert und geliefert. Im Übersichtsschema des Elektroschemas (Anlage 1, Abbildung 17) werden die Steuersignalgeber als Joystick bezeichnet. Geliefert und verbaut wurden jedoch Geber in der Bauform eines Handrades.

Die Umschaltung zwischen Haupt- und Notantrieb soll mittels Drehschaltern auf den Bedienpanels der drei Fahrstände manuell erfolgen. Die Betriebszustände (z. B. Position der Steuersignalgeber), unter denen diese Umschaltung erfolgen kann, resp. wann sie nicht möglich ist, sind nicht definiert.

Das Konzept vom 1. Juli 2016 enthält einen Hinweis, die Ruderanlage optional mit einem Anzeige- und Bedienterminal auszurüsten. Dieses kann Warnungen und Alarmer mit Datums- und Zeitstempel anzeigen und speichern. Das DS Unterwalden war mit einem solchen Anzeige- und Bedienterminal ausgerüstet. Die Konzeptbeschreibung war somit nicht aktuell. Ausserdem fehlte eine Beschreibung zu den Warnungen und Alarmen, die von diesem Display angezeigt werden können.

1.10.1.4.2 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

Hagenbuch und Shiptec haben gemeinsam für die Ruderanlage eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) gemäss Ziff. 1.2.2 der AB-SBV zu Art. 17 SBV erarbeitet.

Die FMEA enthält eine Auflistung von möglichen Fehlerfällen auf Ebene Baugruppe bzw. Komponenten. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und die Folgen der Fehler werden geschätzt und vorbeugende Massnahmen definiert. Fehlbedienungen und Fremdeinflüsse sind in der Liste nicht vorhanden.

In der vorliegenden FMEA wurden betreffend die Steuerung u. a. folgende zwei Fehlerfälle betrachtet:

- Die Steuerung als Komponente bzw. der Hauptantrieb fällt aus. Als Ursache wird ein Defekt in der Steuerung, in der Verkabelung oder durch Feuchtigkeit angenommen. Die Gefährdung wird als «gering» eingestuft, weil eine Umschaltung auf Notbetrieb erfolgen kann.
- Ein Defekt der Joystick der Fahrstände führt dazu, dass Ventile nicht schalten oder keine bzw. nur eine einseitige Ruderbewegung möglich ist. Als Ursache wird Feuchtigkeit oder ein Fehler in der Verkabelung angenommen. Die Gefährdung wird als störend (abhängig, welcher Joystick defekt ist) betrachtet.

Zu beiden Fehlerfällen wird als Sicherheitsmassnahme die jährliche Kontrolle der Verkabelung sowie eine monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit durch den Unterhalt definiert (Anlage 2, Abbildung 18). Konstruktive bzw. schaltungstechnische Massnahmen sind keine ersichtlich.

Die FMEA wurde dem BAV zur Genehmigung vorgelegt. Nachdem durch den Gesuchsteller verschiedene Korrekturen und Verbesserung vorgenommen wurden, hat das BAV die FMEA genehmigt.

1.10.1.4.3 Entwicklung der Software

Die Steuersignale der drei Fahrstände werden in einem Sternpunkt zusammengefasst und durch zwei digitale Eingangskanäle in die SPS eingelesen. Es soll vermieden werden, dass aus einem Fahrstand ein Richtungssignal vorgegeben wird und dieses durch ein entgegengesetztes Richtungssignal von einem anderen Fahrstand übersteuert werden kann.

Die Software war so programmiert, dass, bevor ein neues Signal akzeptiert wird, alle Signale auf neutral "0" sein mussten. Wurde ein Signal nicht auf neutral gesetzt, so wurde das zuletzt anstehende Signal weiter ausgeführt. Diese Funktion wurde bei der Inbetriebnahme im Januar 2011 so getestet.

1.10.1.5 Prüf- und Freigabeprozess

1.10.1.5.1 Prüfung durch den Hersteller, Hagenbuch

Der Auftraggeber hatte bezüglich der Entwicklung der Ruderanlage ausser der Einhaltung der hoheitlichen Vorgaben keine spezifischen Anforderungen an die Qualitätssicherungsprozesse gestellt.

Gemäss Angaben der Firma Hagenbuch werden für die interne Freigabe einer Software generell folgende Tests durchlaufen:

- I/O Tests (Input/Output Tests)
Bei diesen Tests wird überprüft, ob die Zustände der an den Digital I/O-Schnittstellen der SPS angeschlossenen Peripherien korrekt empfangen werden können.
- Funktionstests
Bei diesen Tests wird die korrekte Funktionsweise der Software entsprechend der Spezifikation überprüft.
- Fehlertests
Bei diesen Tests werden Fehlersituationen erzeugt und überprüft, ob diese von der Software korrekt behandelt werden.

Diese Tests wurden auch für die Rudersteuerung des DS Unterwalden so durchgeführt.

1.10.1.5.2 Abnahme durch den Besteller, Shiptec

Die Abnahme der Ruderanlage durch Shiptec erfolgte nach detaillierten Tests, die laufend zwischen Shiptec und Hagenbuch definiert wurden. Vorgängig zu den Tests wurde kein Prüfkonzept erarbeitet.

1.10.1.5.3 Abnahme durch das BAV

Nach den oben beschriebenen Tests fand eine Abnahme durch das BAV statt, was auch mit einer Testfahrt verbunden war. Die vom BAV geforderten Nachbesserungen wurden umgesetzt. Das BAV hatte keine Überprüfung der Qualitätssicherungsprozesse der Softwareentwicklung vorgenommen.

1.10.2 Untersuchung der Ruderanlage

Am 22. und 23. August 2016 führten die SUST und das FOR im Beisein von Fachpersonen von Shiptec, Hagenbuch und SGV auf dem DS Unterwalden in der Werft in Luzern die folgenden Untersuchungen durch:

- Funktionsprüfung der Ruderanlage
- Sicherung der Fehlermeldungen der Hydrauliksteuerung
- Messung der Signalspannung der Steuersignale an der SPS

- Prüfung der Verdrahtung an der SPS
- Isolationsmessung der Signalkabel
- Prüfung der Kabelführung im Schiffsrumpf
- Messung von Störsignalen an den Signalkabeln
- Stresstest des Hauptfahrstandes und der Nockfahrstände
- Stresstest des Ruderantriebs
- Prüfung der Steuersignalgeber

Im Anschluss wurden detailliertere Untersuchungen der Steuersignalgeber im Labor vorgenommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den nachfolgenden Kapiteln dargelegt.

1.10.2.1 Funktionsprüfung der Ruderanlage

Die Ruderanlage funktionierte auf allen drei Fahrständen bestimmungsgemäss.

1.10.2.2 Sicherung der Fehlermeldungen der Hydrauliksteuerung

Die letzte Fehlermeldung der Ruderanlage wurde am 10. August 2016, um 08:38 Uhr im externen Anzeigegerät («Pro-face») protokolliert und lautete «Stö. Ventil 28A». Die vorletzte Fehlermeldung wurde am 9. August 2016, um 21:38 Uhr aufgezeichnet und lautete «Stö. Ventil 28B» (siehe auch Kap. 1.10.6).

Am 9. August 2016 trat ein Defekt bei der Positionsüberwachung am Ventil 28.1 auf, das die Richtung der Ruderbewegungen kontrolliert. Da kein entsprechendes Ersatzteil zur Verfügung stand, wurde vom Lieferanten eine Risikoabwägung durchgeführt und in Absprache mit der SGV in der Steuerung diese Positionsüberwachung am 10. August 2016 temporär deaktiviert. Dies hatte auch eine entsprechende Änderung in der Software der SPS zur Folge. Da mit einer zusätzlich eingebauten Drucküberwachung sichergestellt werden konnte, dass bei einem Steuerbefehl genügend Hydraulikdruck vorhanden war und da der Stromfluss am Rampenventil überwacht wurde, beurteilte der Lieferant die Situation so, dass temporär auf die Positionsüberwachung am Ventil 28.1 verzichtet werden kann (das Rampenventil kontrolliert die Geschwindigkeit der Ruderbewegungen). Diese Änderung wurde dem BAV nicht gemeldet.

Da die letzte Fehlermeldung vor der Kollision am 10. August 2016, also 9 Tage davor, protokolliert wurde, konnte daraus kein Hinweis auf die Ursache der Kollision vom 19. August 2016 abgeleitet werden.

1.10.2.3 Messung der Signalspannung der Steuersignale an der SPS

Die Steuersignale von den Steuersignalgebern der drei Fahrstände waren parallelgeschaltet und mit zwei digitalen Eingängen («Joystick BB» und «Joystick SB») der SPS verbunden. Gemäss Angaben des SPS Herstellers müssen die Eingänge des verwendeten Input-Moduls mit 24 VDC angesteuert werden.

Die Messungen der Spannungen der Steuersignalgeber ergaben in allen Fällen Signalspannungen im Bereich von 25 VDC, was im Rahmen der Spezifikation liegt.

1.10.2.4 Prüfung der Verdrahtung an der SPS

Eine visuelle Kontrolle der Verdrahtung im Steuerschrank der Ruderanlage hatte keine Hinweise auf lose Kontakte oder schlecht eingesteckte Steckverbindungen ergeben.

1.10.2.5 Isolationsmessung der Signalkabel

Um zu überprüfen, ob die Signalkabel von den Steuersignalgebern der drei Fahrstände zur SPS korrekt isoliert waren, wurden diese mittels eines Isolationsmessgeräts mit einer Testspannung von 1000 VDC überprüft. Für diese Messungen mussten die Signalkabel seitens SPS abgetrennt werden, während die Steuersignalgeber angeschlossen blieben.

Die so durchgeführten Messungen ergaben für alle Signalkabel einen Isolationswiderstand von über 1000 MΩ. Diese Messresultate bestätigen intakte Isolationen in den Steuersignalgebern und den Signalkabeln.

1.10.2.6 Prüfung der Kabelführung im Schiffsrumpf

Eine visuelle Prüfung der Kabelstränge und Kabelführungen vom Steuerhaus zur Achterpiek hat keine Defekte oder andere Fehler ergeben.

Die Prüfenden hatten jedoch den Eindruck, dass einige Kabel relativ starkem Zug ausgesetzt sein könnten, insbesondere in den Radien der Stränge.

1.10.2.7 Messung von Störsignalen an den Signalkabeln

Die Signalkabel der Ruderanlage, die sich von den Steuersignalgebern über weite Teile des Schiffsrumpfs bis zur Achterpiek erstrecken, hatten gemäss Angaben der Shiptec AG eine Länge von jeweils 70 m bis 80 m. Zudem lagen diese Kabel in den Trassen im engen Verbund mit einer Vielzahl anderer Leitungen und führten an diversen Einrichtungen und Aggregaten der Schiffstechnik, inklusive der Bordküche, vorbei.

Da die Signalkabel der Ruderanlage nicht abgeschirmt waren, wurden mittels eines Oszilloskops Störsignalmessungen durchgeführt, um mögliche elektromagnetische Immissionen zu messen und eine Abschätzung bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) der Anlage machen zu können.

Die durchgeführten Messungen haben keine Störsignale ergeben, die sich auf die digitalen Eingänge der SPS hätten auswirken können. Der spurenkundliche Wert dieser Messergebnisse ist jedoch zu relativieren (siehe auch Kap. 1.10.3.2), da sich das DS Unterwalden zum Zeitpunkt der Messungen auf dem Trockendock befand und die Schiffstechnik weitgehend stillgelegt war. Repräsentative Messungen hätten den Vollbetrieb des Schiffs vorausgesetzt.

1.10.2.8 Stresstest des Hauptfahrstandes und der Nockfahrstände

Durch mechanische Einwirkung und Klopfen auf die Installationen der Fahrstände wurde geprüft, ob die vorhandenen Installationen aufgrund der stetigen Vibrationen im laufenden Betrieb in ihrer Funktion beeinträchtigt wurden.

Bei diesen Tests konnten keine Fehlfunktionen oder unerwartete Reaktionen der Ruderanlage festgestellt werden.

1.10.2.9 Stresstest des Ruderantriebs

Mittels einer Klemmzange wurde aussen am Ruder des DS Unterwalden ein Seil befestigt und dieses mit einem Motorboot quer zur Fahrtrichtung des DS Unterwalden belastet. Zweck dieses Tests war, einen möglichen äusseren Einfluss (z. B. Strömung) auf die Ruderanlage zu simulieren, der eine Fehlfunktion zur Folge haben könnte.

Bei diesen Tests konnten keine Fehlfunktionen oder unerwartete Reaktionen der Ruderanlage festgestellt werden.

1.10.3 Untersuchung von Komponenten und Teilsystemen

1.10.3.1 Prüfung der Steuersignalgeber

1.10.3.1.1 Laboruntersuchung

Die Steuersignalgeber der drei Fahrstände (Hauptfahrstand, Nockfahrstand Backbord und Nockfahrstand Steuerbord) sowie die SPS der Ruderanlage mit den angeschlossenen Anzeigegeräten wurden für weitere Untersuchungen sichergestellt.

Die Untersuchung der Steuersignalgeber ergab Folgendes:

- Eine elektrische Prüfung der drei Steuersignalgeber hat keine Fehlfunktion ergeben. Zudem waren alle drei Geräte mit der gegebenen Rückstellkraft leichtgängig und wiesen weder Spiel noch andere Auffälligkeiten auf.
- Die beiden Steuersignalgeber der Nockfahrstände wiesen im Kupplungsbereich zwischen Rastwerk und Schaltelement staubförmige Ablagerungen auf, die vermutlich von der Reibung zwischen dem Gehäuse des Rastwerks und der Nockenscheibe für die Begrenzung der Drehbewegung stammten. Das Schalterelement war bei beiden Geräten fettfrei. Der Steuersignalgeber des Hauptfahrstandes war gefettet und wies keine Ablagerungen auf.
- Bei keinem der Schalterelemente konnte ein Defekt oder andere Fehler festgestellt werden. Die Schaltkontakte waren bei allen Steuersignalgebern einwandfrei und wiesen keinerlei Abnutzungsspuren oder Abbrand auf.
- Die Schalter sind für hohe Leistungen bis 11 kW bei 400 VAC ausgelegt. Sie werden jedoch nur für sehr geringe elektrische Leistungen (< 2 W bei 24 VDC) eingesetzt (Digitaleingänge der SPS für den Normalbetrieb und Relais für den Notbetrieb).
- Die Schalterelemente der Steuersignalgeber weisen die Schutzart IP00 auf. Dies bedeutet, dass diese Schalterelemente weder einen Schutz vor Fremdkörpern noch vor Wasser aufweisen.
- Konstruktiv befinden sich die beiden Kontakte für den Normal- wie für den Notbetrieb im selben Schalterelement und auf derselben Antriebswelle.
- Der Steuersignalgeber ist konstruktiv so aufgebaut, dass eine Nockenscheibe im Schalterelemente beide Kontakte (Steuerbord- und Backbord-Lenkung) in der Mittelstellung, die durch das Rastwerk gewährleistet wird, offen hält (Abbildung 7, Abbildung 8). Es ist möglich, dass durch einen Fehlerfall die Mittelstellung nicht mehr gewährleistet werden kann und damit ein Kontaktpaar dauernd schliesst. Ein Fehlerfall kann folgende Ursachen haben:
 - Fremdkörper, z. B. abgefallene Schrauben zwischen Schalterelement und Rastwerk.
 - Bruch des Kupplungsteils zwischen Schalterelement und Rastwerk.
 - Verlust der Federkraft im Rastwerk (verschiedene Ursachen möglich).
 - Bruch der Nockenscheibe im Schalterelement.
 - Abgefallene Schrauben der Schalterelement-Montage, wodurch das Schalterelement in seine Einzelteile zerfällt.

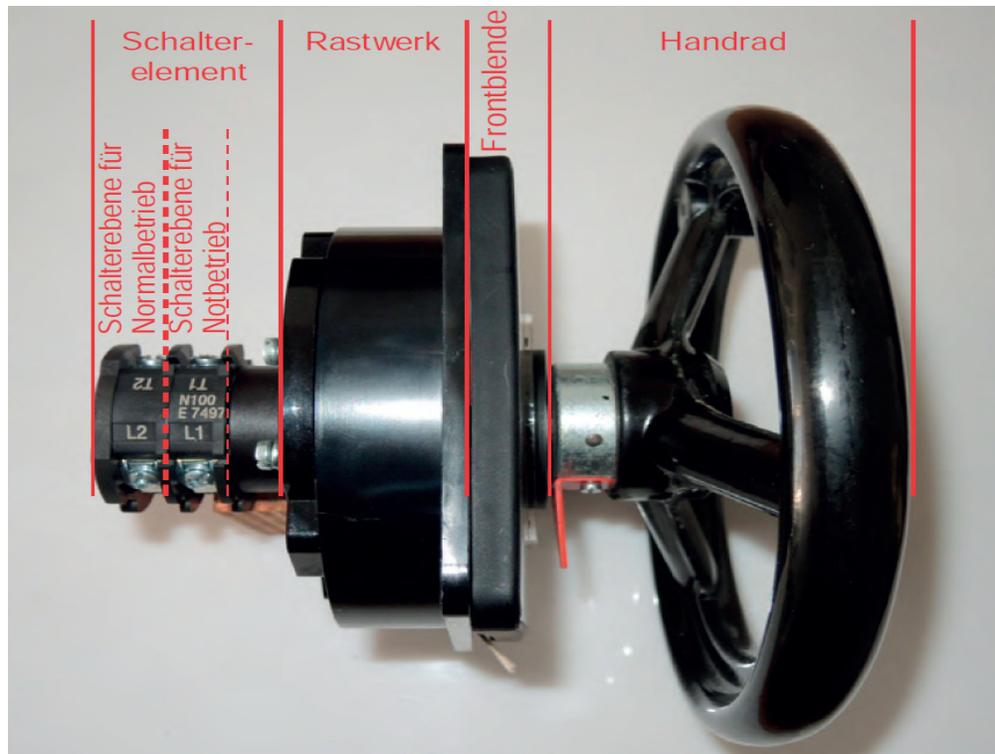


Abbildung 7: Steuersignalgeber; Seitenansicht.

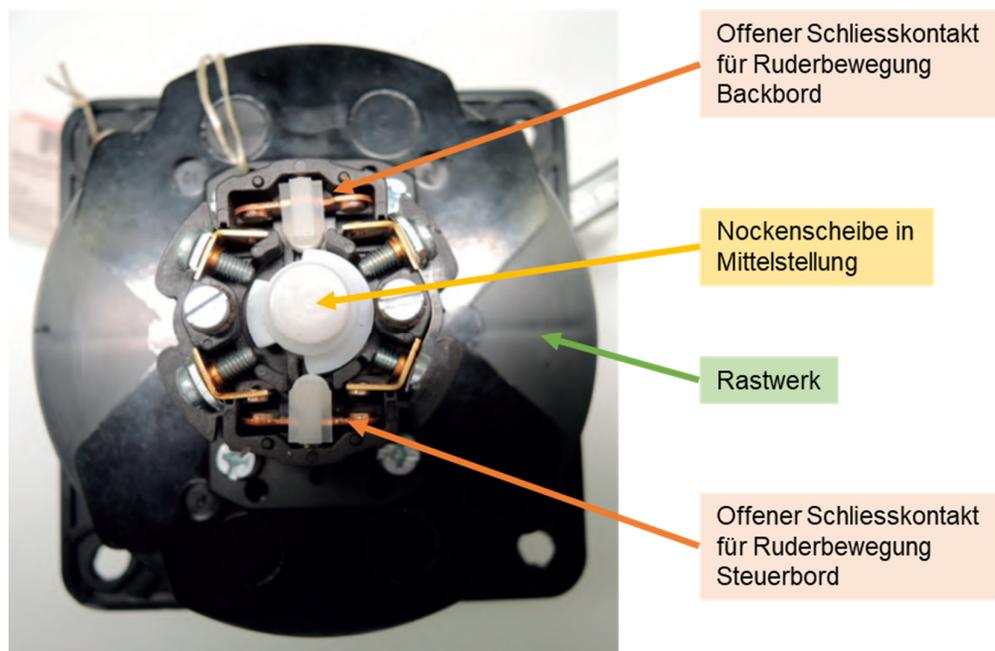


Abbildung 8: Steuersignalgeber; Rastwerk und Schalterelement mit Nockenscheibe und Kontakten.

1.10.3.1.2 Abklärungen beim Hersteller der Steuersignalgeber

Im November 2013 wurde von Shiptec ein Steuersignalgeber zur Überprüfung an den Hersteller, die Firma Benedict GmbH in Wien, gesandt. Grund für diese Überprüfung war ein sogenannter «Schlupf» im Schalter, der vom Hersteller nicht bestätigt werden konnte. Die Überprüfung des eingesandten Steuersignalgebers hat jedoch ergeben, dass Schrauben auf der Rückseite locker waren, und dass das Schaltpaket (Schalterelement) von Hand im Bereich von 2° bis 4° verdreht werden konnte. Der Hersteller führte die lockeren Schrauben auf die Vibrationen im Betrieb auf dem Dampfschiff zurück und empfahl, die Schrauben einmal jährlich mit 0.8 Nm bis 1 Nm nachzuziehen. Insbesondere wurden die vier Schrauben, die das Schalterelement mit dem Rastwerk verbinden und die zwei Schrauben, die das Schalterelement zusammenhalten, erwähnt.

Im Zusammenhang mit der Überprüfung hat der Hersteller auch die Abriebrückstände im Bereich des Rastwerks festgestellt, was ihn veranlasst hat, diesen Bereich künftig zu fetten. Dies lässt den Schluss zu, dass die Steuersignalgeber der Aussenfahrstände (ohne Fett) noch vor dieser Überprüfung produziert wurden, und dass der Steuersignalgeber in Steuerhaus (mit Fett) aus neuerer Produktion stammte.

1.10.3.2 Untersuchung der Speicherprogrammierbaren Steuerung

Die Untersuchung der SPS des Herstellers Indel AG ergab, dass die Hardware in einem einwandfreien Zustand war und dass ein Defekt als Ursache des Ereignisses ausgeschlossen werden konnte.

Die Konsultation der Vorgabedokumente der Firma Indel AG (Aufbaurichtlinie und Verdrahtungsrichtlinie) zeigte auf, was für den korrekten Auf- und Einbau der SPS in Gesamtanlagen beachtet werden muss. Insbesondere in der Verdrahtungsrichtlinie weist der Hersteller auf die Wichtigkeit der Schirmung von Datenleitungen hin und verweist auch auf die korrekte Anbringung dieser Schirmung. Das Kapitel «4 Schirmung» wird mit folgendem Satz eingeleitet: *Empfindliche Leitungen wie z. B. Analogsignale, Datenleitungen, Messleitungen usw. werden mit geschirmten Kabeln vor Störeinflüssen geschützt. Die fachgerechte Montage des Schirmes entscheidet über die Wirksamkeit des Schirmschutzes.*

Die Signalleitungen, wie diejenigen zwischen den Steuersignalgebern und der SPS, gelten nicht in jedem Fall als empfindliche Leitungen, da sie keine analogen Signale oder Daten übertragen, sondern nur die Zustände "0 V" und "24 V" übertragen und die digitalen Eingänge der SPS zudem durch die Filterung von Impulsen mit einer maximalen Länge von 1 ms relativ störsicher sind.

Eine mögliche Störung der digitalen Eingänge der SPS durch elektromagnetische, insbesondere niederfrequenterer Immissionen kann trotzdem nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Gründe dafür liegen in der Länge der Leitungen (70 m bis 80 m) und den Umstand, dass sie sich ausgehend von den Signalgebern zusammen mit vielen anderen Leitungen im engen Verbund über weite Teile des Schiffsrumpfs und vorbei an diversen Einrichtungen und Aggregaten der Schiffstechnik, bis hin zur Achterpiek erstrecken. Hinzu kommt, dass die Leitungen der Signalgeber im Steuerschrank der SPS in der Achterpiek in einer Parallelschaltung zusammengeführt werden, womit sich die Antennenwirkung der drei durch den Schiffsrumpf geführten Kabel kumuliert.

1.10.4 Test auf dem Dampfschiff Uri

Am 31. August 2016 hat ein Funktionstest auf dem in der Werft liegenden DS Uri stattgefunden. Das DS Uri war damals mit derselben Ruderanlage wie das DS Unterwalden ausgerüstet. Der einzige Unterschied bestand darin, dass die Fahrstände des DS Uri nicht mit Handrädern, sondern mit Joysticks ausgerüstet waren. Die grundsätzliche Funktion war jedoch identisch.

Die Beobachtungen in Bezug auf die Bedienung der Ruderanlage lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Wird auf einem Fahrstand ein Backbordbefehl gegeben, kurz darauf auf einem anderen Fahrstand ein Steuerbordbefehl (während der Backbordbefehl noch ansteht), so bleibt der Backbordbefehl aktiv und das Ruder läuft hart Backbord.
- Wird auf einem Fahrstand ein Backbordbefehl gegeben, kurz darauf auf einem anderen Fahrstand ein Steuerbordbefehl (während der Backbordbefehl noch ansteht), und anschliessend auf dem ersten Fahrstand ebenfalls ein Steuerbordbefehl gegeben, so bleibt der Backbordbefehl anstehend und das Ruder läuft hart Backbord.

Diese geschilderten Vorgänge zeigen auf, dass es Szenarien gibt, bei denen Steuerbefehle von der Ruderanlage weiterhin in derselben Richtung ausgeführt werden, obwohl diese an den Signalgebern gar nicht mehr anliegen und bereits neue Steuerbefehle in die Gegenrichtung anliegen. Dies ist möglich, weil zwischen den drei Fahrständen keine technische Übergabe der Steuergewalt stattfindet, respektive dass solche Befehlsfolgen in der Konzeption der Ruderanlagensteuerung nicht berücksichtigt und keine entsprechenden Spezifikationen vorgenommen wurden.

1.10.5 Änderungsprozess

Aufgrund der Ergebnisse der laufenden Untersuchung sowie der Erkenntnisse der internen Ereignisanalyse von SGV, Shiptec und Habenbuch haben diese eine Fehlfunktion aufgrund der Softwareprogrammierung vermutet und umgehend Korrekturen veranlasst. Bereits am 26. August 2016 lag eine überarbeitete Softwareversion vor, die besser auf eine Doppelbedienung, die im Grunde nicht vorkommen sollte, reagierte (Kap. 4.3).

Gestützt auf die vorläufigen Untersuchungen forderte das BAV am 9. September 2016 Shiptec auf, zu informieren, um welchen Fehler es sich handelt und ob sich dieser Fehler auch in den anderen Ruderanlagen manifestieren kann. Weiterhin erwartete das BAV eine Information darüber, welche Korrekturen im Einzelnen vorgenommen wurden. Mit einem Schreiben vom 20. September 2016 beantwortete Shiptec die Fragen.

1.10.6 Störungsmeldungen

Im Zeitraum zwischen Anfang 2013 und dem Vorfall am 19. August 2016 sind bei Shiptec 39 Störungen im Zusammenhang mit der Steuerung von Hagenbuch erfasst. Davon betreffen 11 Störungen das DS Unterwalden. Nur ein Teil der Störungsmeldungen wurden an Hagenbuch weitergeleitet.

Im Zusammenhang mit den Störungsmeldungen, die das DS Unterwalden betreffen, sind die folgenden Meldungen erwähnenswert:

- Am 27. Mai 2013 konnte nach dem Ablegen von der Station Stansstad und dem Fahren einer 270° Kurve das Ruder nicht mehr geradegestellt werden. Die Schiffscrew berichtete von einem Ausfall der Ruderanlage, ohne automatisches Umschalten auf Notbetrieb und ohne optischen und akustischen Alarm. Die Schiffscrew schaltete von Hand auf Notbetrieb um. Nach Unterqueren der Achereggbrücke und Erreichen des Alpnachersees schaltete die Crew wieder auf Normalbetrieb um und die Anlage funktionierte für den Rest des Tages einwandfrei.
Für das Manöver zum Unterqueren der Achereggbrücke befinden sich im Haupt- und auf einem Nockfahrstand je ein Besatzungsmitglied (Schiffsführer und Matrose). Das Besatzungsmitglied auf dem Nockfahrstand unterstützt das Besatzungsmitglied im Hauptfahrstand beim Navigieren, weil dessen Blickfeld eingeschränkt ist. Betrieblich müssen für das Unterqueren der Hauptfahrstand abgesenkt, der Kamin und die Masten gekippt werden. Damals war auch der am 19. August 2016 auf dem DS Unterwalden involvierte Schiffsführer auf dem Nockfahrstand und ein Matrose im Hauptfahrstand.
Nach Bekanntwerden der festgestellten Funktionalität (Kap. 1.10.4) meinte dieser Schiffsführer, dass das Ereignis vom 27. Mai 2013 möglicherweise auch auf zwei kurz nacheinander ausgeführte Steuerbefehle im Haupt- und Nockfahrstand zurückzuführen gewesen sei.
- In Folge einer protokollierten Störung im Hauptfahrstand vom 25. Juni 2016, wurde der Steuersignalgeber am 26. Juni 2016 durch einen fabrikneuen ersetzt. Der Steuersignalgeber wurde von der Firma Benedict Swiss AG in Basersdorf geliefert.
- Aufgrund einer gemeldeten und protokollierten Störung vom 9. August 2016 (Fehler Ventil 28B) wurde am 10. August 2016 die Überwachung desselben ausgeschaltet. Dafür wurde zusätzlich eine Drucküberwachung (direkt nach dem Ventil 28B) und eine Steuerimpulsüberwachung am Rampenventil installiert. Dies hat zur Folge, dass nun zusätzlich überprüft wird, ob bei einem Steuerbefehl der Hydraulikdruck nach dem Steuerventil ansteigt und ob das Rampenventil einen Befehl erhält. Es wird aber nicht mehr überwacht, ob das Ventil 28 den Befehl nach Backbord oder nach Steuerbord ausführt.

1.11 Zusammenarbeit Schiffsführer und Matrose

Der Schiffsführer und der Matrose des DS Unterwalden nahmen die Schiffsführung abwechselnd wahr. Zum Zeitpunkt des Ereignisses oblag die Schiffsführung dem Matrosen im Hauptfahrstand. Der Schiffsführer schloss jedoch nicht aus, dass er am Nockfahrstand auch eine Kurskorrektur auslösen wollte und kurz den Steuersignalgeber betätigte.

Es bestehen Vorgaben im Sinne, dass die Schiffsführung übergeben werden darf. Weitergehende Regelungen zur Zusammenarbeit unter mehreren Schiffsführern bestehen nicht. Es gibt dazu keine hoheitlichen Vorgaben. Das Unternehmen gab an, dass bei der Ausbildung die prozessuale Übergabe instruiert wird. Eine Vorgabe, Verhaltensregeln oder grundlegende Prozeduren in schriftlicher Form existierten nicht.

Sowohl der Matrose als auch der Schiffsführer hätten die Möglichkeit gehabt, bei Nichtreagieren des Ruders auf ihren Steuerbefehl die Steuerung vom Normal- auf den Notbetrieb umzuschalten. Aufgrund der Instruktion bei der SGV haben sie in dieser Situation jedoch einen Notstopp eingeleitet.

2 Analyse

2.1 Vorbemerkung

Die besonderen Untersuchungen (Kap. 1.10) zeigten, dass die Steuerung entsprechend der im Laufe des Projektes erarbeiteten Spezifikation entwickelt wurde und keine technischen Hardware-Fehler oder Abweichungen von den vorgegebenen Spezifikationen vorlagen. Die Untersuchungen zeigten jedoch Mängel in der Spezifikation der Steuerung sowie ein Verbesserungspotenzial in der technischen Ausführung und im Freigabeprozess auf.

2.2 Technische Aspekte

2.2.1 Spezifikation und Funktion der Rudersteuerung

2.2.1.1 Grundlagen

Die folgenden Fakten bilden die Grundlage für den wahrscheinlichen Unfallhergang, beschrieben im nachfolgenden Kapitel 2.2.1.2:

- Die Ergebnisse des Funktionstests auf dem DS Uri am 31. August 2016 liessen den Vorfall nachstellen;
- die technische Spezifikation legte fest, dass alle drei Fahrstände in Bezug auf das Erteilen von Steuerbefehlen gleichberechtigt und dauerhaft aktiv sind;
- die Softwareprogrammierung war so ausgeführt, dass ein neues Signal erst dann angenommen wird, wenn sich alle Signalgeber in der neutralen Stellung befinden, sowie
- die von Schiffsführern geäußerte Beobachtung beschrieb, dass das DS Unterwalden aufgrund der Rumpfbeschaffenheit mit wenig ausgeprägtem Kiel ein eher «unruhiges» Schiff ist und Kurskorrekturen für eine Geradeausfahrt häufiger ausgeführt werden mussten.

2.2.1.2 Wahrscheinlicher Unfallhergang

Die im Kapitel 2.2.1.1 aufgeführten Fakten lassen den Schluss zu, dass es wie folgt zum Ereignis gekommen konnte:

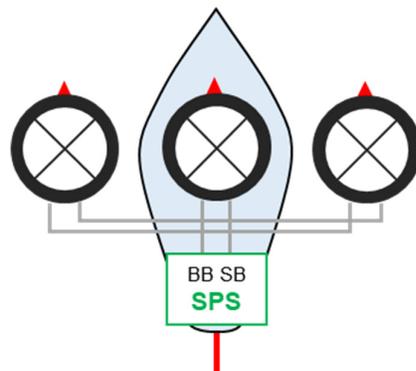


Abbildung 9: Geradausfahrt

Als Ausgangslage standen die drei Steuer-signalgeber (Nockfahrstand Backbord, Hauptfahrstand, Nockfahrstand Steuerbord) in neutraler Stellung. Das Ruder war in der Stellung für Geradeausfahrt.

Die nachfolgend beschriebenen Sequenzen können innerhalb weniger Sekunden erfolgt sein.

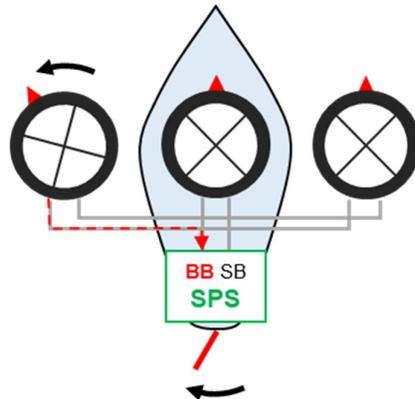


Abbildung 10: Beginn Eindreihen nach Backbord

Der Schiffsführer begab sich auf den backbordseitigen Nockfahrstand, um das entgegenkommende DS Schiller zu grüssen. Gewohnheitsmässig betätigte er den Steuersignalgeber, entweder, um die Funktionsfähigkeit zu prüfen (aber rein zufällig in Richtung Ruderausschlag nach Backbord), oder er korrigierte bewusst Richtung Backbord. Die SPS empfing das Steuersignal in Richtung Backbord (BB) und führte die Ansteuerung des Ruders aus.

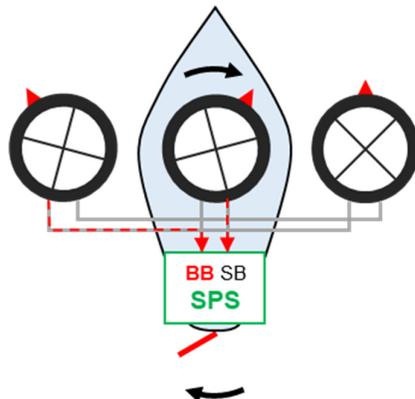


Abbildung 11: Weiter Eindreihen nach Backbord

Da Ruderausschläge, die von einem Nockfahrstand initiiert werden, mit der maximalen Auslenkgeschwindigkeit ausgeführt werden, realisierte der Matrose im Hauptfahrstand rasch die für ihn ungewollte Kurskorrektur. Er drehte den Steuersignalgeber in die Stellung nach Steuerbord. Nun standen zwei entgegengesetzte Steuersignale an. Das erste Signal lautete jedoch auf einen Ruderausschlag nach Backbord (BB). Entsprechend der Softwareprogrammierung wurde die Eingabe am Hauptfahrstand ignoriert und das Ruder bewegte sich weiter Richtung Backbord.

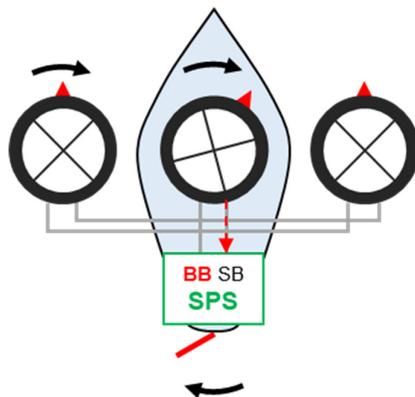


Abbildung 12: Weiterhin Eindreihen nach Backbord

Auch der Schiffsführer auf dem Nockfahrstand realisierte die Kursänderung in Richtung Backbord und stellte den Steuersignalgeber wieder in die Neutralstellung. Der Matrose wollte die ungewünschte Kursänderung weiterhin korrigieren und blieb mit seinem Steuersignalgeber weiter in der Stellung nach Steuerbord. Weil nicht alle Geber in der Neutralstellung waren, führte die SPS immer noch den erstgegebenen Befehl (BB) aus. Das Ruder bewegte sich weiter Richtung Backbord.

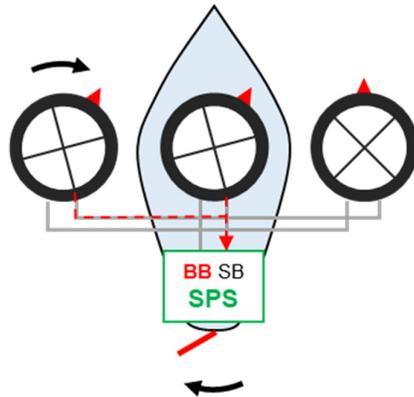


Abbildung 13: Maximal Eindreihen nach Backbord

Auch der Schiffsführer auf dem Nockfahrstand stellte nun seinerseits den Steuersignalgeber in die Stellung Steuerbord. Es standen weiterhin mehrere Steuersignale an, womit entsprechend der Softwareprogrammierung immer noch das erstgegebene Steuersignal (BB) ausgeführt wurde. Auch, wenn nun zwei Steuersignalgeber ein Steuersignal nach Steuerbord gaben, bewegte sich das Ruder weiterhin nach Backbord.

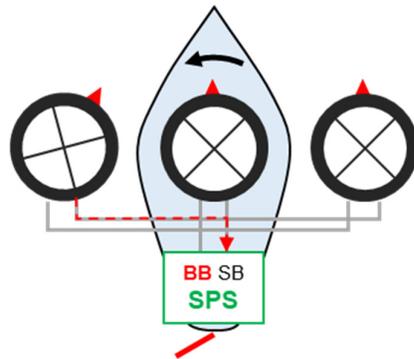


Abbildung 14: Ruder bleibt Backbord

Auch wenn nun der Steuersignalgeber im Hauptfahrstand in die Neutralstellung verbracht wurde, stand noch immer ein weiteres Steuersignal an. Für die in einem Sternpunkt zusammengeführten Steuersignale aller Steuersignalgeber entsteht für die SPS, unabhängig von welchem Steuersignalgeber ein Steuersignal kommt, stets ein Steuersignal. Doch entsprechend der Softwareprogrammierung stand immer noch das erstgegebene Steuersignal (BB) für den Ruderausschlag nach Backbord an und wurde aufrechterhalten, solange mindestens ein weiteres Steuersignal anstand. Das Ruder blieb weiterhin nach Backbord.

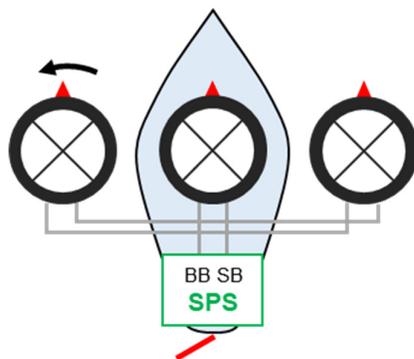


Abbildung 15: Endstand Ruder und Steuersignalgeber

Erst als auch der Steuersignalgeber im Nockfahrstand in die Neutralstellung verbracht wurde, stoppte die Ruderbewegung. Sobald keine Steuersignale mehr anstanden, war die SPS bereit, ein erneutes Steuersignal anzunehmen. Bei erneuter Eingabe für eine Ruderbewegung nach Steuerbord hätte sich das Ruder nun entsprechend bewegt. Die verfügbare Zeit bis zur Kollision genügte dazu nicht mehr. Zudem wurde das Schiff durch den eingeleiteten Notstopp immer langsamer, womit der Einfluss eines allfälligen Ruderausschlags auf eine Kurskorrektur nach Steuerbord immer geringer wurde.

2.2.2 Verbesserung der Sicherheit

2.2.2.1 Vorbemerkung

Aufgrund der durchgeführten Untersuchung wurden folgende Punkte für die Verbesserung der Sicherheit identifiziert. Sie sind nicht Ursache des Unfalls.

2.2.2.2 Steuersignalgeber

Bei einem mechanischen Defekt (lose Schrauben, Defekt Rastwerk) ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sowohl der Normal- wie auch der Notbetrieb gleichzeitig ausfallen. Gemäss unserer Beurteilung stellt die Konstruktion der Steuersignalgeber aus den dargelegten Gründen ein Risiko für die Betriebssicherheit eines Passagierschiffs dar, da keine sichere Notlaufeigenschaft bzw. echte Zweikanaligkeit gewährleistet ist.

Der Einsatz von Bauteilen ohne Schutz vor Wasser auf einem Schiff, insbesondere in den Nockfahrständen, wird als kritisch beurteilt, auch wenn sich diese in einem geschlossenen Schrank befinden, wie es auf dem DS Unterwalden der Fall war. Feuchtigkeit oder eindringendes Wasser, verbunden mit witterungsbedingtem Temperaturschwankungen, können langfristig sowohl die mechanische als auch die elektrotechnische Funktion des Steuersignalgebers (z. B. aufgrund von Korrosion in den Kontakten) beeinträchtigen.

2.2.2.3 Abschirmung von Signalkabel

Aufgrund der sicherheitstechnischen Relevanz der Ruderanlage beurteilt die SUST die Notwendigkeit einer wirkungsvollen Abschirmung dieser Kabel als gegeben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass elektromagnetische Immissionen in die Signalkabel der Ruderanlage, die Kontrolle der Schiffsbesatzung über die Steuerung des DS Unterwalden beeinträchtigt oder gestört haben.

2.2.2.4 Kabelführung der Signalkabel im Schiffsrumpf

Einige Kabel waren subjektiv beurteilt relativ starkem Zug ausgesetzt. Längerfristig kann eine zu grosse mechanische Belastung, insbesondere in den Radien der Stränge, eine Ursache für Defekte oder Fehlfunktionen sein.

2.2.2.5 Selektivität der Steuersignale

Die Steuersignale der Steuersignalgeber der drei Fahrstände werden elektrisch parallelgeschaltet und über zwei digitale Eingänge der SPS empfangen. Dies verhindert eine getrennte Auswertung der Steuerbefehle von den Fahrständen in der SPS und verunmöglicht einerseits eine Priorisierung anstehender Befehle und andererseits eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Steuervorgängen.

2.2.2.6 Diagnosemöglichkeit

Rechnerbasierte Steuerungen bieten eine vergleichsweise einfache Möglichkeit, detaillierte Aufzeichnungen von Eingaben, Funktionen und Störungen zu speichern. Bis dato gibt es keine hoheitlichen Vorgaben, die sich auf rechnerbasierte Systeme bezieht und Diagnosemöglichkeiten fordert. Deshalb wurde bei der vorliegenden Rudersteuerung keine Aufzeichnung verschiedener Signale implementiert. Störungsmeldungen wurden jedoch aufgezeichnet.

2.3 Organisatorische Aspekte

2.3.1 Beauftragungs-, Entwicklungs- und Prüfprozess

Die Beauftragung zur Entwicklung der Ruderanlage enthielt kaum Vorgaben an die Bedienung und Kriterien bezüglich Betriebssicherheit. Es gab lediglich Vorgaben über die technische Funktionalität.

Da vor der Auftragserteilung keine genauen Anforderungen in einem Pflichtenheft festgeschrieben wurden und vor der Prüfung kein Prüfkonzept erstellt und genehmigt wurde, konnten Abweichungen zwischen Anforderung und Ausführung nicht erkannt werden. Die Prüfung der Ruderanlage erfolgte nach den bekannten technischen Vorgaben, auch aufgrund von Testfahrten, und verlief entsprechend erfolgreich. Da mögliche Bedienungs- und Fehlbedienungshandlungen der Schiffsführer nicht in die Prüfung einbezogen wurden, offenbarte sich ein potenziell ungünstiges Verhalten des Schiffes auf die Betriebssicherheit nicht.

Ein Ablauf entsprechend der Norm SN EN 50126 «Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)» war bei Shiptec und Hagenbuch nicht bekannt. Die Umsetzung von Qualitätssicherungsmaßnahmen für den gesamten Produktlebenszyklus von sicherheitsrelevanten Anlagen auf Passagierschiffen, wie sie vom BAV für andere Verkehrsträger des öffentlichen Verkehrs vorgeschrieben werden, wäre für die Entwicklung und Prüfung der Ruderanlage hilfreich gewesen. So verweist die Richtlinie «Nachweisführung Sicherungsanlagen» für Projekte bei Bahnen auf die V-Darstellung des Produktlebenszyklus in der SN EN 50126. Diese stellt die lückenlose Dokumentation und dadurch auch Rückverfolgbarkeit des Lebenszyklus eines Produkts oder einer Anlage sicher.

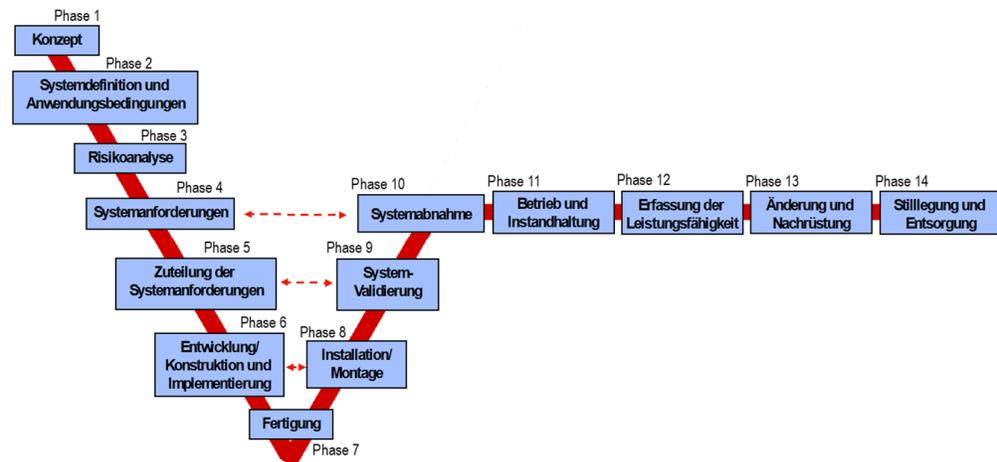


Abbildung 16: V-Modell entsprechend SN EN 50126.

2.3.2 Fehlermöglichkeits- und Ereignisanalyse

Die Fehlermöglichkeits- und Ereignisanalyse (FMEA) berücksichtigte nur technische Ausfälle von Bauteilgruppen oder Komponenten. Nicht betrachtet wurden Fehler und Auswirkungen, die sich aufgrund der Bedienung oder von Fremdeinflüssen ergeben können. Auch Szenarien mit einem fehlerhaften Verhalten der SPS oder der Software wurden nicht berücksichtigt. Es wurde auch nicht betrach-

tet, wie sich das Zusammenspiel von Bauteilausfällen und folgende Bedienungsreaktionen auf die Betriebssicherheit in verschiedenen Situationen (Anlegen, volle Fahrt, Bremsmanöver etc.) auswirken:

- Situationen, die aufgrund der Bedienung der Ruderanlage auftreten können. Dies umfasst insbesondere alle Situationen, in denen mehrere Steuersignalgeber gleichzeitig betätigt werden.
- Situationen, die aufgrund eines Ausfalls der SPS (Elektronik oder Software) auftreten können.
- Situationen, die zum Totalausfall der Ruderanlage oder zum Kontrollverlust über die Ruderanlage führen können.
- Analyse der Auswirkung des Fehlers auf die Kontrolle über das Schiff durch das Schiffspersonal und auf die Sicherheit der Passagiere.
- Gegenmassnahmen im Falle eines Auftretens des Fehlers während der Fahrt.

In Bezug auf die eigentliche Steuerung, d. h. die SPS-Hardware und die -Software, war die Betrachtung somit sehr allgemein gehalten, indifferent und unvollständig.

2.4 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

Die Auslegung der Rudersteuerung birgt wenig Risiken, wenn ein einziger Schiffsführer das Schiff führt. Sie ermöglicht einen raschen, unkomplizierten Wechsel von einem Fahrstand zum anderen. Sobald mehrere Schiffsführer die Ruderanlage steuern können, werden eindeutige Verhaltensweisen oder Prozeduren benötigt, wie Übernahme und Übergabe der Schiffsführung zu erfolgen haben.

Insbesondere, wenn – wie im vorliegenden Fall – die Übergabe bzw. Übernahme eines der drei Fahrstände nicht durch eine technische Einrichtung geregelt wird, werden an deren Stelle eindeutige prozessuale Vorgaben benötigt. Solche Vorgaben oder Prozeduren konnten nicht vorgewiesen werden.

Das rasche Einleiten eines Notstopps und die unmittelbare Reaktion des Maschinisten verlangsamten die Fahrt des DS Unterwalden. Möglicherweise hätte mit dem zeitverzugslosen Umschalten der Steuerung von Normal- auf Notbetrieb das Ereignis verhindert werden können. Die schnelle Reaktion des Maschinisten deutet darauf hin, dass er sich nicht auf einem Kontrollgang befand, sondern gerade am Maschinenfahrstand war. Ein möglicherweise grösserer Schaden konnte dadurch verhindert werden.

Ein ähnlicher Vorfall hatte sich bereits im Mai 2013 ereignet. Damals wurde das Nichtreagieren des Ruders einem einmaligen Ausfall zugeschrieben.

2.5 Menschliche Aspekte

Wie üblich begab sich der Schiffsführer zum Gruss eines entgegenkommenden Schiffes auf den Nockfahrstand. Mangels Vorgaben betreffend Zusammenarbeit bei mehreren Schiffsführern war ein routinemässiges Bedienen des Steuersignalgebers denkbar, obwohl zu diesem Zeitpunkt der Matrose im Hauptfahrstand die Steuerung innehaben musste. Für den Matrosen war durch zusätzliche Beobachter im Hauptfahrstand eine Situation gegeben, die ihn veranlasste, ein möglichst repräsentatives Bild zu schaffen. Kleinste Kursabweichungen wollte er sofort korrigieren. Schiffsführer und Matrose erkannten den ungewollten Ruderausschlag rasch und beide begannen, nach Steuerbord zu lenken. Anstatt in dieser Situation die Steuerung von Normal- auf Notbetrieb umzuschalten, haben sie aufgrund der

Instruktion bei der SGV einen Notstopp eingeleitet, was die Auswirkung der Kollision reduzierte.

Durch das rasche und besonnene Handeln des Kassiers auf dem DS Unterwalden konnten sich Passagiere aus dem Gefahrenbereich in Sicherheit bringen und blieben unverletzt.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Die Ruderanlage funktionierte nach der vorgegebenen Ausführungsweise.
- Konstruktionsbedingt war es möglich, dass mit dem eingesetzten Steuersignalgeber in einem Fehlerfall desselben die Umschaltung von Normal- auf Notbetrieb wirkungslos war.
- Die Auslegung der Software liess einen gegebenen Steuerbefehl weiterhin ausführen, auch als ein weiteres Steuersignal gegeben wurde.
- Die parallele Führung der Steuersignale der drei Steuersignalgeber verhinderte eine differenzierte Verarbeitung in der SPS.
- Hoheitlich wird nicht gefordert, relevante Daten rechnerbasierter Steuerungen zwecks Ereignisanalysen aufzuzeichnen.

3.1.2 Organisatorische Aspekte

- Die Vorgaben zur Entwicklung der Ruderanlage fokussierten auf die technische Ausführung.
- Es existierte kein Anforderungs- und Prüfprozess, der exakte Vorgaben an die Spezifikation der Funktionalität und Prüfung der Software beschrieb und damit unerwünschte Zustände explizit ausschloss.
- Die FMEA betrachtete Ausfälle der Hardware, erstreckte sich jedoch nicht auf einen Ausfall der Steuerung, Softwaremängel oder Bedienungsfehler und deren Auswirkungen auf die Betriebssicherheit in unterschiedlichen Betriebssituationen. Damit erzeugte sie diesbezüglich keine Wirkung.

3.1.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

- Sobald mehrere Schiffsführer die Ruderanlage steuern können, fehlen eindeutige schriftliche Vorgaben oder Prozeduren, um die – technisch nicht geregelte – eindeutige Übergabe bzw. Übernahme der Fahrstände zu gewährleisten.
- Ein ähnlicher Vorfall ist schon früher aufgetreten.

3.1.4 Menschliche Aspekte

- Unter Druck haben sowohl der Schiffsführer als auch der Matrose versucht, mit Bedienungen in ihren jeweiligen Fahrständen die Situation unter Kontrolle zu bringen und konnten nicht reflexartig die Steuerung in den Notbetrieb umschalten.
- Das Einleiten eines Notmanövers (Notstopp – Maschinen «voll zurück») durch die Besatzung reduzierte die Auswirkung der Kollision.
- Durch das rasche und besonnene Handeln des Kassiers wurden keine Personen verletzt.

3.2 Ursachen

Die Kollision des DS Unterwalden mit dem DS Schiller im Luzerner Seebecken ist darauf zurückzuführen, dass der Ruderausschlag in Richtung Backbord aufgrund von zwei fast gleichzeitig getätigten Steuerbefehlen in zwei Fahrständen nicht rechtzeitig korrigiert werden konnte. Die Software der Rudersteuerung war so programmiert, dass sie den erstgegebenen Steuerbefehl auch dann weiter ausführte, als danach gleichzeitig über andere Steuersignalgeber weitere Steuerbefehle gegeben wurden.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Ein Anforderungs- und Prüfprozess, der keine exakten Vorgaben an die Spezifikation der Funktionalität und Prüfung der Software beschrieb und unerwünschte Zustände nicht explizit ausschloss.
- Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) erstreckte sich nicht auf einen Ausfall der Steuerung, Softwaremängel oder Bedienungsfehler und deren Auswirkungen auf die Betriebssicherheit in unterschiedlichen Betriebssituationen.
- Fehlende, eindeutige Verhaltensweisen oder Prozeduren für die Übergabe bzw. Übernahme der verschiedenen Fahrstände führten zu gleichzeitigen Bedienungshandlungen mehrerer Steuersignalgeber.

Zur Verminderung der Auswirkung hat beigetragen:

Das Einleiten eines Notmanövers (Notstopp – Maschinen «voll zurück») durch die Besatzung reduzierte die Auswirkung der Kollision.

Folgende Faktoren haben nicht zur Entstehung des Unfalls beigetragen, wurden aber im Rahmen der Untersuchung als Potenzial für Sicherheitsverbesserungen erkannt:

- Die Konstruktion der Steuersignalgeber bergen wegen der fehlenden Notlaufeigenschaften bei denkbaren Defekten im Schalterelement und dem ungenügenden Schutz vor Feuchtigkeit Risiken für die Betriebssicherheit.
- Für die Übertragung der Steuersignale von den Steuersignalgebern in den Fahrständen zur SPS in der Achterpiek wurden keine abgeschirmten Kabel verwendet.
- Die Steuersignale der Steuersignalgeber der drei Fahrstände werden elektrisch parallelgeschaltet und über zwei digitale Eingänge der SPS empfangen. Dies verhindert eine getrennte Auswertung der Steuerbefehle von den Fahrständen in der SPS und verunmöglicht zum einen eine Priorisierung anstehender Befehle und zum anderen eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Steuervorgängen.
- Die nicht genutzte Möglichkeit, Vorgänge der rechnerbasierten Steuerung zu speichern, verhindert deren Rückverfolgbarkeit und könnte in einem Ereignisfall zu deren Aufklärung einen wichtigen Beitrag leisten.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014 (VSZV), Stand am 1. Februar 2015 (SR 742.161), bezüglich Sicherheitsempfehlungen folgende Regelung vor:

Art. 48 Sicherheitsempfehlungen

¹ Die SUST richtet die Sicherheitsempfehlungen an das zuständige Bundesamt und setzt das zuständige Departement über die Empfehlungen in Kenntnis. Bei dringlichen Sicherheitsproblemen informiert sie umgehend das zuständige Departement. Sie kann zu den Umsetzungsberichten des Bundesamts zuhanden des zuständigen Departements Stellung nehmen.

² Die Bundesämter unterrichten die SUST und das zuständige Departement periodisch über die Umsetzung der Empfehlungen oder über die Gründe, weshalb sie auf Massnahmen verzichten.

³ Das zuständige Departement kann Aufträge zur Umsetzung von Empfehlungen an das zuständige Bundesamt richten.

Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Sicherheit im öffentlichen Verkehr anzustreben.

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes unter www.sust.admin.ch und erlaubt so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

4.1.1 Anwendung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Die Fehlermöglichkeits- und Ereignisanalyse (FMEA) behandelte nur technische Ausfälle von Bauteilgruppen oder Komponenten. Nicht betrachtet wurden Fehler und Auswirkungen, die aufgrund von Bedienung oder Fremdeinflüssen resultieren können. Ebenfalls wurde nicht behandelt, wenn die SPS oder die Software ein fehlerhaftes Verhalten zeigen. Es wurde auch nicht betrachtet, wie sich das Zusammenspiel von Bauteilausfällen und folgende Bedienungsreaktionen auf die Betriebssicherheit in verschiedenen Situationen (Anlegen, volle Fahrt, Bremsmanöver etc.) auswirken.

Bei der Prüfung der FMEA durch das BAV im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens wurde dieser Mangel nicht erkannt.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 169

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) sollte die Branche der Binnenseeschifffahrt daraufhin sensibilisieren, dass in einer FMEA auch Auswirkungen von Ausfällen von rechnerbasierten Steuerungen sowie von Bedienungsfehlern zu berücksichtigen sind. Bei der Plangenehmigung sollte das BAV diese Punkte in der FMEA sodann prüfen.

4.1.2 Anforderungen an rechnerbasierte Steuerungen

4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Vermeehrt halten rechnerbasierte Steuerungen auf Schiffen Einzug. Spezifische Vorgaben, welche Mindestanforderungen an in der Nautik eingesetzte Steuerungen zu stellen sind, existieren nicht explizit. Es ist bspw. nicht vorgegeben, dass eine Ausfallerkennung aufgrund eines technischen Defekts oder eines Softwarefehlers vorhanden sein muss. Anforderungen an eingesetzte Steuersignalgeber oder verwendete Kabel, Qualitätsanforderung an eine Software oder ein Software-Update sowie Sicherheitsnachweise für rechnerbasierte Lösungen sind in der Schifffahrt nur ansatzweise vorhanden.

4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 170

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) sollte in entsprechenden Gremien darauf hinwirken, dass im Bereich der Binnenschifffahrt Anforderungen für rechnerbasierte Steuerungen festgelegt werden, die bezüglich Beschaffung, Entwicklung, Prüfung, Instandhaltung und Bedienung die sicherheitsrelevanten Themen umfassen.

4.1.3 Nutzung von Daten zur Nachvollziehbarkeit

4.1.3.1 Sicherheitsdefizit

Die Möglichkeit, Vorgänge der rechnerbasierten Steuerung zu speichern, werden wenig genutzt. Für eine möglichst lückenlose Nachvollziehbarkeit bei Störungen oder Ereignissen können aufgezeichnete Daten wertvoll sein. Deren Auswertung bietet einen Nutzen zur Verbesserung der Technik, Prozesse oder Vorgaben und kann sowohl die Zuverlässigkeit erhöhen als auch dazu dienen, weitere Ereignisse zu verhindern, bzw. die Auswirkungen zu minimieren.

4.1.3.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 171

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) sollte prüfen, welche Daten aus Risiko- und Sicherheitssicht in bestehenden und neuen Systemen vorhanden sein und zur Verfügung stehen müssen, und dafür sorgen, dass Möglichkeiten der Datenspeicherung genutzt werden.

4.2 Sicherheitshinweise

Als Reaktion auf während der Untersuchung festgestellte Sicherheitsdefizite kann die SUST Sicherheitshinweise veröffentlichen. Sicherheitshinweise werden formuliert, wenn eine Sicherheitsempfehlung nicht angezeigt erscheint, formell nicht möglich ist oder wenn durch die freiere Form eines Sicherheitshinweises eine grössere Wirkung absehbar ist. Sicherheitshinweise der SUST haben ihre Rechtsgrundlage in Artikel 56 der VSZV:

Art. 56 Informationen zur Unfallverhütung

Die SUST kann allgemeine sachdienliche Informationen zur Unfallverhütung veröffentlichen.

4.2.1 Übergabe bzw. Übernahme von Fahrständen

4.2.1.1 Sicherheitsdefizit

Das DS Unterwalden kann über drei Fahrstände gesteuert werden. Dabei muss keine Übergabe bzw. Übernahme zwischen den Fahrständen bedient werden; es kann jederzeit von jedem Fahrstand aus eine Steuereingabe erfolgen. Zusätzlich ist die SPS der Ruderanlage so ausgelegt, dass sie nicht differenzieren und auswerten kann, von welchem Steuersignalgeber ein Steuerbefehl gegeben wird. Es ist davon auszugehen, dass weitere Schiffe mit dieser Auslegung in Betrieb sind.

Solange ein einziger Schiffsführer zwischen den verschiedenen Fahrständen wechselt, ist die Steuergewalt eindeutig zugeordnet. Wenn technisch und organisatorisch mehr als ein Schiffsführer Steuerbefehle an verschiedenen Fahrständen erteilen kann, muss prozessual sichergestellt sein, dass nicht an zwei Fahrständen gleichzeitig Steuereingaben getätigt werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass nicht immer die gleichen Personen zusammenarbeiten. Es muss auch bei unterschiedlicher Konstellation allen Schiffsführern klar sein, wie sie sich zu verhalten haben.

Wo keine Verhaltensvorgaben oder Prozeduren für die Übergabe bzw. Übernahme zwischen mehreren Fahrständen vorhanden sind, kann die Steuergewalt über das Schiff gestört sein oder gar verloren gehen.

4.2.1.2 Sicherheitshinweis Nr. 30

Zielgruppe: Unternehmen, die Schiffe in Betrieb stehen haben, bei denen zwischen mehreren Fahrständen in Bezug auf die Rudersteuerung keine Übergabe stattfindet bzw. die Fahrstände diesbezüglich gleichberechtigt sind.

Die Schifffahrtsunternehmen sollen für die Übergabe bzw. Übernahme der Steuergewalt unter mehreren Schiffsführern Vorgaben schriftlich festlegen, die unabhängig der eingesetzten Personen ein einheitliches Verhalten garantieren, bei dem nie mehr als ein Steuersignalgeber bedient wird.

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

- Auf dem DS Unterwalden wurden – nicht als Folge des Unfalls – die vormaligen Kabel für die Übertragung der Steuersignale von den Steuersignalgebern in den Fahrständen zur SPS in der Achterpiek durch abgeschirmte Kabel ersetzt.
- Die Software wurde ab dem 26. August 2016 so angepasst, dass ein neuer Steuerbefehl erst angenommen wird, wenn kein anderer Steuerbefehl ansteht und keine Ruderbewegung ausgeführt wird.
- Die Steuerung der Ruderanlage auf DS Unterwalden wurde nach dem Unfall von «zeitabhängig» auf «wegabhängig» umgebaut und die einzelnen Nockfahrstände müssen vom Schiffsführer nun mit einem Übernahmeknopf manuell aktiviert werden. Dadurch wird verhindert, dass das Steuer von zwei verschiedenen Fahrständen aus und von zwei verschiedenen Personen gleichzeitig bedient werden kann.
- Die Steuersignalgeber sind wegen anderen betrieblichen Anforderungen seit längerem nicht mehr im Einsatz.
- Die Shiptec AG betont in ihrer Stellungnahme vom 11. Oktober 2021, dass *seit der Sanierung und Inbetriebnahme des DS Unterwalden im Jahre 2011 sehr grosse Fortschritte in Bezug auf die Integration und bzgl. Sicherheit von rechnerbasierten Steuerungen im (Binnen-)Schiffbau gemacht wurden. U. a. werden relevante Systeme meist redundant, mit in der Marinetchnik anerkannten/erprobten Komponenten ausgeführt und entsprechend überwacht.*

Dieser Schlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) genehmigt (Art. 10 Bst. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 21. Dezember 2021

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

Anlage 1

Übersichtsschema

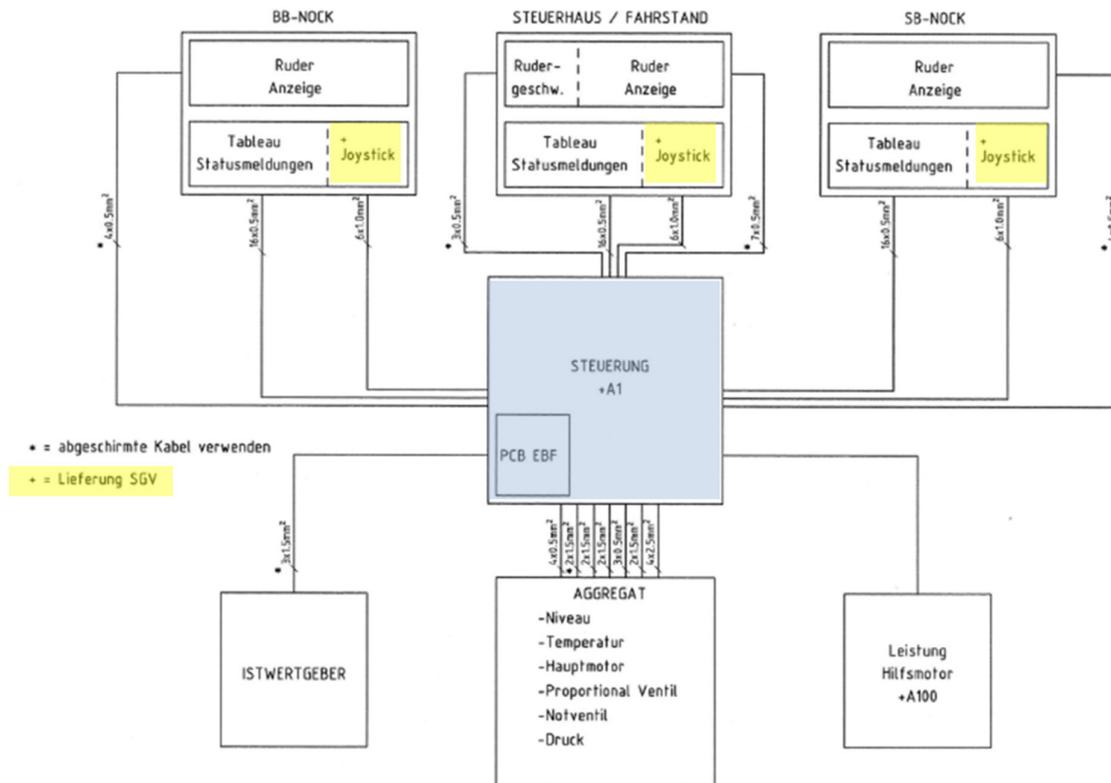


Abbildung 17: Übersicht aus Elektroschema der Rudersteuerung (Quelle: Hagenbuch, bearbeitet durch SUST).

Anlage 2

FMEA Steuerung

Funktions- Baugruppe	Komponente / Funktion	Fehler / Fehlersymptom	Fehlerursache	Auftrittswahr- scheinlichkeit, (A)	Folgen des Fehlers, der Gefahr (B)	Erkennungs- möglichkeit, (E)	A B E			RPZ	Sicherheits- massnahmen	Verantwortlicher für die Ausführung der Sicherheits- Massnahmen	Neue Beurteilung			
							3	2	1				3	2	1	5
Elektrische Steuerung																
-15K66	Hauptschutz Spannungsversorgung	Keine Spannung S24_Fb1, S24_Fb2 / Ausfall Haupt- antrieb	Defekter Schütz, Verkabelung	mässig	gering (Umschalten auf Notantrieb, Automatisch)	sehr gering	5	2	10	00	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	2	2	5	02
-30A2 bis -30A8	Steuerung	Ausfall Steuerung / Ausfall Haupt- antrieb	Defekter Steuerung, Verkabelung, Feuchtigkeit	gering	gering (Umschalten auf Notantrieb, Automatisch)	sehr gering	3	2	10	09	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	3	2	5	30
-35S41/3/7	Schalter zum Um- schalten zwischen Haupt- und Hilfsantrieb	Signalausfall zu Steuerung / Umschalten nicht möglich	Defekter Schalter, Verkabelung	gering	sehr gering (Umschalten von einem anderen Steuerstand möglich)	sehr gering	3	1	10	08	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	2	1	5	10
-35S65	Schalter Steuerung Ein/Aus, Reset Steuerhaus	Signalausfall zu Steuerung / Umschalten nicht möglich	Defekter Schalter, Verkabelung	gering	sehr gering	sehr gering	3	1	10	08	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	2	1	5	10
35S62/8	Reset Nock- Fahrstände	Signalausfall zu Steuerung / Umschalten nicht möglich	Defekter Schalter, Verkabelung	gering	sehr gering (Reset von einem anderen Steuerstand)	sehr gering	3	1	10	08	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	2	1	5	10
Hydraulische Steuerung																
-100N45	Stromverstärker Proportionalventil	strom / Verminderte oder keine Ruder- funktion	Feuchtigkeit, Verkabelung	gering	gering (Manuelles Um- schalten auf Notantrieb)	sehr gering	3	3	10	08	Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	1	3	5	10
-110S61/3/5	Joystick der Fahrstände	Ventil(e) schaltet nicht / keine -oder nur einseitige Ruderbewegung	Feuchtigkeit, Verkabelung	mässig	störend (abhängig welcher Joystick defekt ist)	sehr gering	4	5	10		Jährliche Kontrolle der Verkabelung, Monatliche Kontrolle auf Feuchtigkeit	Unterhalt	2	5	5	50
-110K7	Relais zu An- steuerung Ventil 28.2b BB	Relais schaltet falsch / keine -oder nur einseitige Ruderbewegung	Defektes Relais, Verdrahtung	sehr gering	hoch / kritisch	sehr gering	1	8	10	08	tägliche Kontrolle der Schaltfunktion	Schiffsführer	1	8	3	24
-110K8	Relais zu An- steuerung Ventil 28.2a SB	Relais schaltet falsch / keine -oder nur einseitige Ruderbewegung	Defektes Relais, Verdrahtung	sehr gering	hoch / kritisch	sehr gering	1	8	10	08	tägliche Kontrolle der Schaltfunktion	Schiffsführer	1	8	3	24

Abbildung 18: Auszug aus der FMEA zur Steuerung (Quelle: Shiptec, bearbeitet durch SUST).