



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 des MS Schwyz  
mit der Landungsanlage

vom 17. September 2017

in Zug Bahnhofsteg (ZG)

Reg.-Nr. 2017091701

## Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Der alleinige Zweck der Untersuchung eines Unfalls oder eines schweren Vorfalls ist die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen<sup>1</sup>. Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand Rechnung zu tragen.

In diesem Bericht wird aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes für alle natürlichen Personen und ihren Funktionen unabhängig von ihrem Geschlecht die männliche Form verwendet.

---

<sup>1</sup> Artikel 15 des Eisenbahngesetzes vom 20. Dezember 1957 (EBG), Stand am 1. Juli 2024 (SR 742.101) und Artikel 1 Absatz 4 im Bundesgesetz über die Binnenschifffahrt vom 3. Oktober 1975 (BSG), Stand am 1. Juli 2020 (SR 747.201)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
1.1 Kurzdarstellung .....	5
1.2 Überblick .....	5
1.3 Ursachen .....	5
1.4 Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise .....	5
<b>Glossar .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Sachverhalt.....</b>	<b>7</b>
2.1 Ort des Ereignisses .....	7
2.2 Untersuchung .....	8
2.3 Ablauf des Ereignisses .....	8
2.4 Schäden.....	8
2.4.1 Personen .....	8
2.4.2 Infrastruktur .....	9
2.4.3 Schiff.....	9
2.4.4 Umwelt.....	9
2.5 Beteiligte und betroffene Personen .....	9
2.5.1 Schiffspersonal .....	9
2.5.2 Reisende .....	10
2.6 Beteiligte und betroffene Körperschaften und Unternehmen.....	10
2.6.1 Besitzerin Landungsanlage .....	10
2.6.2 Schifffahrtsunternehmen .....	10
2.6.3 Schiffshalter und -eigentümer.....	10
2.7 Infrastruktur.....	10
2.7.1 Landungsanlage – Anlegesteg .....	10
2.8 Schiff.....	11
2.8.1 Übersicht .....	11
2.8.2 Motorsteuerung .....	11
2.9 Kommunikation .....	14
2.10 Auswertung der Datenaufzeichnung.....	14
2.10.1 GPS-Datenaufzeichnung.....	14
2.10.2 Weitere Datenaufzeichnungen .....	15
2.11 Besondere Untersuchungen .....	15
2.11.1 Wetter .....	15
2.11.2 Schadenanalyse des Bowdenzugs.....	15
2.11.3 Zug- und Druckkräfte beim Ein- und Auskuppeln.....	18
2.11.4 Instandhaltung .....	18
<b>3 Analyse .....</b>	<b>19</b>

---

3.1	Technische Aspekte .....	19
3.2	Organisatorische Aspekte.....	19
3.3	Betriebliche oder prozessuale Aspekte .....	19
3.4	Menschliche Aspekte .....	20
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>21</b>
4.1	Befunde .....	21
4.1.1	Technische Aspekte .....	21
4.1.2	Organisatorische Aspekte .....	21
4.1.3	Betriebliche oder prozessuale Aspekte .....	21
4.1.4	Menschliche Aspekte.....	21
4.2	Ursachen .....	21
<b>5</b>	<b>Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen .....</b>	<b>22</b>
5.1	Sicherheitsempfehlungen .....	22
5.2	Sicherheitshinweise .....	22
5.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	22

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Kurzdarstellung

Am 17. September 2017 um ca. 12:20 Uhr kollidierte bei der Anfahrt an die Station Zug Bahnhofsteg (ZG) das Motorschiff (MS) Schwyz seitlich mit dem Prellpfahl und lief anschliessend an der Uferböschung auf Grund. Es wurde niemand verletzt.

## 1.2 Überblick

**Verkehrsmittel** Binnenschifffahrt

### Beteiligte Körperschaften

**Schiffahrtsunternehmen** Schiffahrtgesellschaft für den Zugersee AG (SGZ), Zug

**Besitzerin Landungsanlage** Stadt Zug, Zug

**Beteiligtes Schiff** Motorschiff Schwyz (MS Schwyz), Halter SGZ<sup>2</sup>

## 1.3 Ursachen

Die Kollision des MS Schwyz mit der Landungsanlage beim Anlanden ist auf den Bruch der Stahlsaite der Getriebeumschaltung zur Steuerung der Fahrriechtung zurückzuführen, wodurch ein rechtzeitiges Abbremsen verunmöglicht wurde.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Die Emissionen des Verbrennungsprozesses des Dieselmotors im Maschinenraum sowie getriebeseitig das Fehlen der roten Kunststoff-Ummantelung begünstigten eine Korrosionsinitiierung an der Stahlsaite des Bowdenzugs.
- Der bogenförmige Verlauf des Bowdenzugs von der starren Fixation auf dem Getriebeblock zum Getriebeumstellhebel begünstigte einen Schwingbruch durch eine dynamische Belastung der Stahlsaite in der Nähe der Pressverbindung zwischen Saite und Rundstab.
- Der Zeitpunkt kurz vor dem Anlanden, der zusammen mit dem gegen das Ufer frontalen Anlegemanöver kein Ausweichen mehr ermöglichte.

## 1.4 Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht werden weder Sicherheitsempfehlungen noch Sicherheitshinweise ausgesprochen.

---

<sup>2</sup> Seit Herbst 2023 bei Schiffsbetrieb Walensee AG als MS Swisspearl.

## Glossar

### Vorgaben

AB-SBV	Ausführungsbestimmungen des UVEK zur Schiffbauverordnung vom 11. Dezember 2015, Stand vom 1. Februar 2016 (SR 747.201.71)
BSV	Verordnung über die Schifffahrt auf Schweizer Gewässern (Binnenschiff-fahrtsverordnung) vom 8. November 1978, Stand vom 4. April 2017 (SR 747.201.1)
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 Ver-kehrswesen vom 17. Dezember 2014, Stand vom 1. Juli 2024 (SR 742.161)

### Begriffe

Backbord (BB)	Die linke Seite des Schiffes, vom Heck zum Bug gesehen.
BAV	Bundesamt für Verkehr
Bowdenzug	In einer druckbeständigen, beweglichen Hülle geführte Stahlsaite zur Über-tragung von Zug- und Druckkräften.
Bug	Der vordere Teil des Schiffes.
Bugwulst	Der Bugwulst befindet sich unterhalb der Wasserlinie und ist eine knollen-artige Verdickung am Bug des Schiffes. Sie verringert den Schiffswider-stand und verbessert die Seegängigkeit.
EDX	Energiedispersive Röntgenanalyse.
GPS	Satelitennavigationssystem ( <i>Global Positioning System</i> ).
Heck	Der hintere Teil des Schiffes.
MS	Motorschiff
Prellpfahl	Holzpfahl, als Teil der Landungsanlage, der vor dem Anlegesteg als Anle-gehilfe im Wasser steht und im Boden verankert ist.
REM	Rasterelektronenmikroskop
Ruder	Die Einrichtung am Heck für die Beeinflussung des Fahrwinkels.
Schanzkleid	Erhöhter, fester, seitlicher Aufbau entlang des Oberdecks eines Schiffes, der als Schutz vor Spritzwasser und als Absturzsicherung für Personen dient.
SGZ	Schifffahrtsgesellschaft für den Zugersee AG, Zug.
Steuerbord (SB)	Die rechte Seite eines Schiffes, vom Heck zum Bug gesehen.
Streichleiste	Auch Scheuerleiste. Profil an der Schiffschale, das dieses vor Beschädi-gungen schützt.

## 2 Sachverhalt

### 2.1 Ort des Ereignisses

Der Unfall ereignete sich am 17. September 2017 um ca. 12:20 Uhr bei der Anfahrt des Motorschiffs (MS) Schwyz an die Station Zug Bahnhofsteg.



**Abbildung 1:** Übersichtskarte zum Ort des Unfalls.  
Quelle der Karte: Bundesamt für Landestopografie.



**Abbildung 2:** Detaildarstellung zum Ort des Unfalls.  
Quelle der Karte und des Luftbildes: Bundesamt für Landestopografie.

## 2.2 Untersuchung

Die Meldung über die Kollision des MS Schwyz mit der Landungsanlage in Zug Bahnhofsteg traf am 17. September 2017 um ca. 12:30 Uhr beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Gutachten;
- Meteorologische Daten;
- GPS-Daten des MS Schwyz;
- Pflichtenhefte;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen.

## 2.3 Ablauf des Ereignisses

Das MS Schwyz war am 17. September 2017 auf der fahrplanmässigen Morgenkurs-Rundfahrt auf dem Zugersee unterwegs. Bei der Annäherung an die Station Zug Bahnhofsteg war diese noch vom MS Rigi besetzt. Der Schiffsführer reduzierte die Geschwindigkeit, kuppelte beide Motorantriebe aus und hielt Distanz zur Landungsanlage, um zu warten bis der Anlegesteg frei wurde und um dem abliegenden MS Rigi genügend Platz für die Wegfahrt zu gewähren. Nach Freiwerden des Anlegestegs kuppelte der Schiffsführer die Antriebe auf «vorwärts» wieder ein. Zu diesem Zeitpunkt war das MS Schwyz ca. 330 m vom Steg entfernt (Abbildung 10). Bei einer Distanz von rund 230 m wollte der Schiffsführer durch gleichzeitiges Zurückziehen der beiden Fahrhebel das MS Schwyz abbremsen; entgegen der Erwartung blieb die Geschwindigkeit konstant. Daraufhin versuchte er durch Vorwärts- und Rückwärtsbewegen der beiden Fahrhebel erneut zu bremsen, was jedoch nicht die gewünschte Wirkung hatte. Der Schiffsführer nahm beim Zurückbewegen der Fahrhebel ein optisches und akustisches Signal wahr. Nun entschied sich der Schiffsführer, beide Motorantriebe auszukuppeln und mit der Steuerung des Ruders, so sanft wie in dieser Situation möglich, anzulanden. Das MS Schwyz kollidierte seitlich mit dem Prellpfahl der Landungsanlage und fuhr anschliessend mit dem Bug auf das ansteigende Ufer auf.

Nach dem Ereignis orientierte der Schiffsführer die Passagiere und ordnete an, sich in den hinteren Teil des Schiffes zu begeben. Daraufhin schaltete er nach Rücksprache mit dem Leiter Betrieb im Fahrstand beide Fahrmotoren sowie anschliessend im Maschinenraum alle Systeme aus. Nach dem Wiedereinschalten des Generators quittierte der Schiffsführer alle ankommenden Alarmer. Zurück im Fahrstand schaltete er den Steuerbordmotor ein und stellte fest, dass sich unvermittelt Vorwärtskraft aufbaute. Deshalb schaltete er den Motor sofort wieder ab. Anschliessend schaltete er den Backbordmotor ein, der erwartungsgemäss funktionierte. Mit diesem fuhr er zurück an den Steg, damit die Passagiere aussteigen konnten.

## 2.4 Schäden

### 2.4.1 Personen

Es wurden keine Personen verletzt.

## 2.4.2 Infrastruktur

Durch die Kollision des MS Schwyz mit dem Prellpfahl wurde dieser beschädigt.

## 2.4.3 Schiff

Durch die Kollision mit dem Prellpfahl wurde auf der Backbordseite das Schanzkleid leicht nach innen gedrückt und die Streichleiste beschädigt. Zudem wurde der Bugwulst durch die Kollision mit dem Ufer zusammengedrückt.



**Abbildung 3:** Beschädigung Schanzkleid und Streichleiste backbordseitig (Quelle: SGZ).



**Abbildung 4:** Beschädigung Bugwulst (Quelle: Kapo ZG).

## 2.4.4 Umwelt

Trotz der Beschädigung des Schiffes traten keine Flüssigkeiten aus. Das Seewasser wurde nicht verunreinigt.

## 2.5 Beteiligte und betroffene Personen

### 2.5.1 Schiffspersonal

#### 2.5.1.1 Kapitän / Schiffsführer

Person	Jahrgang 1968 Anstellung in Nebenbeschäftigung bei der Schifffahrtsgesellschaft für den Zugersee.
Berechtigung	Schiffsführerausweis zum Führen von Motorschiffen der Kategorien A, B II/1, B II/2 RP, C und D vorhanden und gültig.
Letzte Fähigkeitsprüfung	Periodische Prüfung im Juni 2017.
Medizinische Feststellungen	Es gab keine Hinweise auf gesundheitsbedingte Einschränkungen.
Werdegang	Ausbildung zum Schiffsführer auf Fahrgastschiffen im Jahr 2005 abgeschlossen; seit 2013 mit dem MS Schwyz gefahren.

### 2.5.1.2 Übriges Schiffspersonal

Nautisches Personal: 1 Matrose–Motorenwart und Kassier  
Restaurationspersonal: 1 Koch, 1 Chef de Service und 1 Serviceperson

### 2.5.2 Reisende

Zum Ereigniszeitpunkt befanden sich 42 Passagiere auf dem MS Schwyz.

## 2.6 Beteiligte und betroffene Körperschaften und Unternehmen

### 2.6.1 Besitzerin Landungsanlage

Stadt Zug

### 2.6.2 Schifffahrtsunternehmen

Schifffahrtsgesellschaft für den Zugersee AG

### 2.6.3 Schiffshalter und -eigentümer

Schifffahrtsgesellschaft für den Zugersee AG

## 2.7 Infrastruktur

### 2.7.1 Landungsanlage – Anlegesteg

Die Schiffsstation Zug Bahnhofsteg befindet sich südlich des Bahnhofs Zug in einem buchtartigen Uferabschnitt (Abbildung 2). Die Landungsanlage ist quer zum Ufer angeordnet; die Kursschiffe legen frontal zum Ufer backbordseitig an den Anlegesteg an (Abbildung 5). Beim Ablegen von der Landungsanlage müssen die Schiffe rückwärtsfahren, da ein Wenden in Ufernähe aufgrund der Topologie nicht möglich ist.



**Abbildung 5:** Landungsanlage Bahnhofsteg vom Ufer her (Quelle: Luzerner Zeitung, 2017).

## 2.8 Schiff

### 2.8.1 Übersicht



**Abbildung 6:** MS Schwyz (Quelle: SGZ).

Baujahr:	14. Dezember 1997
Werft:	Bodan Werft, DE-Kressbronn
Tragfähigkeit:	150 Personen
Besatzung:	1 Schiffsführer, 1 Matrose–Motorenwart
Länge ü. A.	31.20 m
Breite ü. A.	7.00 m
Antriebsmotoren:	2 (Caterpillar 3306 DI-TI, 6 Zylinder Dieselmotor)
Antrieb:	ZF V Wendegetriebe
Max. Geschwindigkeit:	ca. 23 km/h
Notstopp	70 m bzw. 28 s aus Maximalgeschwindigkeit

### 2.8.2 Motorsteuerung

#### 2.8.2.1 Beschreibung

Die Motorantriebssteuerung des MS Schwyz ist ein Produkt des Herstellers Man-nesmann Rexroth.

Im Fahrstand steuert der Schiffsführer mittels zweier, beieinanderliegenden Fahr-hebel die Drehrichtung und Drehzahl der beiden Fahrmotoren an. Ausgehend von der Stellung des Fahrhebels wird ein elektrisches Signal zur Steuereinheit, die sich im Maschinenraum befindet, übertragen (Abbildung 7).

In der Steuereinheit wird:

- Zum einen die Position des Fahrhebels (vorwärts–neutral–rückwärts) an einen Elektro-Synchronmotor übertragen, der eine Spindel antreibt. Ein «Schlitten» auf der Spindel steuert, verbunden durch eine Stahlsaite (sogenannter

Bowdenzug), die Getriebeumstellhebel in die Positionen «Vorwärts», «Neutral» oder «Rückwärts». Damit wird die Fahrrichtung des Schiffes bestimmt.

- Zum andern wird mit dem Weg der Auslenkung der Fahrhebel die Drehzahl der Motoren und somit die Geschwindigkeit des Schiffes beeinflusst.

Stimmen, verursacht durch eine Störung oder ein Fehler, die Stellung der Fahrhebel mit der Drehrichtung der Fahrmotoren nicht überein, so wird dies im Fahrstand dem Schiffsführer mittels optischer und akustischer Alarme signalisiert.

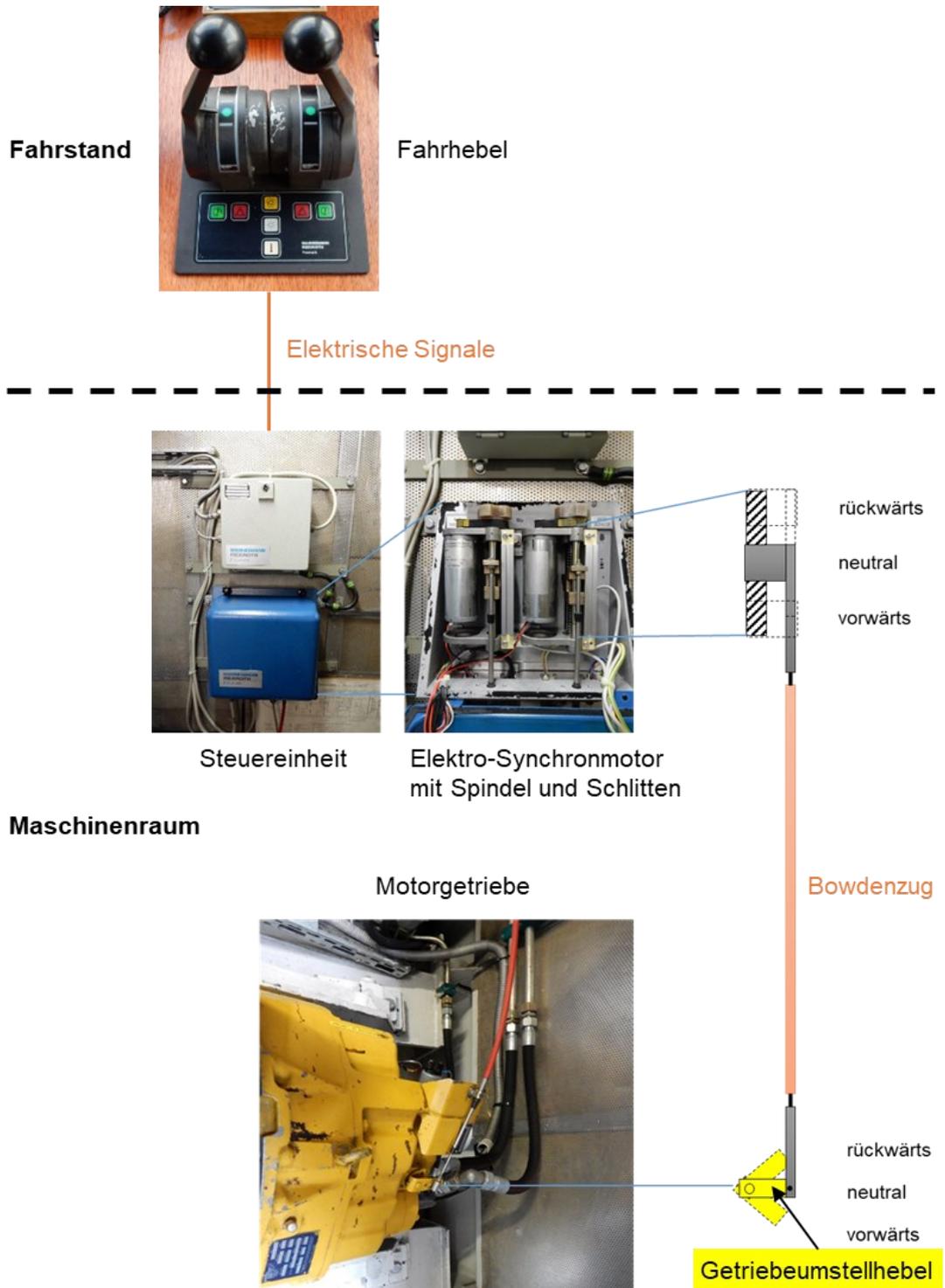
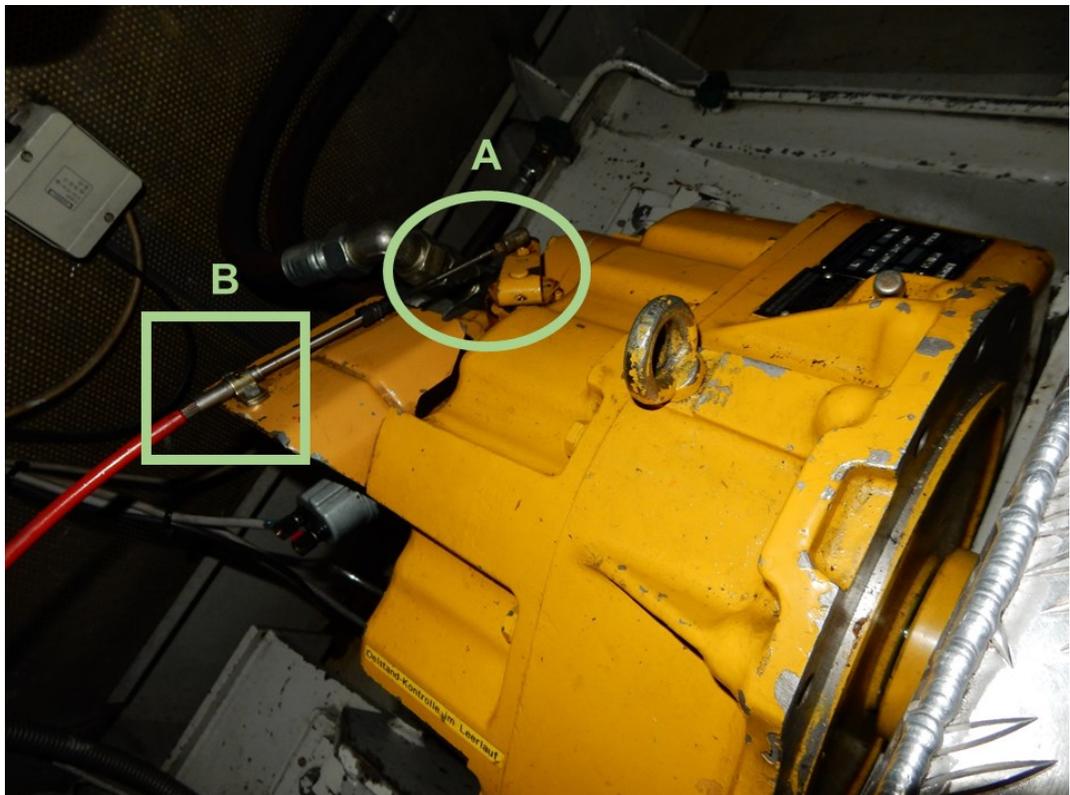


Abbildung 7: Schema der Motortriebsteuerung.

## 2.8.2.2 Feststellung

Bei der Bestandesaufnahme auf dem MS Schwyz wurde festgestellt, dass sich beim Getriebe des Motors «Steuerbord» der Getriebeumstellhebel in der Vorwärtsposition befand (Abbildung 8, A), obwohl im Fahrstand die Fahrhebel sowie im Maschinenraum der Schlitten in der Steuereinheit in der Neutralstellung standen (Abbildung 7). Beim Bowdenzug war getriebeseitig die rote Kunststoffhülle nicht bis in die Hülse bei der Befestigung am Getriebe verlaufend, wodurch die ringartig angeordneten Stahldrähte für die Verstärkung der Hülle sichtbar wurden (Abbildung 9). Bei der Steuereinheit wurde nichts Aussergewöhnliches festgestellt.

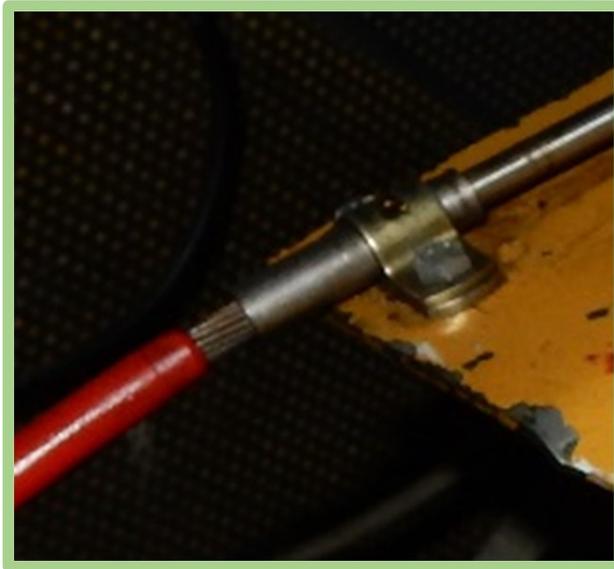
Bewegt sich die Stahlsaite vorwärts und rückwärts, beschreibt das Ende, das am Getriebeumstellhebel angebracht wird, keine geradlinige Bewegung, sondern einen leichten Bogen. Der Bowdenzug ist am Getriebeblock befestigt. Durch die entstehenden bogenförmigen Bewegungen wirken im Bereich der Befestigung am Getriebeumstellhebel neben den Längs- auch Querkkräfte auf die Stahlsaite.



**Abbildung 8:** Motorengetriebe Steuerbord seitig.

A: Getriebeumstellhebel

B: Getriebeseitiger Teil des Bowdenzugs



**Abbildung 9:** Detailansicht B aus Abbildung 8: Kunststoffhülle reicht nicht bis zur Hülse der Befestigung.

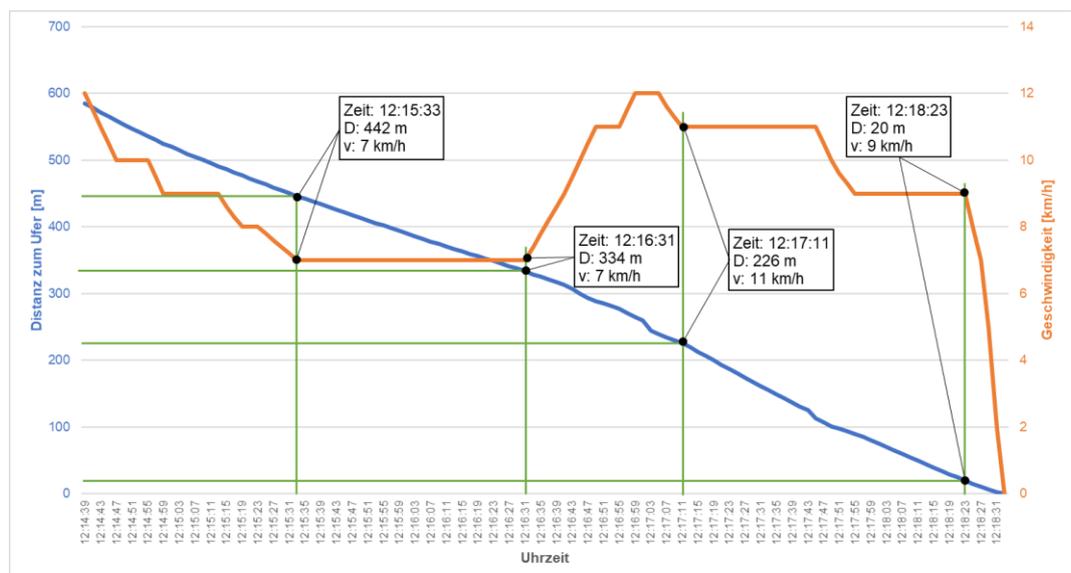
## 2.9 Kommunikation

Zum Zeitpunkt des Ereignisses fand keine Kommunikation statt.

## 2.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

### 2.10.1 GPS-Datenaufzeichnung

Der Fahrweg des MS Schwyz wurde in Form von einzelnen GPS-Positionseinträgen im GPS-Gerät des Schiffes gespeichert und konnte ausgelesen werden. Die GPS-Daten zeigen nebst der Position des Schiffes auch dessen Geschwindigkeit. Der Aufprall des MS Schwyz mit dem Prellpfahl erfolgte mit rund 9 km/h und mit dem Ufer mit rund 7 km/h.



**Abbildung 10:** GPS-Auswertung.

## 2.10.2 Weitere Datenaufzeichnungen

Es gibt keine gesetzliche Vorgaben, die das Aufzeichnen von Signalen, wie z. B. das Bewegen und die Stellung der Fahrhebel, das Betätigen von Tasten sowie die Reaktion der Steuerung auf diese Befehle, fordern würden. Es existieren keine Aufzeichnungen.

## 2.11 Besondere Untersuchungen

### 2.11.1 Wetter

Zum Ereigniszeitpunkt herrschten Windgeschwindigkeiten von 3 Knoten (ca. 5.5 km/h) und Windböen von 4 Knoten (ca. 7.4 km/h), die aus südwestlicher Richtung wehten. Die Lufttemperatur betrug 14 °C und der Himmel war leicht bewölkt. Die Wetterverhältnisse hatten keinen Einfluss auf das Ereignis.

### 2.11.2 Schadenanalyse des Bowdenzugs

#### 2.11.2.1 Einleitung

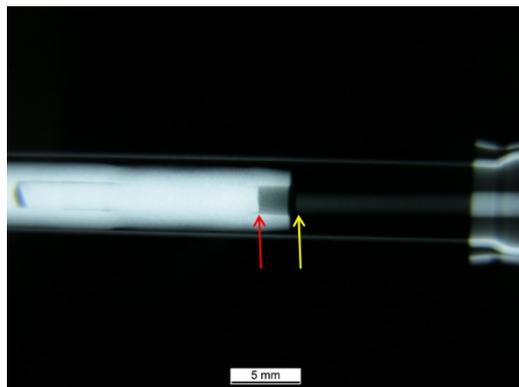
Mit der Schadenanalyse wurde das Institut für Werkstofftechnologie (heute Swiss Safety Center) beauftragt.

#### 2.11.2.2 Beschreibung des Bowdenzugs

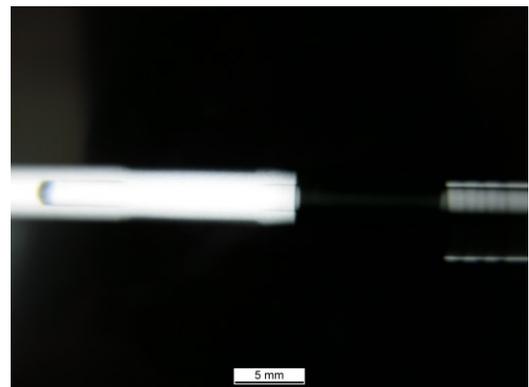
Ein Bowdenzug besteht aus einer inneren, beweglichen Stahlsaite, die in einer drahtverstärkten Kunststoffhülle steckt. Die Stahlsaite selber ist beidseitig in einen Rundstab mit zentraler Bohrung eingepresst. Ein Bowdenzug ist darauf ausgelegt, Zug- und Druckkräfte zu übertragen.

#### 2.11.2.3 Eingangsbefund

Vor der Demontage wurde zuerst mittels einer Röntgenprüfung die innere Situation im Bereich der Klemmverbindung Stahlsaite–Rundstab abgebildet. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Stahlsaite getriebeseitig am Rand der Pressverbindung mit dem Rundstab gebrochen ist (Abbildung 11). Die Einbausituation bei der intakten Steuerseite ist in Abbildung 12 abgebildet.



**Abbildung 11:** Bruchstelle der Stahlsaite direkt neben der Pressverbindung (roter Pfeil) und leicht herausgezogene Saite (gelber Pfeil). Röntgenbild Getriebeseite.



**Abbildung 12:** Einbausituation Steuerseite. Röntgenbild.

Im Anschluss wurden die Stahlsaite und der Rundstab herausgezogen und die Bruchflächen fraktographisch untersucht.

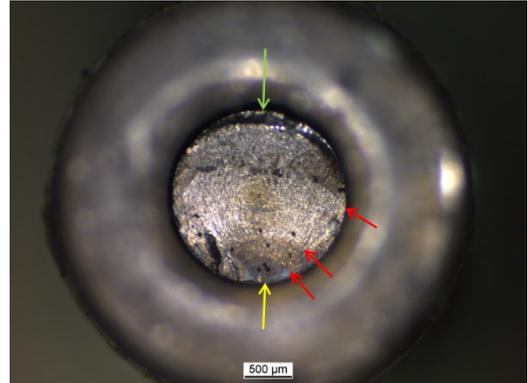
## 2.11.2.4 Fraktographische Untersuchung

## 2.11.2.4.1 Makroskopische Untersuchung

Die Stahlsaite ist am Rand der Klemmverbindung gebrochen. Die Bruchfläche der Saite am herausgezogenen Fragment ist stark sekundär beschädigt und teilweise mit schwarzen Rückständen belegt. Dennoch sind eine Scherlippe und gegenüberliegend Stufen erkennbar (Abbildung 13). Die Bruchfläche des Fragments im Stift weist keine sekundären Beschädigungen auf und zeigt makroskopisch Rastlinien, die auf einen singulären Bruchausgangsbereich hindeuten. Die vorhandene Scherlippe (Restbruchfläche) nimmt ca. 10 % der gesamten Bruchfläche ein (Abbildung 14).



**Abbildung 13:** Die Bruchfläche an der Stahlsaite ist stark sekundär beschädigt und mit schwarzen Rückständen belegt. Es sind Stufen (roter Pfeil) und eine Scherlippe (gelber Pfeil) erkennbar.

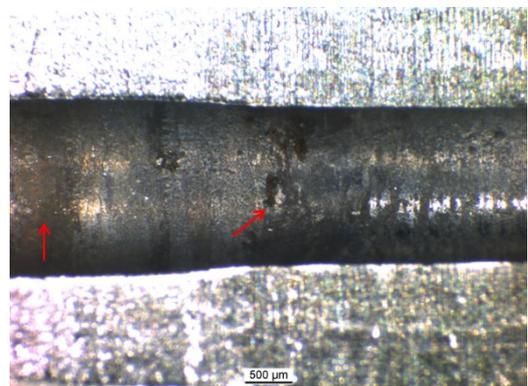


**Abbildung 14:** Bruchfragment in Rundstab mit erkennbaren Rastlinien (Bsp. rote Pfeile) und bläuliche Verfärbung im Bruchausgangsbereich (gelber Pfeil) sowie einer Scherlippe (grüner Pfeil).

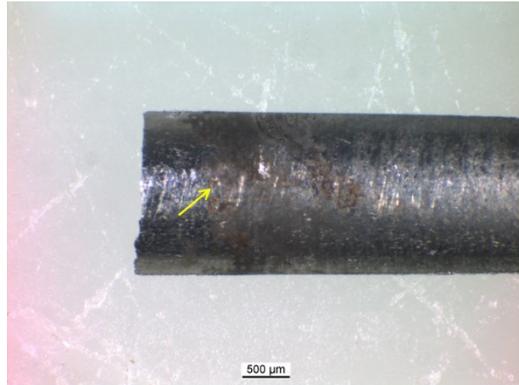
Der Rundstab mit dem abgebrochenen Fragment der Stahlsaite wurde mittels einer Diamantdrahtsäge in Längsrichtung durch die Pressverbindung aufgeschnitten, so dass auf einer Seite der Bruchausgangsbereich möglichst komplett erhalten blieb. Zum Vergleich wurde der Rundstab am anderen, intakten Ende (Steuerseite) ebenfalls in Längsrichtung auf die gleiche Art aufgetrennt. Nach dem Längsschnitt konnte das Fragment der Saite mit dem Bruchausgangsbereich aus dem Stift herausgehoben werden (Abbildung 15). Die Innenseite des Rundstabs weist starke Ablagerungen im Bereich der Bruchstelle der Saite auf (Abbildung 16). An der Oberfläche der Saite sind ebenfalls Ablagerungen ersichtlich (Abbildung 17).



**Abbildung 15:** Situation des längs aufgetrennten Rundstabes (oben) mit entnommenem Fragment der Saite (unten), Getriebe-seite.



**Abbildung 16:** Rotbraune und teils dunkle, krustige Ablagerungen an der Innenseite des Rundstabs im Bereich der Bruchstelle der Saite.



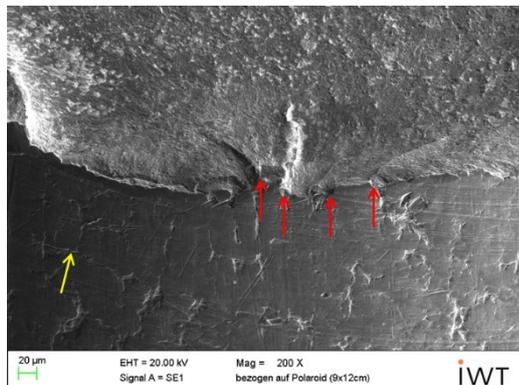
**Abbildung 17:** Rotbraune Ablagerungen auf der Oberfläche der Saite direkt neben der Bruchfläche.

An der intakten Steuerseite weist die Innenseite des Rundstabs kaum Ablagerungen auf. Die Oberfläche der Stahlsaite ist frei von Ablagerungen.

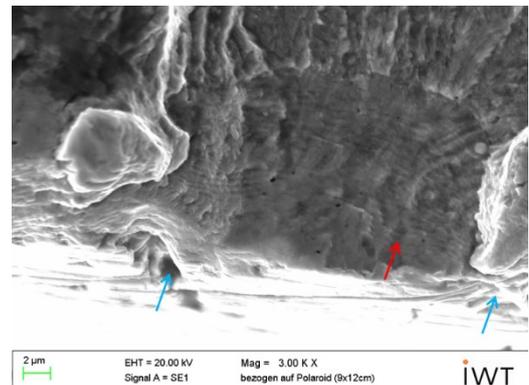
#### 2.11.2.4.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Das freigelegte Fragment der Stahlsaite und die freigelegte Innenseite des Rundstabs wurden unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Die chemische Zusammensetzung einzelner mikroskopischer Bereiche wurde qualitativ mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) bestimmt.

Im Bruchausgangsbereich sind mikroskopisch mehrere Stufen erkennbar. Daneben sind auf der Oberfläche der Stahlsaite Anzeichen eines möglichen Nebenrisses vorhanden (Abbildung 18). Die Bruchfläche im Bruchausgangsbereich zeigt zwischen den Stufen mikroskopisch die für einen Schwingbruch typischen Schwingungstreifen. An der Oberfläche sind Anzeichen von Korrosionsnarben vorhanden (Abbildung 19).



**Abbildung 18:** Mehrere Stufen im Bruchausgangsbereich (rote Pfeile) und Anzeichen eines Nebenrisses an der Oberfläche (gelber Pfeil). REM-Bild.



**Abbildung 19:** Schwingungstreifen (Bsp. roter Pfeil) zwischen den Stufen und Anzeichen von Korrosionsnarben (blaue Pfeile). REM-Bild.

Im Bereich der Restbruchfläche ist ein duktiler Gewaltbruch mit Mikrowaben erkennbar.

An der Innenseite des Rundstabs sind im Bruchbereich grubchenförmige Korrosionsangriffe und krustenartige Ablagerungen auffällig. Mittels EDX konnten darin neben den Legierungselementen Eisen, Chrom, Nickel, Mangan und Silizium auch

kleine Mengen von Schwefel und grössere Mengen von Sauerstoff als legierungsfremde Elemente nachgewiesen werden.

#### 2.11.2.5 Fazit

Die Ergebnisse lassen sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen:

- Die Bruchfläche der Stahlsaite zeigt makroskopisch wie mikroskopisch die typischen Eigenschaften eines Schwingbruchs<sup>3</sup>.
- Mehrere Stufen im Bruchausgangsbereich weisen auf eine mehrfache Rissinitiierung hin.
- Die Bruchfläche befindet sich direkt neben der Pressverbindung zum weiterführenden Rundstab. Im Spalt zwischen Saite und Rundstab fanden Korrosionsangriffe statt und Korrosionsprodukte (Sauerstoff und Schwefel, sichtbar als schwarze Rückstände) haben sich dort abgelagert.
- Die Saite zeigt metallographisch eine kalt verformte Mikrostruktur mit herstellungsbedingten Oberflächendefekten und besteht aus einem nichtrostenden Chromnickel-Stahl.
- Getriebeseitig (bruchseitig) fehlt die rote Kunststoff-Ummantelung am Hüllrohr, wodurch korrosive Medien ins Innere des Bowdenzugs eindringen konnten.

Auf Grund der Ergebnisse kann ausgesagt werden, dass Korrosionsangriffe im Innern des Bowdenzugs zu einer Rissinitiierung mit anschliessendem Schwingungsrisswachstum geführt haben.

#### 2.11.3 Zug- und Druckkräfte beim Ein- und Auskuppeln

Mittels Federwaage am Punkt des Getriebeumschalthebels, an dem auch die Stahlsaite des Bowdenzugs angreift, wurden die Kräfte zum Ein- und Auskuppeln gemessen.

	Kraft zum Einkuppeln	Kraft zum Auskuppeln
Anlage ausser Betrieb	21 N	21 N
Anlage in Betrieb	26 N vorwärts 31 N rückwärts	49 N vorwärts 76 N rückwärts

**Tabelle 1:** Kraftmessung zum Ein- und Auskuppeln.

Der Bowdenzug des Backbordgetriebes wurde ausgebaut und auf Zug und Druck getestet. Der Bowdenzug hat 600 N Druck und 1200 N Zug standgehalten.

#### 2.11.4 Instandhaltung

Gemäss Wartungsprotokoll wurde der Bowdenzug am 18.09.2007 durch die Bodan Werft eingebaut. Jährlich wurde der Service am Motor und Getriebe durchgeführt und dokumentiert. Es waren keine Einträge den Bowdenzug betreffend vorhanden. Es existieren keine Vorgaben, den Bowdenzug zu kontrollieren oder periodisch zu ersetzen.

<sup>3</sup> Bruch unter Lastwechselbeanspruchung, umgangssprachlich auch Ermüdungsbruch.

### **3 Analyse**

#### **3.1 Technische Aspekte**

Die fraktographische Untersuchung hat gezeigt, dass die Stahlsaite aufgrund eines Schwingbruchs versagt hat. Die nachgewiesenen Stufen im Bruchausgangsbereich weisen auf eine mehrfache Rissinitiierung hin. Die Bruchebene verläuft quer durch die Saite, was auf eine Zug-Druck-Schwellbelastung mit möglicherweise überlagerter, einseitiger Biegung hindeutet.

Die mehrfache Rissinitiierung ist auf Korrosionsangriffe zurückzuführen, die in der Nähe der Pressverbindung im Spalt zwischen Saite und Rundstab nachgewiesen wurden. Die Untersuchung der mit dem verstärkten Hüllrohr verbundenen Hülse hat gezeigt, dass durch das Fehlen der roten Kunststoff-Ummantelung getriebe-seitig ein korrosives Medium – mutmasslich Verbrennungsgase – ins Innere eindringen konnte. Die nichtrostenden Chromnickel-Stähle sind jedoch unter speziellen Bedingungen (Spaltbedingungen) nicht korrosionsbeständig.

Die zahlreichen Anrisse und Materialüberlappungen an der ganzen Oberfläche der Saite sind herstellungsbedingte Oberflächendefekte, die bei diesem Material der Stahlsaite nicht unüblich sind. Aufgrund ihrer Kerbwirkung können sie die Rissinitiierung fördern, wenn andere Bedingungen (z.B. Korrosion oder mechanische Belastungen) in kritische Bereiche kommen.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass die Ursache der Rissinitiierung, und dadurch auch die Ursache für das Versagen, hauptsächlich auf eine Korrosionsbelastung, zurückzuführen ist. Mittels Röntgenanalyse konnten die Elemente Schwefel und Sauerstoff, die beim Verbrennungsprozess in Dieselmotoren im Maschinenraum entstehen, nachgewiesen werden. Die im Betrieb geherrschte, dynamische Belastung führte zu einem Risswachstum als Schwingungsriß. Aufgrund des geringen Anteils der Restbruchfläche, müssen die dynamischen Belastungen sehr gering gewesen sein.

Die dynamische Belastung rührt vom bogenförmig beschriebenen Weg des Befestigungspunktes der Stahlsaite des Bowdenzugs am Getriebeumstellhebel sowie der starren Fixation des Bowdenzugs auf dem Getriebeblock her. Eine Überbelastung von Zugkräften kann ausgeschlossen werden; der Bowdenzug war auf Zugkräfte von 1200 N ausgelegt – für das Aus- bzw. Einkuppeln waren max. 76 N erforderlich.

#### **3.2 Organisatorische Aspekte**

Bowdenzüge gelten als ein bewährtes Maschinenteil. Es gab keine Anhaltspunkte für weitergehende Unterhaltsvorgaben. Somit existierten keine Vorgaben, die eine Prüfung des Bowdenzugs bzw. einen periodischen Austausch gefordert hätten.

#### **3.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte**

Die Anfahrt erfolgte infrastrukturbedingt frontal zum Ufer. Fällt im letzten Moment des Anfahrens an die Landungsanlage die Steuerung aus, besteht, vor allem bei buchtartigen Ufern, keine Möglichkeit mehr, das Schiff sicher vom Ufer wegzudrehen. Mit einem kontrollierten Manöver, das darin bestand, den Prellpfahl anzufahren und danach auf das Ufer aufzufahren, gelang es dem Schiffsführer, die kinetische Energie abzubauen.

### **3.4 Menschliche Aspekte**

Der Schiffsführer besass die erforderliche Ausbildung und gute Erfahrung für das Führen des MS Schwyz. Der Bruch der Stahlsaite erfolgte zu einem Zeitpunkt, der die Konzentration des Schiffsführers für das Anlegen an die Landungsanlage erforderte. Es ist nachvollziehbar, dass der Schiffsführer auf diese aussergewöhnliche Situation, die nicht oder nur mittels Simulator trainiert werden könnte, nicht vorbereitet war und deshalb den Fehler nicht lokalisieren und isolieren konnte.

## 4 Schlussfolgerungen

### 4.1 Befunde

#### 4.1.1 Technische Aspekte

- Die Stahlsaite hat aufgrund eines Schwingbruchs versagt, der durch eine Korrosionsbelastung begünstigt wurde.
- Die Korrosionsinitiierung ist auf Emissionen des Verbrennungsprozesses des Dieselmotors im Maschinenraum sowie das Fehlen der roten Kunststoff-Ummantelung getriebeseitig zurückzuführen.
- Die dynamische Belastung, die zum Schwingbruch führte, hat den Ursprung im bogenförmig beschriebenen Weg aufgrund des Befestigungspunktes der Stahlsaite des Bowdenzugs am Getriebeumstellhebel sowie der starren Fixation des Bowdenzugs auf dem Getriebeblock.

#### 4.1.2 Organisatorische Aspekte

Bowdenzüge gelten als ein bewährtes Maschinenteil. Es gab keine Instandhaltungsvorgaben, die das Eintreten eines Bruchs hätten präventiv erkennen lassen und einen solchen damit verhindert hätten.

#### 4.1.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

- Die Anfahrt hatte infrastrukturbedingt frontal zum Ufer zu erfolgen.
- Zum Zeitpunkt des Bruchs der Stahlsaite war ein Wendemanöver nicht mehr möglich.

#### 4.1.4 Menschliche Aspekte

- Der Schiffsführer verfügte über die erforderlichen Kompetenzen für das Führen des MS Schwyz.
- Der Schiffsführer hat mit einem kontrollierten Manöver das Schiff abgebremst.

### 4.2 Ursachen

Die Kollision des MS Schwyz mit der Landungsanlage beim Anlanden ist auf den Bruch der Stahlsaite der Getriebeumschaltung zur Steuerung der Fahrriechtung zurückzuführen, wodurch ein rechtzeitiges Abbremsen verunmöglicht wurde.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Die Emissionen des Verbrennungsprozesses des Dieselmotors im Maschinenraum sowie getriebeseitig das Fehlen der roten Kunststoff-Ummantelung begünstigten eine Korrosionsinitiierung an der Stahlsaite des Bowdenzugs.
- Der bogenförmige Verlauf des Bowdenzugs von der starren Fixation auf dem Getriebeblock zum Getriebeumstellhebel begünstigte einen Schwingbruch durch eine dynamische Belastung der Stahlsaite in der Nähe der Pressverbindung zwischen Saite und Rundstab.
- Der Zeitpunkt kurz vor dem Anlanden, der zusammen mit dem gegen das Ufer frontale Anlegemanöver kein Ausweichen mehr ermöglichte.

## **5 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

### **5.1 Sicherheitsempfehlungen**

keine

### **5.2 Sicherheitshinweise**

Keine

### **5.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Unmittelbar nach dem Ereignis hat die SGZ alle Bowdenzüge durch qualitativ bessere Produkte ersetzt.

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, 13. August 2024

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle