

Beilage H: Gutachten Seilprüfung



Technische Versuchs- &
Forschungsanstalt GmbH

Karlsplatz 19
1040 Wien
Tel: +43 1 58801-43001
Fax: +43 1 58801-43000
office@tvfa.tuwien.ac.at
www.tvfa.tuwien.ac.at

Auftraggeber:

BMVIT - II/BAV/UUB
(Unfalluntersuchungsstelle des Bundes)
Trauzlgasse 1
1210 Wien
Österreich

Ihr Zeichen:	Ihre Nachricht vom:	Auftragsnummer:	Dokument vom:	Seite:
GZ. BMVIT-795.204/0003 – II/BAV/UUB/SCH/2010	01.09.2010	21223-01-01	20.12.2010	1 / 11

Bericht

zur Untersuchung und Befundung eines Sicherungsseiles und der zugehörigen Seilklemme vom Wg 2387 4372 372-4 bzw. von der Entgleisung des Zuges 46676 bei Bahnhof Braz (V) am 16. Juni 2010

Bearbeiter und fachlich
Zeichnungsberechtigter:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Bernhard Hinterndorfer

Geschäftsführung:

Dipl.-Ing. Dr.techn.
Stefan L. Burtscher

Anzahl der Seiten: 11
Anzahl der Beilagen: 16

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Gegenstand der Untersuchung. Ohne schriftliche Genehmigung der TVFA – TU WIEN darf dieses Dokument nicht auszugsweise vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

Bankverbindung: Raiffeisenlandesbank Wien, BLZ 32000, Konto: 6747 13, IBAN: AT383 2 00000000674713, BIC: RLNWATWW UID: ATUG4463529, Firmenbuch NR. FN 317593z, Gerichtsstand Wien

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
2 / 11



1 Gegenstand der Untersuchung und Auftrag

Am 29.06. und 29.07.2010 wurden durch Herrn Erich Landl bzw. vom Auftraggeber an die TVFA – TU WIEN 3 Seile mit Seilklemmen angeliefert. Auf die Beschreibung der Seile wird unter Punkt 2.1 näher eingegangen.

Vom Auftraggeber wurde angegeben, dass es sich beim Seil und der zugehörigen Klemme, welche später mit Probe 1 bezeichnet wurden, um jene Teile handelt, die für das Halten der aufgegangenen Kupplung des Schlauches der Bremsleitung verantwortlich waren. Das Einklemmen einer Kupplung und des Schlauches der Bremsleitung in einer außergewöhnlichen Lage hat letztendlich zum Ausfall der dahinter liegenden Bremsen und zum Zugunglück am 16. Juni 2010 in Braz geführt.

Die TVFA – TU WIEN wurde mit der Untersuchung des Schadensseiles und von Referenzseilen beauftragt. Die Untersuchung der Unfallursache und Beurteilung soll ausschließlich mit dem Ziel erfolgen, um Sicherheitsempfehlungen ausarbeiten zu können, die zur Vermeidung gleichartiger Vorfälle beitragen können.

2 Durchführung der Untersuchung und Ergebnisse

Die Untersuchung wurde im Oktober 2010 durchgeführt.

Die Bilder, auf die im Folgenden verwiesen wird, befinden sich in den Beilagen.

2.1 Angelieferte Teile und Probenkennzeichnung

Folgende Seile und Seilklemmen wurden angeliefert und von uns mit den genannten Probenkennzeichnungen versehen:

Probe 1: (Anlieferung: 29.06.2010)

- ca. 1,0m langes Seilstück (Bild 2), Oberfläche leicht angerostet und verunreinigt. Das Seilstück weist bleibende Verbiegungen auf.
- 1 Seilklemme, passend zum Seil (Bild 3).

Die Teile waren getrennt verpackt. Vom Auftraggeber wurde angegeben, dass es sich beim Seilstück um das aufgefundene Schadensseil handelt. Die Seilklemme dazu wurde ebenfalls aufgefunden und war nach Angaben des Auftraggebers aufgrund der Fundumstände dem Schadensseil zuzuordnen.

Zu dieser Probe (Seil und Seilklemme) wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, dass bei der Aufnahme eines visuellen Befundes und der Fotodokumentation möglichst keine Veränderungen vorgenommen und auch keine zerstörenden Prüfungen durchgeführt werden.

Probe 2: (Anlieferung: 29.07.2010)

Bei dieser Probe handelt es sich um ein Seil gleicher Verwendung wie das Schadensseil. Es wurde mit zwei zugehörigen Seilklemmen angeliefert. Nach eigenen Angaben wurde diese Probe durch Herrn Erich Landl von einem baugleichen Wagen am 23.07.2010 in Bludenz entnommen. Seil und Seilklemmen wurden, wie in Bild 4 zu sehen ist, voneinander gelöst angeliefert. Die Probenkennzeichnung wurde durch uns vorgenommen.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
3 / 11



Das Seilstück ist 0,84m lang und weist vorwiegend in einer Ebene liegende Verbiegungen auf.

Probe 3: (Anlieferung: 29.07.2010)

Bei dieser Probe handelt es sich ebenfalls um ein aus der vergleichbaren Verwendung entnommenes Seil. Es wurde am 19.07.2010 vom Wagen 2387 4372 379-9 durch die ÖBB entnommen und für die Prüfung zur Verfügung gestellt. Besonderheit dieses Seiles ist, dass die zwei vorhandenen Seilklemmen bei Anlieferung noch in original geschlossenem Zustand montiert waren. Zur Demontage vom Wagen war das Seil an einer Stelle durchgeschnitten worden. Bild 5 zeigt die Seilprobe im Anlieferungszustand.

Diese Seilstück und die Seilklemmen waren für die Durchführung von statischen Belastungsversuchen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen vorgesehen.

2.2 Visueller Befund vom Schadensseil

Das Seilstück von Probe 1 – auch als Schadensseil bezeichnet – wurde über die Länge hin visuell untersucht. Schon aus den Bildern 1 und 2 ist zu sehen, dass es nicht nur in einer Ebene bleibend verbogen ist. Die maßgeblichen Beschädigungen des Seiles wurden zumindest beispielhaft fotodokumentiert. Das Bild 6 zeigt Seilstellen mit mehr oder weniger markanten Verformungen. Die Bilder 7 bis 11 zeigen beispielhaft diese Schäden bzw. den Seilzustand.

Maßangaben zu den Lagen der markanten Stellen wurden im Rahmen eines visuellen Befundes aufgenommen und dokumentiert. Da das Seil dabei nicht gestreckt werden sollte, konnten aber nur ungefähre Längenabmessungen erfasst werden.

Das Seilstück weist braunschwarze Oberfläche auf. Die Färbung stammt von Korrosionsprodukten und von für diese Verwendung üblichen Verunreinigungen. Beide Enden des Seilstückes weisen einen thermischen Schnitt auf, sind aber nicht abgedreht.

Festgestellte Seildaten:

Seiltyp:	Rundlitzenseil mit weicher Einlage
Machart:	Kreuzschlag rechtsgängig (sZ)
Seillänge:	ca. 97cm
Seilistdurchmesser:	6,20mm ±0,1mm
Schlaglänge:	ca. 40mm

Zur Feststellung der Einlagenart wurde an einem Seilende über ein kurzes Stück eine Litze aus dem Seilverband gedreht. Es konnte so ein kleiner Teil der bläulich gefärbten Kunststoffeinfärbung sichtbar gemacht werden (Bild 12).

Der Oberflächenzustand des Seiles ist zusammengefasst etwa so zu beschreiben:

Beinahe über den gesamten Seilbereich verteilt liegen Scheuerschäden vor. Die Außendrähthe der Litzen sind in den betreffenden Bereichen mehr oder weniger intensiv von abrasivem Verschleiß betroffen. Mitunter ist mehr als der halbe Querschnitt von Drähthen abgenutzt. An verschiedenen Stellen ist die Abnutzung so weit fortgeschritten, dass die Restquerschnitte der Außendrähthe zu Bruch gingen. Manche Stellen sind hell glänzend und demnach jüngerem bzw. aktuellem Entstehungsdatum zuzurechnen. Andere abgenutzte Oberflächen sind bereits wieder korrodiert

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
4 / 11



und verunreinigt und stammen offensichtlich von einer früheren Einbaulage des Seiles. All diesen Verschleißstellen ist aber gemeinsam, dass sie absolut nicht durch momentane Einwirkung sondern über einen längeren Zeitraum durch kontinuierlichen Verschleiß wegen Berührung zu anderen Teilen der Kraftübertragung entstanden sind.

Neben diesen Verschleißstellen sind auch Biegungen und leichte bzw. eine starke Knickstelle vorhanden.

Die starke Knickstelle stammt von einer Anformung des Seiles an einen nicht allzu kantigen Gegenstand. Die Litzen sind an dieser Stelle verbogen und teilweise leicht verlagert. Die Drahtoberflächen weisen örtlich aber nur geringe Beschädigungen auf.

Im Seil sind mit Ausnahme von zwei Stellen, keine Deformationsschäden vorhanden, bei denen die Außendrähte der Litzen innerhalb der jeweiligen Litze nennenswert verschoben oder verlagert wurden. Die eine Ausnahmestelle ist der in Bild 6 mit Position 10 bezeichnete Bereich. Hier sind örtlich Verdrückungen vorhanden, die an zwei Litzen zu einer leichten Verlagerung von Drähten im Litzenverband geführt haben. Zweite Ausnahme sind einzelne Außendrähte an der Außenseite der Knickstelle bei Position 2 (Bild 8, rechts). Die Drähte wurden an dieser Stelle offensichtlich zu stark gedehnt.

2.3 Interpretation des visuellen Befundes vom Schadensseil

Gemäß visuellem Befund am Schadensseil kann geschlossen werden, dass das Seil in verschiedenen Einbaulagen in Verwendung war und dabei durch Streifen und Scheuern an Konstruktionsteilen und bei Relativbewegungen, wie sie bei Fahrzeugen üblich sind, abgenutzt wurde. Eine Gefährdung durch den eintretenden Bruchkraftverlust war angesichts der geringen erforderlichen Haltekräfte nicht gegeben.

Am Seilstück waren Stellen vorhanden, für die nicht auszuschließen ist, dass sie von früher leicht oder nicht angezogenen Seilklemmen stammen. Verformungsbereiche, die so zu interpretieren wären, dass sie von einer abgezogenen ursprünglich fest sitzenden Seilklemme stammen, waren nicht zu finden.

2.4 Visueller Befund der Seilklemme von Probe 1

Die Seilklemme der Probe 1 ist in Bild 3 aufgenommen. Die Einzelteile der Klemme sind in den Bildern 13 bis 16 zu sehen.

Muttern und Klemmplatten der Seilklemme weisen korrespondierende Druckspuren auf, von denen aber nicht bekannt ist, ob sie von einem früheren Anzug stammen oder für einen nennenswerten Anzug der Seilklemme im aktuellen Fall sprechen.

An den Gewindestiften des Bügels ist durch Färbung eine Mutterstellung erkennbar, die längere Zeit vorgeherrscht haben muss. Beim gemäß Bild 16 unteren Gewindestift lässt sich die Mutter nur mehr bis zu dieser Stellung gewaltfrei aufschrauben und bleibt dann stecken. An der zusammengebauten Klemme mit den Muttern in der beschriebenen Stellung ergibt sich eine lichte Höhe im Seilkanal von etwa 12,2mm bis 12,4mm. Das Maß wurde durch mehrere Wiederholungsmessungen etwa auf diesen Bereich eingegrenzt.

An den Schlüsselflächen der Muttern ist durch glänzende Flächenteile zu erkennen, dass die Muttern in jüngerer Zeit sowohl in Schließ- als auch in Öffnungsrichtung mit Werkzeug (bevorzugt mit Nuss) betätigt wurden.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
5 / 11



2.5 Visueller Befund von Seil und Seilklemmen der Probe 2

Da dieses Seil nur für Ersatzversuche vorgesehen war, wird vorerst kein umfassender visueller Befund angegeben. Im Groben sind das Seilstück und die beiden Seilklemmen durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

Seiltyp:	Rundlitzenseil mit harter Einlage
Machart:	Kreuzschlag rechtsgängig (sZ)
Seillänge:	ca. 84cm
Seilistdurchmesser:	6,10mm \pm 0,1mm
Schlaglänge:	ca. 40mm

Das Seil ist etwas feindrätiger ausgeführt und unterscheidet sich auch durch die Stahleinlage vom Schadensseil. Es sind keine nennenswerten Oberflächenschäden vorhanden. Die Druckstellen der Klemmbügel von Seilklemmen sind zumindest zum Teil sichtbar.

Die beiden Seilklemmen sind an der Klemmplatte mit dem Größenkennzeichen "6" versehen. Die Klemmbügel sind mit \varnothing 4,4mm und M5-Gewinden (S=8mm) etwas schwächer ausgeführt als bei der Klemme von Probe 1. Die Seilklemmen von Probe 2 dürften gemäß äußerem Anschein etwas jüngerer Bauform sein. Im Vergleich zur früheren DIN 1142 (Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen) entsprechen sie einer Mischform zwischen den dort genannten Nenngrößen 5 und 6,5.

2.6 Visueller Befund von Seil und Seilklemmen der Probe 3

Wie schon erwähnt, wurde dieses Seilstück mit den noch montierten Seilklemmen angeliefert. Es war dafür vorgesehen, Zugversuche zur Bestimmung der Rutschkraft durchzuführen.

Wegen des Schnittes bei der Demontage besteht das Seil dieser Probe aus zwei Stücken. Eines davon (3.1) ist ca. 85cm lang. Deutlich außermittig ist das zweite Seilstück (3.2), 290mm lang, mit zwei Seilklemmen am langen Seilstück befestigt. Eine Skizze (Bild 17) gibt die maßlichen Verhältnisse der Probe wieder.

Vom Seil wurden folgende Daten festgestellt:

Seiltyp:	Rundlitzenseil mit harter Einlage
Machart:	Kreuzschlag rechtsgängig (sZ)
Seillänge:	ca. 85cm + 29cm
Seilistdurchmesser:	6,10mm \pm 0,1mm
Schlaglänge:	ca. 38mm

Das Seil ist ebenfalls etwas feindrätiger ausgeführt und unterscheidet sich auch durch die Stahleinlage vom Schadensseil. An den Seilstücken waren zum Zeitpunkt der Befundaufnahme keine nennenswerten Oberflächenschäden vorhanden. Leichte Biegungen von der Verwendung waren sichtbar. Bleibende Druckstellen der noch montierten Klemmbügel waren zu erahnen.

Die beiden Seilklemmen sind an der Klemmplatte mit dem Größenkennzeichen "6" versehen. Sie sind gegenüber den Klemmen vom Schadensseil etwas jüngerer Ausführung. Die Klemmbügel sind mit \varnothing 4,4mm und M5-Gewinden (S=8mm) dem Querschnitt nach etwas schwächer ausgeführt als bei der Seilklemme von Probe 1. Im Vergleich zur früheren DIN 1142 (Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen) ent-

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
6 / 11



sprechen die Seilklemmen von Probe 3 einer Mischform zwischen den Nenngrößen 5 und 6,5.

2.7 Belastungsversuche am Seilstrang von Probe 3

Zur Durchführung von Zugversuchen wurde das längere Seilende vom Seilstück 3.1 zu einem Auge geformt und mit drei Seilklemmen fixiert. Das gegenüberliegende Ende vom Seilstück 3.2 wurde mit einer eigens an das Seil angepassten Klemme fixiert, mit der es möglich war, das kurze Ende sicher zu fassen und die Prüfkraft zentrisch einzuleiten. Die Einspannstellen sind in der Skizze in Bild 17 angedeutet.

Vor der Einspannung des Zugstranges wurden die Seilklemmen 1 und 2 (siehe Bild 17) hinsichtlich ihrer lichten Höhe im Seilkanal und dem Anzugsmoment der Schrauben vermessen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Die lichte Höhe h wurde indirekt über ein Außenmaß h_1 und Abzug der dazwischen liegenden Bauteildicken ($4,4\text{mm} + 4,2\text{mm} = 8,6\text{mm}$) bestimmt.

Das Anzugsmoment wurde mit elektronischem Drehmomentaufnehmer gemessen. Jede Mutter jeder Seilklemme wurde dazu kontrolliert um eine $1/8$ Umdrehung gelockert und wieder in die ursprüngliche Lage gedreht. Das beim Zudrehen auftretende Höchstmoment wurde als Anzugsmoment erfasst. Die in der Tabelle 1 genannten Mittelwerte der Anzugsmomente sollen den Klemmzustand jeweils einer Seilklemme beschreiben.

Tabelle 1: Montagezustand der zwei Seilklemmen

Klemme Nr.	Messhöhe h_1	Lichte Höhe h	Anzugsmomente der Schrauben 1 u. 2		
			M1	M2	MW _{M1-M2}
--	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
1	17,65	9,05	2,85	4,48	3,67
2	17,85	9,25	3,96	1,97	2,97

2.7.1 Zugversuch 1

Der Zugstrang wurde über Ringschrauben und ein Gelenk in eine Zugprüfmaschine eingebaut und langsam und stetig belastet. Kraft und Maschinenweg wurden elektronisch aufgezeichnet. Es stellte sich folgender Ablauf ein:

Bis zu einer Höchstkraft von 6,61kN trat kein merkbares Rutschen ein. Nach dem Erreichen dieser Kraft wurde der Seilstrang 3.1, der jeweils zwischen dem Seil 3.2 und den Klemmplatten der Seilklemmen geklemmt war, bei variierender, tendenziell fallender Kraft langsam ausgezogen. Die Bügel der Seilklemmen verharrten dabei in den ursprünglichen Positionen am Seilstück 3.2. Nach einem Fahrweg der Prüfmaschine von etwa 60mm wurde der Versuch abgebrochen, um nach einem weiteren Zugversuch die Zerstörungen bzw. Deformationen an den Seilen erfassen zu können.

Die Bilder 18 und 19 zeigen den eingespannten Seilstrang. Das Zugkraft-Maschinenweg-Diagramm dieses Versuches ist in Bild 20 zu sehen.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
7 / 11



2.7.2 Zugversuch 2

Nach dem Zugversuch 1 wurde die Seilklemme 1 demontiert und nur mehr die Seilklemme 2, die schon von Haus aus weniger stark angezogen war, am Strang belasten. In dieser Anordnung wurde die Zugkraft von Null aus langsam und stetig gesteigert. Bei einer Höchstzugkraft von nunmehr 1,74kN ist Rutschen ähnlich wie beim Versuch 1 eingetreten. Der Versuch wurde nach einem Maschinenweg von 40mm abgebrochen, um die Verschleißfläche des Versuches 1 von Klemme 1 am Seilstück 3.1, die in dieser Phase die Position der Klemme 2 erreichte, nicht zu zerstören.

Das Bild 21 zeigt das Zugkraft-Maschinenweg-Diagramm dieses Versuches. Obwohl die maximale Zugkraft viel geringer ist als im Versuch 1, wurde die Skalierung gegenüber jener in Bild 20 etwa gleich belassen, um optisch besser vergleichen zu können.

Neben dem ohnehin geringeren Anzug der Seilklemme 2 ist bei der Beurteilung der Ergebnisse vom Zugversuch 2 zu beachten, dass durch den Zugversuch 1 an der Pressstelle zwischen den Seilen und insbesondere an der am Seilstück 3.2 immer gleichbleibenden Stelle erwartungsgemäß schon eine erhebliche Verformung und Freistellung realisiert wurde.

2.7.3 Visueller Befund einer Seilklemme nach dem Zugversuch 1

Nach dem Zugversuch 1 wurde die Seilklemme 1, die in angezogenem Zustand einen Rutschweg (zwischen Seilstück 3.1 und Klemmplatte) von etwa 5cm erlitten hat, demontiert und die Einzelteile visuell untersucht. Besonders von Bedeutung sind die Verformungsspuren, die das Seil im Seilkanal der Klemmplatte und im Klemmbereich des Bügels hinterlassen hat. Es sind mit der Ausrichtung der Drähte eines Kreuzschlagseiles korrespondierende Rillen in Längsrichtung des Seilkanals. Zum Bügel der Klemme ist zu bemerken, dass die Druckspuren auch schon ohne nennenswerte Relativbewegung hervorgerufen wurden.

Die Bilder 22 bis 24 zeigen die Klemmenteile und insbesondere die betroffenen Klemmflächen.

2.7.4 Visueller Befund von den Klemmstellen an den Seilstücken

Bei den Zugversuchen ist erwartungsgemäß das Seilstück 3.1, geklemmt zwischen jeweils einer Klemmplatte der Seilklemme und einem kurzen Oberflächenabschnitt vom Seilstück 3.2, ausgezogen worden. Demnach waren an diesem Seilstück nur Schäden mit Längserstreckung zu erwarten. Anders liegen die Verhältnisse beim Seilstück 3.2, bei dem die Positionen der Klemmstellen (Bügel von Klemme 1 und Klemme 2) im Wesentlichen über die gesamten Versuche hinweg gleich blieben. Beim Seilstück 3.2 waren daher in den Berührungsbereichen zwischen Seil und Seil die größeren örtlichen Schäden zu erwarten.

Am Seilstück 3.1 wurden folgende Rutschzonen unterschieden und dokumentiert:

Zone I – Berührungsbereich zur Klemmplatte von Klemme 2:

Das Seil hat in dieser Zone keine visuell erkennbaren Schäden erlitten.

Zone II – Berührungsbereich Seil / Seil bei der Klemme 2 (Bild 25):

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
8 / 11



Die Litzen wurden in diesem Bereich stark verquetscht, sodass Außendrähte verschoben und Innendrahtlagen sichtbar wurden. Die Deformation nimmt mit Fortdauer des Verschiebeweges ab. Die Zone verläuft mit Rechtsdrehung auf der Seiloberfläche (ca. 1/8 Umdrehung pro Schlaglänge). Drahtbrüche sind in diesem Bereich nicht aufgetreten. Die Länge der Verformungszone setzt sich zusammen aus den Abzugslängen des ersten und zweiten Zugversuches.

Zone III – Berührungsbereich zur Klemmplatte von Klemme 1 (Bild 26):

Das Seil hat in dieser Zone keine visuell deutlich erkennbaren Schäden erlitten.

Zone IV – Berührungsbereich Seil / Seil bei der Klemme 1 (Bild 27):

Die Schäden in dieser Zone sind vergleichbar mit jenen der Zone II. Da die Klemme früher abgenommen wurde ist der Schadensbereich kürzer. Die Drehung der Verformungszone je Länge ist etwas stärker als in der Zone II.

Am Seilstück 3.2 (Bild 28) wurden folgende Rutschzonen unterschieden bzw. dokumentiert:

Zone V – Berührungsbereich Seil / Seil bei der Klemme 2:

Diese Stelle ist von massiver örtlicher Seildeformation betroffen (Bild 29). Drahtbrüche sind nicht aufgetreten.

Zone VI – Berührungsbereich zum Klemmbügel von Klemme 2:

Der Abdruck des Klemmbügels ist zu erkennen. Das Seil zeigt aufgrund der Gesamtverformung an dieser Stelle einen Knick (Bild 30)

Zone VII – Berührungsbereich Seil / Seil bei der Klemme 1:

Die Schäden sind vergleichbar mit jenen der Zone V (Bild 31).

Zone VIII – Berührungsbereich zum Klemmbügel von Klemme 1:

Die Schäden sind vergleichbar mit jenen der Zone VI (Bild 32).

2.7.5 Verwendete Messmittel und Geräte

Zugprüfmaschine LOSENHAUSEN mit Druckaufnehmer HBM, 50kN, M-HY.02

A/D Wandler + DMS Messbrückenverstärker DEWETRON, M-EE.132
(DEWEBook-8 + DAQP-BRIDGE-A-Module)

Datenerfassungs-Software DASyLab 11.00.00, National Instruments

Kalibrator BLH 625, M-EE.06

Torsionsaufnehmer TVFA, M-TO.07

Messverstärker HBM KWS 3050, M-EE.08

Messschieber M-LM.73, Seilmessschieber M-LM.45

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
9 / 11



3 Beurteilung

3.1 Allgemeine Angaben

In der folgenden Beurteilung wird zwar grundsätzlich vorausgesetzt, dass es sich bei den übergebenen Teilen der Probe 1 um das Schadensseil und um die Seilklemme handelt, mit der das Seil an den Enden Verbunden war. Die folgenden Aussagen und die gezogenen Schlüsse treffen im Wesentlichen aber auch zu, wenn nur das Schadensseil in seiner Herkunft gesichert war und hinsichtlich der Zuordnung der aufgefundenen Seilklemme keine vollkommene Sicherheit gegeben ist.

Die Referenzuntersuchungen im Zugversuch wurden an einem Seil mit Seilklemmen durchgeführt, die aus vergleichbarer Verwendung stammen aber hinsichtlich Aufbau und Bauform leichte Unterschiede aufwiesen. Die Nenndurchmesser der Teile waren gleich. Die Unterschiede werden von uns so gesehen, dass sie zwar einen kleinen Einfluss auf die Versuchsergebnisse hatten aber keinen Einfluss auf die grundsätzlichen Erkenntnisse haben, die wir aus den Versuchsergebnissen ableiteten. Beim Seil bestand der Unterschied darin, dass das Referenzseil etwas feindrätiger und mit harter Einlage ausgeführt war. Die Seilklemmen vom Referenzseil waren der Bauform nach jünger und den Querschnitten nach etwas schwächer ausgeführt als die zum Schadensseil gehörende Klemme. Die Form der Klemmplatte (Backenzahn) wies ebenfalls Unterschiede auf. Werkstoffuntersuchungen wurden an den Teilen (Seile und Klemmen) bis jetzt noch nicht durchgeführt.

Die Klärung der Schadensursache wurde so weit betrieben, als dies zur Angabe von Sicherheitsempfehlungen erforderlich war, die zur Vermeidung von Vorfällen, dass sich ein derartiges Sicherungsseil lösen kann, beitragen.

3.2 Beurteilung der Belastungsverhältnisse

Die Belastung des Seiles im Einsatz ist denkbar gering. Nimmt man an, dass die Schlinge das Schlauchgewicht und eventuell das Gewicht einer Person, die in die Schlinge tritt, tragen muss (in Summe 120kg bis 150kg), so muss ein Seilstrang der Zugkraft von etwa 0,71kN standhalten. Gleich groß ist – abgesehen von Sicherheitszuschlägen - die erforderlich Tragkraft der Seilverbindung anzunehmen.

Der durchgeführte Zugversuch am Referenzseil (Probe 3) hat auch bei nur mehr einer Klemme, die eher schwach angezogen war und einer Vorschädigung durch einen davor stattfindenden Versuch ausgesetzt war, eine Höchstzugkraft von 1,74kN ergeben. Mit Bezug auf den angenommenen Lastfall würde daraus eine Sicherheit $S = 2,45$ gegen Rutschen der Seilenden folgen.

3.3 Schadensursache

Die durchgeführten Messungen und Untersuchungen ergaben folgende Erklärung für den Ausfall der Tragschlinge für den Bremsschlauch:

Am Schadensseil sind keine Stellen mit Deformationsschäden vorhanden, wie sie beim gewaltsamen Öffnen einer Seilschlinge entstehen müssten, wenn die zur Herstellung der Schlinge verwendeten Seilklemmen fachgerecht angezogen wurden. Es fehlen insbesondere die Schäden, die an der Druckfläche zwischen Seil und Seil lokal auftreten, wenn das zwischen dem einen Seilende und der Klemmplatte liegende zweite Seilende ausgezogen wird. Im Seilkanal der Klemmplatte von der Seilklemme fehlen ebenfalls die Verformungsspuren eines ausgezogenen Kreuz-

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
10 / 11



schlagseiles. Daraus ist zu schließen, dass beim Schadensseil keine ordnungsgemäß angezogene einzelne Seilklemme montiert war und natürlich die Seilenden auch nicht mit zwei angezogenen Seilklemmen fixiert waren.

Vermutlich waren die Seilenden nur in die lose Seilklemme gesteckt oder diese nur sehr gering angezogen. Länger vorherrschende Mutterpositionen an der Seilklemme vom Schadensseil, die mit einer lichten Höhe im Seilkanal von bis zu etwa 12,4mm übereinstimmen, zeigen, dass die Seilenden mit circa $2 \times \varnothing 6,2\text{mm}$ in dieser Höhe schon bei geringer oder keiner Vorspannung der Klemme ausreichend Platz fanden.

Vermutet wird von uns folgender Montagezustand: Die einzelne Seilklemme wurde mit den Fingern zusammengedrückt und die Muttern ebenfalls nur mit den Fingern ohne Hilfswerkzeug bis zum Anstehen gedreht. Aufgrund der Zwangsform und der Reibungsverhältnisse war das Seil in der Lage, das Schlauchgewicht (geschätzt 10kg) temporär zu halten. Rüttelbewegung des Fahrzeuges haben schließlich zu einer Verlagerung der Seilenden in der Klemme und letztendlich zum lösen der Tragschlinge geführt, mit den bekannten Folgen.

3.4 Maßnahmen zur Vermeidung des Versagens der Tragschlinge

Da das Versagen der Tragschlinge, zu der das Sicherungsseil geformt wurde, im aktuellen Fall nicht eingetreten wäre, wenn zwei fachmännisch montierte Seilklemmen vorhanden gewesen wären, können sich die notwendigen Maßnahmen darauf beschränken, diese fachmännische Montage mit höherer Sicherheit zu gewährleisten. Wir schlagen Folgendes vor:

- Stark beschädigte Sicherungsseile – z. B. mit durchgescheuerten Litzen an den Biegestellen und ähnlich starken Korrosionsschäden – müssen getauscht werden, auch wenn der Restquerschnitt die Gewichtskräfte noch sicher tragen könnte.
- Bei Kontrollgängen nach Revisionsarbeiten kann durch einen einfachen Belastungsversuch (Tritt auf die Tragplatte der Kupplung) grob überprüft werden, ob die Seilklemmen überhaupt angezogen sind. Die Schlinge muss jedenfalls im Stande sein das Gewicht einer Person + das Schlauchgewicht einwandfrei zu tragen. Die Belastung ist natürlich so vorzunehmen, dass Verletzungen im Versagensfall ausgeschlossen werden können.
- Bei erneuter Montage von gebrauchten Seilklemmen im Zuge einer Revision ist sicherzustellen, dass die Muttern an den Gewindestiften des Bügels noch ausreichende Gängigkeit besitzen. Ein frühzeitiges Anstehen an einem deformierten Gewindeteil muss ausgeschlossen werden. Auch Seilklemmen mit schwer gängigen Muttern sind sofort auszuschneiden.
- Jede der beiden Muttern beider Seilklemmen soll mit einem Drehmoment von etwa 3Nm angezogen werden. Dabei ist ganz besonders darauf zu achten, dass der Anzug in Schritten und abwechselnd zwischen den Gewindestiften einer Klemme erfolgt, sodass der Bügel gleichmäßig eingezogen wird. Eine exakte Messung des Drehmomentes ist nicht erforderlich, wenn der Verformungszustand des Seiles im Klemmbereich gut kontrolliert werden kann. Durch Messung eines Kontrollmaßes, welches die lichte Höhe im Seilkanal im Vergleich zu einer mit richtigem Drehmoment angezogenen Seilklemme wiedergibt, kann die Bewertung vorgenommen werden. Zu beachten ist, dass

Auftragsnummer:
21223-01-01

Seite:
11 / 11



- dieses Maß vom Seiltyp abhängen kann, auch wenn die Nenndurchmesser der Seile jeweils gleich 6mm betragen.
- Jede Tragschlinge soll immer mit zwei Seilklemmen geschlossen werden, auch wenn das aufgrund der geforderten Tragkraft nicht notwendig wäre. Auf diese Weise können die Qualitätsanforderungen an die einzelne Seilklemme gering gehalten werden.
 - Seilklemmen, bei denen der Einsatz von Bundmuttern vorgesehen ist (Drahtseilklemmen nach DIN 1142, oder Drahtseilklemme-1 nach EN13411-5) sollen auch mit solchen verwendet werden, da die Bohrungen in der Klemmplatte dies mitunter erfordern. Ist der Tausch nicht in allen Fällen zu bewerkstelligen, so muss der Kontrolle des Verformungszustandes des Seiles an der jeweiligen Seilklemme besonderes Augenmerk geschenkt werden. Die Ersatzweise Verwendung von Muttern mit passenden Scheiben wäre möglich. Die Handhabung dieser mehrteiligen Form vor Ort spricht aber eher gegen eine solche Lösung.

Angesichts der geringen Kräfte, die die Tragschlinge aufnehmen muss, ist es nicht erforderlich, die derzeit verwendeten, offensichtlich unterschiedlichen Drahtseilklemmen der Nenngroße 6 auf eine bestimmte Bauform einzugrenzen. Für die Anforderungen des aktuellen Anwendungsfalles ist es relativ unerheblich ob Klemmen mit M5- oder M6-Gewinden verwendet werden, wenn diese nur richtig angezogen werden und funktionstüchtig sind. Für die vereinfachte Handhabung der Seilklemmen in Zukunft könnte allerdings der sukzessive Tausch auf eine einheitliche Bauform (etwa Drahtseilklemme-1, Nenngroße 6,5 gemäß EN 13411-5, Anhang A, oder ein ähnlicher Drahtseilklemmentyp) schon sinnvoll erscheinen. Die Nenngroße 6 wird in den genannten Normen nicht aufgeführt.

*** Textende ***

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
1



Bild 1: (P6170012 Bf Dallaas Seil.JPG, BMVIT) Bild des Auftraggebers vom Schadensseil am Fundort.



Bild 2: (DSCN5564.JPG) An die TVFA – TU WIEN angeliefertes und als Schadensseil bezeichnetes Seilstück. Das Seil ist gemäß äußerer Form mit jenem von Bild 1 identisch. Die Biegungen stimmen überein. Die Drehlage des Seiles in dieser Aufnahme ist gegenüber der in Bild 1 etwas verändert.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
2



Bild 3: (DSCN5398.JPG) Seilklemme vom Schadensseil.



Bild 4: (DSCN5461.JPG) Seil und Seilklemmen der Probe 2

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
3



Bild 5: (DSCN5440.JPG) Seil und Seilklemmen der Probe 3

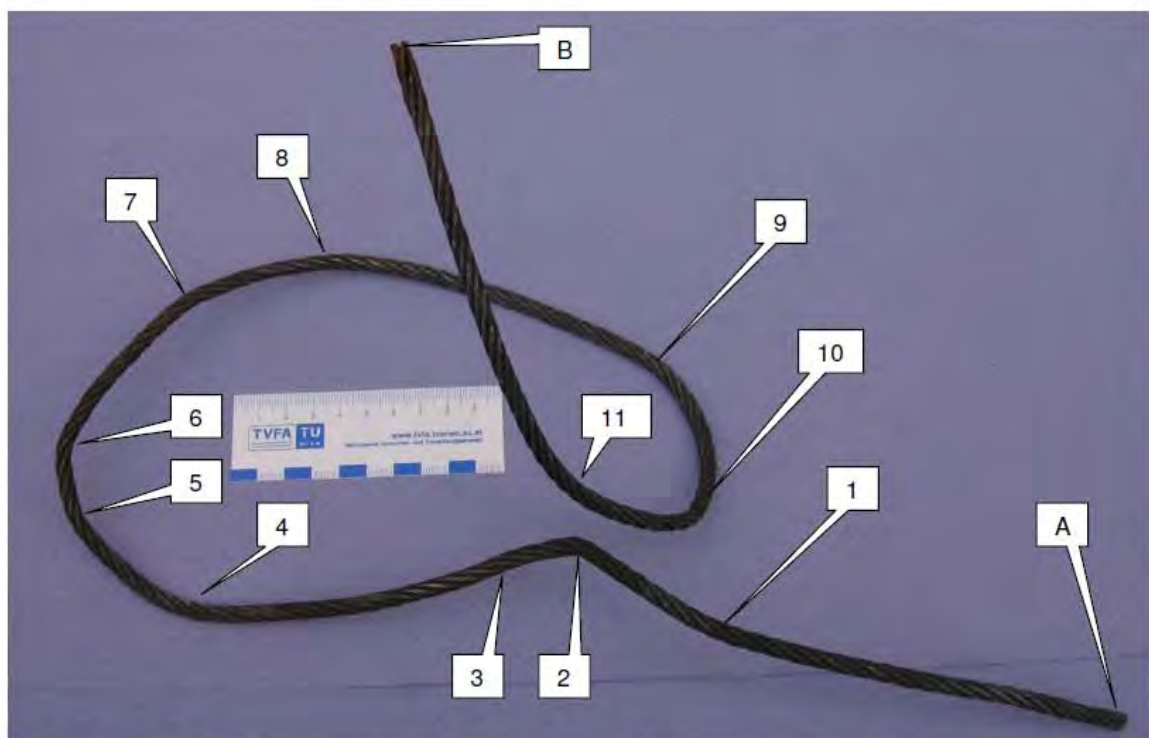


Bild 6: (DSCN5368.JPG) Schadensseil mit der Kennzeichnung markanter Stellen. A, B...Seilenden, 1...gleichmäßige Biegung, 2...starke Knickstelle, 3...zugehörige, kaum merkbare Knickstelle, 4...Biegestelle, 5 und 6...zusammengehörige leichte Knickstellen, 7 bis 9...relativ gleichmäßige Biegezone, 9...leichte Knickstelle, 10... Biegung mit Seildeformation, 11...leichte Knickstelle.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
4



Bild 7: (DSCN5566.JPG) Knickstelle des Seiles (Bild 6, Position 2)



Bild 8: (DSCN5567/69.JPG) Seiloberfläche an der Innenseite (links) und Außenseite (rechts) der Knickstelle (Pos. 2)



Bild 9: (DSCN5574.JPG) Verschleißstelle auf der Krümmunginnenseite von Position 6 in Bild 6. Drei bis vier Drähte einer Litze sind vollständig durchgeschuert. Daneben liegende Drähte bzw. Litzen weisen den für dieses Seilstück typischen Verschleiß auf.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
5

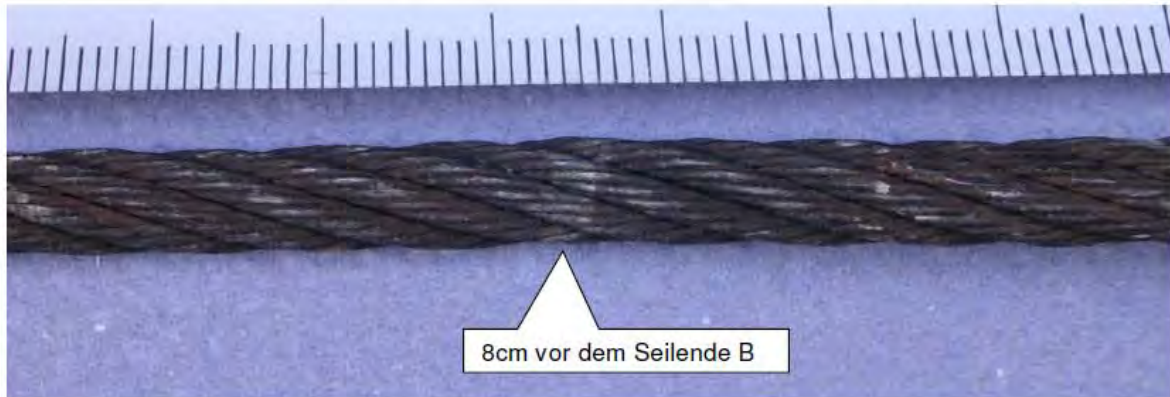


Bild 10: (DSCN5576.JPG) Etwas heller gefärbter Bereich in der Nähe vom Seilende B. Das abweichende Aussehen geht etwa über den halben Umfang und könnte vom Bügel einer Seilklemme stammen, die jedenfalls nicht besonders fest angezogen war, da an dieser Stelle nur sehr geringe Druckspuren mit Lupe (6x) gefunden wurden.



Bild 11: (DSCN5576.JPG) Seilbereich um Position 7 (Bild 6). Am Seil befindet sich angelagertes Fremdmaterial. Im rechten Teil des Bildes sind Verschleißflächen sichtbar, die eindeutig von einer früheren Verwendung bzw. der anderen Einbaulage des Seiles stammen. Die abgenutzten Drahtoberflächen sind zwischenzeitlich wieder verunreinigt und korrodiert.



Bild 12: (DSCN5397.JPG) Freigelegtes Einlagenstück (bläulicher Teil) vom Schadensseil. Die herausgedrehte Litze wurde danach wieder in den Seilverband zurückgelegt.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
6



Bild 13: (DSCN5584.JPG) Probe 1, Seilklemme, Klemmplatte der Seilklemme mit Blick in den Seilkanal. Die Kennzeichnung Größe 6 ist links sichtbar.



Bild 14: (DSCN5407.JPG) Probe 1, Seilklemme, Rückseite von der Klemmplatte. Druckspuren der Muttern sind zum Teil sichtbar.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
7



Bild 15: (DSCN5585 / 86.JPG) Probe 1, Seilklemme, 2 Muttern vom Klemmbügel, M6, S=10mm. Im oberen Bild sind die Mutterseiten sichtbar, welche als Druckflächen verwendet waren. Im unteren Bild sind die gegenüberliegenden Seiten aufgenommen.



Bild 16: (DSCN5590.JPG) Probe 1, Seilklemme, Klemmbügel, Gewinde M6, Bügelquerschnitt $\varnothing 5,2\text{mm}$

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
8

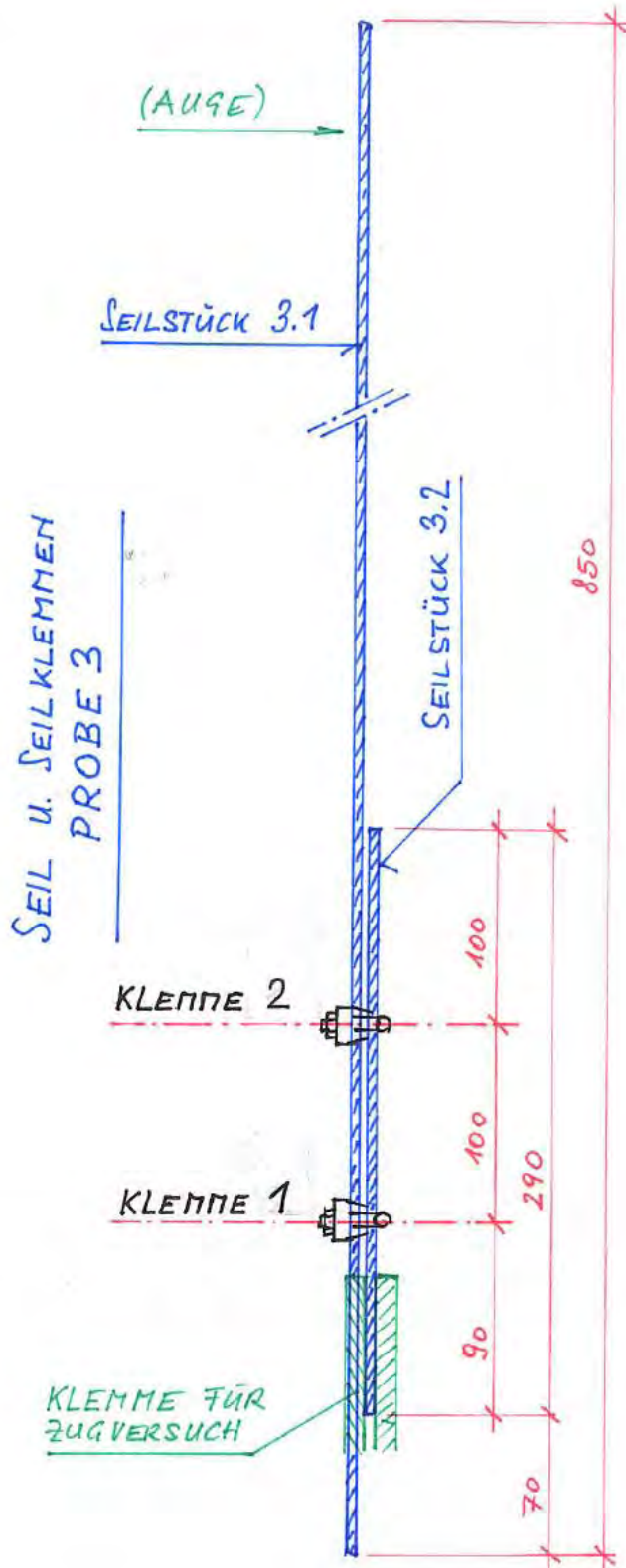


Bild 17:
Skizze zu den Abmessungen von Seil und Seilklemmen der Probe 3

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
9

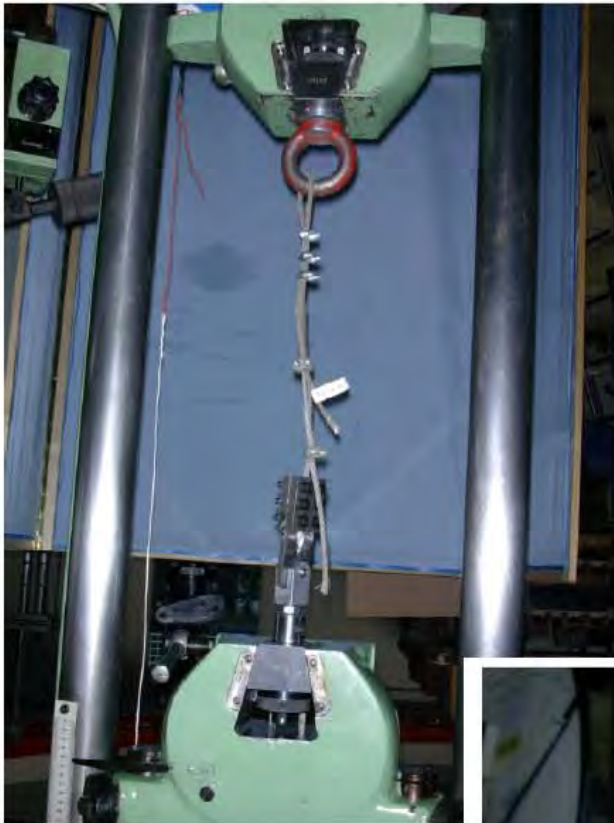


Bild 18: (DSCN5471gedr.JPG)
Seil Probe 3, eingebaut in die Zugprüfmaschine, loser Zustand.

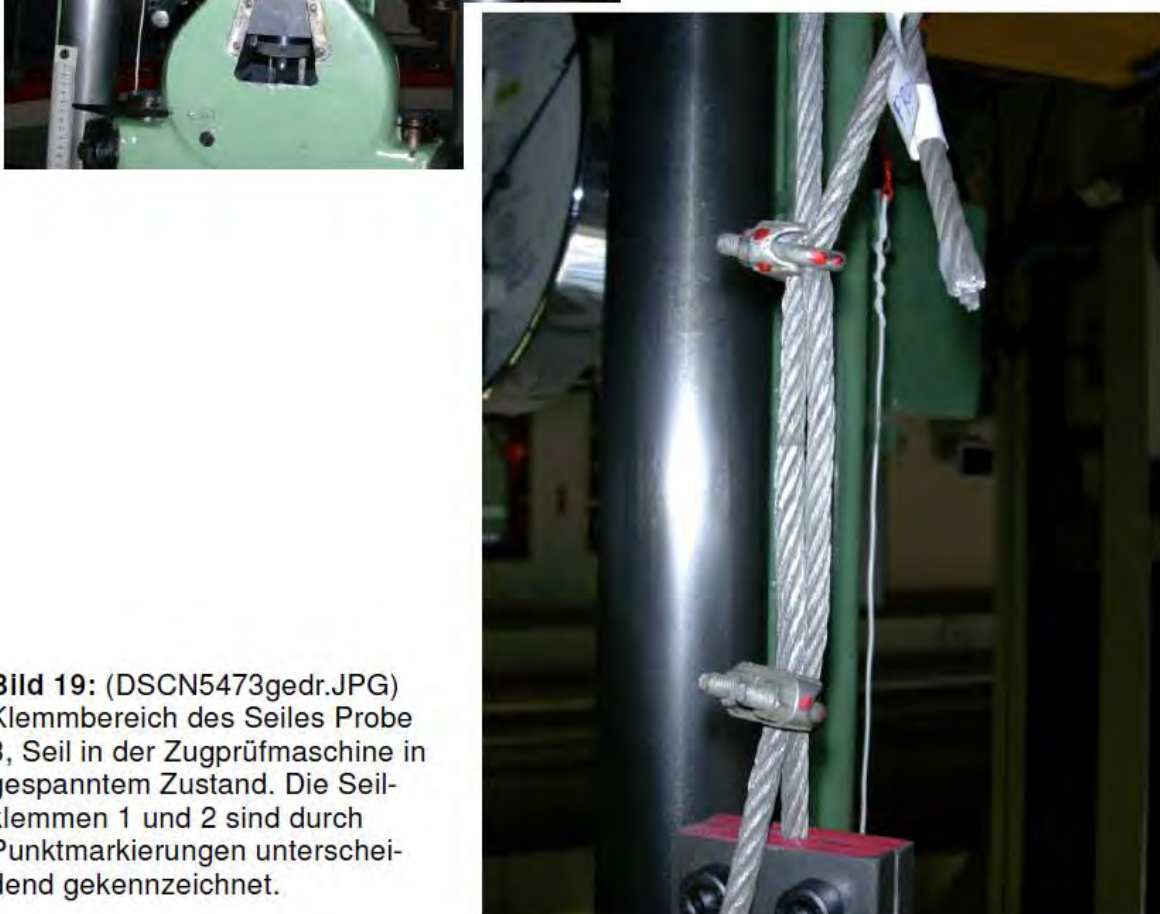


Bild 19: (DSCN5473gedr.JPG)
Klemmbereich des Seiles Probe 3, Seil in der Zugprüfmaschine in gespanntem Zustand. Die Seilklemmen 1 und 2 sind durch Punktmarkierungen unterscheidend gekennzeichnet.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
10

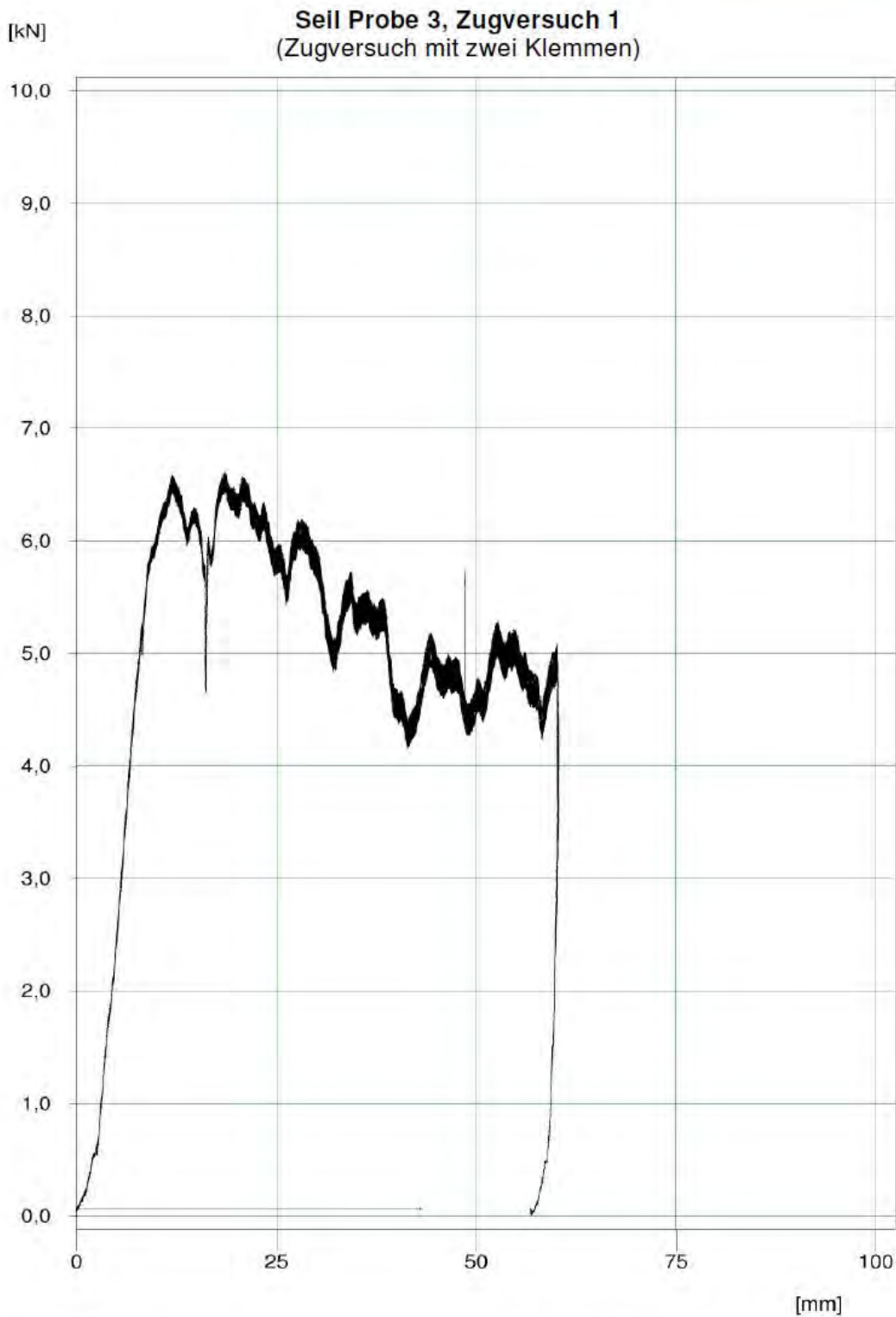


Bild 20: (21223 Seil 3 Versuch 01.jpeg) Kraft-Maschinenweg-Diagramm vom ersten Zugversuch am Seilstrang von Probe 3 mit zwei original montierten Klemmen.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
11

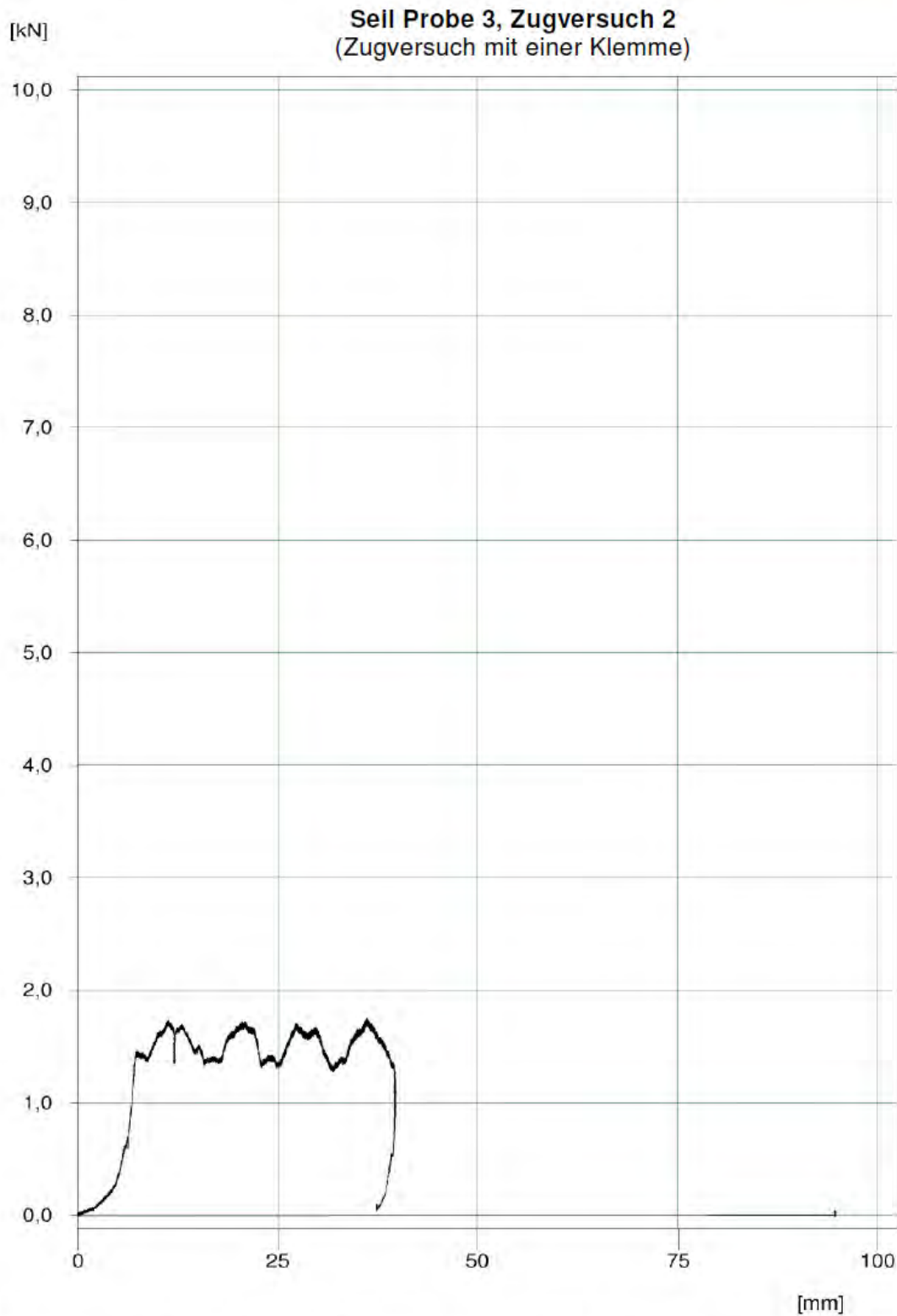


Bild 21: (21223 Seil 3 Versuch 02.jpeg) Kraft-Maschinenweg-Diagramm vom zweiten Zugversuch am Seilstrang von Probe 3 mit einer Seilklemmen (Klemme 2).

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
12



Bild 22: (DSCN5513.JPG) Seilklemme 1 von Probe 3, aufgenommen in zerlegtem Zustand nach dem Zugversuch.



Bild 23: (DSCN5514.JPG) Seilkanal an der Klemmplatte der Seilklemme 1. Die Rillen in Längsrichtung stammen von den Verformungen, welche das durchgezogene Seilstück beim Zugversuch 1 hinterlassen hat.

Bild 24: (DSCN5516.JPG) Seilklemme 1, Abdruck der Seiloberfläche im Klemmbereich des Bügels.



Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
13

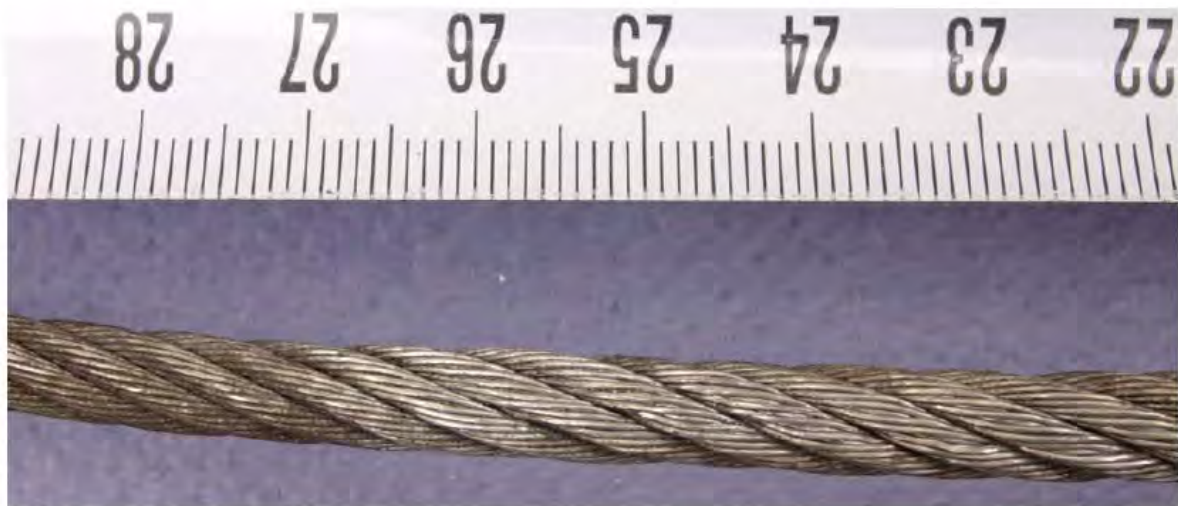


Bild 25: (DSCN5538.JPG) Seilstück 3.1, Zone II (Berührungsbereich Seil / Seil). Die Seilklemme 2 befand sich zu Versuchsbeginn bei etwa 26cm und wurde nach rechts abgezogen. Die Litzen sind verquetscht und die Außendrähte auseinandergedrückt.



Bild 26: (DSCN5539.JPG) Seilstück 3.1, Zone III (Klemmplatte / Seil). Die Seilklemme 1 befand sich bei etwa 16cm und wurde nach rechts (aus dem Bild) abgezogen. An der Klemmstelle sind kaum Schäden erkennbar.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
14



Bild 27: (DSCN5546.JPG) Seilstück 3.1, Zone IV (Berührungsbereich Seil / Seil). Die Seilklemme 1 befand sich zu Versuchsbeginn bei etwa 16cm und wurde nach rechts abgezogen. Die Litzen sind verquetscht und die Außendrähte auseinandergedrückt.



Bild 28: (DSCN5529.JPG) Seilstück 3.2, Überblick. Am linken Ende war die Klemme zur Kräfteinleitung durch die Zugprüfmaschine befestigt. Bei etwa 9cm befand sich die Seilklemme 1 mit den Verschleißzonen VII (Seil / Seil) und VIII (Bügel / Seil). Bei etwa 19cm befand sich die Seilklemme 2 mit den Verschleißzonen V (Seil / Seil) und VI (Bügel / Seil).

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
15

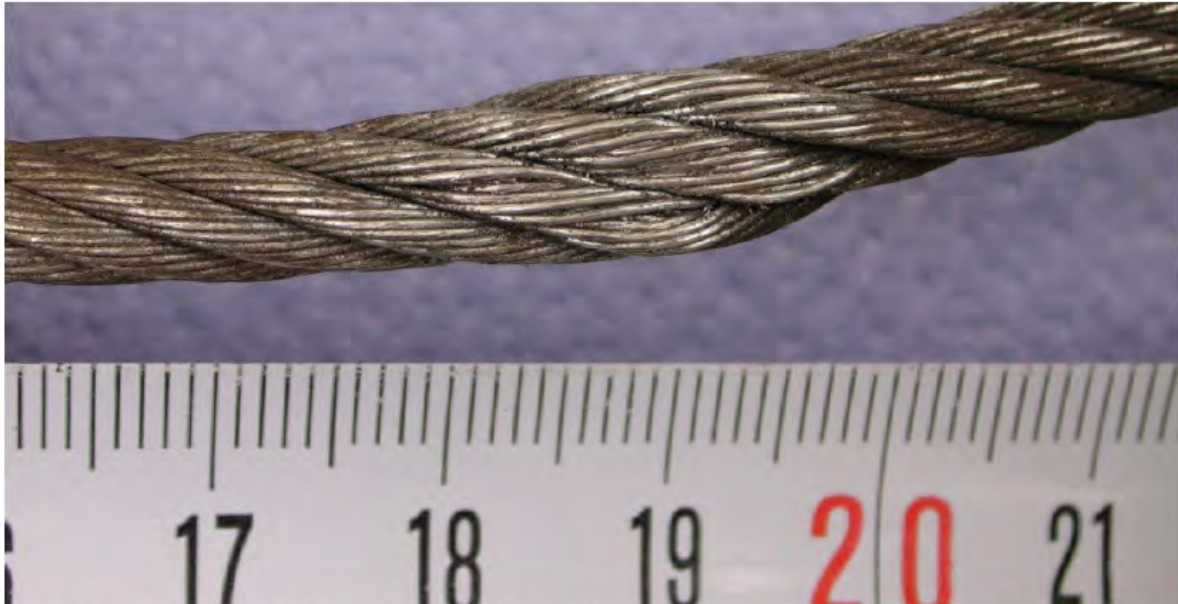


Bild 29: (DSCN5536.JPG) Seilstück 3.2, Zone V (Berührungsbereich Seil / Seil). Die Seilklemme 2 befand sich bei etwa 19cm. Die Litzen sind örtlich stark verquetscht und die Außendrähte auseinandergedrückt.

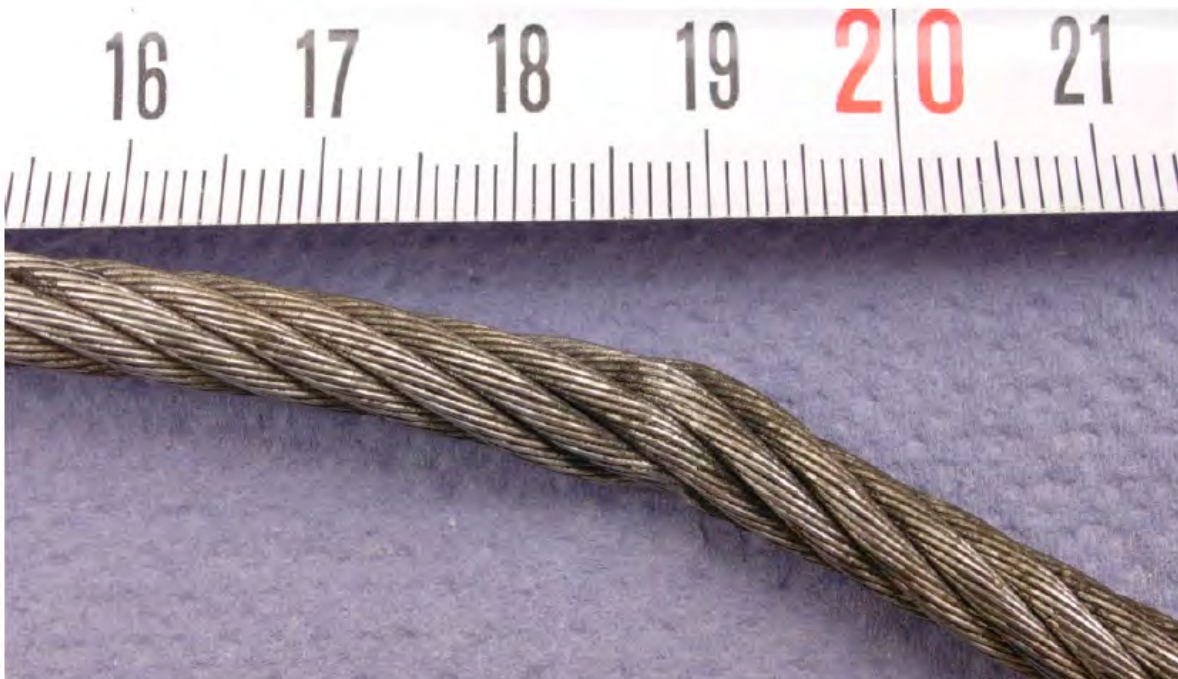


Bild 30: (DSCN5533.JPG) Seilstück 3.2, Zone VI (Berührungsbereich Klemmbügel / Seil). Die Seilklemme 2 befand sich bei etwa 19cm. Der Abdruck des Klemmbügels führte zu einer Knickstelle im Seil.

Auftragsnummer:
21223-01-01

Beilage:
16



Bild 31: (DSCN5535.JPG) Seilstück 3.2, Zone VII (Berührungsbereich Seil / Seil). Die Seilklemme 1 befand sich bei etwa 9cm. Die Litzen sind örtlich stark verquetscht und die Außendrähte auseinandergedrückt.



Bild 32: (DSCN5532.JPG) Seilstück 3.2, Zone VIII (Berührungsbereich Klemmbügel / Seil). Die Seilklemme 1 befand sich bei etwa 9cm. Der Abdruck des Klemmbügels führte zu einer Knickstelle im Seil.