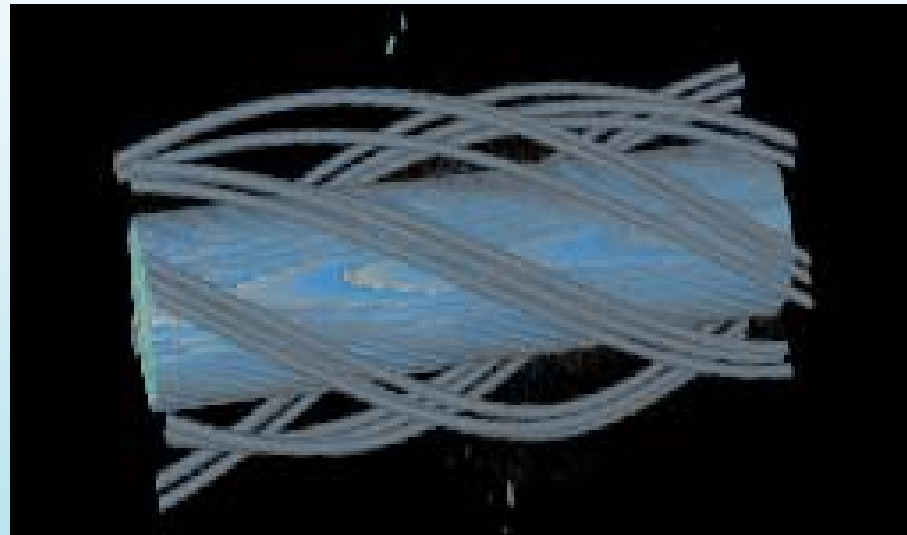


Fehleranalysen an Lichtwellenleiterkabeln



Innere Strukturen eines Lichtwellenleiterkabels das in einer besonders rauhen Umgebung eingesetzt wurde mittels Microfocus-Computertomographie sichtbar gemacht

Fallbeispiel

Mechanisch und umweltbeanspruchtes LWL-Kabel aus Einmodenfasern

z.Bsp.

- Schwimmbfähige Seekabel
- Stollen- und Rohrlochkabel
- Seilbahnen- und Luftpaket
- Feldkabel
- Roboter- und Steuerkabel
- Kabel für Windenergieanlagen
- Kabel, die in besonders rauher Umgebung eingesetzt werden

Zerstörungsfreie Fehleranalyse

Mit diesen Untersuchungen sollen von Außen nicht sichtbare Fehler und Fehlerursachen nachgewiesen werden

Beispiel: Faseroptische Eigenschaftsänderungen

- Dämpfungssprünge
- Inhomogenitäten der Faser
- Änderungen der Dämpfung
- Änderung der Polarisationsmodendispersion

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

Fehlerbeschreibung:

An einer, sich seit ca. 13 Jahren in Betrieb befindlichen LWL-Betriebslänge wurden mehrere Dämpfungsänderungen festgestellt.

Zur Fehleranalyse wurde ein etwa 2 km langer Kabelabschnitt ausgebaut und Fibre Optics CT zur Beurteilung der Güte des Kabels beigestellt

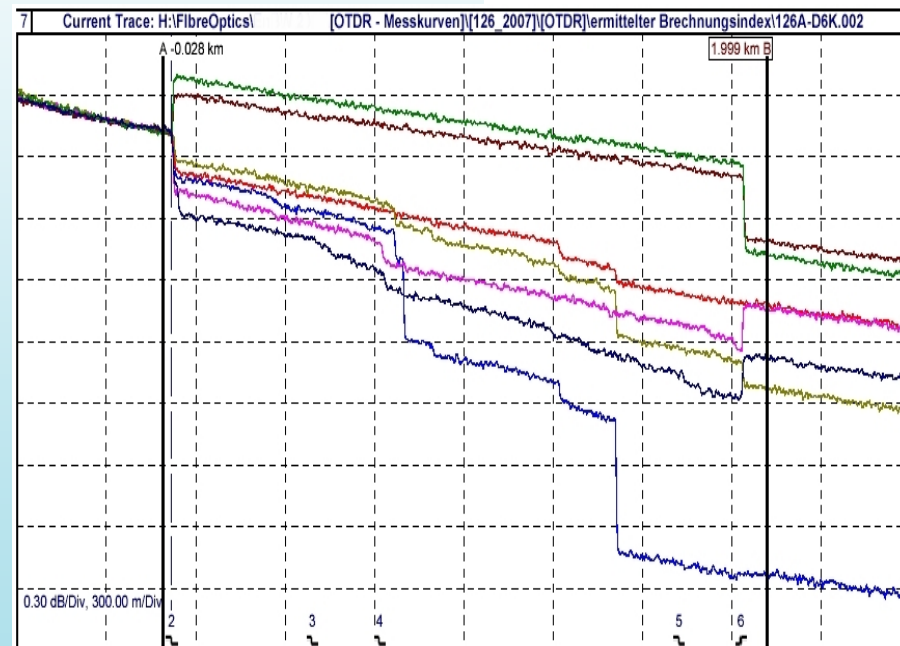
Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH

Die ersten Untersuchungen erfolgten an dem ausgebauten Kabelabschnitt mit der Rückstreumethode im Wellenlängenbereich 1625 nm

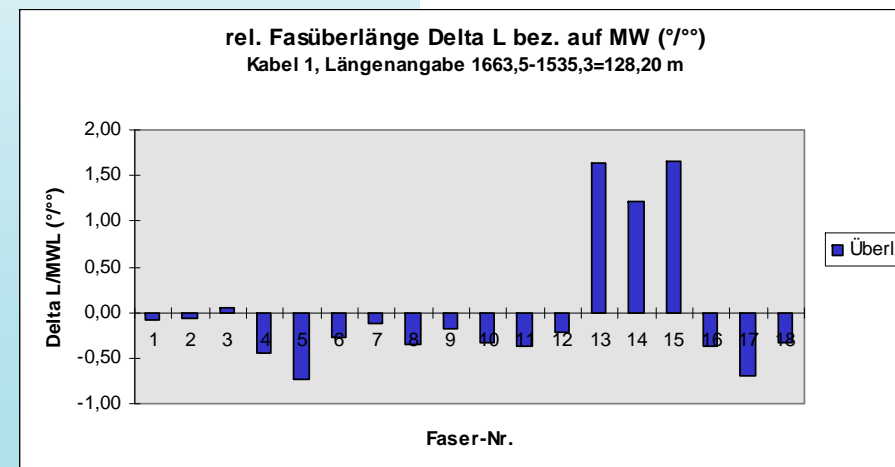
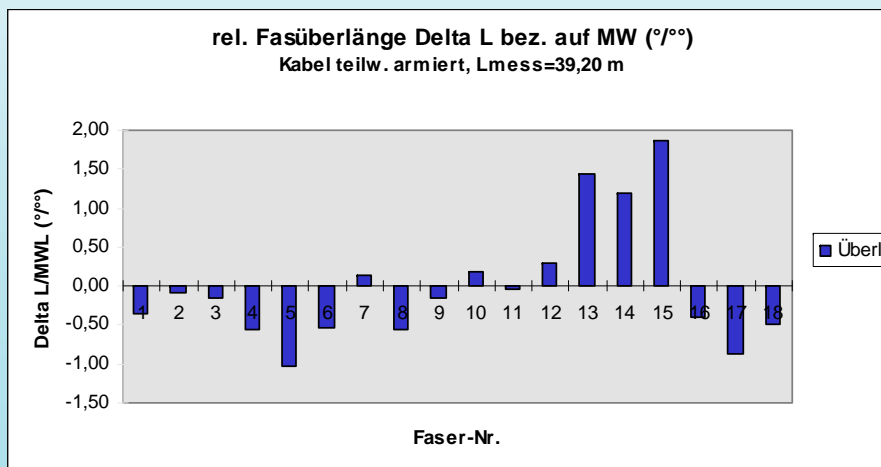
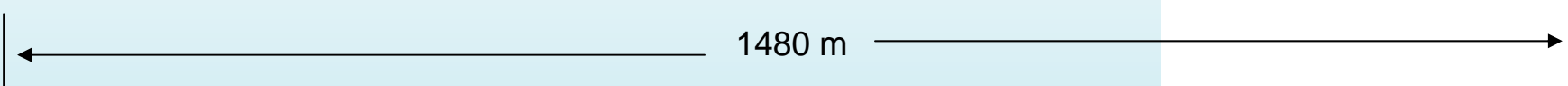
Die Meßergebnisse wurden mit PC-Software bewertet und das Kabel anschließend nach Dämpfungssprüngen und Inhomogenitäten in 15 Teilabschnitte aufgeteilt.



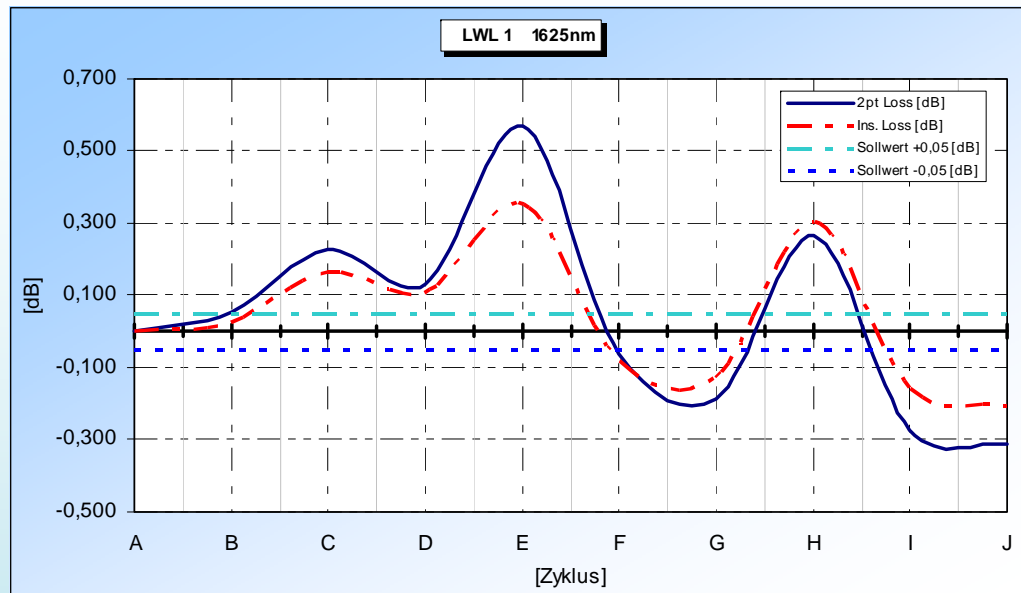
Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

Der zweite Untersuchungsschritt war, mit dem von MTS Meßtechnik-Service Kimmich angewandten Faserüberlängen-Meßsystem die tatsächliche Faserüberlänge in Abhängigkeit der Kabelkonstruktion zu ermitteln.

Die Faserüberlängen-Meßergebnisse von 2 Kabelabschnitten zeigten, dass in beiden Kabelabschnitten übergroße Streubreiten vorhanden sind, die möglicherweise in einzelnen Adern bei Temperaturwechsel unzulässige Dämpfungs- und PMD-Änderungen bewirken können.



Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel



Sollwert +/- 0,1 dB unter Zugbelastung

Für den nächsten Untersuchungsschritt wurde der Prüfabschnitt mit dem höchsten Dämpfungssprung für die Nachweisprüfung der Dämpfungsänderung und Faserdehnung „Zugfestigkeit des Kabels“ gem. EN 60794-1-2 Verf. E1 und „Torsionsfestigkeit des Kabels unter Zug“ in Anlehnung an Bellcore GR20 (R6-61) ausgewählt und am unbewehrten Kabel in Abhängigkeit der Kabelkennlinie „Zug-/ Dehnungsverhalten des bewehrten Kabels“ geprüft.

Diagramm:
Dämpfungsänderung (Übersicht) bei „Dauer-Zugbeanspruchung“ und „Torsionsbelastung unter Zug“ an LWL 1 (mittlere Faserüberlänge)

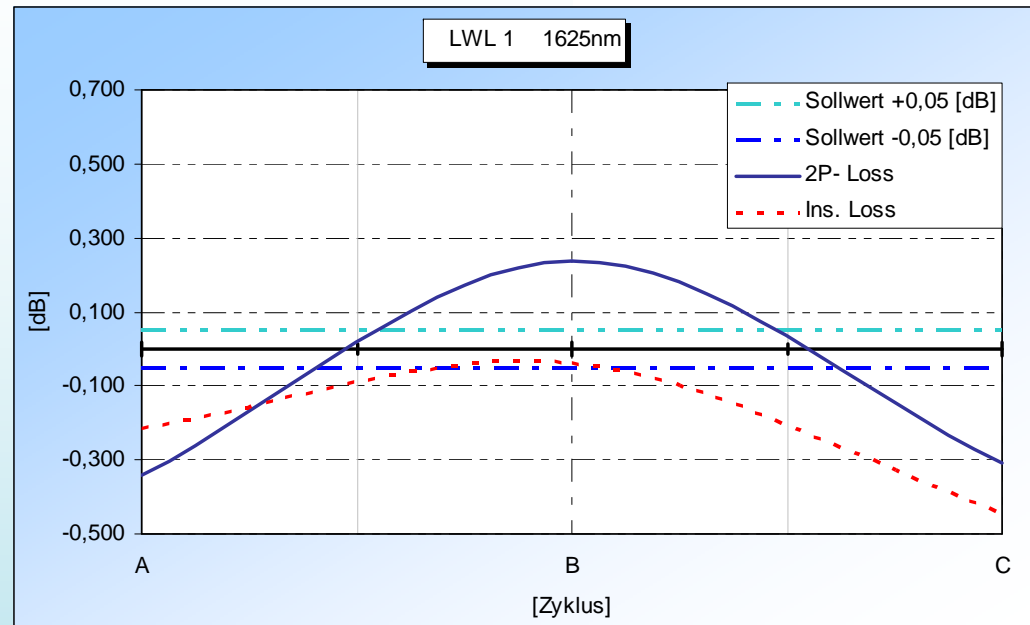
Prüfung	Zugfestigkeit des Kabels FO-Prüf-Nr. 1461						Torsion unter Zug FO-Prüf-Nr. 1471			
	Zyklus	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Zugkraft ⁽¹⁾ [N]	20	1500	2000	20	2500	20	2000	2250	2100	20
Beanspruchte Länge [m]	13,3						13,3			
							auf ↻	↻ zu	4 Zyklen	→
Zugkraft ⁽²⁾ [N]	200	1000	1450	200	2000	200	1750	1750	1750	
Beanspruchte Länge [m]	105,2						/			

(1) Kraftmeßdose 20 KN E-Ende (2) Meßdose 5 KN A-Ende

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

Diagramm:
**Dämpfungsänderung bei 87% der
rechnerischen Bruchkraft des
bewehrten Kabels**

Meßwellenlänge
im Bereich 1625 nm

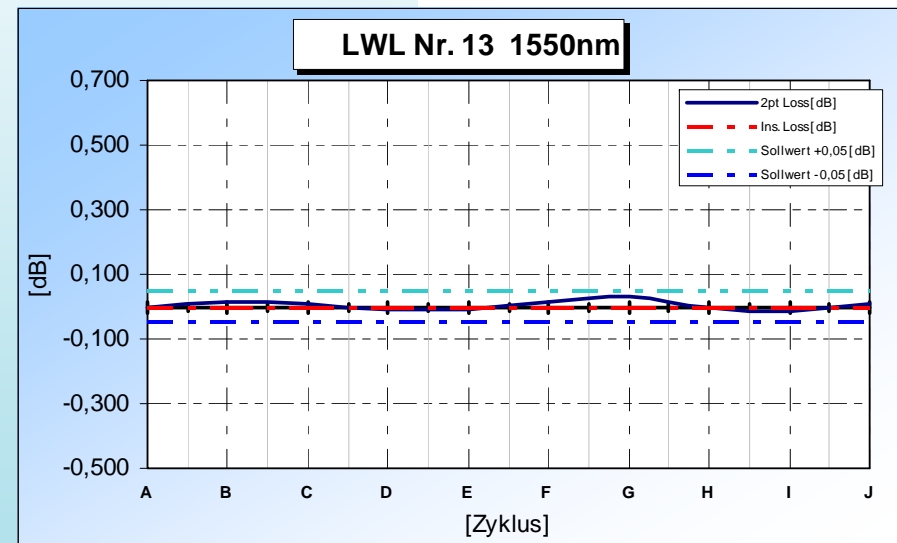
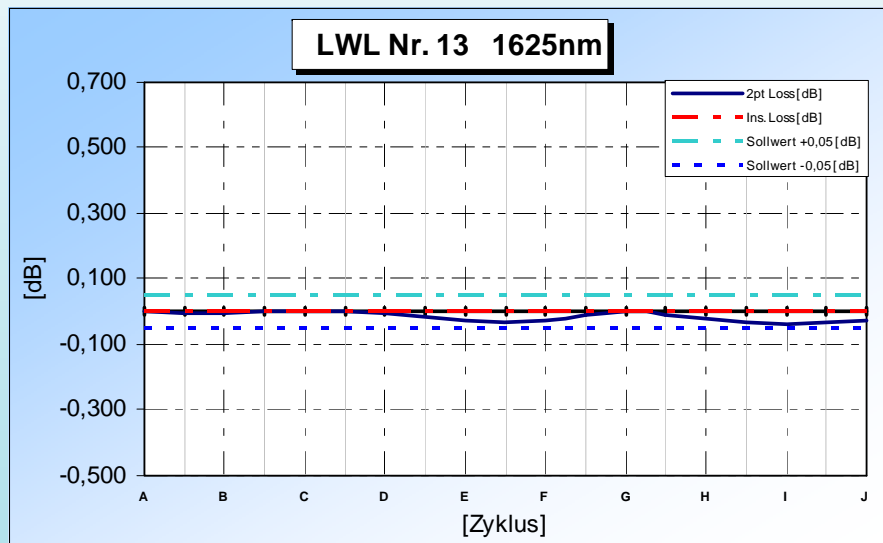


Sollwert +/- 0,1 dB unter Zugbelastung

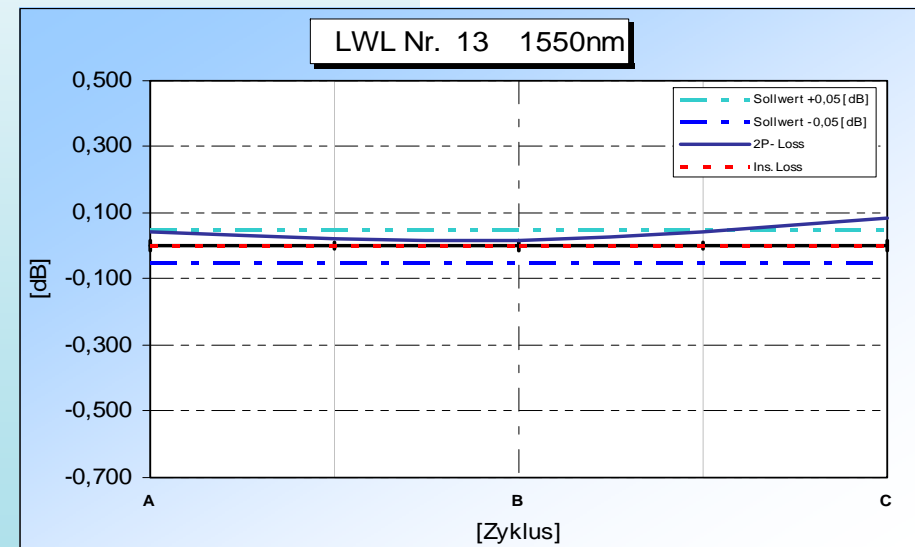
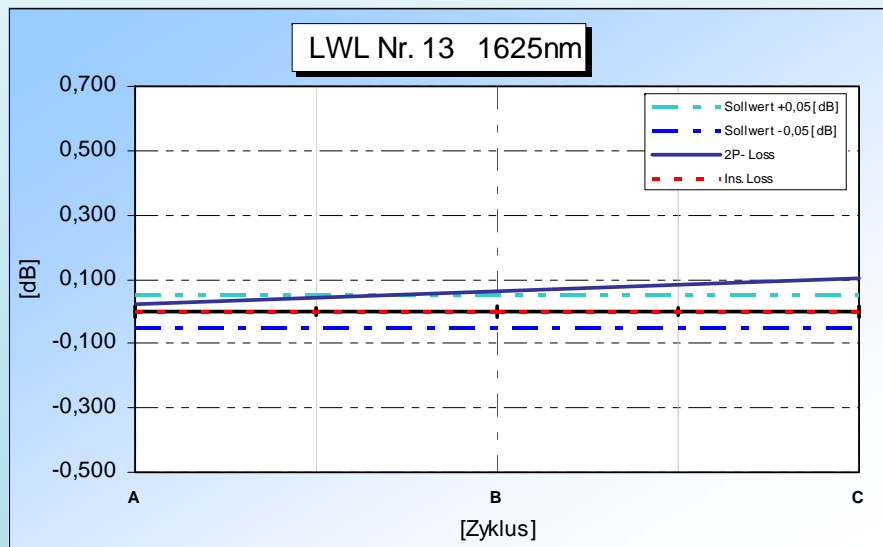
Speichercode	Zyklus	A	B	C
Zugkraft ⁽¹⁾	[N]	20	2900	20
Beanspruchte Länge	[m]	13,3		
Zugkraft ⁽²⁾	[N]	200	2500	200
Beanspruchte Länge	[m]	105		

(1) Kraftmeßdose 20 KN E-Ende (2) Meßdose 5 KN A-Ende

**Dämpfungsänderung von LWL Nr. 13
(mit der größten Faserüberlänge/ ohne Dämpfungssprung)
im Vergleich der Messwellenlängen im Bereich 1625/1550 nm
über alle Messzyklen bei Dauer-Zugbeanspruchung**

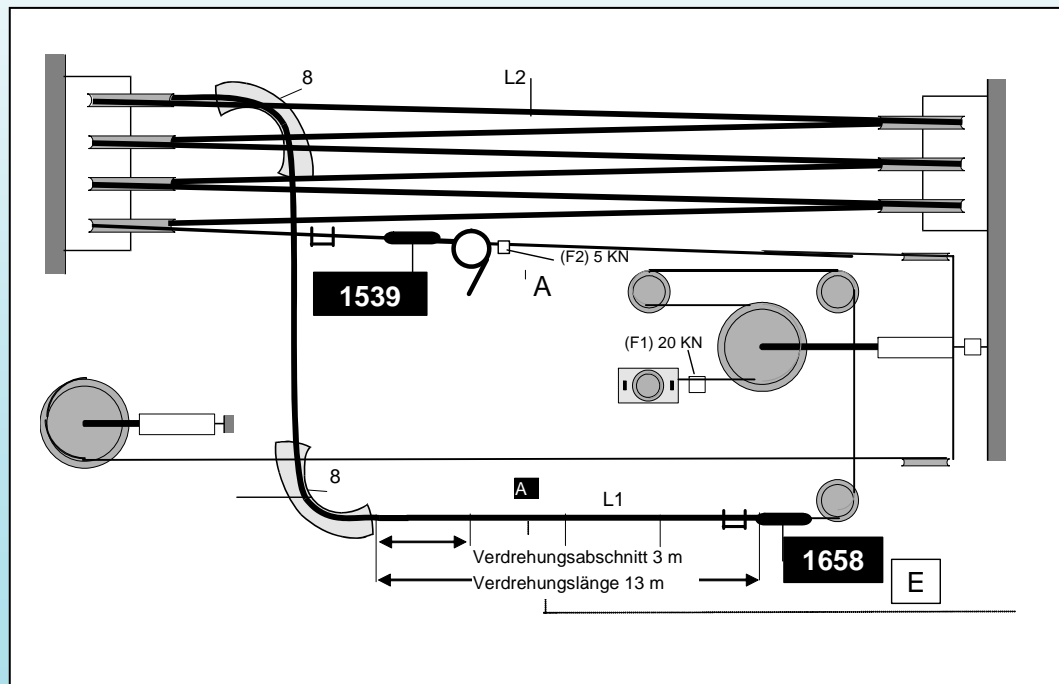


... und im Vergleich dazu
Dämpfungsänderung von LWL Nr. 13
(mit der größten Faserüberlänge/ ohne Dämpfungssprung)
im Vergleich der Messwellenlängen im Bereich 1625/1550 nm
bei 87% der rechnerischen Bruchkraft des bewehrten Kabel



Prüfaufbau

Zugfestigkeit des Kabels gemäß IEC EN 60794-1-2 Verfahren E1 Torsion unter Zug Bellcore GR 20



- L1 Zugende (Kraftmeßdose 20 KN
Kabeldehnung 1)
Inneres Meterband 1658,0 m;
Zählrichtung = kontinuierlicher
Verseilschlag links.
Zug- und torsionsbeanspruchte
Länge 13 m
- L2 Halteende (Kraftmeßdose 5 KN
Kabeldehnung 2)
Inneres Meterband 1539,5 m;
zugbeanspruchte Länge 105 m
- A torsionsbeanspruchte / verdrehte Länge
- 8 feststehende Umlenkbögen
320 mm

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH

Nach Prüfung der Zugfestigkeit des Kabels konnte an der abgemantelten Kabellänge (Innenmantel) im Prüfabschnitt A (L1) der Dämpfungssprung mittels Rotlichtquelle und in der Computer-Tomographie als Faserstauchung sichtbar gemacht werden

Bild:

Fehlernachweis „Faserstauchung durch Inhomogenitäten der Ader-Füllmasse“

Prüfling 1 bei Meterzahl 1651,30

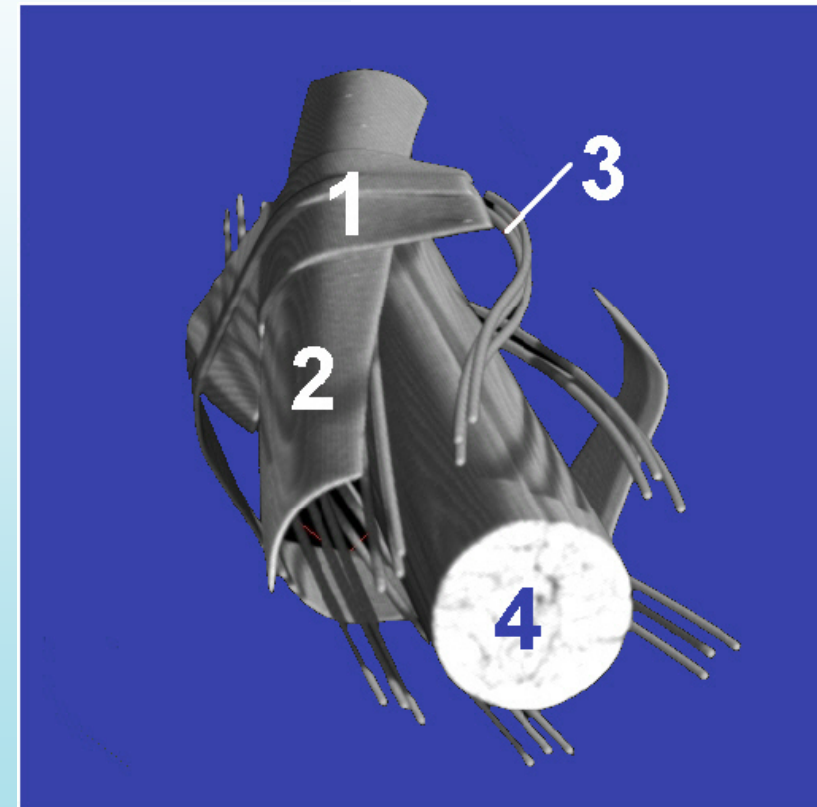
Faserstauchung an der gekennzeichneten Fehlerstelle

1 Kennzeichnung der Fehlerstelle
(mit Rotlichtquelle sichtbar)

2 Kennzeichnung der Zählader Nr. 6

3 Faserstauchung in der Zählader
„rot“ (Fehlerquelle)

4 zentrales GFK Zug- und
Stützelement



Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH

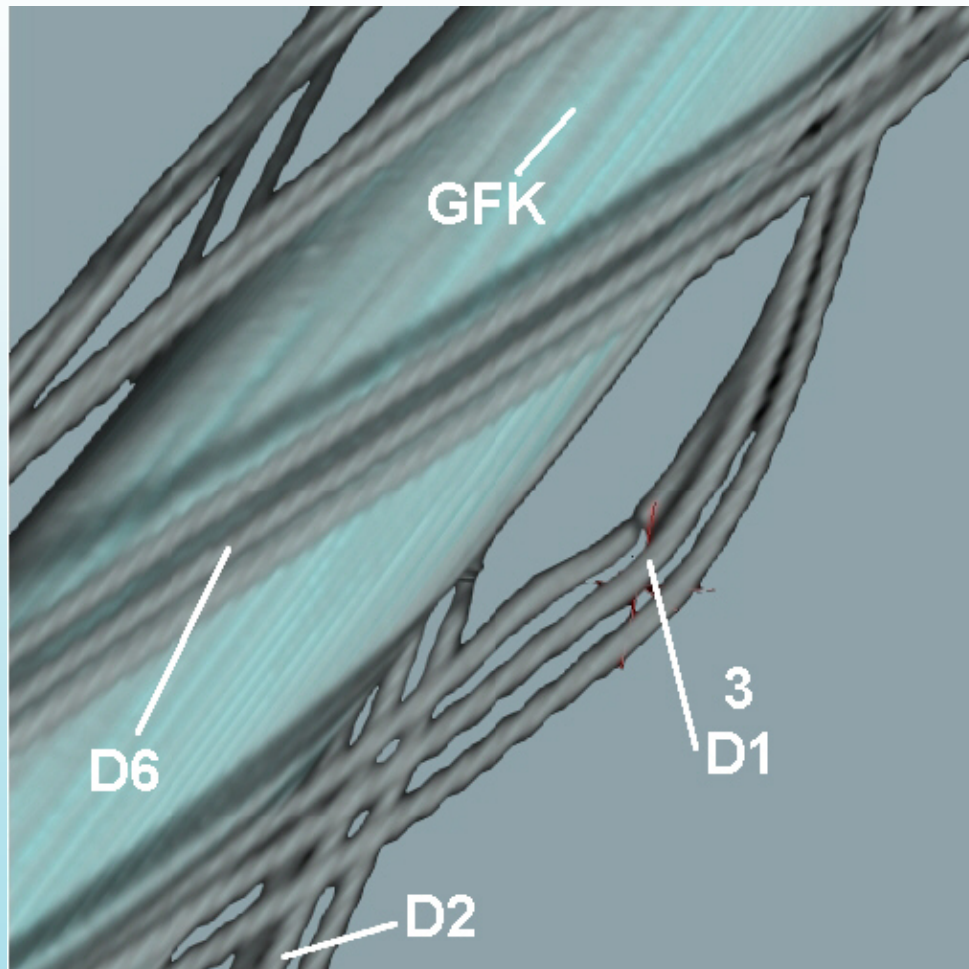
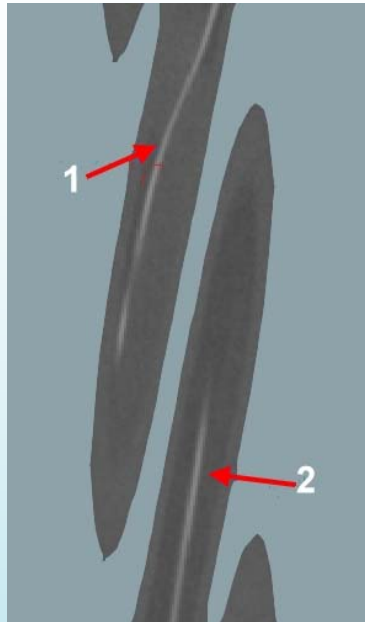


Bild:
Faserstauchung D1 rot (3)
im Vergleich mit den benachbarten
LWL und Adern D2 und D6 (2)

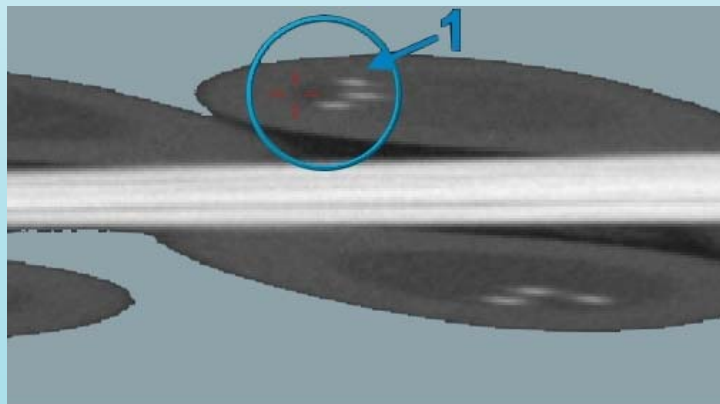
Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

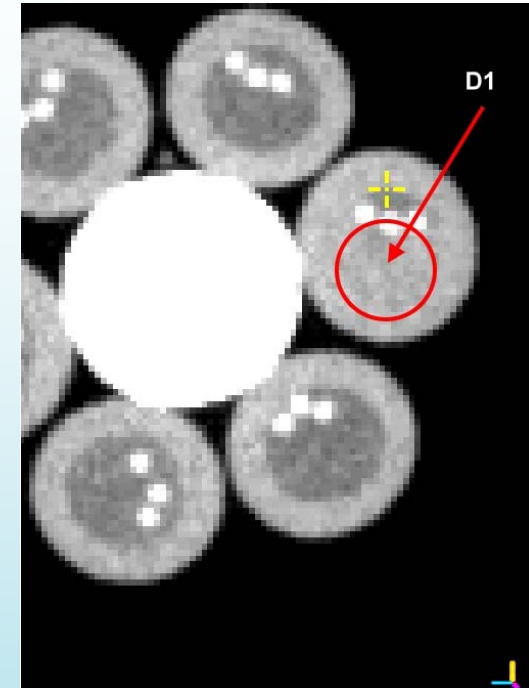
CT Consulting & Testing GmbH



← Bild:
1 Faserstauchung LWL in der
Zählader rot
2 LWL in Ader 2 oder 6



← Bild:
Unterschiede in der Dichte
der Aderfüllmasse
(Unteransicht)

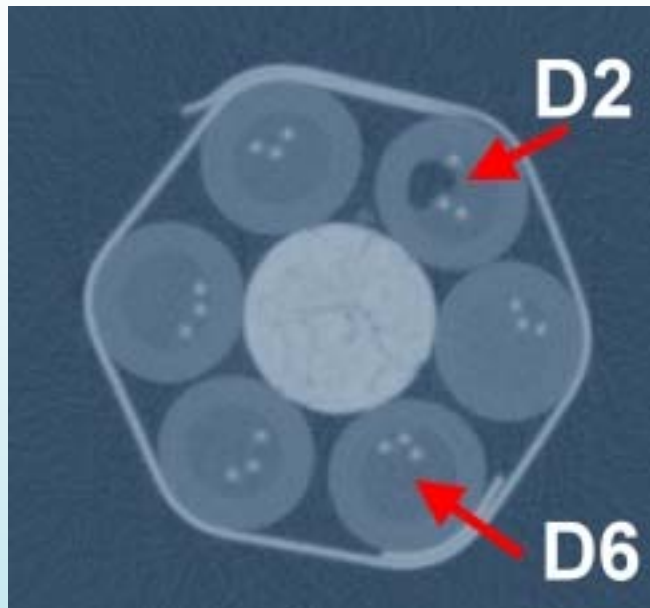


↑ Bild:
Unterschiede in der Dichte
der Aderfüllmasse
(Seitenansicht)

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

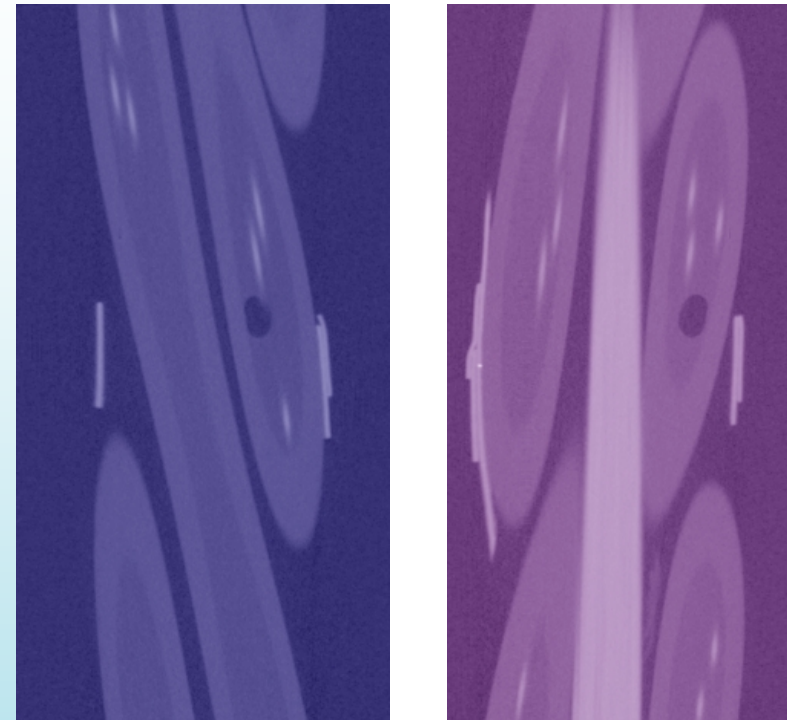
CT Consulting & Testing GmbH



↑ Bild:

D2 Unterschiede in der Dichte
Ursache: Lufteinschlüsse

D6 Kennzeichnung der
Zählrichtung
(Richtungsader)



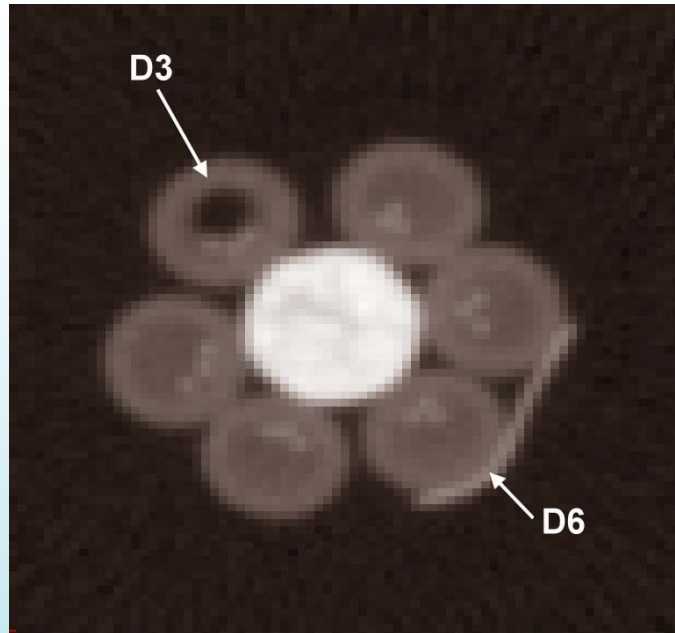
↑ Bild:

Lufteinschlüsse in Ader D2

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH



↑ Bild:
Kabelquerschnitt
Bündelader 3 Luftblasen
D6 Kennzeichnung der
Zählrichtung
(Richtungsader)
D3 Unterschiede in der
Aderfüllung
Ursache: Lufteinschlüsse

Bild:
Bündelader 3
Luftblase Nr. 1
(Seitenansicht)

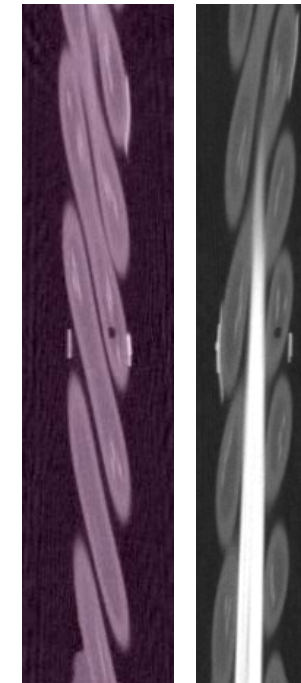
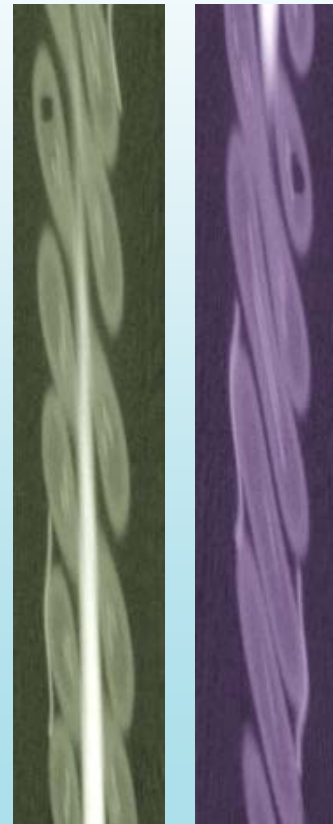


Bild:
Bündelader 3
Luftblase Nr. 2
(Seitenansicht)

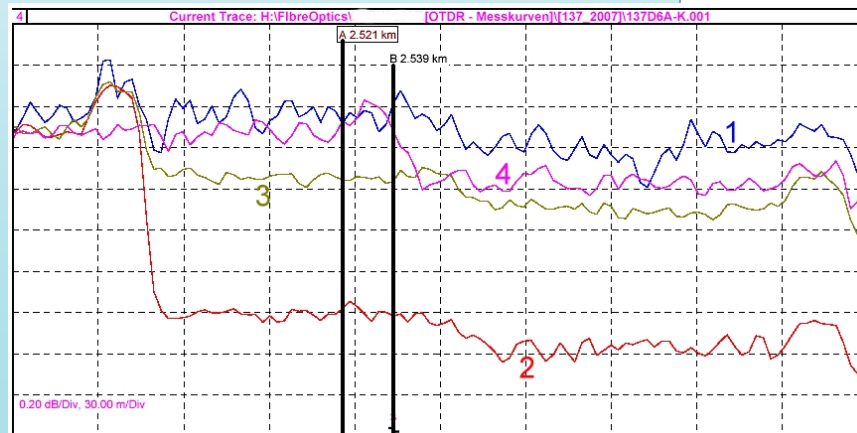
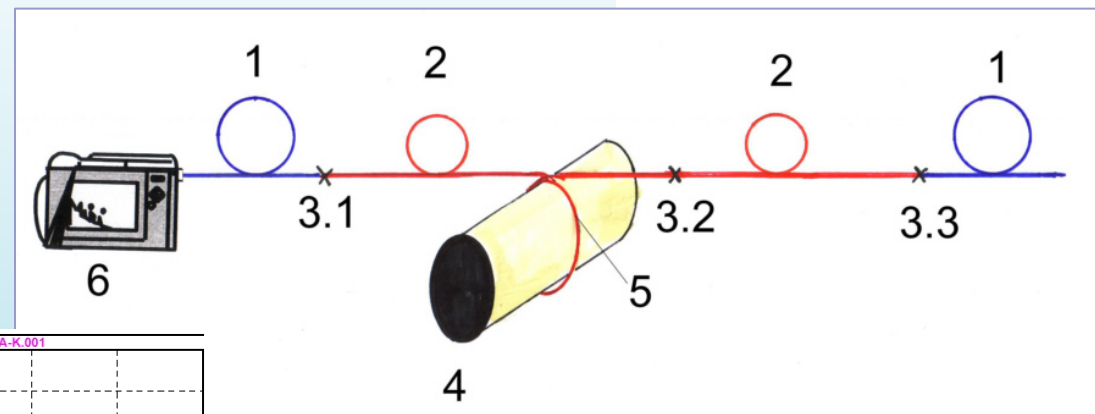
Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH

Um den Lichtwellenleiter-Krümmungsradius **bei 1625 nm** an der LWL-Stauchstelle (Dämpfungssprung) zu ermitteln, wurde zwischen zwei identischen Kabelabschnitten (2) des zu untersuchenden Kabels (2) ein Dorn (4) mit unterschiedlichen Abmessungen eingelegt, der LWL (2) mit einer 360° Umschlingung (5) in OTDR-Meßrichtung (6) vor dem Fusionspleißverbinder 3.2 eingelegt.

Hierzu wurden vor dem Fusions-Spleißverbinder (3.2) eine LWL-Umschlingung (5) (in der OTDR-Meßrichtung (6) eingelegt) um einen Dorn (4) gemacht.



- 1 Radius 20,0 mm
- 2 Radius 12,5 mm = 1,115 dB
- 3 Radius 15,0 mm = 0,347 dB
- 4 Radius 0,0 mm

Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftpfeil

Als vorläufige Fehlerursache für den Dämpfungssprung (Faserstauchung) konnte nachgewiesen werden, dass durch die extremen mechanischen und klimatischen Belastungen des LWL-Kabels während des Betriebs (Temperatur, Vibration, Zugbelastung etc.) entweder eine Entmischung der Bündeladerfüllmasse [die nach Norm den primärbeschichteten LWL hermetisch mit einer wasserhemmenden Füllmasse umhüllen soll] und/ oder nach Wanderung von Füllstoffen in dieser Füllmasse, die durch Absonderungen der LWL-Primärbeschichtung und/oder der inneren Bündeladerhülle an der Faserstauchstelle zu einer festen LWL-Fixierung führte.

Untersuchungsergebnisse folgen

Am untersuchten Kabel wurden weitere –noch nicht abschließend untersuchte- Eigenschaftsänderungen in Folge der Bündeladerfüllmasse ermittelt.

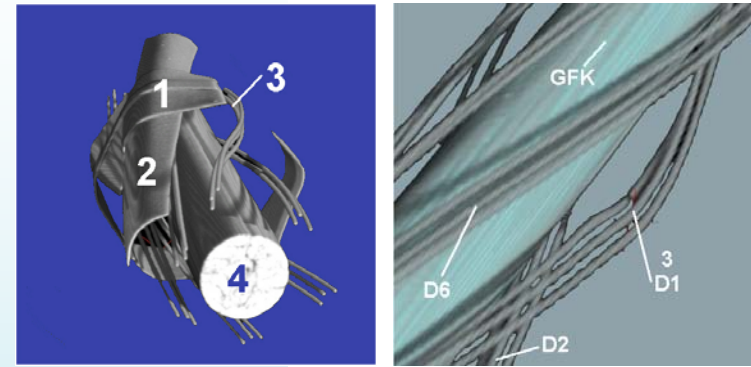
Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

fibre optics

CT Consulting & Testing GmbH

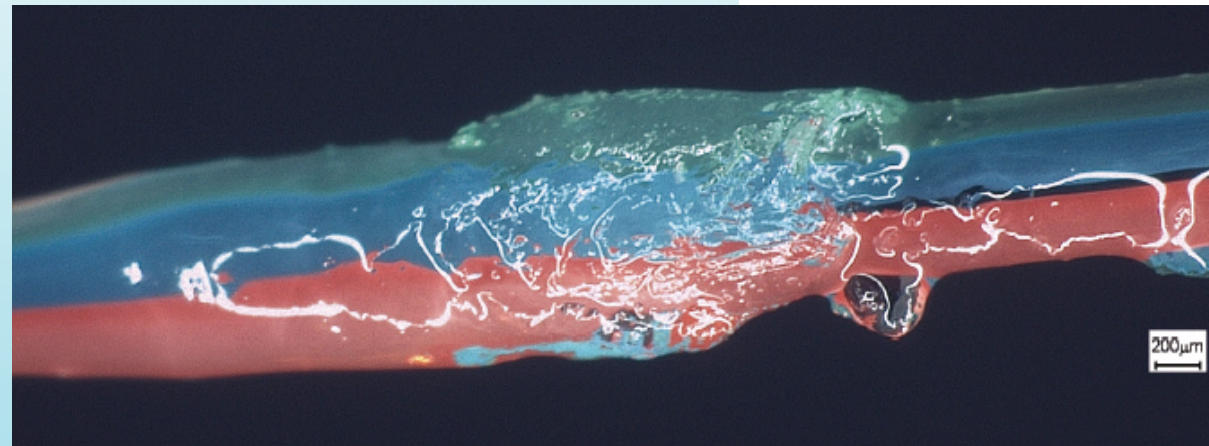
Prüfergebnisse:

Tatsächliche Faserstauchstelle



Störstelle aus der Aderhülle gezogen:

TGA „Rückstand 6,9 %“
Kohlenwasserstoff SiO_2
Dies führte unter Betriebs-
bedingungen durch
Entmischungen, Wärme
und Vibration etc. an der
aufgestauchten Faser-
überlänge zur Störung.



Fehleranalyse an einem Lichtwellenleiterkabeln eingesetzt als Seilbahn- / Luftkabel

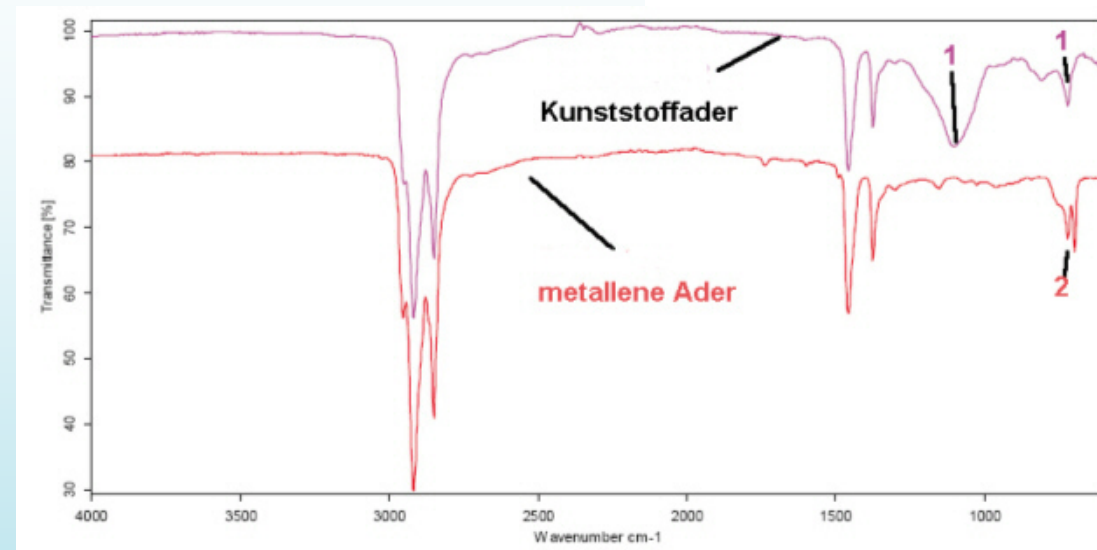
FT-IR-Spektren der Aderfüllmasse (Kunststoffader) und der Aderfüllmasse (Metallader) im Vergleich

Kunststoffader

1998 produziert,
gefüllt mit 3 LWL
(gealtert unter Extrembedingungen)

Metallader

2007/2008 produziert,
gefüllt mit 30 LWL (ungealtert)



Überlagerte Darstellung der FT-IR-Spektren der Aderfüllmassen der Kunststoffader und Metallader. Beide zeigen die typischen Absorptionsbanden von gesättigten Kohlenwasserstoffen. Die Aderfüllmasse der Kunststoffader hat zwei zusätzliche Banden bei 1106 und 812cm⁻¹, die auf Siliciumdioxid (SiO₂) hinweisen, diese fehlen im Spektrum der Metalladerfüllmasse. Die Metalladerfüllmasse hat eine zusätzliche Bande bei 699 cm⁻¹, diese fehlt im Spektrum der Aderfüllmasse der Kunststoffader