

VI Verfahren zur Beurteilung eines Drahtseils bezüglich Schädigung durch Drahtbruch- und Kerbhäufungen

Drahtseile von Schrägaufzugsanlagen weisen neben Seilabschnitten mit vereinzelt inneren und äußeren Drahtbrüchen auch solche mit Häufungen innerer Drahtbrüche auf. Betroffen sind vor allem die inneren Drahtlagen der Außenlitzen. Das Schadensbild zeigt üblicherweise zudem starke Rotrostbildung und tiefe Kerben an Drahtüberkreuzungen (s. III.1, Seilbereich 1). Eine solche Schädigung ist auf Bewegungen im Seilverband zurückzuführen. Sie tritt somit verstärkt in Seilabschnitten auf, in denen für das Grenzkraftverhältnis gilt: $R \ll 1$. Die sichere Erkennung derart geschädigter Seilabschnitte ist von großer Wichtigkeit, da ihr Schädigungszustand von außen nicht erkennbar ist und es daher zu unerwarteten Litzenbrüchen oder sogar Seilrissen kommen kann.

Die auftretenden Schadensformen dieser Seilabschnitte, Drahtbrüche, Kerben, Korrosionsnarben, sind charakterisiert durch sprunghafte Änderungen (Minderungen) des metallischen Querschnittes. Bei Untersuchungen mittels magnetischer Streuflußmessung zeigen sich an den betroffenen Seilabschnitten zahlreiche magnetische Streufelder. Dies schlägt sich in den aufgenommenen Signalverläufen nicht als einzelne typische Signalmuster sondern als Erhöhung des Rauschens nieder. In der Literatur findet man entsprechende Angaben über die Auswirkungen von Korrosion und Verschleiß auf die Erhöhung des Rauschpegels (Abbildung IV. 1) [11].

Fujinaka, Hanasaki und Tsukada [41] beschreiben ein Verfahren, bei dem eine Korrelation des Bruchkraftverlustes eines Drahtseils mit der relativen Erhöhung des Rauschpegels hergestellt wird.

VI.1 Einfluß des Schädigungsgrades auf den Rauschpegel

In Abbildung VI. 1 ist beispielhaft der Signalverlauf einer Seilprobe mit starker innerer Schädigung denen zweier Proben ohne dieses Schadensbild gegenüber gestellt. Deutlich zu erkennen ist der erhöhte Rauschpegel der stark mit Rotrost und Drahtbrüchen durchsetzten Probe (Seilprobe HO9 L5, Abbildung VI. 1). Die Rauschamplituden der anderen Proben, die nur leicht korrodiert sind, nehmen deutlich geringere Werte an, vorhandene Drahtbrüche lassen sich klar als Einzelsignale wahrnehmen (Seilprobe HO9 L2, Abbildung VI. 1). Im Gegensatz dazu sind bei starker innerer

Schädigung sogar äußere Drahtbrüche gar nicht oder nur stark verzerrt erkennbar (Seilprobe HO9 L5, Abbildung VI. 1).

Bei gehäuftem Auftreten innerer Drahtbrüche wird somit das in IV und V vorgestellte Klassifikationsverfahren, das einzelne Signalmuster identifiziert, nicht sinnvoll anwendbar sein. Um Fehlbeurteilungen beim Einsatz einer rechnergestützten Drahtbruchererkennung zu vermeiden, ist es von großer Wichtigkeit, solchermaßen betrof-

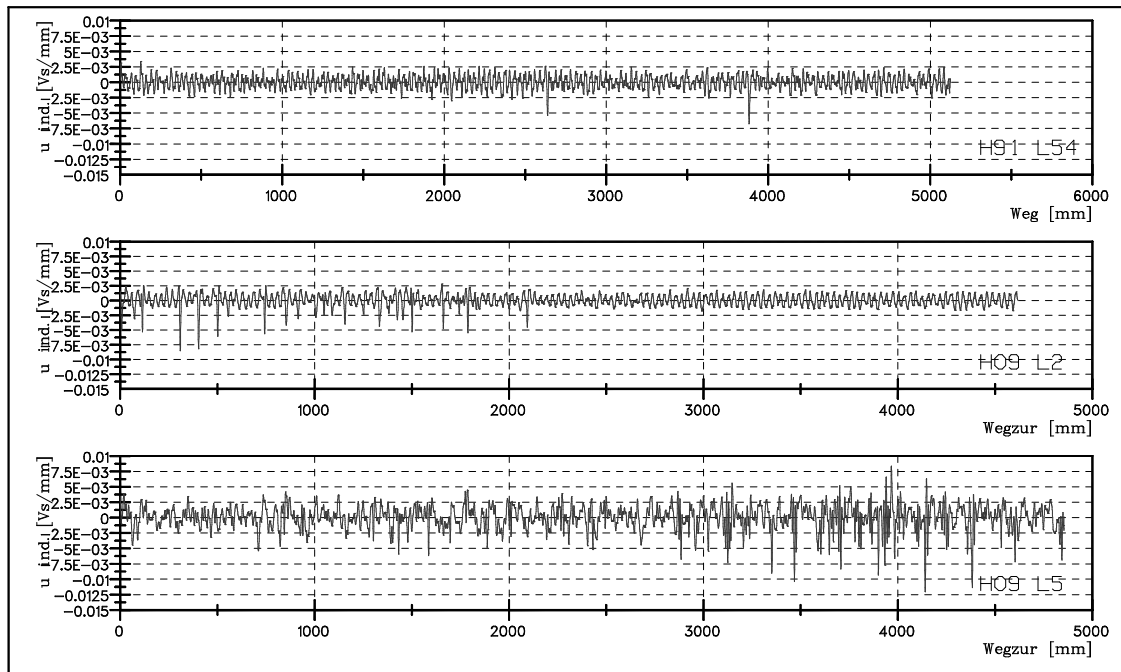


Abbildung VI. 1

Rauschpegel von Seilproben unterschiedlicher Schädigung

- Oben: Probe: H91 L54 - Schadensbild: Zwei äußere Drahtbrüche, geringfügige Korrosion und Kerbbildung*
- Mitte: Probe: HO9 L2 - Schadensbild: Noch als Einzelsignale erkennbare äußere und innere Drahtbrüche, geringfügige Korrosion und Kerbbildung*
- Unten: Probe HO9 L5: - Schadensbild: Starke Rotrostbildung, tiefe Einkerbungen an Drahtüberkreuzungen, Häufung innerer Drahtbrüche, 72 äußere Drahtbrüche nicht mehr als Einzelsignal erkennbar*

fene Seilabschnitte sicher zu identifizieren.

Da die Bewertung der inneren Schädigung nicht anhand einer Analyse von Einzelsignalen durchgeführt werden kann, ist es sinnvoll, hierzu vielmehr die Charakteristik des Rauschens heranzuziehen.

In II.3 ist die Analyse des Rauschpegels mittels Frequenzanalyse zur Ermittlung des aus dem Seilaufbau herrührenden Signalanteils vorgestellt worden. Kleipaß [2] nutzt dieses Analyseverfahren zur Ermittlung der Schlaglänge von Litzenseilen. Er stellt

dabei fest, daß an Seilabschnitten mit gegenüber dem Neuzustand stark erhöhtem Signalrauschen, Abbildung VI. 1 unten, die Litzenfrequenz nicht mehr dominierend im Signalverlauf ist. Die Ermittlung dieser Frequenz gelingt bei derart geschädigten Seilabschnitten nur, wenn ihr ungefährender Betrag bekannt ist und das Suchintervall im Amplitudenspektrum eingegrenzt werden kann [2].

Aus dieser Beobachtung läßt sich ein erkennbarer Einfluß des beschriebenen inneren Schädigungszustandes auf die Gestalt des Amplitudenspektrums aufgezeichneter Signalverläufe ableiten.

VI.2 Einfluß des Schädigungsgrades auf das Amplitudenspektrum von Streuflußmessungen

Um den Einfluß des inneren Schädigungszustandes auf die Gestalt des Amplitudenspektrums des Signalverlaufs zu untersuchen, ist eine Darstellung aufeinanderfolgender Spektren über die Seillängskoordinate als Schwärzungsmatrix hilfreich (s. Abbildung VI. 2). Der Amplitudenwert ist proportional zur Fläche der eingetragenen Datenpunkte.

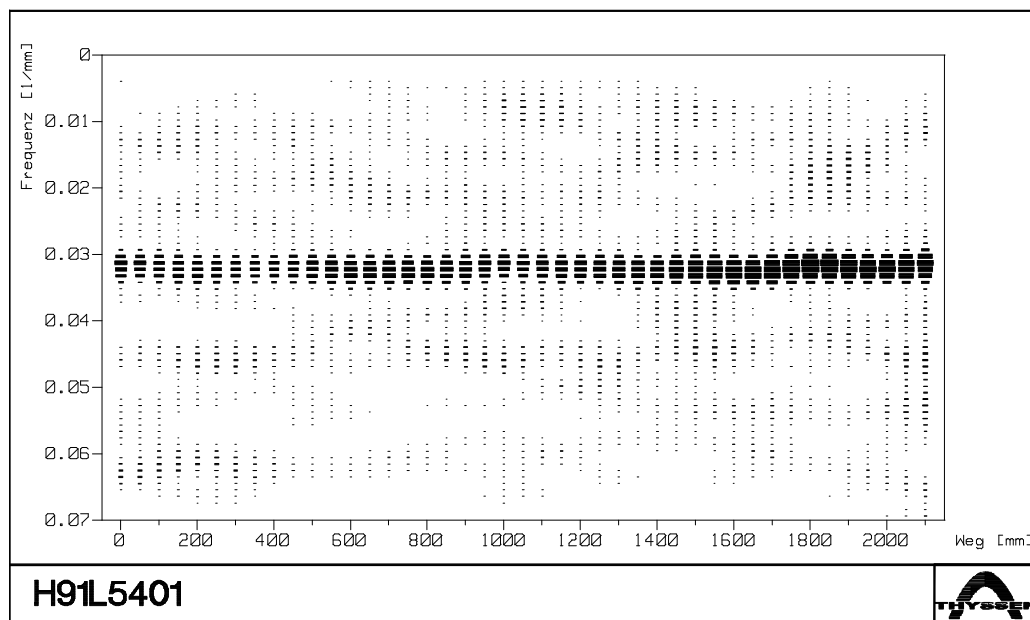


Abbildung VI. 2

*Darstellung der Amplitudenspektren einer Seilprobe geringer innerer Schädigung über die Seillänge
Die Amplitudenhöhe entspricht der Fläche der eingetragenen Datenpunkte*

Abbildung VI. 2 zeigt in dieser Darstellung das Amplitudenspektrum für einen Abschnitt einer Seilprobe ohne Drahtbrüche, mit geringem äußerem Verschleiß, ohne

auffällige Korrosion und geringer Ausbildung von Kerben an Drahtüberkreuzungen (Probe H91 L54 - 0...3124 mm, Abbildung VI. 1, oben). Auffällig sind die nur geringen Unterschiede in den aufeinander folgenden Amplitudenspektren. Die Litzenfrequenz ($\sim 0,033 \frac{1}{\text{mm}}$, bei der vorliegenden Probe eines achtlitzigen Seiles mit einer Schlaglänge von ca. 240 mm) ist dominierend in allen Spektren deutlich erkennbar und unterliegt nur geringfügigen Schwankungen. Andere Frequenzanteile weisen demgegenüber deutlich geringere Amplitudenhöhen auf.

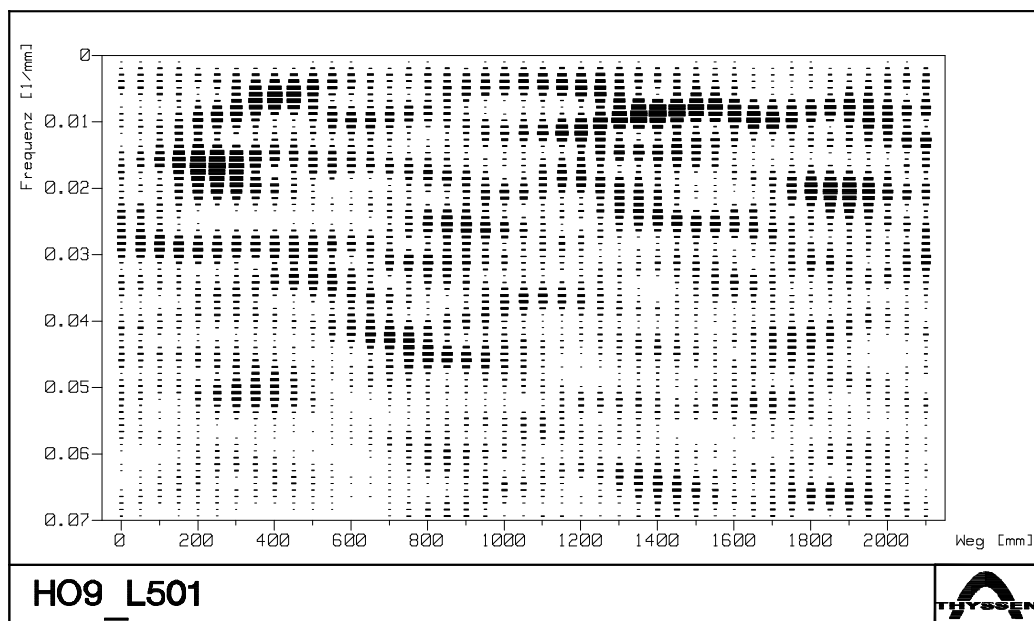


Abbildung VI. 3

*Darstellung der Amplitudenspektren einer Seilprobe starker innerer Schädigung über die Seillänge
Die Amplitudenhöhe entspricht der Fläche der eingetragenen Datenpunkte*

Völlig anders stellen sich die Amplitudenspektren bei einer Seilprobe mit starker innerer Schädigung (Probe HO9_L5, Abbildung VI. 1, unten) dar (Abbildung VI. 3): Es lässt sich über die Seillänge keine einheitlich dominierende Frequenz feststellen. Die Amplitude der Litzenfrequenz von ca. $0,033 \frac{1}{\text{mm}}$ ist nicht signifikant überhöht. Die Frequenz des maximalen Amplitudenpeaks schwankt in einem weiten Intervall. Die Signalanteile der durch die vielen Querschnittsänderungen hervorgerufenen Streufelder lassen den regelmäßigen, im Seilaufbau begründeten Signalanteil in den Hintergrund treten.

VI.3 Das m - σ -Diagramm zur Darstellung des Schädigungsgrades von Seilabschnitten

Die Unterschiede der Amplitudenspektren von Seilproben unterschiedlicher innerer Schädigung zeigen sich am deutlichsten in der Häufigkeitsverteilung der absoluten Amplitudenmaxima der aufeinanderfolgenden Spektren (Abbildung VI. 4).

Für die Seilprobe mit geringer Schädigung ergibt sich erwartungsgemäß eine sehr schmale Verteilung mit der Litzenfrequenz als Erwartungswert.

Die stark geschädigte Seilprobe weist dagegen eine sehr breite Verteilung auf. Der Erwartungswert liegt deutlich unter der Litzenfrequenz.

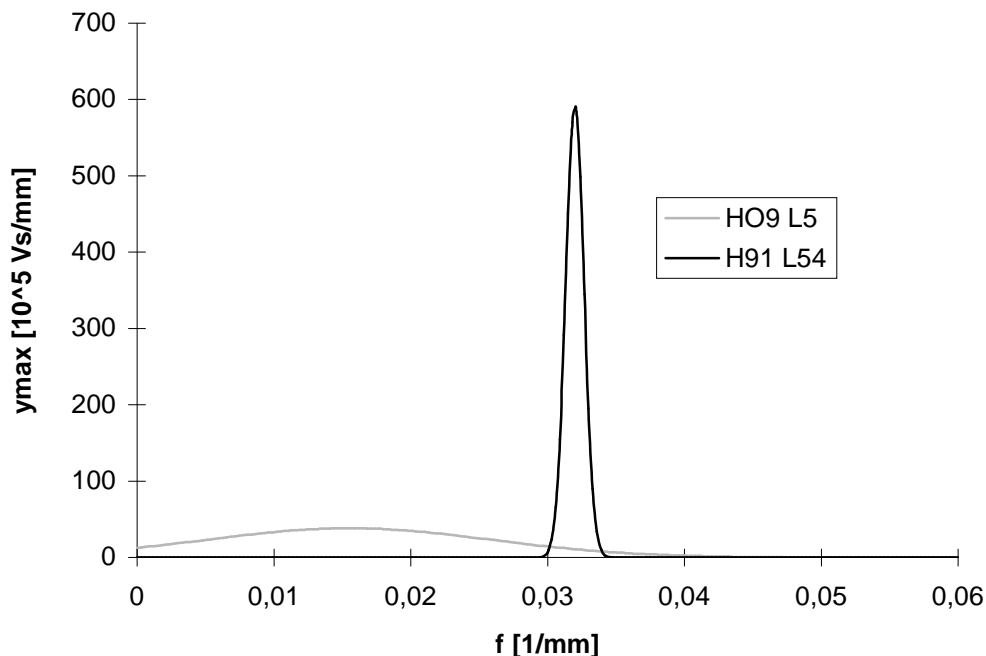


Abbildung VI. 4

Verteilung des dominierenden Frequenzanteils:

- a) *Einer Probe mit geringer innerer Schädigung - H91 L54*
- b) *Einer Probe mit starker innerer Schädigung - HO9 L5*

Um die Auswirkung des inneren Schädigungszustandes auf die beiden Momente der Häufigkeitsverteilung zu analysieren, bietet sich eine Darstellung im doppelt-logarithmischen Erwartungswert-Streuungs-Diagramm (m - σ -Diagramm) an (Abbildung VI. 5).

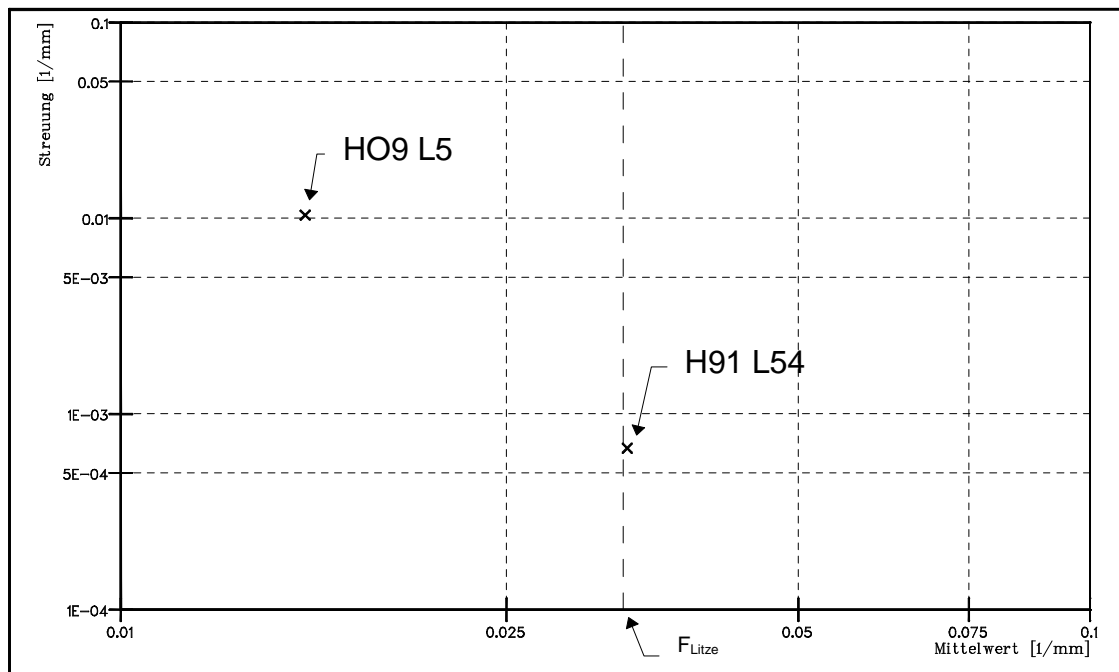


Abbildung VI. 5

Lage der m - σ -Wertepaare einer Seilprobe mit geringer Schädigung (H91 L54) und einer Seilprobe mit starker innerer Schädigung (HO9 L5) im m - σ -Diagramm

In Abbildung VI. 6 sind die Daten von zehn Seilproben mit unterschiedlicher Schädigung in das m - σ -Diagramm eingetragen dargestellt. Die errechneten Erwartungswerte und Streuungen stammen je Probe aus 43 Amplitudenspektren, die in einem Abstand von jeweils 50 mm gebildet wurden. Der Umfang jeder FFT (Fast Fourier Transformation) beträgt 1024 mm Seillänge.

Die eingezeichneten Wertepaare lassen sich in drei Bereiche zusammenfassen:

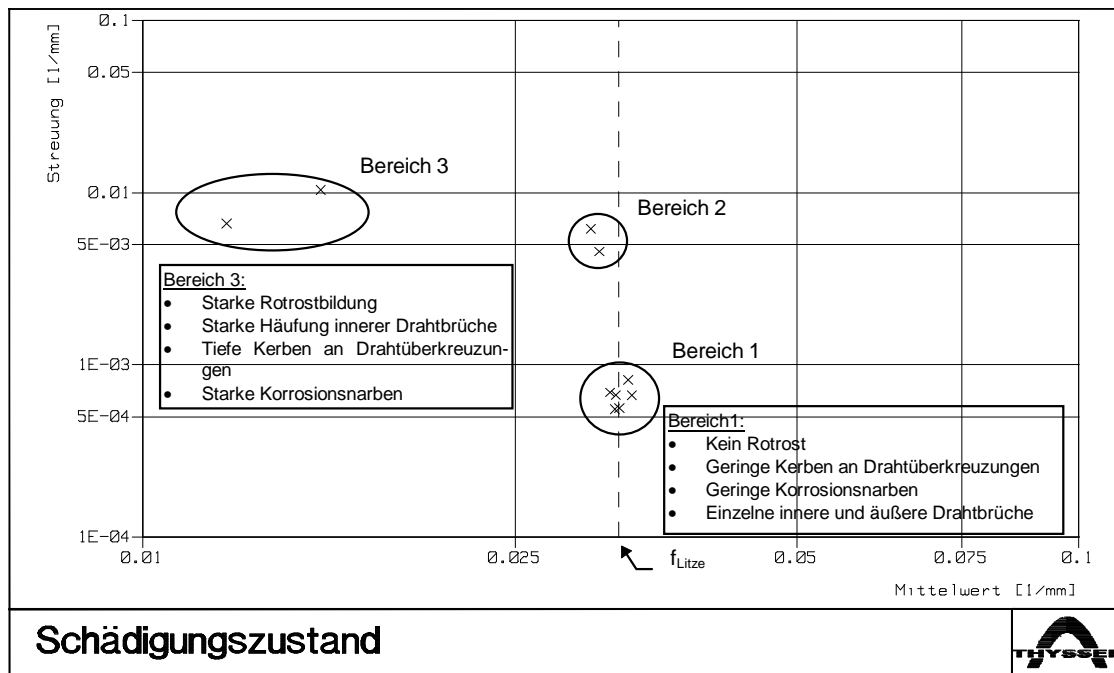


Abbildung VI. 6

Zusammenhang von Schadensbild und Lage im m - σ -Diagramm

- **Bereich 1** umfaßt Punkte mit einem Erwartungswert nahe der Litzenfrequenz und einer geringen Streuung. Die entsprechenden Seilproben weisen kaum Kerben und Korrosion auf, sind zum Teil jedoch mit vereinzelt Drahtbrüchen, bis zu 12 DB/1000 mm, behaftet. In diesem Bereich finden sich auch die Daten von Seilproben im Neuzustand (Tabelle VI. 1).

Probe	Schadensbild				Bemerkung
	Drahtbrüche	Korrosion	Kerben	Verschleiß	
HO9 L2	vereinzelte innere und äußere	geringfügig	geringfügig	vorhanden	
H91 L54	vereinzelte äußere	Geringfügig	geringfügig	geringfügig	
H91R50	vereinzelte äußere	Geringfügig	geringfügig	geringfügig	
H91 R56	vereinzelte äußere Häufung in der Kernlitze der Seele (17DB/1000mm)	Geringfügig	geringfügig	geringfügig	
H91 R62	vereinzelte äußere	Geringfügig	geringfügig	geringfügig	
HO9 KORR	Keine	Äußere	keine	kein	neues Seil, korrosiver Atmosphäre ausgesetzt

Tabelle VI. 1

Schadensbilder verschiedener Seilproben des Bereiches 1 nach Abbildung VI. 6

- **Bereich 2** weist Wertepaare mit einem Erwartungswert noch nahe der Litzenfrequenz auf. Die Streuung ist aber bereits um den Faktor zehn größer als im Bereich 1. Hier finden sich zwei Seilproben, die nach dem Ablegen und vor Durchführung der Streuflußprüfung gebeizt worden sind. Durch diese Behandlung werden Korrosionsprodukte aus der Oberfläche des Seilwerkstoffs entfernt. Korrosionsbedingte Kerben treten somit schärfer hervor. Drahtbrüche und Kerben an Drahtüberkreuzungen weisen diese Proben nicht auf. Die Erhöhung der Streuung ist also nur auf die erhöhte Anzahl korrosionsbedingter Kerben zurückzuführen. Da die Schäden dieser beiden Proben durch das Beizen nachträglich verändert sind, repräsentieren sie keine realen Schadensbilder. Die Eintragung in das m - σ -Diagramm dient daher nur Vergleichszwecken (Tabelle VI. 2).

Probe	Schadensbild				Bemerkung
	Drahtbrüche	Korrosion	Kerben	Verschleiß	
H91 LPTF	Keine	innen und außen	geringfügig	vorhanden	nach dem Ablegen gebeizt
H91 P3	Keine	innen und außen	geringfügig	vorhanden	nach dem Ablegen gebeizt

Tabelle VI. 2

Schadensbilder verschiedener Seilproben des Bereiches 2 nach Abbildung VI. 6

- **Bereich 3** umfaßt Wertepaare, die sich in der Streuung nicht signifikant von denen des Bereiches 2 unterscheiden. Der Erwartungswert jedoch verschiebt sich deutlich zu geringeren Frequenzen. Die beiden zugehörigen Seilproben weisen in den Außendrähten der Litzen zum Teil nur wenige Drahtbrüche auf. In den Litzen jedoch findet man mit über 100 DB/1000 mm eine Häufung der Schäden. Das gesamte Innere dieser Seilproben ist mit Rotrost durchsetzt. Beim Öffnen der Proben zeigen sich starke Abschuppungen von Korrosionsprodukten. Der Schmierstoff ist vollständig aufgebraucht (Tabelle VI. 3).

Probe	Schadensbild				Bemerkung
	Drahtbrüche	Korrosion	Kerben	Verschleiß	
HO9 L5	Große Anzahl äußerer Häufungen in den inneren Lagen der Außenlitzen	Rotrost bis in die inneren Drahtlagen der Außenlitzen starke Abschuppungen von Korrosionsprodukten	starke Bildung an Drahtüberkreuzungen	vorhanden	
HO9 01	vereinzelte innere und äußere Häufungen in den inneren Lagen der Außenlitzen	Rotrost bis in die inneren Drahtlagen der Außenlitzen starke Abschuppungen von Korrosionsprodukten	starke Bildung an Drahtüberkreuzungen	vorhanden	

Tabelle VI. 3

Schadensbild verschiedener Seilproben des Bereiches 3 nach Abbildung VI. 6

Die den drei Bereichen zugeordneten Seilproben unterscheiden sich hauptsächlich in der Häufung und der Größe der Querschnittsminderungen. Vereinzelt Drahtbrüche oder durch Korrosion aufgeraute Drahtoberflächen verändern den Rauschpegel nicht signifikant und führen daher nicht zum „Verlassen“ des Bereiches 1, der praktisch den Neuzustand repräsentiert. Erst starke Drahtbruchhäufungen, die keine Auflösung mehr in einzelne Signalmuster zulassen, führen im Zusammenhang mit starker Korrosion im gesamten Seil und tiefen Kerben an Drahtüberkreuzungen zu einer deutlichen Änderung des Rauschens und somit zur Zuordnung zu Bereich 3. Deutlich zeigt sich dieser Zusammenhang bei der Probe HO9 L2 (Abbildung VI. 7). Sie ist in den ersten zwei Metern mit inneren und äußeren Drahtbrüchen behaftet; die Restlänge weist keine Brüche auf. Trotzdem unterscheiden sich die $m-\sigma$ -Wertepaare unterschiedlicher Abschnitte dieser Probe nur marginal.

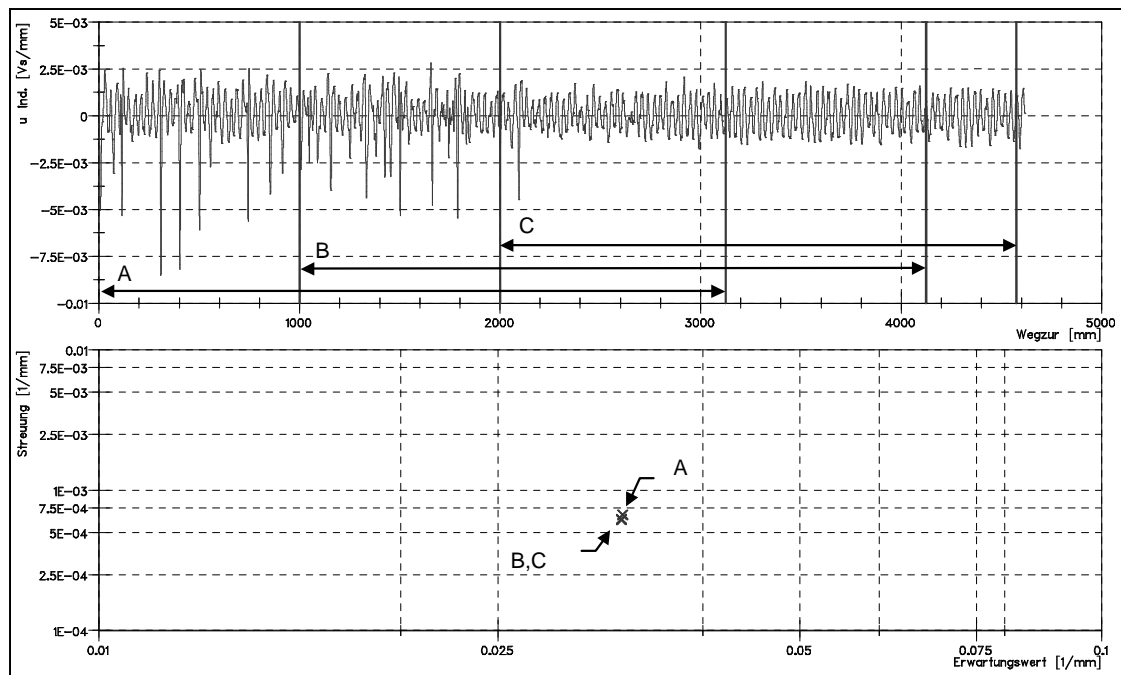


Abbildung VI. 7

Einfluß einzelner innerer und äußerer Drahtbrüche auf die Lage im m - σ -Diagramm

Ebenfalls keinen Einfluß auf die Lage im m - σ -Diagramm haben Querschnittsänderungen, die nicht sprunghaft sind, beispielweise äußerer Verschleiß. Sie bilden bei der Längsmagnetisierung eines Drahtseils keine Streufelder aus und sind damit durch magnetinduktive Streuflußmessungen nicht erfaßbar. Aus diesem Grunde ist eine allgemeingültige Korrelation zwischen der Lage im m - σ -Diagramm und dem Bruchkraftverlust des entsprechenden Seilabschnitts nicht möglich.

Das m - σ -Diagramm erlaubt jedoch die Beurteilung der Schädigung eines Seilabschnitts durch Häufung sprunghafter Querschnittsänderungen. Dazu ist die Lage des Wertepaares eines zu untersuchenden Seilabschnitts mit der Lage der Wertepaare von Seilabschnitten bekannter Schädigung zu vergleichen.

Es besteht so die Möglichkeit, eine starke innere durch wiederkehrende hohe Zugkraftänderungen bedingte Schädigung des Seilverbandes zu erkennen.

Darüber hinaus läßt sich eine solche Untersuchung zur Identifikation von Seilabschnitten mit Schadenshäufungen in Vorfeld einer Musterklassifikation nach **V** durchführen. Dadurch werden im Vorhinein Bereiche des Seiles erkannt, bei denen der Einsatz einer rechnergestützten Drahtbruchererkennung keine sinnvollen Ergebnisse liefern kann.