

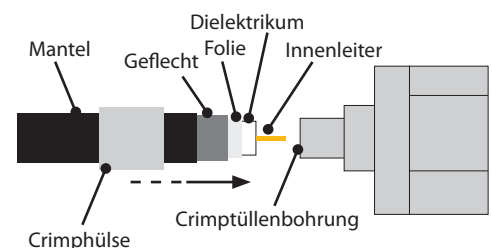
## Eigenschaften von Kabeln mit Folien-/Geflechtaußenleiter Bewegungsabhängigkeiten und Peaks

Low Loss Koaxialkabel zeichnen sich durch eine besonders niedrige Dämpfung aus und werden daher zunehmend in der Nachrichtentechnik eingesetzt. Im Gegensatz zu einem Standardkabel kann aber insbesondere im Frequenzbereich oberhalb von 3 GHz eine Bewegungsabhängigkeit der Dämpfung und des SWRs beobachtet werden, wenn das Kabel im Übergangsbereich zwischen Kabel und Steckverbinder bewegt wird. Auch Peaks können entstehen.

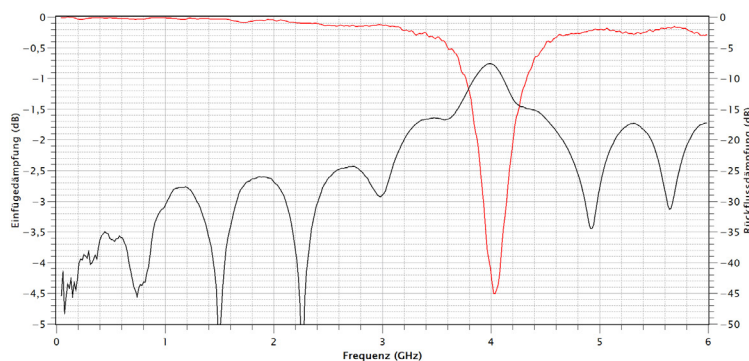
Für eine niedrige Dämpfung ist, bei gleichem Außendurchmesser und gleichem Wellenwiderstand, eine möglichst niedrige Dielektrizitätskonstante (rel. Permittivität) notwendig. Um den Wellenwiderstand gleichzuhalten, muss der Außendurchmesser des Innenleiters ansteigen, wodurch seine Verluste sinken. Die Verluste des Innenleiters tragen bei üblichen Betriebsfrequenzen überwiegend zur Gesamtdämpfung des Kabels bei und führen so zu einem Kabel niedriger Dämpfung.

Die Verluste des Dielektrikums reduzieren sich zwar ebenfalls mit abnehmender rel. Permittivität des Dielektrikums, der Einfluss wird aber erst bei sehr hohen GHz-Frequenzen (typ. 10 GHz oder höher) zunehmend relevant.

Zur praktischen Realisierung eines Dielektrikums mit niedriger Dielektrizitätskonstante verwendet man geschäumtes oder mit Luftzellen versehenes Polyethylen (PE). Der Außenleiter eines Low Loss Kabels besteht aus einer leitfähigen Folie, welche das Dielektrikum vollständig umgibt, und zusätzlich einem (wenig dichten) Geflecht zwischen Folie und Mantel. Die Folie erhöht dabei auch die Schirmdämpfung erheblich, wie dies von modernen Koaxialkabeln gefordert wird.



**Bild 1:** Das Dielektrikum wird mit der Folie in die Crimptüllenbohrung eingeschoben. Das Geflecht wird zwischen Crimptüllenbohrung und Crimphülse festgeklemmt.



**Bild 2:** Ein Peak erhöht bei diesem Kabel die Einfügedämpfung (rote Linie) bewegungsabhängig auf etwa 4,5 dB bei 4 GHz

## Der Übergang zwischen Folie und Steckverbinder als Ursache

Bei hohen Frequenzen ist die Folie der elektrisch relevante Außenleiter des Kabels. Bei einem Crimpstecker führt der aus hochfrequenztechnischer Sicht ungünstige Übergang der Folie zum Steckverbindergehäuse über das Kabelgeflecht zu einem schlechten SWR. Um dies zu verbessern, wird die Folie auf dem Dielektrikum des Kabels belassen und mit diesem in die Crimptüllenbohrung des Steckverbinders eingeschoben (**Bild 1**). Durch die elektrische Verbindung der Folie mit der Crimptüllenbohrung ergibt sich ein möglichst geradliniger Verlauf des Außenleiters ohne Stoßstellen.

Die bei hohen Frequenzen wichtige Verbindung der leitfähigen Folie zum Steckverbindergehäuse basiert jedoch auf einer – mehr oder weniger – undefinierten Berührung zwischen Folie und Steckverbinder. Eine mechanische Fixierung o.ä. ist nicht vorgesehen.

Wie gut oder schlecht der Übergang zwischen Folie und Steckverbinder letztendlich ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen insbesondere die Rauigkeit der Folie, das Bohrungsübermaß der Crimptüllenbohrung und die Größe der möglichen Berührungsfläche. Wie man sich aber leicht vorstellen kann, wird sich die elektrische Verbindung ändern, wenn man das Kabel in unmittelbarer Nähe des Steckverbinders biegt oder eine Zug- oder Druckbeanspruchung in Richtung Steckverbinder ausführt.

Dabei kann auch ein durch Resonanzen hervorgerufener Peak (**Bild 2**) entstehen, dessen Frequenz und Amplitude sich mit der Bewegung des Kabels verändert. Aber auch ohne Bewegung des Kabels kann in ungünstigen Fällen ein solcher Peak auftreten.

Am Netzwerkanalysator lässt sich die Veränderung von Einfügedämpfung und Rückflussdämpfung (SWR) bei einer Biegung des Kabels im Bereich der Außenleitercrimpung sehr gut beobachten. Dieser Effekt tritt insbesondere bei höheren Frequenzen ab etwa 2...3 GHz auf.

Das beschriebene Verhalten ist eine unvermeidbare, herstellerunabhängige technische Eigenschaft der Kombination Kabel mit Folien-/Geflecht Außenleiter in Verbindung mit einem Crimpstecker.

## Lösungsmöglichkeiten

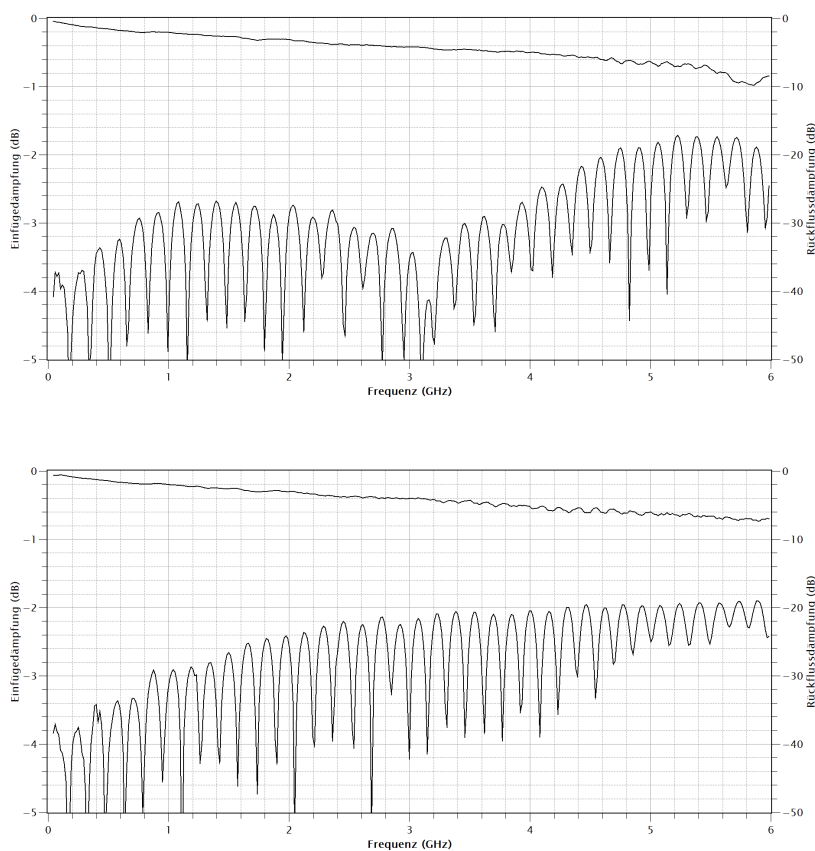
Prinzipiell ist es möglich die Bewegungsabhängigkeit zu verhindern, indem man die Folie bei der Steckverbindermontage entfernt. Dies führt jedoch bei hohen Frequenzen zu einer erheblichen Verschlechterung der Anpassung und anderen Eigenschaften. Aus diesem Grund raten wir ausdrücklich davon ab.

Ein weiterer Lösungsansatz ist das Einbringen von leitfähigen Klebstoffen zwischen Folie und Crimptüllenbohrung. Auch hiervon raten wir aufgrund fehlender Langzeiterfahrungen ab.

Eine bessere Lösungsmöglichkeit ist dagegen die Verwendung eines Steckverbinders mit Klemmmontage. Hierbei ist der Übergang zwischen Folie und Steckverbindergehäuse üblicherweise sowohl elektrisch als auch mechanisch deutlich zuverlässiger und stabiler ausgeführt. Manche Hersteller verwenden hierzu eine Hülse, die zwischen Folie und Geflecht eingeschoben wird, um einen flächigen Kontakt mit dem Steckverbindergehäuse herzustellen. Zur mechanischen Stabilisierung ist die Hülse geschlitzt und eine Stopfbuchse drückt die Hülse zusammen und gegen die Folie.

Andere Hersteller verwenden einen Ring, der das Geflecht in einem sehr geringen radialen Abstand von der Folie gegen das Steckverbindergehäuse presst. Hier ist der elektrische Übergang sehr kurz und das Kabel mechanisch stabil im Steckverbinder fixiert.

Eine Bewegungsabhängigkeit der Einfügedämpfung und des SWRs tritt bei Klemmsteckern in der Regel nicht auf. Die Verbindung ist deutlich zuverlässiger. Wir empfehlen daher für Kabel mit Folien-/Geflechtaußenleiter ausschließlich die Verwendung eines Klemmsteckers. **Bild 3** zeigt den Vergleich zweier identischer Kabel, die sich nur durch den Steckverbinder (Crimp / Klemm) unterscheiden.



**Bild 3:** Einfüge- und Rückflussdämpfung zweier identischer 80 cm langen Low Loss Kabel.

Das obere Bild zeigt die Messwerte mit N Crimpsteckern mit einem minimalen Peak knapp unter 6 GHz.

Das untere Bild zeigt die bei hohen Frequenzen bessere Anpassung der N Klemmstecker. Ein Peak tritt nicht auf.