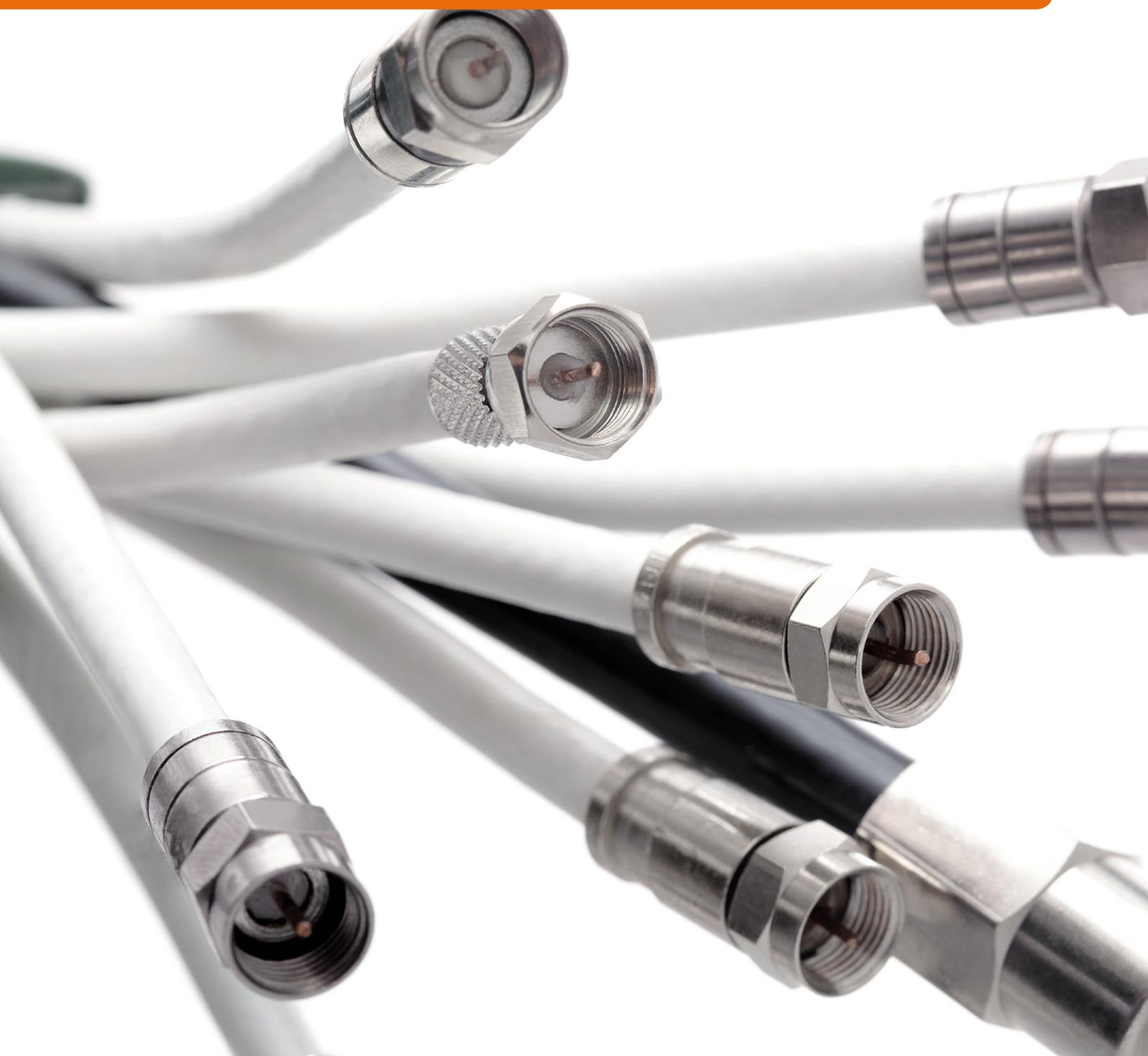


# Steckverbindungen



# für Koaxialkabel

## Steckverbindungen für Koaxialkabel

### Durchgängig konstante Impedanz für hohe Signalqualität

Moderne Koaxialnetze für den Satellitenempfang müssen Signale im Frequenzbereich von 0 MHz (Gleichspannung) bis über 2 GHz dämpfungsarm und hochgeschirmt vom LNB (Low Noise Blockconverter) über den Multischalter bis zum Teilnehmerreceiver transportieren. Dabei spielen die Steckverbindungen eine besonders wichtige Rolle. Warum ist das so?

Betrachten wir die einfachste aller Verteilanlagen für den Satellitenempfang. Sie besteht aus dem parabolischen Metallreflektor, in dessen Brennpunkt der LNB (Low Noise Blockconverter) montiert ist. An seinem Ausgang beginnt das Verteilsystem. Im einfachsten Fall einer Einteilnehmeranlage besteht dieses aus einem einzigen Koaxialkabel mit je einem Stecker an den Enden. Der zu transportierende Frequenzbereich erstreckt sich von 950 MHz bis 2150 MHz. Zudem muss das Kabel eine Gleichspannung von 12 bis 18 V zur Versorgung des LNBs mit einer Stromstärke von einigen 100 mA führen. Die Systemimpedanz (auch Wellenwiderstand genannt) beträgt 75  $\Omega$ .

Als Stecker hat sich in der Praxis koaxialer Gebäudeinstallationen der sogenannte F-Typ durchgesetzt. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass er den massiven Innenleiter des Koaxialkabels als zentralen Steckstift verwendet und mit einer Überwurfmutter auf seinen Gegenpart aufgeschraubt wird. Er besteht also im Wesentlichen aus einer metallischen Hülse, die in elektrischen Kontakt mit dem Außenleiter des Koaxialkabels gebracht werden muss. Für eine feste mechanische Verbindung ist ein Kraftschluss zum Kabel herzustellen. Das kann durch Schrauben, Crimpen oder Komprimieren erfolgen. Dementsprechend unterscheidet man F-Stecker nach Schraub-, Crimp- und Kompressionstypen.

### Zauberwort Homogenität

Idealerweise ist ein Übertragungssystem durch örtliche und zeitliche Gleichmäßigkeit (Homogenität) seiner Eigenschaften gekennzeichnet. In einer Empfangs- und Verteilanlage erfordert dies in erster Linie einen gleichmäßigen Verlauf des Wellenwiderstands an jeder Stelle des Signalpfads. Betrachtet man die Kenngrößen des Koaxialkabels (Bild 1), die den Wellenwiderstand beeinflussen, wird deutlich, worauf zu achten ist. Gleichung 1 für den Leitungswellenwiderstand  $Z_w$  eines Koaxialkabels lässt erkennen, dass dieser von der relativen Permittivität des Dielektrikums (relative Durchlässigkeit für elektrische Felder im Vergleich zu der von Vakuum), dem Durchmesser des Außenleiters (Schirm) und des Innenleiters (Seele) abhängt.

$$Z_w = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \log \frac{D}{d} \Omega$$

$Z_w$ : Wellenwiderstand (Impedanz)

$\epsilon_r$ : relative Permittivität (veraltet: relative Dielektrizitätskonstante)

$\frac{D}{d}$ : Verhältnis des Außenleiterdurchmessers zum Innenleiterdurchmesser

Gleichung 1

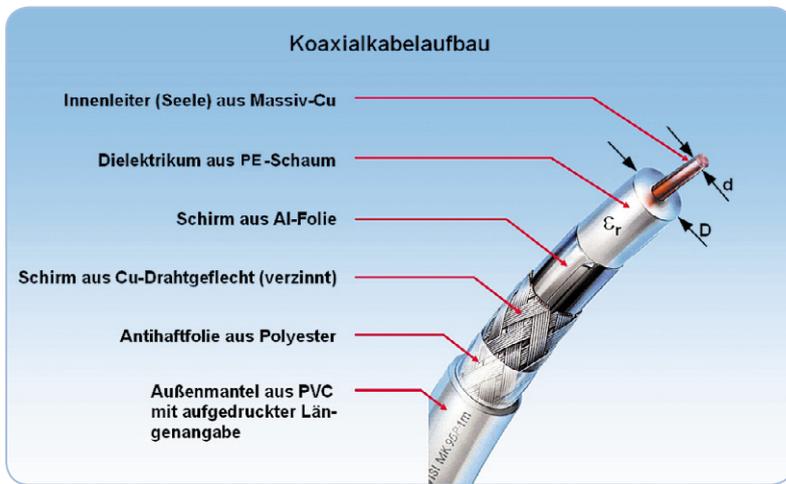


Bild 1: Der Aufbau eines hochwertigen Koaxialkabels. Für eine ebenso hochwertige Steckverbindung muss der verwendete Stecker exakt darauf abgestimmt sein.

Im Bereich einer Quetschung des Kabels wird das Dielektrikum verformt, wodurch sein Durchmesser  $D$  abnimmt, was zu einer geringeren Impedanz in diesem Abschnitt führt. Es entsteht eine Impedanzstoßstelle (Impedanzsprung), an der ein Teil der leitungsgeführten Welle reflektiert wird und nicht mehr als Nutzenergie zur Weiterleitung in Richtung Verbraucher zur Verfügung steht (Bild 2). Dieser Effekt wird unterstützt durch eine Verdichtung des meist geschäumten Dielektrikums, wodurch sich seine relative Permittivität erhöht. Idealerweise herrscht überall im Verteilsystem Anpassung, d. h. der gleiche Wellenwiderstand. Das gilt natürlich auch für Stecker, Buchsen, Kuppler, Verteiler, Abzweiger, Verstärker usw.

Für eine gute Langzeitstabilität des Dielektrikums ist es wichtig, dass dieses bei der Fertigung nicht durch chemische Treibmittel geschäumt wird. Besser sind durch Zugabe von Stickstoff oder Kohlensäure physikalisch geschäumte Dielektrika, die mit dem Material des Dielektrikums auch nach langer Zeit nicht chemisch reagieren und es erheblich stabiler gegen Feuchtigkeits- und Hitzeeinflüsse machen. Ein Dampf-Hitze-Test (DH: Damp Heat) nach dem IEC-Standard 68-2 Teil 3 „Basic environmental testing procedure“ belegt das. Dazu wird ein Kabel 21 Tage lang einer Temperatur von  $40\text{ °C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $93\%$  ausgesetzt. Zur Erfüllung der Norm darf sich die Kabeldämpfung nach dem Test um nicht mehr als  $5\%$  gegenüber dem Wert vor dem Test verschlechtern haben. Wie Bild 3 zeigt, ist dies nur bei physikalisch geschäumten Kabel-dielektrika möglich.

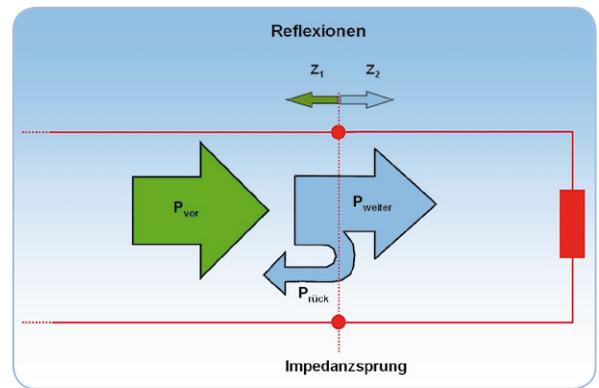


Bild 2: An jeder Impedanzänderung in einem Verteilsystem (Stoßstelle) wird durch Reflexion die gleichmäßige Weiterleitung der Hochfrequenzenergie gestört.

Ebenso wichtig ist die UV-Beständigkeit des Außenmantels. Wird er nach einigen Jahren brüchig, kann Wasser in das Kabel eindringen und die Schirmung zu korrodieren beginnen. Eine Veränderung der Übertragungsparameter ist damit unvermeidbar.

### F-Schraubstecker

Der geschraubte F-Stecker wurde zu Beginn des Satellitendirektempfangs nahezu ausschließlich verwendet. Obwohl es heute HF-technisch überlegene Alternativen gibt, findet er wegen der werkzeuglosen Montage-möglichkeit immer noch eine große Verbreitung.

Der F-Schraubstecker besitzt auf der Hülseninnenseite ein Schraubgewinde, das sich beim Aufschrauben auf den Kabelmantel mit diesem kraftschlüssig verbindet. Setzt man eine auf den Kabeldurchmesser abgestimmte Ausführung mit konischer Anpresszone (Bild 4) für den Außenleiter des Koaxialkabels ein, darf die Kabelabschirmung keinesfalls vor dem Aufschrauben des Steckers zurückgeschlagen werden, weil sie sonst durch dessen Gewindegänge zerschnitten würde. Der Sinn dieser Forderung wird nach dem Abschrauben eines derart montierten Steckers durch abgetrennte Geflechtbrösel offensichtlich. Zudem ist das Aufschrauben bei mehrfach geschirmten Kabeln nach

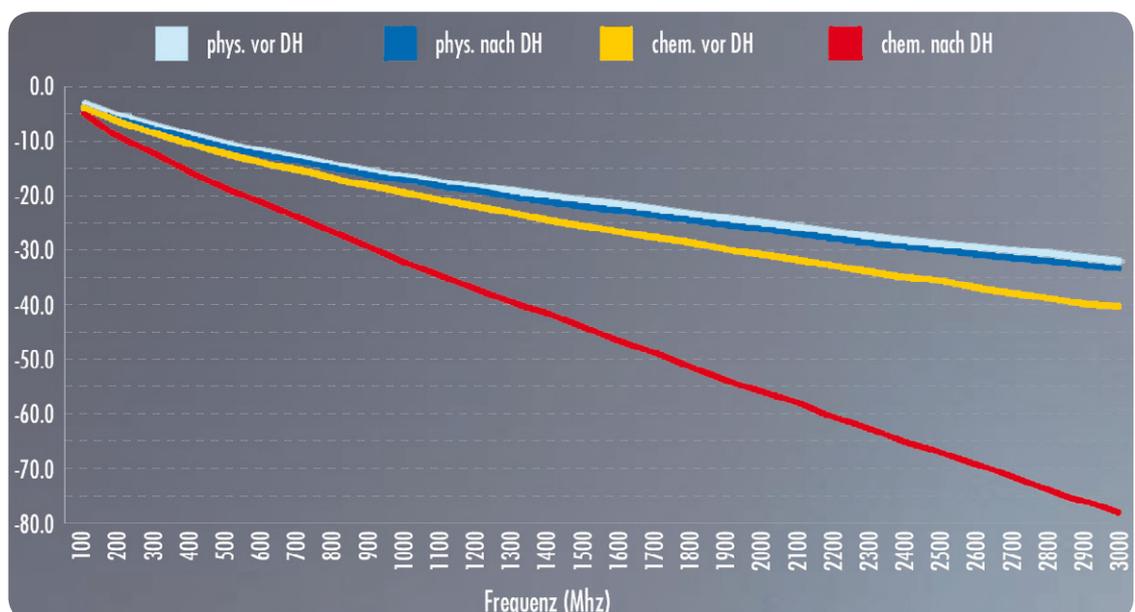


Bild 3: Beim HD-Test (Heat Damp: Hitze-Feuchtigkeit) schneidet ein Kabel mit chemisch geschäumtem Dielektrikum deutlich schlechter ab als eines mit physikalisch geschäumtem Dielektrikum. Quelle: Betacavi

dem Zurückschlagen der Schirmungen wegen des vergrößerten Durchmessers schwierig.

Wenn man stattdessen Geflecht und Schirmfolie auf dem Dielektrikum belässt, kommt das Geflecht mit dem Schraubgewinde des F-Steckers gar nicht in Berührung, sondern wird großflächig auf die konische Kontaktzone gepresst (in der Zeichnung: gelbe Fläche auf grüne Fläche). Auf diese Weise füllt das Kunststoffmaterial des Mantels die Gewingegänge des aufgeschraubten Steckers formschlüssig aus, wodurch ein guter Schutz gegen Abziehen und das Eindringen von Feuchtigkeit gegeben ist und der Stecker sich ohne Beeinträchtigung der elektrisch-mechanischen Verbindungseigenschaften mehrfach ab- und wieder aufschrauben lässt. Im Bereich der konischen Anpresszone ist eine entsprechende Verformung des Dielektrikums gegeben, die den Wellenwiderstand des Kabels an dieser Stelle verringert. Dennoch erhält man eine nach elektrischen und mechanischen Gesichtspunkten durchaus akzeptable HF-Verbindung.

Leider wurden bei der Paarung von Stecker und Kabel sowie der Montage in der Vergangenheit sehr oft Fehler gemacht, was zu unbefriedigenden elektrischen und mechanischen Werten der Verbindung führte, die sich zudem noch im Lauf der Zeit weiter verschlechterten. Das brachte dem F-Schraubstecker im Lauf der Jahre den Ruf der Unprofessionalität ein.

### F-Crimpstecker

Der Begriff Crimpen leitet sich aus dem englischen „to crimp“ ab. Er übersetzt sich ins Deutsche mit falzen, bördeln oder eindrücken. Die gecrimpte Steckeraußenhülse wird also zur Herstellung einer guten elektrischen und mechanischen Verbindung zum Kabel durch eine spezielle Crimpzange so verformt, dass ihr Querschnitt die Form eines Sechsecks annimmt. Damit sich an dieser Stelle der Wellenwiderstand des Kabels nicht ändert, kontaktiert eine innere Steckhülse die Abschirmung (und führt die Abschirmung im Bereich des freigelegten Dielektrikums fort), indem sie sich zwischen Schirmgeflecht und Schirmfolie schiebt und damit zugleich das Dielektrikum vor einer Quetschung schützt. Es entsteht also keine durch Verformung bedingte Stoßstelle, die einen Teil der Hochfrequenz reflektieren würde, der dann nicht mehr zur Weiterleitung zur Verfügung stünde. An derartigen lokalen Impedanzsprüngen käme es bevorzugt zu Abstrahlungen, was die durchgängige Schirmwirkung des Systems Kabel-Stecker beeinträchtigen würde. In dieser Hinsicht ist dem F-Crimpstecker also nichts vorzuwerfen.

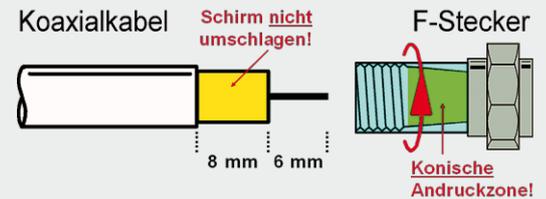
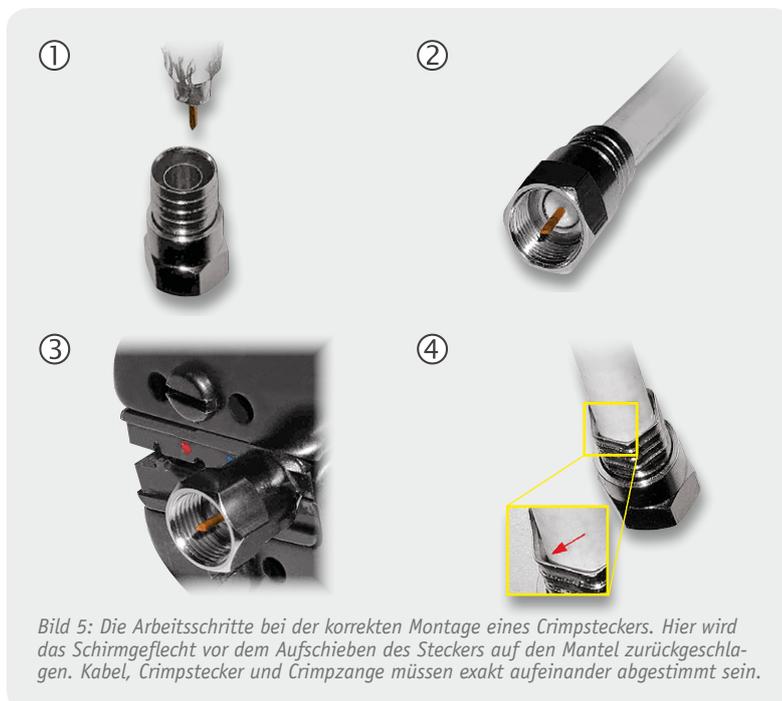


Bild 4: Hochwertige F-Stecker verfügen über eine konische Anpresszone, in der ein großflächiger Kontakt mit dem Abschirmgeflecht hergestellt wird. Hier wird das Schirmgeflecht vor dem Aufschrauben des Steckers nicht auf den Mantel zurückgeschlagen.

Bild 5 fasst die Konfektionierungsschritte zusammen:

1. Aufschieben des abgesetzten Kabels
2. Bündigkeit von Boden der Gewindehülse und Dielektrikum beachten
3. Pressen mit Crimpzange
4. Fertig montierter Stecker mit Hohlräumen zwischen verformter Außenhülse und Kabelmantel (Bild 5, roter Pfeil).

In Verbindung mit einem geeigneten Absetzwerkzeug, das in einem Arbeitsgang den Innenleiter und die Abschirmung freilegt, und einer passenden Crimpzange lässt sich gegenüber dem F-Schraubstecker aber Zeit und die Mühe des Aufdrehens auf das Kabel sparen. Das war sicher ein wesentlicher Grund dafür, dass der F-Crimpstecker seinen Einzug in die Installationspraxis nahm. Wenn man natürlich, wie gelegentlich in der Praxis zu beobachten, eine Wasserpumpenzange zum Zusammendrücken der äußeren Presshülse verwendet, hat dies fast immer mehr oder weniger unakzeptable elektrische und mechanische Verbindungseigenschaften zur Folge. Auf jeden Fall mangelt es einem Crimpstecker in der Regel ohne zusätzliche Maßnahmen mit selbstverschweißendem Kleband oder gelgefüllten Gummimuffen an Wasserdichtigkeit.

### F-Kompressionsstecker

Der Kompressionsstecker hat zur Zeit die besten Hochfrequenzeigenschaften, eine korrekte Paarung von Stecker und Kabel und eine vorschriftsmäßige Verarbeitung vorausgesetzt. Er ist wie der Crimpstecker durch eine innenliegende Hülse gekennzeichnet, die sich zwischen Schirmgeflecht und Folie schiebt und dadurch das Dielektrikum vor Verformungen schützt (Bild 6). Konstruktionsbedingt ist ein hoher Schutz gegen in das Steckerinnere eindringendes Wasser gegeben.

Bild 6: Sowohl bei Crimp- als auch Kompressionssteckern schieben sich die Innenhülsen über den Folienschirm (so vorhanden) des Koaxialkabels. So ist das weiche Schaumdielektrikum vor mechanischer Verformung geschützt. Das zurückgeschlagene Schirmgeflecht wird von der Außenhülse kontaktiert.



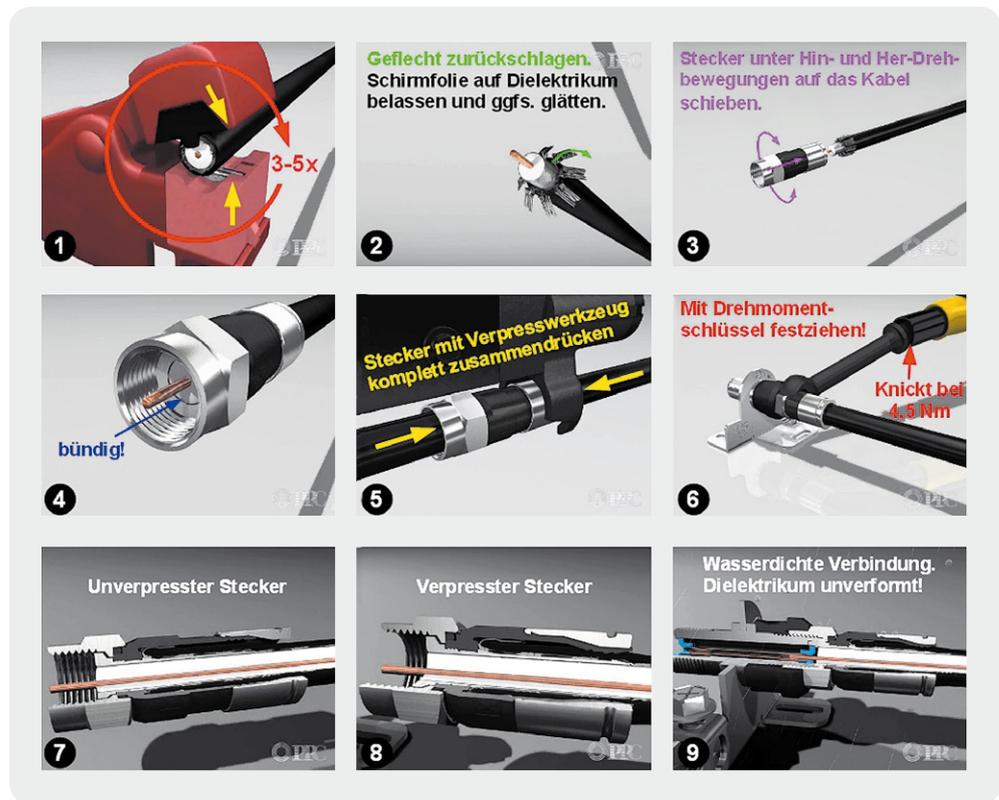


Bild 7: Die Arbeitsschritte bei der Montage eines Kompressionssteckers in allen Einzelheiten. Quelle: PRC

Betrachtet man den Montagevorgang (Bild 7), wird deutlich, dass auch hier kein Quetschen des Dielektrikums und damit keine Impedanzänderung an dieser Stelle erfolgt.

Die Schritte im Einzelnen:

1. Mit einem Absetzwerkzeug wird in einem Arbeitsgang der Innenleiter freigelegt und die Kunststoffummantelung vom Schirmgeflecht entfernt.
2. Das Schirmgeflecht wird auf die Kunststoffummantelung zurückgefaltet. Die Schirmfolie verbleibt auf dem Dielektrikum und muss darauf glatt anliegen.
3. Unter leichten Hin- und Herdrehbewegungen wird der Stecker auf das Kabel geschoben. Dabei schiebt sich die Innenhülse zwischen Schirmfolie und Schirmgeflecht.
4. Das Aufschieben ist abgeschlossen, wenn die vordere Kante des Dielektrikums bündig mit der Steckhülse ist.
5. Mit einem Verpresswerkzeug werden die Steckerteile in axialer Richtung zusammengeschoben, wobei ein gleichmäßig umlaufender radialer Druck auf Mantel und Schirm entsteht.
6. Die Überwurfmutter des Steckers ist mit einem Drehmoment von 4,5 Nm (Newtonmeter) festzuziehen.

7. und 8. Beim Zusammenpressen schützt die über der Schirmfolie liegende Hülse vor einer Verformung durch radialen Druck.

9. Das Ergebnis ist eine wasserdichte und langzeitstabile Hochfrequenzverbindung mit exzellenten Eigenschaften in Bezug auf Schirmdämpfung, Reflexionsverhalten und Übergangsdämpfung.

Die Einzelbilder in Bild 7 wurden einer sehr instruktiven Animation des Montagevorgangs des Steckersherstellers PPC im Vertrieb der Preisner Kommunikationstechnik GmbH in Köngen entnommen. Auch unter [www.kathrein.de/de/sat/produkte/doc/9362886.pdf](http://www.kathrein.de/de/sat/produkte/doc/9362886.pdf) ist eine anschaulich bebilderte Beschreibung der Vorgehensweise bei der Montage eines F-Kompressionssteckers zu finden.

Nach den eben beschriebenen Prinzipien sind auch die Kompressionsstecker anderer Hersteller aufgebaut.

### Self-install-F-Stecker

Der dänische Steckerspezialist Corning Cabelcon verfügt über eine Spezialität zur werkzeuglosen Montage, die Self-install-F-Kompressionsstecker Cabelcon 4.9 und 5.1 für den Gebäudeinnenbereich. Eines der Motive der Entwickler war, die oft in Heimwerkerinstallationen verwendeten F-Schraubstecker minderer Qualität zu ersetzen. Der Montagevorgang (Bild 8) ist verblüffend einfach: Kabel absetzen, Geflecht nach hinten auf den Mantel umschlagen, Stecker aufschieben. Das Festziehen der Überwurfmutter auf der Gegenbuchse bewirkt den Kompressionsvorgang, es ist also kein spezielles Presswerkzeug erforderlich.

Bild 8: Self-install-Stecker verringern den Arbeitsaufwand, da für ihre Montage kein Verpresswerkzeug erforderlich ist. Quelle: Cabelcon





Bild 9: Ein derartiger Dichtungsblock verhindert das Eindringen von Nässe in einen koaxialen Kabelkuppler. Zugleich ist die Möglichkeit zur mechanischen Fixierung und Einbeziehung in den Potentialausgleich gegeben.  
Quelle: Cabelcon

Ähnlich einfach ist die Montage des Schnellmontagesteckers FS2000 von Televes-Preisner. Wie man in dem Dokument „FS2000 Anleitung.pdf“ unter [http://preisner.de/montageanleitungen\\_39.html](http://preisner.de/montageanleitungen_39.html) lesen kann, genügt das Abisolieren des passenden Koaxialkabels SK2000plus mit dem Abisolierer FCS10 in einem Arbeitsgang, Umschlagen des Geflechts über den Mantel und Aufstecken des Schnellmontagesteckers FS2000. Ein Verpressen mit einer speziellen Zange ist nicht erforderlich.

Inzwischen haben auch professionelle Installateure wegen der hervorragenden elektrischen und mechanischen Kennwerte und der einfachen, zeitsparenden Montage an Self-install-F-Kompressionssteckern Gefallen gefunden. Wie der deutsche Cabelcon-Distributor Dresel, Großhandel für Telekommunikation in Wertheim, berichtet, zeugt die zunehmende Nachfrage von der wachsenden Beliebtheit dieser Innovation. Für den Einsatz im Außenbereich hält Dresel spezielle wassergeschützte Versionen mit zwei integrierten O-Ringen bereit oder empfiehlt die Verwendung einer außenliegenden Gummidichtung (Bild 9).

### Technische Kennwerte

F-Kompressionsstecker sind bis zu einer oberen Grenzfrequenz von 3 GHz verwendbar, haben also im Zusammenspiel mit einem passenden, hoch geschirmten und dämpfungsarmen Koaxialkabel eine beträchtliche

Zukunftsreserve. Die Schirmdämpfung liegt bis zum oberen Ende des Sat-ZF-Bereichs zwischen 90 und 100 dB.

Die Abzugskräfte von F-Kompressionssteckern sind durch den hohen Druck, den Außen- und Innenhülse auf Schirmgeflecht und Mantel ausüben, aber dabei das Dielektrikum nicht belasten, enorm hoch.

Natürlich spielen auch weitere Eigenschaften des Steckers für die Qualität der Hochfrequenzverbindung eine Rolle: sein eigener Wellenwiderstand, Fertigungstoleranzen, verwendete Materialien und die Oberflächenbehandlung der metallischen Teile. Um die vom Hersteller angegebenen technischen Daten, wie z. B. die Schirmdämpfung, richtig einordnen und bewerten zu können, ist die genaue Kenntnis der zugrunde liegenden Messmethode und der Messapparatur erforderlich. Weil Papier geduldig ist, liest man hier bei weniger seriösen Anbietern oft Fantasiewerte (ähnlich wie bei LNBs die Angabe von Rauschzahlen um 0,1 dB), die sie naturgemäß nicht glaubwürdig belegen können.

Ein gutes Beispiel für eine saubere, nachvollziehbare technische Spezifikation zeigt Bild 10. Man sieht die Messkurve der Schirmdämpfung eines Cabelcon-Steckers F-56 4.9 Self Install in Verbindung mit einem genau benannten Koaxialkabel der Firma Belden (H126 DB). In einem Beiblatt zur Messkurve sind die Messeinrichtung (Messrohr Bedea CoMeT) sowie alle relevanten Messwerte und die Umrechnungs- und Korrekturbeziehungen zur Ermittlung der tatsächlichen Schirmdämpfung angegeben. Diese Verfahrensweise ist ebenso vorbildlich wie die ermittelten Messwerte. Zwischen 30 und 3000 MHz ist die Schirmdämpfung größer als 120,6 dB, zwischen 30 und 1000 MHz >129,6 dB.

### Fazit

Für eine elektrisch und mechanisch optimale Verbindung koaxialer Komponenten in Hochfrequenzverteilanlagen ist heute der F-Kompressionsstecker die erste Wahl. Seine exzellenten Leistungsparameter kann dieser Stecker typ aber nur entfalten, wenn er mit hochwertigen, auf ihn abgestimmten Koaxialkabeln kombiniert und bei der Montage das darauf zugeschnittene Presswerkzeug eingesetzt wird. Nur so ist sichergestellt, dass das Verteilsystem mit seinen zahlreichen Hochfrequenzverbindungen langfristig zuverlässig gute technische Werte in Bezug auf Dämpfung, Schirmung, Übergangswiderstand und Abzugskräfte aufweist. Man sollte deshalb No-Name-Ware meiden und die Produkte und Empfehlungen eines renommierten Herstellers sowie die Angebote des Fachhandels bevorzugen. **ELV**

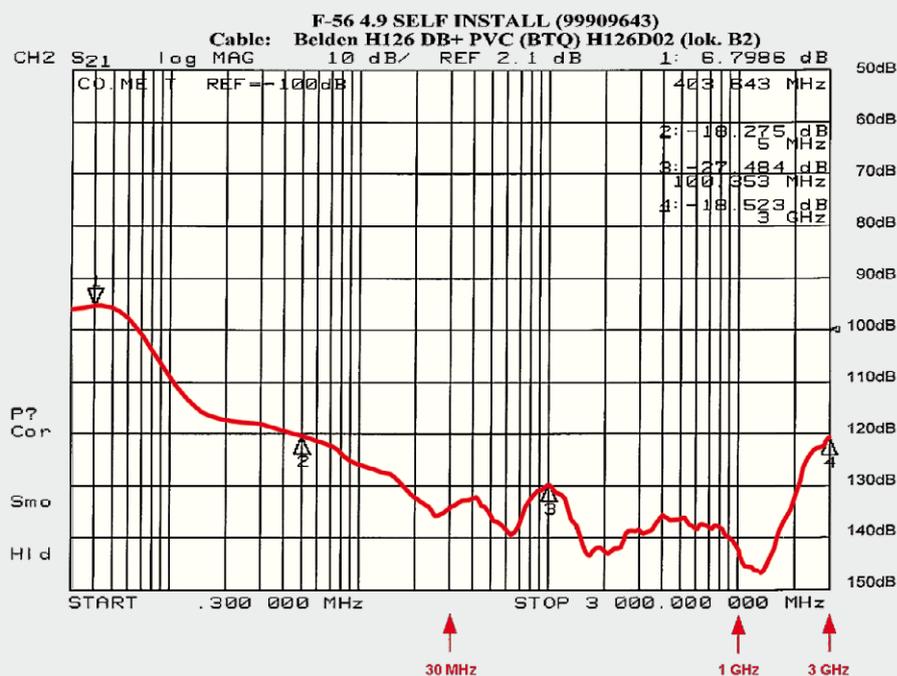


Bild 10: Hochwertige F-Stecker erreichen sowohl als Kompressions- als auch Self-install-Typen problemlos Schirmdämpfungswerte von mehr als 100 dB bis zu einer Übertragungsfrequenz von 3 GHz. Quelle: Cabelcon