

Meßkabel

Helmut Stadelmeyer und Eike Bernert

Funkamateure und Hobbyelektroniker haben zumindest eines, in der Regel jedoch mehrere Meßgeräte in ihrer Werkstatt. All diese wertvollen Helfer sind für Experimente und zur Fehlersuche nur dann problemlos verwendbar, wenn auch die entsprechenden Leitungen vorhanden sind, um das Meßobjekt richtig anzuschließen.

Der Beitrag soll zeigen, daß es durchaus nicht einerlei ist, wie solche Leitungen ausgeführt

sind, weil davon sehr oft das Meßergebnis abhängt. Ein besonderes Kapitel sind koaxiale Leitungen, auf die genauer eingegangen wird.



Abb. 1: Eine kleine Auswahl guter Meßleitungen mit 4-mm-Steckern

Dieser Aufsatz wendet sich an jene, die wenig oder noch gar keine Erfahrung mit der Meßtechnik haben und das notwendige Zubehör anschaffen wollen oder die bei ihren Messungen hin und wieder zu unerklärlichen Resultaten kommen. Es kann durchaus sein, daß ungeeignetes Zubehör eine der Ursachen für diese Art von Überraschung ist. Alte Meßtechnik-Hasen kennen und haben schon lange all das, was hier beschrieben wird.

Normale Meßleitungen

Unlängst waren wir wieder einmal bei unserem Hobbykollegen ABC, den wir über alles schätzen. Leider ist er ausgerechnet in dieser Hinsicht gar kein leuchtendes Beispiel - es reicht ihm offensichtlich, wenn bei seinen Meßstrippen der Strom irgendwie von einem Ende zum anderen kommt. Wie der Strom das letztendlich schafft, scheint für ihn Nebensache zu sein.

Der geneigte Leser hat das vielleicht auch schon irgendwo gesehen: mickrige und stark oxidierte Krokodilklemmen, armselig dünne und vernudelte Drähtchen, noch dünnere Isolierung des stromführenden Leiters, kein anständiger Knickschutz und billige Stecker, die in der Meßgerätebuchse nicht ordentlich sitzen und dergleichen mehr. Allerdings spart man auf diese Weise ein bißchen Geld.

Spart man wirklich? Überlegen wir kurz, was sich unser Freund ABC damit einhandelt:

- Unnötig erhöhter Übergangswiderstand an den Klemmstellen
- Ungeeignete Klemmen erschweren das Anschließen an das Meßobjekt
- Bei der Messung ganz kleiner Widerstände treten bereits Fehler durch den Leitungswiderstand in Erscheinung
- Solche Strippen sind zur Messung von größeren Strömen völlig ungeeignet, weil sie heiß werden oder gar verschmoren
- Sie sind ebenso zur Messung höherer Spannungen ungeeignet, es besteht unter Umständen sogar akute Lebensgefahr!
- Die Leiter brechen an den Lötstellen der Klemmen mit schöner Regelmäßigkeit und immer dann, wenn man sie braucht
- Billigstecker ruinieren die Buchsen der Meßgeräte, weil bei Strommessung durch erhöhten Übergangswiderstand unnötig Wärme entsteht

Mit ein wenig Nachdenken läßt sich die Liste sicher noch erweitern, wir brauchen uns nur die unterschiedlichen Meßaufgaben vor Augen zu halten. Dabei erkennen wir schon, daß eine einzige Sorte von Meßleitungen keineswegs für alle Fälle geeignet sein kann.

Meßkabel

Fangen wir bei den sogenannten Laborkabeln an, die für alle Messungen von Spannungen über 42 Volt und Strömen über 0,5 A, aber auch von Kontaktübergangs-Widerständen bei Relais und Schaltern die richtige Wahl sind: sie haben einen Leiterquerschnitt von 1 mm² oder auch mehr, einen sehr feindrähtigen und damit beweglichen Leiter, eine starke und ebenfalls sehr flexible, farbige Isolierung, die zudem normalerweise trittfest ist. In Ausnahmefällen ist diese Isolierung sogar aus Silikonkautschuk, sodaß ihr dann eine kurzzeitige Berührung mit dem Lötkolben nicht schadet.

Solche Leitungen gibt es fertig konfektioniert mit angespritzten Steckern oder auch zur Selbstmontage. In diesem Fall bitte nicht löten, sondern ausschließlich klemmen! Dazu ist der Leiter sorgfältig mit einer Aderendhülse zu verpressen und erst dann mit der Schraube im Stecker festzuklemmen. Versucht man zu löten, dann fließt das Zinn aufgrund der großen Kapillarwirkung sofort viel zu weit in den Leiter, der dann steif ist und an dieser Stelle bald brechen wird. Als Stecker empfehlen sich Anreihstecker oder Büschelstecker mit 4-mm-Stiften, die ein bequemes Anschließen eines weiteren Kabels ermöglichen. Büschelstecker sind für die Arbeit mit höheren Spannungen nicht so gut geeignet, weil am quer durchgesteckten Stecker des zweiten Kabels jeglicher Berührungsschutz fehlt. Anreihstecker sind aus diesem Grund vorzuziehen. Die Oberfläche dieser Stecker ist zur besseren Kontaktgabe vernickelt, versilbert oder sogar vergoldet.

In letzter Zeit werden auf AFU-Flohmärkten vermehrt Laborkabel zu günstigen Preisen angeboten, zum Teil sogar augenscheinlich ungebraucht. Hat man Bedarf, so sollte man die Gelegenheit nicht ungenützt vorbeigehen lassen, besonders, wenn es sich um Fabrikate wie HIRSCHMANN, MC oder POMONA handelt.



Abb. 2: Lamellen-, Büschel- und Hohlstecker

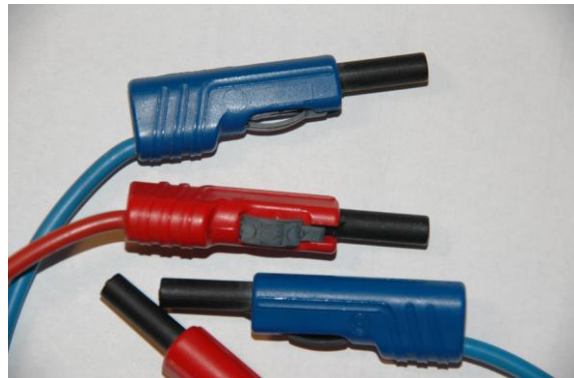


Abb. 3: Moderne Sicherheitsstecker

Die häufig anzutreffenden, etwa 30 cm langen Strippen mit Krokodilklemmen an beiden Enden, die im Zehnerpack verkauft werden, stammen aus fernöstlicher Fertigung und haben recht geringen Leiterquerschnitt. Sie sind deshalb nur bedingt verwendbar, selbst wenn man auf einer Seite einen 4-mm-Stecker montiert.



Abb. 4: Moderne Prüfspitzen

Abb. 5, rechts: Klemmprüfspitzen, Krokodilklemme und normale (ältere) Prüfspitzen



Meßkabel

Viel besser ist, für die dünnen Meßkabel silikonisierte Litze zu verwenden, die unter anderem auch von der Firma NEUHOLD in Graz unter der Nummer E1510 angeboten wird. Solche Leitungen gibt es in mehreren Farben.

Die Verbindung der Meßkabel mit dem Meßobjekt erfolgt zweckmäßig entweder mit Klemmprüfspitzen (KLEPS, Fabrikat HIRSCHMANN), passenden Krokodilklemmen oder mit einer Prüfspitze. Will man Ströme messen, die über wenige Ampere hinausgehen, dann ist auf den Anschluß beim Meßobjekt besonderes Augenmerk zu legen: die in Abb. 5 gezeigten Klemmprüfspitzen und die Krokodilklemme sind für große Ströme nicht geeignet, weil sie an der Kontaktstelle heiß werden. Hier sind kräftige Krokodilklemmen, eine Schraubverbindung oder ein Flachstecker notwendig. Ebenso ist die Stromtragfähigkeit der Meßkabel zu beachten.

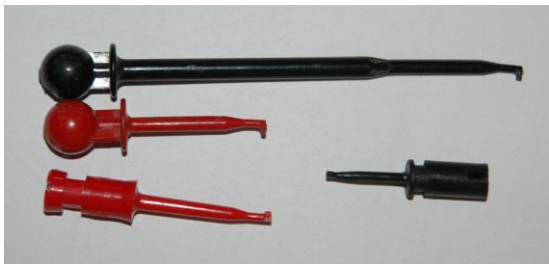


Abb. 6: Gute Hakenprüfspitzen



Abb. 7: Billige Hakenprüfspitzen

In elektronischen Baugruppen liegen die Anschlüsse oft sehr knapp beisammen. Hier bewähren sich Hakenprüfspitzen und kleine Klemmprüfspitzen, die allesamt jedoch mechanisch nicht so robust sind wie ihre großen Brüder. Abgenutzte oder defekte Prüfspitzen bereiten Ärger und sollten ausgemustert werden.

Für diese kleinen Prüfspitzen genügen selbstverständlich auch zarte Kabel mit einem Leiterquerschnitt von $0,5 \text{ mm}^2$.

Tastköpfe

Das Oszilloskop ist eines der vielseitigsten, aber auch teuersten Meßgeräte in unserer Werkstatt. Wir achten deshalb darauf, daß ihm kein elektrisches Unheil zustößt, das gelegentlich von einem Meßobjekt ausgehen kann. Fast alle üblichen Tastköpfe sind für eine Spitzenspannung von 400 Volt ausgelegt, die nicht überschritten werden sollte. Kommt es zu einem Durchschlag oder Überschlag im Tastkopf, dann steht die Spannung direkt am Eingang des Oszilloskops an und beschädigt möglicherweise das Gerät. Deshalb ist für Messungen an Baugruppen wie Zeilentransformatoren, an denen hohe Spannungen zu erwarten sind, ein spezieller Tastkopf mit einem Spannungsverhältnis 100:1 und entsprechender Spannungsfestigkeit zu verwenden.

Die Reparatur defekter Tastköpfe ist wegen der darin verwendeten Bauteile sehr schwierig bis unmöglich. Selbst das Meßkabel ist etwas Besonderes, denn der Innenleiter ist nicht aus Kupfer (wahrscheinlich ist es Stahl), er ist hauchdünn und muß geklemmt werden, weil er nicht lötlbar ist. Auf jeden Fall hat dieses Kabel nichts mit den üblichen Koaxialkabeln der Type RG174 zu tun, selbst wenn es so aussehen sollte.

Einen defekten Tastkopf sollte man sogleich aussondern und durch einen funktionierenden ersetzen, um von dort herkommende Unsicherheiten bei der Messung zu vermeiden (es bleiben ohnedies genug andere übrig, die es zu berücksichtigen gilt).

Koaxiale Meßleitungen

Damit sind wir auch schon bei den Koaxialkabeln angelangt. Mögliche Fehlerquellen sind hier vielfältig und schwieriger auszumachen als bei den gewöhnlichen Meßkabeln, unter anderem deswegen, weil Kabel und Stecker eine Einheit bilden. Einige Kenngrößen von Koaxialkabeln mit ihrem Zubehör:

Meßkabel

- Frequenzbereich
- Wellenwiderstand
- Art des Dielektrikums
- Dämpfung
- Mechanische Ausführung
- Schirmmaß
- Steckertypen
- Anzugsmoment
- Zustand der Stecker
- Adapter

Kabel

Derjenige, der sich fest vorgenommen hat, immer nur im Kurzwellenbereich zu messen, darf bei der Wahl seiner Kabel und Stecker weit weniger anspruchsvoll sein als jemand, der sich mit Mikrowellentechnik beschäftigen will. Der Grund ist, daß sich Fehlanpassungen im unteren Frequenzbereich bei weitem nicht so stark auswirken wie bei hohen Frequenzen, wobei eine Fehlanpassung unterschiedliche Ursachen haben kann:

- Stoßstellen im Verlauf des Kabels, die durch eine Formänderung zustande kommen, wie Druckstellen oder zu geringer Biegeradius. In diesen Fällen liegt der Mittelleiter nicht mehr im Zentrum einer kreisförmigen Anordnung, was eine Änderung der Impedanz zur Folge hat. Wie ausgeprägt dieser Effekt ist, zeigt ein einfacher Versuch deutlich: ein 4-GHz-Generator speist über ein etwa 1 m langes RG58-Kabel einen Leistungsmesser. Bewegt man das Kabel, dann schwankt bei 10 dB Ausgangsleistung die am Kabelende gemessene Leistung bereits zwischen 7,9 und 8,6 dBm. Die Erkenntnis: ein solches Kabel ist bei dieser Frequenz nicht zu gebrauchen (und auch nicht dafür spezifiziert!).
- Fertigungsabweichungen von den Idealwerten; manche Kabelhersteller geben beispielsweise eine Impedanz von 50 Ohm +/- 2 Ohm an. An den Toleranzgrenzen bedeutet allein das bereits eine Verringerung der Rückflußdämpfung auf 34 dB.
- Ungeeignete, defekte oder falsch montierte Stecker. Besonders störungsanfällig scheinen RG58-Kabel mit aufgepreßten (gecrimpten) BNC- und N-Steckern zu sein – bei denen bricht oft am Ende der Preßhülse das Geflecht des Außenleiters. Möglicherweise handelt es sich dabei um einen gar nicht so seltenen Montagefehler, denn eigentlich müßte der Plastik-Mantel mit verpreßt sein und genau das verhindern. In vielen Fällen ist der Mantel aber zu kurz abgesetzt.

Die Art des Dielektrikums entscheidet unter anderem darüber, ob ein Kabel mehr oder weniger Verluste hat. Ist die Isolierschicht weich, dann sind die Verformung des Querschnitts und damit die Änderung des Wellenwiderstandes bei Biegung größer. Aus diesen Gründen ist PTFE-, FEP- oder PE-isolierten Kabeln der Vorzug zu geben [1].

Wir müssen unsere Meßkabel an den unterschiedlichsten Stellen anschließen und dabei das Kabel bewegen und gelegentlich sogar ein wenig verwinden. Das überstehen auf mittlere Sicht nur Kabel, die einen mehrdrähtigen Mittelleiter haben und nicht zu dick und zu steif sind. Mit den 10-mm-Typen hat man da bei kurzen Stücken schon seine liebe Not. Kabel, die einen Folienschirm besitzen, taugen, von ganz besonderen Ausführungen abgesehen, für diesen Zweck nicht, weil die Folie bei öfterem Biegen bricht.

Für die üblichen Anwendungen kommt man mit RG-58 C/U gut zurecht; wenn man zu einem der namhaften Fabrikate greift:

Bei den durchschnittlichen RG58-Kabeln liegt die Rückflußdämpfung nur bei 20 bis 25 dB, selbst MIL-Spec-Typen sind kaum besser. Will man besseres Kabel, muß man das Fabrikat SUHNER wählen.

Zudem gibt es große Unterschiede in der Qualität des Außenleitergeflechts: bei Billigfabrikaten ist die Bedeckung in der Größenordnung von 70 % und das Schirmungsmaß liegt oft nur bei 40 dB, gute Kabel dieser Type haben jedoch eine Bedeckung von bis zu 96 % und kommen auf ein Schirmungsmaß um 60 dB. Mit ein wenig Glück erwischt man eine spezielle Ausführung des RG-58, die einen doppelten Schirm hat und seinerzeit in der Netzwerktechnik eingesetzt worden ist (Thin Ethernet). Dieses Kabel hat insgesamt etwas bessere elektrische Werte als das Standardkabel. Gute Fabrikate sind in regelmäßigen Abständen mit der Herstellerbezeichnung versehen.

Meßkabel

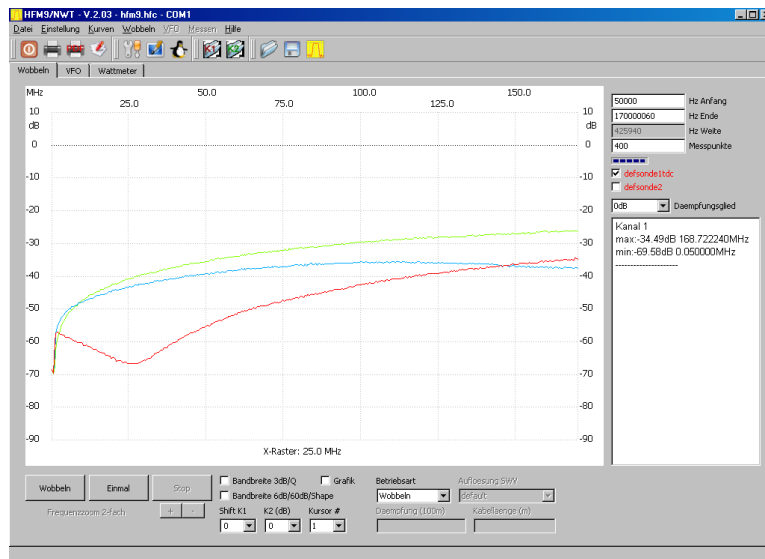


Abb. 8: Verringerung der Rücklaufdämpfung durch Koaxialkabel

Im VHF-, UHF- und Mikrowellenbereich sollte man, wenn möglich, doppelt geschirmte Kabel verwenden, um ungewolltes Übersprechen und Einstreuungen in empfindliche Baugruppen zu vermeiden: RG 316 mit 2,6 mm Außendurchmesser, RG-188 mit 2,8 mm, K02252-D mit 3 mm, RG 400 mit 5 mm, RG-214 mit 10,8 mm sind da die richtige Wahl. Auch RG223 hat sich als Meßkabel im professionellen Einsatz über lange Zeit bewährt, obwohl es einen massiven Innenleiter hat.

Stecker und Buchsen

So wie bei den Kabeln gibt es auch bei den Steckern eine Unzahl von Herstellern und nicht alle erfreuen das Herz des gutgläubigen Käufers mit Qualität. Beim Kauf sollte man genau darauf achten, daß der Name des Herstellers auf der Außenseite eingestanzt ist. Anerkannt gute Fabrikate sind unter anderem AMPHENOL, RADIALL, ROSENBERGER, SPINNER, SUHNER, TRL. Von manchen der gängigen Steckernormen gibt es 50- und 75-Ohm-Ausführungen (z.B. BNC, aber auch andere), also aufpassen!

Zum BNC-Stecker noch ein Hinweis: gelegentlich kommen eine Ausführung unter, die besonders schwergängig sind und sich, einmal angeschlossen, nur mit erheblichem Kraftaufwand wieder von der Buchse lösen lassen. Unter der Lupe erkennt man, daß bei solchen Steckern der kleine, stirnseitige Wulst am Außenleiter fehlt (Abb. 9). Weil ein sicherer Kontakt des Außenleiters mit der Innenseite der Buchse erreicht werden soll, ist sein Durchmesser ein bißchen größer gemacht worden. Das reicht aus, um in der konischen Öffnung der Buchse heftig zu klemmen. Die einzige Lösung: nicht kaufen, und, wenn man schon hat, aussondern!

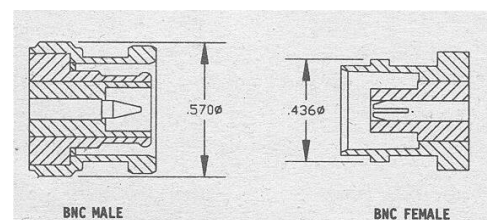


Abb. 9: Stecker und Buchse im Schnitt

Hat man vor, die Stecker selbst auf seine Kabel zu montieren, dann steht man vor der Wahl, herkömmliche Stecker mit lötbarem Mittelleiter zu verwenden oder mit der Preßzange zu arbeiten. Wie schon oben gesagt, hat das Verpressen seine Tücken, weshalb ein Anfänger mit den „altmodischen“ Steckern wahrscheinlich besser dran ist. Auch hat nicht jeder das dazu notwendige Spezialwerkzeug. In jedem Fall ist es notwendig, die Montageanleitung für den betreffenden Stecker genau zu befolgen.

Anzugsmoment

Verschraubte Steckverbindungen erreichen nur dann ihre spezifizierten Werte, wenn die Verschraubung richtig angezogen ist – nicht zuwenig, aber auch nicht zuviel. Von den Herstellern bereitgestellte Datenblätter geben darüber Auskunft, wie groß das Drehmoment sein soll. Für manche Typen von Verbindern wie SMA gibt es sogar ganz spezielle Sechskantschlüssel, die bei Erreichen des richtigen Drehmomentes abknicken. Wahrscheinlich wird sich aus Preisgründen ein solches Werkzeug aber nur ein Labor leisten.

Wie sehr selbst kurze Kabelstücke die Anpassung verschlechtern, zeigt Abb. 8:

die rote Kurve gilt für den direkt am Reflexionsmeßkopf angeschlossenen Abschlußwiderstand, die blaue Kurve gilt für ein 30 cm langes, sehr gutes K02252-D-Kabel mit 3 mm Außendurchmesser mit einer BNC-Buchse und einem BNC-Stecker (alles von SUHNER), die grüne Kurve gilt für ein 20 cm langes RG-58-Kabel eines unbekanntes Herstellers mit zwei RADIALL-BNC-Steckern, an das der Abschlußwiderstand über einen guten Buchsenadapter angesteckt ist.

Meßkabel

Zustand von Steckern und Buchsen

Die Erfahrung zeigt, daß gelegentliche Kontrollen nicht schaden. Dabei prüft man, ob die Stecker fest am Kabel sitzen und sich keinesfalls verdrehen lassen. Die vier oder sechs Zungen des Buchsen-Mittenkontaktes müssen ringsum zueinander den gleichen Abstand haben und durch Federkraft am Mittelstift des Steckers anliegen. Wir haben es hier mit ausgesprochener Feinmechanik zu tun, also ist entsprechende Vorsicht am Platz!

Die Hersteller geben für ihre Produkte eine bestimmte Anzahl von Steckzyklen an, innerhalb der die garantierten Werte eingehalten werden. Das bedeutet nicht, daß darüber hinaus die Teile nicht mehr richtig funktionieren, aber es zeigt doch, daß es sich bei solchen Steckverbindungen um Verbrauchsmaterial handelt, das irgendwann fehlerhaft wird.

Adapter

Im Lauf der Zeit wurde eine Unzahl an unterschiedlichen Koaxialsteckertypen entwickelt und sehr oft ist es so, daß das vorhandene Kabel nicht mit dem Gerät zusammenpaßt, an das es angeschlossen werden soll. Für solche Fälle gibt es Adapter, die das Verbinden unterschiedlicher Steckertypen ermöglichen. Bei der Beschaffung ist wiederum Vorsicht geboten, denn viele dieser schön glänzenden Teile weisen ganz erbärmliche elektrische Werte auf. Dies trifft in erster Linie auf No-Name-Produkte fernöstlicher Hersteller zu, die allerdings den Vorteil haben, daß sie preisgünstig sind. Zum Messen sind bedauerlicherweise längst nicht alle geeignet.

Hat man die Absicht, gute Adapter anzuschaffen, so sollte man das beherzigen, was schon zu den Steckern gesagt wurde. Bei einigen wenigen Typen sind immer noch 60- Ohm-Ausführungen im Umlauf (z.B. 7/16, = großer Spinner-Stecker), also Augen auf!

Beschaffung



Abb. 10: Ein Beispiel eines qualitativ guten, aber leider defekten Adapters – es hat wieder einmal die Lupe gefehlt!

Fast alle unsere Kabel, Stecker und Adapter stammen vom Elektronik-Flohmarkt und wir sind ganz sicher, damit einen Haufen Geld gespart zu haben. Was gute Koaxial-Meßkabel im Laden kosten, zeigt eine Nachschau unter [2]. Ebenso kann man bei Bauteilversendern wie RS [3] oder FARNELL [4] zur Information die Preislisten studieren. Ein Hinweis: Meßkabel, wie sie in einem HF-Labor verwendet werden, kosten je nach Ausführung das 10- bis 100-fache!

Zur Kaufberatung auf dem Flohmarkt sollte man die Hilfe eines in solchen Belangen erfahrenen Kollegen in Anspruch nehmen. Dabei die Lupe nicht vergessen, damit man den Zustand der Teile genau erkennen kann.

Was man keinesfalls tun soll:

Die Außenleiter-Durchmesser von BNC und N unterscheiden sich nur unwesentlich und deswegen liegt der Gedanke nahe, einen N-Stecker mittels Primitiv-Adapter mit einer BNC-Buchse zu verheiraten. Die Maßzeichnungen der Hersteller zeigen aber deutlich, daß der Stift eines N-Steckers dicker ist als jener des BNC-Steckers - man wird auf diese Weise mit Sicherheit die BNC-Buchse ruinieren. Nachdem Buchsen üblicherweise in Geräten eingebaut sind, wartet hinterher also ein Haufen unnötiger Arbeit.

Helmut, OE5GPL und Eike, OE5EBL

Verweise und Quellen:

[1] <http://www.tkd-gruppe.de/module-PageSetter-viewpub-tid-3-pid-86.html>

Meßkabel

- [2] AME, Alexander Meier Elektronik: <http://www.astronik.de/produkte/koax/koaxkonf.html>
- [3] RS Components, Konfektionierte Koaxialkabel: http://de.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=retrieveTfg&binCount=19&Ne=4294958012&Ntt=konfektionierte+koaxialkabel&Ntk=118NAll&Nr=AND%28avl%3ade%2csearchDiscon_de%3aN%29&Ntx=mode%2bmatchallpartial&N=4294955729&Nty=1
- [4] FARNELL, Konfektionierte Koaxialkabel: http://de.farnell.com/jsp/search/browse.jsp;jsessionid=JUETEVWS1CKJ4CQLCIRZK0Q?N=0&Ntk=gensearch_002&Ntt=konfektionierte+Koaxialkabel&Ntx=&_requestid=398589