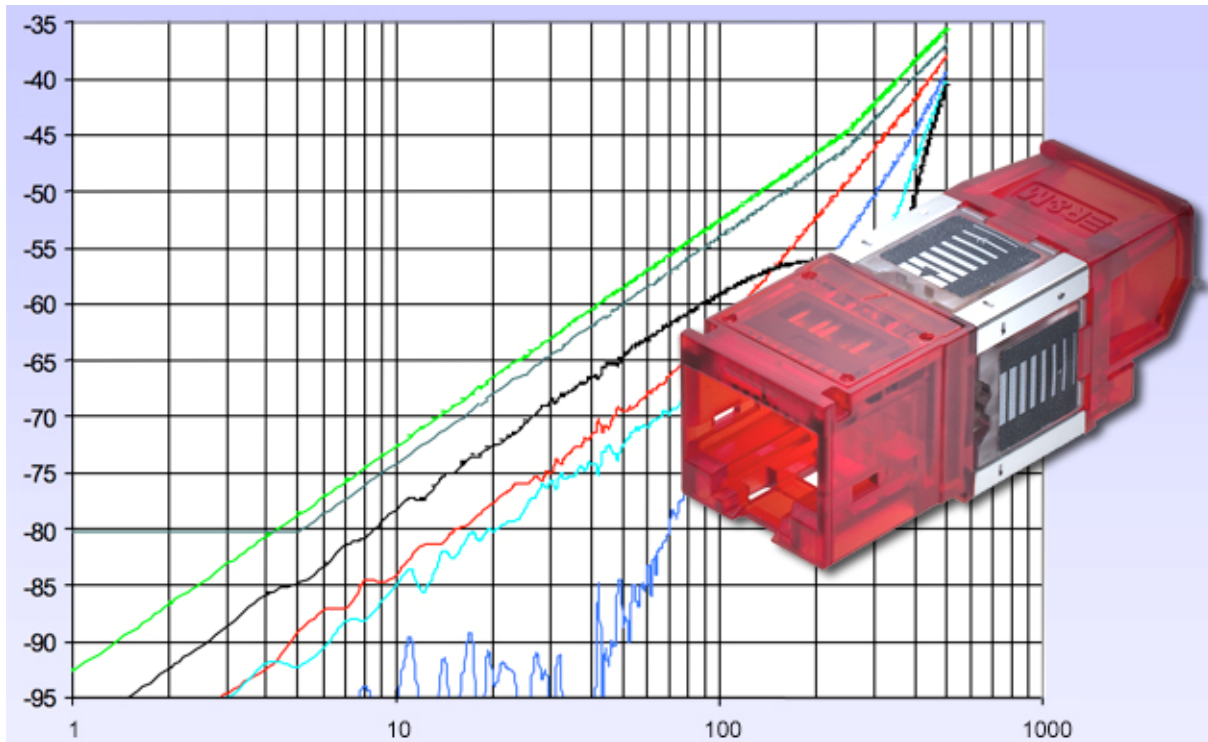


## White Paper



**Re-embedded – ein neues Testverfahren  
nicht nur für Cat. 6<sub>A</sub>-Komponenten**



Convincing cabling solutions

## Re-embedded – ein neues Testverfahren nicht nur für Cat. 6<sub>A</sub>-Komponenten

### Inhalt

1. Betriebssicherheit von Datennetzen und die Qualität der Verbindungs-Hardware .....	3
2. Messprinzipien und Parameter .....	3
3. Überblick über früher und gegenwärtig angewendete Testmethoden .....	6
3.1. Cat. 5-Test .....	6
3.2. Cat. 6-Test .....	6
3.3. Cat. 6 <sub>A</sub> -Test .....	8
3.4. Cat. 7 <sub>A</sub> -Test .....	10
3.5. Cat. X-Test – Blick in die Zukunft .....	12
3.6. Vergleich der Testverfahren .....	12
4. Betrachtung des Re-embedded-Tests (Cat. 6 <sub>A</sub> ) .....	15
4.1. Definition eines Vektors .....	15
4.2. Ablauf der Messungen .....	16
4.3. Bedeutung der Referenzebene .....	19
5. Bedeutung der Messqualität .....	20
5.1. Rückwärtskompatibilität .....	20
5.2. Herstellerunabhängige Interoperabilität (Mix&Match) .....	20
6. Zusammenfassung .....	21
7. Quellen und weitere Informationen .....	21
8. Abkürzungen .....	22

© Copyright 2010 Reichle & De-Massari AG (R&M). Alle Rechte vorbehalten.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind, zu welchem Zweck und in welcher Form auch immer, ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch Reichle & De Massari AG nicht gestattet. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Erstellung dieses Dokuments erfolgte mit grösstmöglicher Sorgfalt, es enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand.

## 1. Betriebssicherheit von Datennetzen und die Qualität der Verbindungs-Hardware

Stecker in die Buchse, und die Sache soll funktionieren. Ganz gleich, von welchem Hersteller die Komponenten stammen. So wünschen es sich viele Installateure und Anwender. Doch je höher die Bitraten steigen, umso enger sind die Toleranzen, die die Hersteller einhalten müssen, und umso diffiziler gestalten sich die Prüfverfahren, die dem Mix & Match zugrunde zu legen sind. Eine zuverlässige Signalübertragung und die Betriebssicherheit eines LAN hängen entscheidend davon ab, ob sich Netzbetreiber auf die Leistungs- und Qualitätsangaben zur Verbindungs-Hardware verlassen können. Das gilt besonders für die anspruchsvollen Cat. 6<sub>A</sub>-Komponenten, die mit dem neuen Re-embedded-Verfahren nach IEC 60512-27-100 zu testen sind. Es vereinfacht die Komponentenprüfung beim Hersteller, liefert eine hohe Messgenauigkeit und erhöht die Sicherheit für Anwender. Aber es ist nur ein Testverfahren, keine Qualitätsbezeichnung und kein Freibrief für Mix & Match.

Anwendung:	Twisted Pair-Kupferverkabelung
Technologie:	Cat. 6 <sub>A</sub> Anschlussmodule, RJ45-Steckverbindungen
Format:	White Paper
Themen:	Testmethoden für Nebensprechen, Übersprechen, Rückflusssdämpfung, Qualität der Signalübertragung bei Cat. 5, Cat. 6, Cat. 6 <sub>A</sub> und Cat. 7, neues Re-embedded-Testverfahren für Komponenten gem. IEC 60512-27-100, Rückwärts-Kompatibilität, herstellernerneutrale Interoperabilität
Ziel:	Erläuterung der Unterschiede zwischen den Testmethoden, Definition von Qualitätsanforderungen an Messergebnisse, R&M-Positionierung zur Qualitätsfrage
Zielgruppe:	Planer, Installateure, Netzwerk-Verantwortliche, Einkäufer
Autor:	Dominik Schweizer
Erschienen:	April 2010

Dieses White Paper soll über den gravierenden Unterschied zwischen dem bisherigen *De-embedded*- und dem neuen *Re-embedded*-Testverfahren informieren, um weit verbreitete Missverständnisse auszuräumen. Grundlegende Mess-Konzepte für die Qualitätsprüfung der Verbindungs-Hardware werden erläutert. Das *Re-embedded*-Verfahren wird im Detail vorgestellt, so dass Planer, Installateure und Anwender die Angaben in Datenblättern besser vergleichen können. Als Hersteller mit höchsten Qualitätsmassstäben setzt sich R&M dafür ein, dass Prüfergebnisse ausnahmslos physikalisch korrekt und wahrheitsgemäss dargestellt werden.

## 2. Messprinzipien und Parameter

Aus physikalischer Sicht gibt es zwei Arten von Messungen: Transmissions- und Reflexionsmessungen (Bild 1). Transmissionsmessungen erfassen die Parameter NEXT, FEXT, IL, TCL und TCTL. Der Parameter RL wird durch eine Reflexionsmessung bestimmt. Nebensprechen (NEXT, FEXT) kann nur auftreten, wenn zwei Leitungen – eine störende und eine gestörte – vorhanden sind, während Einfügedämpfung (IL) und Unsymmetriedämpfungen (TCL, TCTL) eine einzelne Leitung betreffen. Im vorliegenden Fall bezeichnet der Begriff „Leitung“ eine Twisted-Pair-Leitung.

Nebensprechen (NEXT, FEXT) beschreibt den Effekt, dass ein Signal von einer Leitung in eine andere Leitung einkoppelt und dort als Störsignal wirkt. Dies verschlechtert die Signalintegrität und ist ein häufiger Grund für das Auftreten von Bitfehlern in der Übertragung. Eine hohe Nebensprechdämpfung ist deshalb wichtig.

Die Rückflusssdämpfung (RL) ist ein Mass für den Anteil der Signalenergie, der vom Empfänger nicht aufgenommen, sondern am Empfänger oder bereits an einer Stelle auf dem Übertragungsweg zurück zum Sender reflektiert wird. Im Idealfall ist die Rückflusssdämpfung unendlich hoch, d.h. es findet keine Reflexion statt. In der Realität beeinträchtigen Reflexionen vor allem die Signalintegrität, was ebenfalls zu Bitfehlern führen kann.

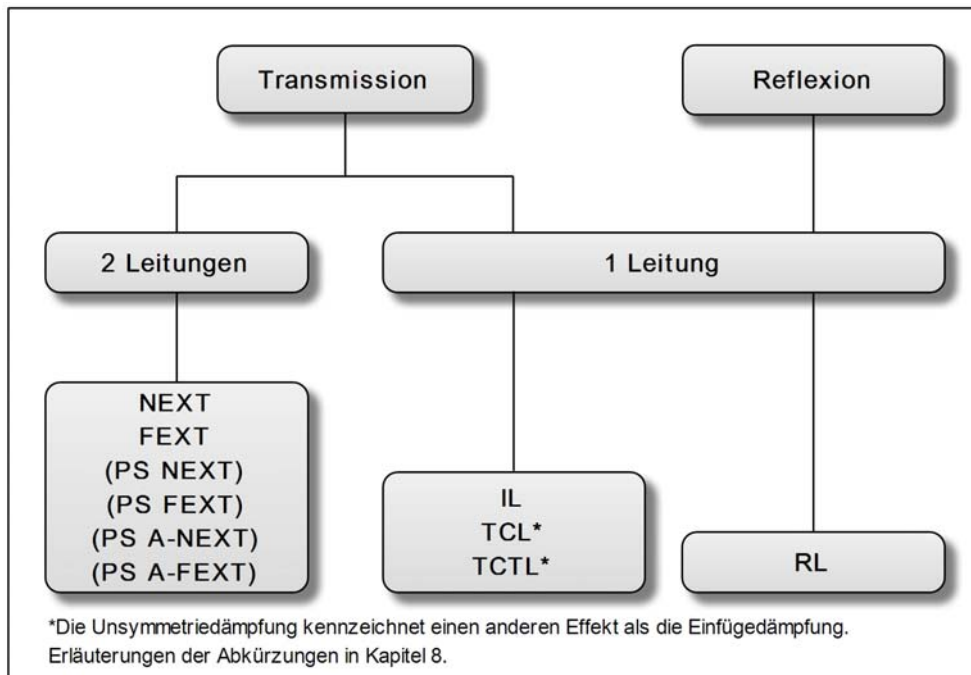


Bild 1: Klassifikation von Messparametern.

Grafik: R&M

*\* Die Unsymmetriedämpfung kennzeichnet einen anderen Effekt als die Einfügedämpfung. Erläuterung der Abkürzungen in Kapitel 8.*

Die Einfügedämpfung (IL) ist ein Mass für den Teil des Signals, der in Wärme umgewandelt wird und dadurch dem übertragenen Signal verloren geht. Sie muss möglichst gering sein, denn je schwächer das Signal, desto mehr Bitfehler treten auf. Die Dämpfung von Kabeln ist längenabhängig und bei üblichen Kabellängen weitaus höher als die einer Steckverbindung, so dass die Einfügedämpfung von Steckverbindungen meist vernachlässigt werden kann.

Gleichtaktspannungen zwischen Leitung und Schirm (Erde) können sich durch Unsymmetrien in störende Differenzspannungen zwischen den beiden Aderpaaren der Leitung umwandeln. Die Erdunsymmetriedämpfung (TCL, TCTL) ist ein Mass für diesen Effekt – und im Idealfall unendlich hoch.

Obwohl alle für die Übertragung relevanten Parameter zur Signalqualität beitragen, wird die Qualifizierung des Teststeckers – um den Aufwand gering zu halten – auf die Parameter NEXT, FEXT und RL beschränkt, da diese den grössten Teil des Einflusses auf die Übertragungsqualität ausmachen. Der Qualifizierungsprozess kann entweder durch Verwendung eines Prüflingsadapters (Direct Probe Fixture, DPF), Anwendung des Matrix-De-embedding-Verfahrens, für das eine De-embedded-Referenzbuchse erforderlich ist, oder mithilfe der TOC-Methode durchgeführt werden.

Bild 2 zeigt den schematischen Messaufbau für Transmissionsmessungen (in diesem Fall NEXT) und ein Berechnungsbeispiel. An Port<sub>2</sub> wird ein Signal mit der Amplitude = 1 angelegt. Im Stecker koppelt das Signal mit Faktor 0,03 in die andere Leitung ein. Die Buchse kompensiert mit -0,025. Da sich die elektromagnetischen Wellen linear, d.h. ohne Interferenzen, überlagern, können die Einkopplungswerte aufsummiert werden. Dies ergibt einen NEXT-Wert für die geschlossene Verbindung (mated) von 0,005.

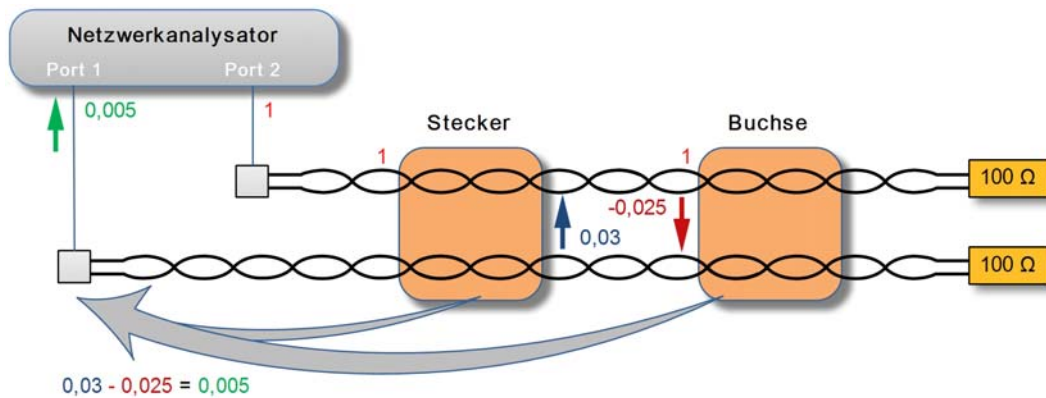


Bild 2: Transmissionsmessung.

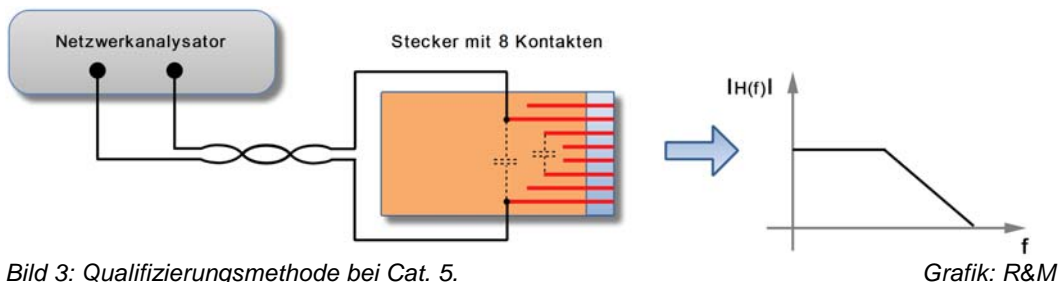
Grafik: R&M

Dieses Verfahren stellt einen Embedding-Prozess dar (Addition des Steckers zur Buchse bzw. umgekehrt), während die Subtraktion einem *De*-embedding-Prozess entspricht. Nach dem *De*-embedding kann ein Stecker wieder embedded – also *re*-embedded werden. Dies ist bereits eine Beschreibung der Begriffe *De*-embedding und *Re*-embedding.

### 3. Überblick über früher und gegenwärtig angewendete Testmethoden

#### 3.1. Cat. 5-Test

Zur Charakterisierung des Cat. 5-Steckers wurde die TOC-Methode (Terminated Open Circuit) verwendet (Bild 3). Der Stecker wurde nicht mit der nominellen Leitungsimpedanz abgeschlossen, sondern blieb offen. Es wurde ein HF-Strom in den Stecker eingespeist, dessen Ersatzschaltung als einfache RC-Schaltung modelliert werden kann. Die Messung ergab eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion  $H(f)$ , aus deren Betrag  $|H(f)|$  grobe Rückschlüsse auf das NEXT-Verhalten des Steckers gezogen werden konnten.



#### 3.2. Cat. 6-Test

Beim Cat. 5-Test mussten nur die Beträge (Amplituden) innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen, aber es gab kein Phasenkriterium. Weil der Abschluss durch die nominelle Leitungsimpedanz fehlte, war die Messgenauigkeit gering, denn es wurde nur der kapazitive Anteil und nicht die induktive Kopplung des Steckers berücksichtigt.

Beim Cat. 6-Test wurden diese Schwächen beseitigt, und es wurde eine De-embedded-Referenzbuchse eingeführt. Der Buchsenvektor musste standardisierten Grenzvektoren entsprechen, die die Amplituden- und Phaseninformation umfassten. Ausserdem wurde eine Streuung mehrerer Stecker simuliert, indem insgesamt 12 Grenzvektoren eingeführt wurden, die ebenfalls sowohl die Amplituden- als auch Phaseninformationen umfassten. Zu den Vektoren gehörten die Parameter NEXT und, zusätzlich zum Cat. 5-Test, FEXT und RL. Darüber hinaus wurde eine standardisierte Prüfvorrichtung – die Pyramide – eingeführt, durch deren effektive Abschirmung die Messgenauigkeit verbessert werden konnte.

Zur Durchführung der Messung musste ein Referenzstecker (Bild 5a) konstruiert und an der Pyramidenvorrichtung (Bild 4) gemessen werden.

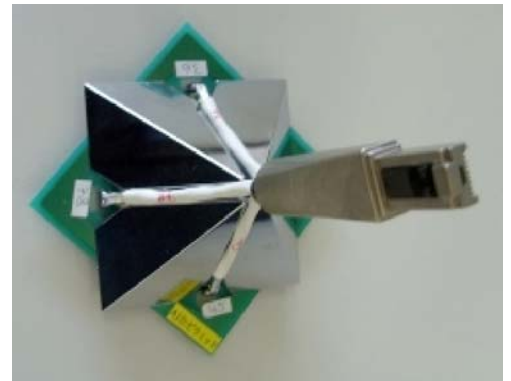


Bild 4: Beispiel eines an der Pyramide befestigten Steckers. Foto: R&M

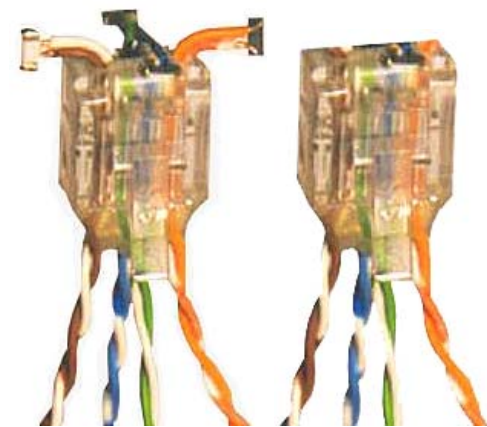


Bild 5a

Bild 5b

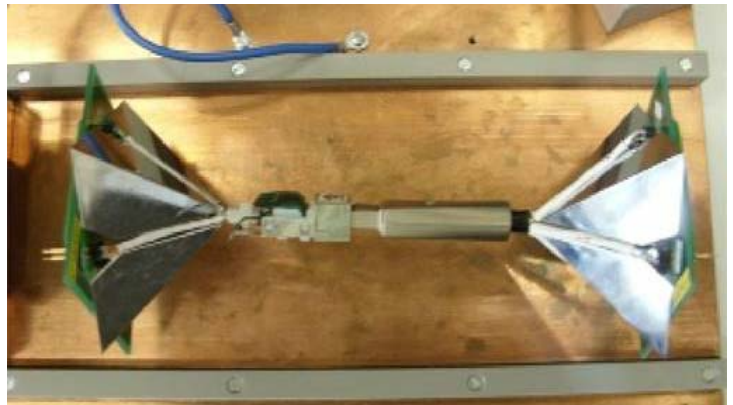


Bild 6: Mated-Messung bei Cat. 6.

Foto: R&amp;M



Bild 5c

Vorbereiten von Teststeckern für die Cat. 6-Testmethode.  
Fotos: R&M

Die überstehenden Adern wurden, wie in Bild 5b gezeigt, abgeschnitten und der Stecker mit einer Referenzbuchse gemessen (Bild 5c). Von diesem Mated-Ergebnis (gewonnen im gesteckten Zustand) wurde der Vektor des Steckers subtrahiert (*de-embedded*) und auf diese Weise der Vektor der Referenzbuchse ermittelt. Die Referenzbuchse diente lediglich dazu, 12 geeignete Teststecker zu finden. Zur Ermittlung der Teststecker-Werte mussten die Werte der Referenzbuchse von denen der Mated-Messung subtrahiert (*de-embedded*) werden. Danach konnten die Teststecker zu Mated-Messungen mit Anschlussmodulen eingesetzt werden (Bild 6).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich *De-embedding* auf einen Prozess bezieht, bei dem ein Teil des Prüflings virtuell entfernt wird. Dies haben wir bereits in Kapitel 2 festgestellt.

Das *De-embedded*-Messverfahren ist für geschirmte Buchsen in der IEC 60603-7-5 und für ungeschirmte Buchsen in der IEC 60603-7-4 ausführlich beschrieben.



### 3.3. Cat. 6<sub>A</sub>-Test

Zu den Nachteilen der *De-embedding*-Methode gehört, dass bis zu 12 verschiedene Teststecker präpariert und geprüft werden müssen, wodurch das Verfahren sehr zeitaufwändig ist. Zudem war die Pyramidenvorrichtung aufgrund der Länge der Zuleitungen ungenau. Entscheidend war auch, dass sie sich bei Messungen bis 500 MHz als ungeeignet erwies, obwohl das Paartrennungs-Prinzip ideal war. Bei Cat. 6<sub>A</sub> hängt jedoch alles von der Übertragungsqualität in diesem Hochfrequenzbereich ab. Auch war die *De-embedded*-Referenzbuchse aufgrund unzureichender Symmetrie ungenau.

Aus diesen Gründen werden bei Cat. 6<sub>A</sub>-Tests zu den Messungen keine Stecker mehr verwendet, sondern sie werden simuliert und mathematisch zu den Werten des Anschlussmoduls addiert. Allerdings können die Vektoren nur addiert werden, wenn die Vektoren des Moduls bekannt sind. Dies geschieht durch Verwendung eines Referenzsteckers (SALSA), der wiederum durch einen Testadapter (Direct Probe Fixture, DPF) geprüft wird (Bild 7).

Wie bei Cat. 6-Tests müssen standardisierte NEXT-, FEXT- und RL-Grenzvektoren eingehalten werden. Bei einem Direktprüfsystem wird eine direkte Verbindung zum Prüfling hergestellt, sodass keine unerwünschten Einflüsse aufgrund der Länge auftreten können – wie bei der Pyramide und der *De-embedded*-Buchse.

Der neue kleine Testkopf bewirkt in Verbindung mit dem pyramidenähnlichen Paartrennungsprinzip eine deutliche Verbesserung der Messgenauigkeit. Der geprüfte SALSA-Stecker wird anschliessend auf das zu untersuchende Modul gesteckt (Bild 9). Vom Ergebnis dieser Mated-Messung wird der SALSA-NEXT-Wert subtrahiert (*de-embedded*), und die *Re-embedded*-Steckervektoren werden addiert. Dieses Verfahren liefert simulierte Mated-NEXT-Antworten, die mit dem geltenden Mated-Grenzwert verglichen werden.

Bild 8 zeigt, wie der korrekt abgeschlossene SALSA-Referenzstecker auf dem Testadapter angebracht ist. Weil der Referenzstecker eigentlich eine Leiterplatte ist bzw. ohne Kabel oder freiliegende Kontaktsätze direkt mit der Leiterplatte verbunden ist, reduzieren sich die Toleranzen – im Vergleich zu einem „verkabelten“ Referenzstecker – was wiederum die Messunsicherheit verringert. In Kombination mit dem kompakten Testkopf erhöht sich die Messqualität.



Bild 7: Stifte des Testadapters für den Steckeranschluss.

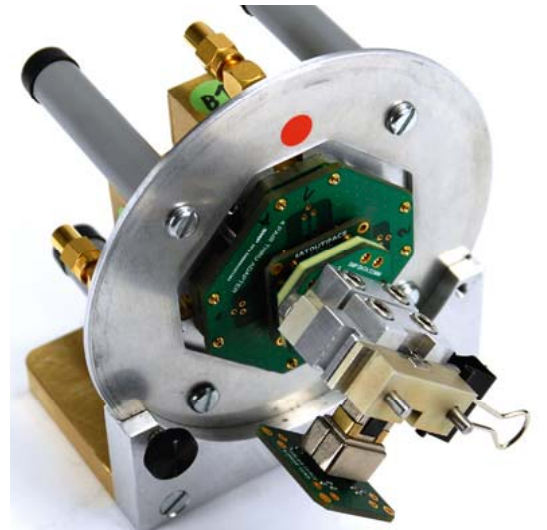


Bild 8: Montierter und abgeschlossener SALSA-Referenzstecker auf dem Testadapter, bereit zur Messung.

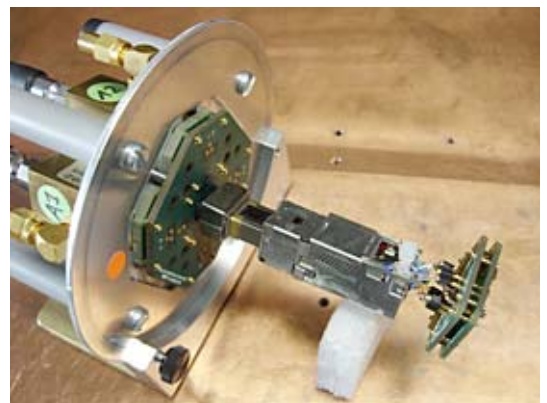


Bild 9: Mated-Messung bei Cat. 6<sub>A</sub>.

Fotos: R&M



Die neue *Re-embedding*-Methode hat also im Wesentlichen folgende Vorteile:

- Nur ein einziger (standardisierter) Referenzstecker erforderlich.
- Kein umständliches Arbeiten mit mehreren (bis zu zwölf!) qualifizierten Steckern.
- „Berechnete“ Stecker tragen nicht zur Messunsicherheit bei, während die Messunsicherheit eines jeden qualifizierten Steckers in der gesamten Messunsicherheit berücksichtigt werden muss.
- Auch Stecker außerhalb der Toleranz können zu Simulations- und Analysezwecken *re-embedded* werden.
- Die einfachere Prozedur erzeugt weniger Messfehler.

### 3.4. Cat. 7<sub>A</sub>-Test

Da mit Cat. 6<sub>A</sub> eine umfassende Verbesserung der Messgenauigkeit verbunden war, ändert sich bei Cat. 7<sub>A</sub><sup>1</sup>-Messungen nicht viel. Eine Ausnahme bildet die Aufnahmevorrichtung ohne Balun (Symmetrierglied): Die Aufgabe eines Symmetrierglieds besteht darin, ein unsymmetrisches (erdbezogenes) Signal in ein Differenzsignal, d.h. ein symmetrisches Signal – und vice versa –, umzusetzen.

Leider weisen Symmetrierglieder einige unerwünschte Eigenschaften auf, z.B. eine Bandbreitenbegrenzung. Man bevorzugt deshalb eine direkte Methode, d.h. man verwendet ein echtes Differenzsignal, um den Prüfling zu testen. Es wird das Verfahren der Moden-Zerlegung angewandt.

Zum Messen einer Leitung mit zwei Paaren sind mindestens vier einzelne Ports nötig. Anschliessend werden jeweils zwei unsymmetrische Ports zu einer Gruppe zusammengefasst und bilden gemeinsam einen symmetrischen Port, der das Signal direkt in den Prüfling einspeist, ohne dass Symmetrierglieder zwischengeschaltet sind.



Bild 10: Testvorrichtung ohne Symmetrierglieder. Foto: R&M

Bild 10 zeigt den ersten Ansatz des R&M-Labors für ein System zur Moden-Zerlegung. Zwei unsymmetrische Ports bilden einen symmetrischen Port. Inzwischen verwendet R&M hochentwickelte Testvorrichtungen ohne Symmetrierglieder, die für Messungen bis in den hohen GHz-Bereich hinein geeignet sind.

Das Übertragungsverhalten lässt sich mathematisch mit S-Parametern beschreiben. Unsymmetrische S-Parameter müssen in diesem Verfahren in Mixed-Mode-S-Parameter umgewandelt werden. Dadurch sind Unsymmetrie-Effekte wie die Umwandlung von Gleichtaktspannungen in Differenzspannungen (TCL) automatisch in der Messung enthalten. Dies bietet beispielsweise die Möglichkeit, NEXT und TCL in ein und demselben Messdurchlauf zu ermitteln.

Betrachten wir eine normale S-Parameter-Matrix für eine 2-Tor-Schaltung, die so beschrieben werden kann:

$$S = \begin{bmatrix} S_{dd11} & S_{dd12} \\ S_{dd21} & S_{dd22} \end{bmatrix}$$

Bei dieser Gleichung gilt die Einschränkung, dass der Gleichtaktmodus unberücksichtigt bleibt. Dies ist aus der verallgemeinerten Mixed-Mode-S-Parameter-Matrix für eine 2-Tor-Schaltung zu entnehmen.

$$S_{mm} = \begin{bmatrix} S_{dd11} & S_{dd12} & S_{dc11} & S_{dc12} \\ S_{dd21} & S_{dd22} & S_{dc21} & S_{dc22} \\ S_{cd11} & S_{cd12} & S_{cc11} & S_{cc12} \\ S_{cd21} & S_{cd22} & S_{cc21} & S_{cc22} \end{bmatrix}$$

Differenz auf Differenz  
 Gleichtakt auf Differenz  
 Differenz auf Gleichtakt  
 Gleichtakt auf Gleichtakt

<sup>1</sup> Zu beachten ist, dass es bis heute keinen Standard für eine Cat. 7<sub>A</sub>-Testmethode gibt, obwohl einige Konzepte zur Ratifizierung anstehen.

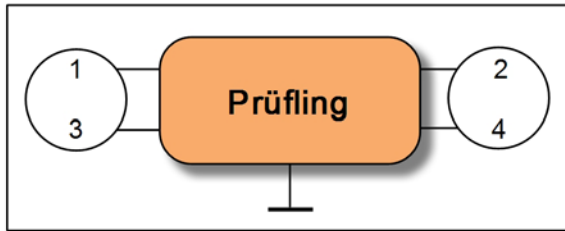


Bild 11: Definition eines 2-Tor-Prüflings.

Bei einer 2-Tor-Schaltung gemäss Bild 11 gilt folgende Relation zwischen Mixed-Mode-Parametern ( $S_{mm}$ ) und Parametern bei unsymmetrischem Anschluss ( $S$ ):

$$S_{mm} = C \cdot S \cdot C^{-1} \quad \text{mit} \quad C = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Das ergibt:

$$S_{mm} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_{11} - S_{13} - S_{31} + S_{33} & S_{12} - S_{14} - S_{32} + S_{34} & S_{11} + S_{13} - S_{31} - S_{33} & S_{12} + S_{14} - S_{32} - S_{34} \\ S_{21} - S_{23} - S_{41} + S_{43} & S_{22} - S_{24} - S_{42} + S_{44} & S_{21} + S_{23} - S_{41} - S_{43} & S_{22} + S_{24} - S_{42} - S_{44} \\ S_{11} - S_{13} + S_{31} - S_{33} & S_{12} - S_{14} + S_{32} - S_{34} & S_{11} + S_{13} + S_{31} + S_{33} & S_{12} + S_{14} + S_{32} + S_{34} \\ S_{21} - S_{23} + S_{41} - S_{43} & S_{22} - S_{24} + S_{42} - S_{44} & S_{21} + S_{23} + S_{41} + S_{43} & S_{22} + S_{24} + S_{42} + S_{44} \end{bmatrix}$$

Mit heutigen Netzwerkanalysatoren sind die Berechnungen direkt möglich, ohne eine externe Software benutzen zu müssen.

Was die Unsymmetrie betrifft, so kann zurzeit bei der Messung per Netzwerkanalyse ein fehlerhaftes NEXT-Ergebnis auftreten, weil Kabel und Komponenten schlechte, aber nach wie vor normkonforme TCL-Werte aufweisen. Dies ist eine Unzulänglichkeit der Norm. Andererseits ist R&M in der Lage, bei seinen Produkten dieses Problem vollständig zu vermeiden.

### 3.5. Cat. X-Test – Blick in die Zukunft

Hinsichtlich des Testverfahrens ist der Zustand der Perfektion nahezu erreicht. In der Zukunft geht es eigentlich nur noch um die Neudimensionierung der Testvorrichtungen in Richtung noch kleinerer Proportionen, um die Effekte bei höheren Frequenzen berücksichtigen zu können. Sehr wahrscheinlich wird die RJ-Schnittstelle bei künftigen Cat. X-Standards geändert, sodass der gegenwärtige Testadapter nicht mehr verwendet werden kann. Ausserdem wird möglicherweise ein Testadapter eingeführt, der nicht nur für Stecker, sondern auch für Anschlussmodule einsetzbar ist.

Es wird eventuell eine verbesserte statistische Modellierung von Übertragungsparametern eingeführt, um eine bessere Übereinstimmung mit den in der Praxis auftretenden Verhältnissen zu erreichen. Hierzu könnte das *Re-embedding* nicht nur von NEXT, sondern auch von FEXT, IL, RL, TCL, TCTL, A-NEXT und A-FEXT, Verzögerungszeit und Transferimpedanz gehören. Es gibt jedoch gegenwärtig noch keine Norm, die derartige Testverfahren für den Cat. X-Test beschreibt.

### 3.6. Vergleich der Testverfahren

In Tabelle 1 sind die früheren und gegenwärtigen Messverfahren zusammengefasst. Wir haben in den vorigen Ausführungen gesehen, dass der Begriff „*De-embedding*“ für die Subtraktion und der Begriff „*Re-embedding*“ für die Addition steht. In diesem Fall bezieht sich „*De-embedding*“ jedoch auf ein Verfahren zur Charakterisierung von Steckern bei Cat. 6-Messungen, während „*Re-embedding*“ für die 14 Steckervektoren bei Cat. 6<sub>A</sub>-Messungen steht.

	100 MHz	250 MHz	500 MHz	<sup>2</sup> 1000 MHz	<sup>3</sup> >1000 MHz
<b>Buchsenbezeichnung</b>	Cat. 5	Cat. 6	Cat. 6 <sub>A</sub>	Cat. 7 <sub>A</sub>	? Cat. X
<b>Verfahren zur Charakterisierung von Steckern</b>	TOC (Terminated Open Circuit)	<i>De-embedding</i>	DPF (Direct Probe Fixture)	DPF	? (DPF, Ko-ax, ...)
<b>Anzahl und Art der Teststecker</b>	Einzelner Stecker	Mehrere Stecker	Berechneter Steckervektor → <i>re-embedded</i>	Berechneter Steckervektor → <i>re-embedded</i>	? (verbesserte statistische Modellierung)
<b>Messgenauigkeit</b>	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch
<b>Testvorrichtung</b>	entfällt	Pyramide (grosser Testkopf)	kleiner Testkopf	ohne Symmetrierglied	ohne Symmetrierglied
	<sup>2</sup> im Ratifizierungsprozess <sup>3</sup> noch nicht ratifiziert				

Tabelle 1: Vergleich der Testverfahren.

Ein weiterer Vergleich zwischen dem *De-* und *Re-embedded*-Prozess ist anhand der Bilder 12 und 13 möglich.

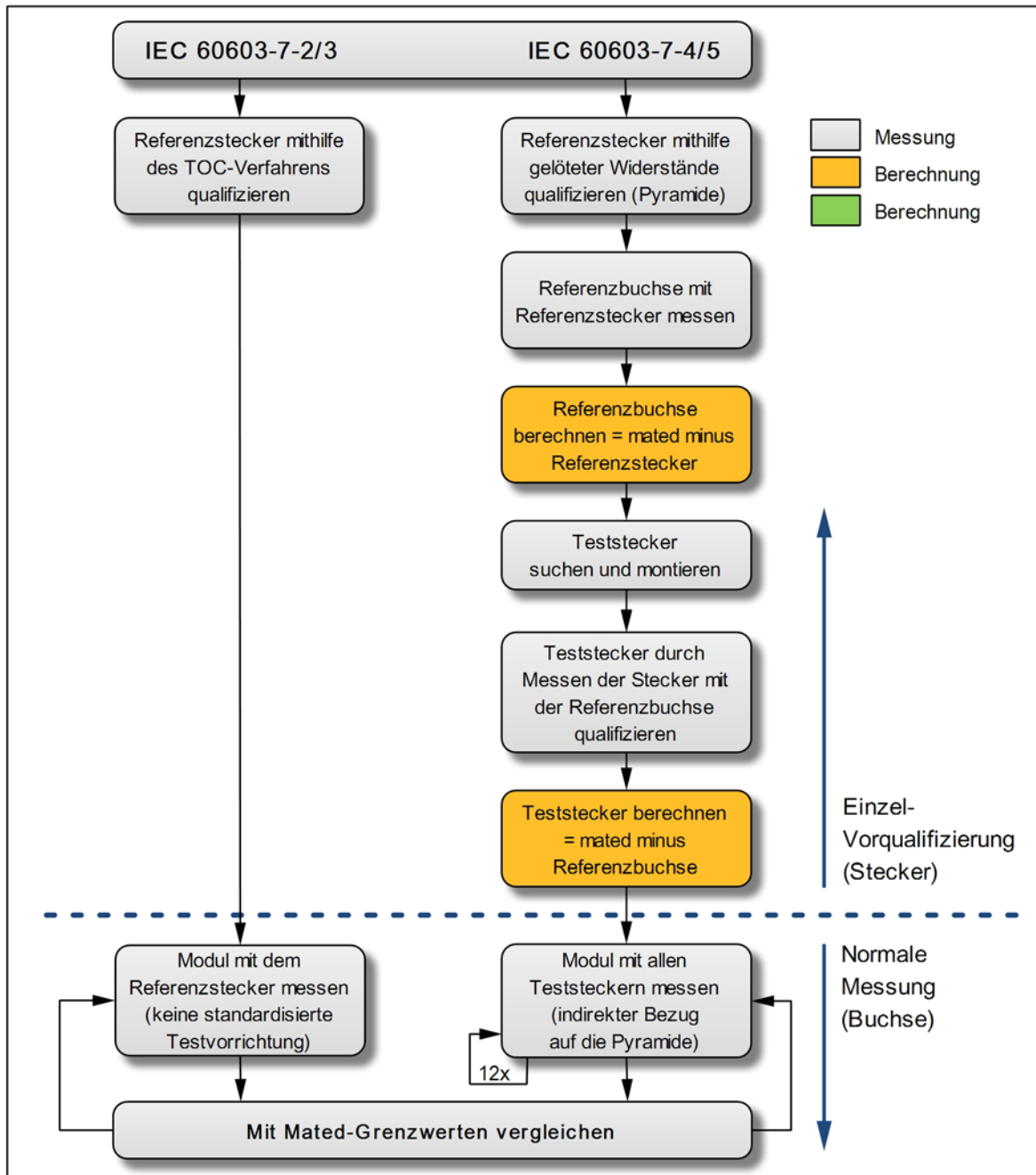


Bild 12: Schema des TOC- und De-embedding-Prozesses.

Grafik: R&M

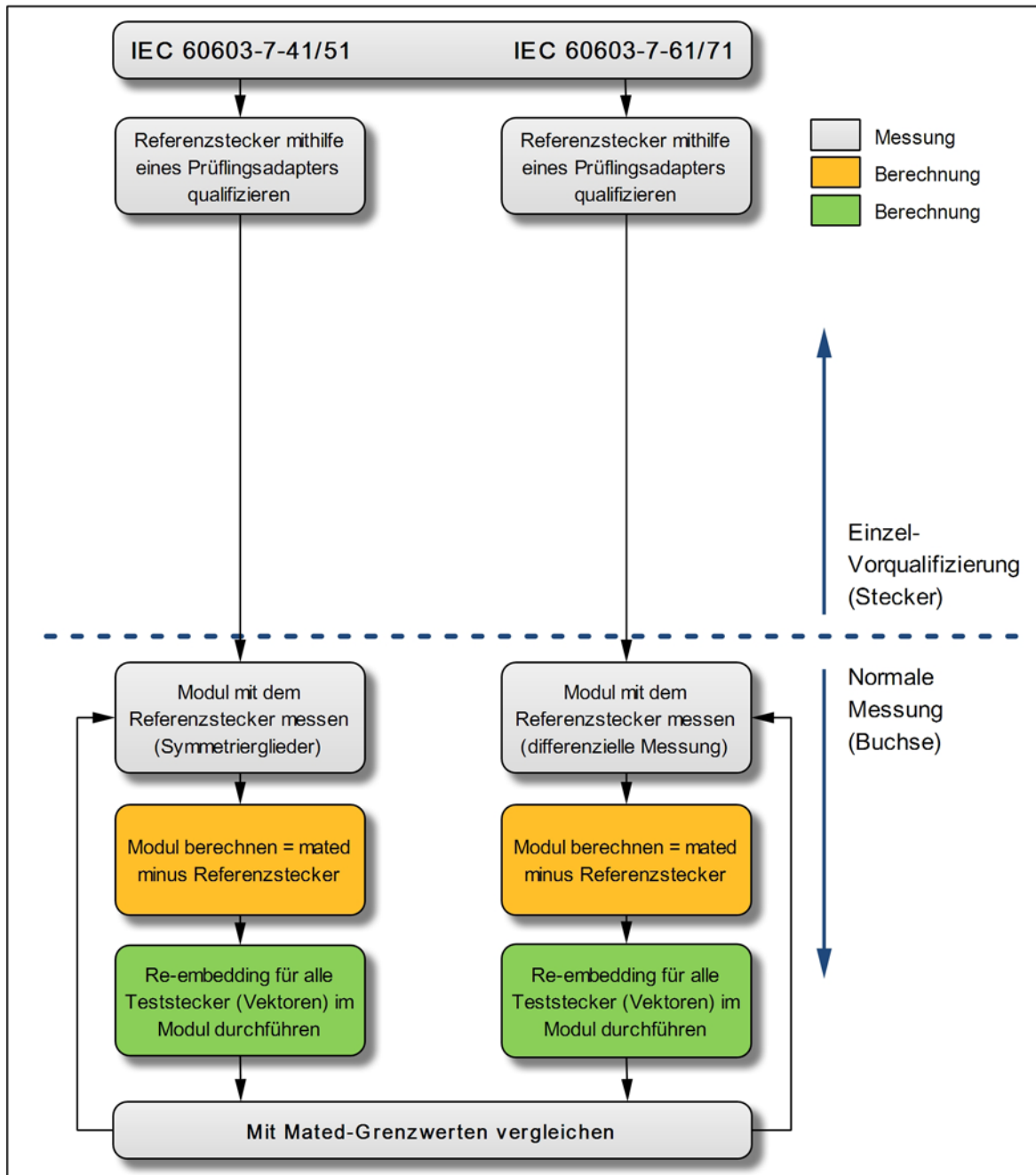


Bild 13: Schema des Re-embedding-Prozesses und des Prozesses ohne Symmetrierglied.

Grafik: R&M

Aus Bild 13 ist zu entnehmen, dass sich Re-embedding auf einen Prozess bezieht, bei dem ein Teil des Prüflings virtuell hinzugefügt wird. Dies haben wir bereits in Kapitel 2 festgestellt. Daraus folgt, dass ein Re-embedding einen vorausgehenden De-embedding-Prozess erfordert.



## 4. Betrachtung des Re-embedded-Tests (Cat. 6A)

### 4.1. Definition eines Vektors

Ein (sinusförmiges) Signal ist durch seine Amplitude, Frequenz und Phase vollständig definiert und kann als Vektor beschrieben werden. Bild 14 veranschaulicht diesen Ansatz.

Zu beachten ist, dass die Frequenz durch die Geschwindigkeit angegeben wird, mit der sich der Vektor um den Nullpunkt dreht.

Die Standarddarstellung besteht aus Grenzvektoren in einem Polarkoordinatensystem (Betrag und Phase). Da kartesische Koordinaten (X-Anteil, Y-Anteil) leichter zu handhaben sind (im Wesentlichen nur Additions- und Subtraktionsoperationen), erhalten wir diese Vektoren durch Anwendung der folgenden trigonometrischen Formeln:

$$\begin{aligned} x &= \text{Amplitude} \cdot \cos(\text{Phase}) \\ y &= \text{Amplitude} \cdot \sin(\text{Phase}) \end{aligned}$$

Dabei muss die Amplitude linear sein. Sie kann mit folgender Formel umgerechnet werden:

$$\text{Amplitude} = 10^{\frac{\text{Betrag [dB]}}{20}}$$

Nach dem Re-embedding kann die Amplitude wieder logarithmiert und wie folgt in der üblichen dB-Darstellung angegeben werden:

$$\text{Betrag [dB]} = 20 \cdot \log(|\text{Amplitude}|)$$

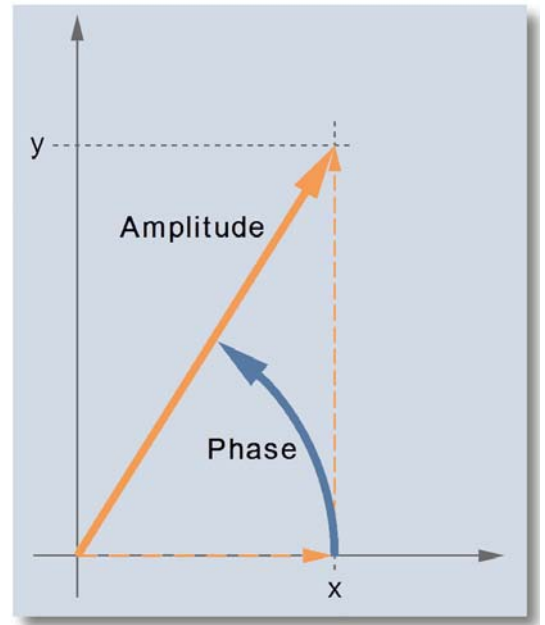


Bild 14: Bezeichnung von Vektoren im kartesischen Koordinatensystem und im Polarkoordinatensystem.

## 4.2. Ablauf der Messungen

Ein Referenzstecker („SALSA“, Bild 15a) muss mithilfe einer Testadapter-Messung charakterisiert werden. Danach muss mit dem SALSA-Stecker eine Messung im Mated-Zustand mit dem Modul vorgenommen werden. Nach dieser Messung werden die NEXT-Werte des SALSA-Steckers subtrahiert. Dadurch erhält man den Wert für das einzelne Modul. Anschliessend werden 14 virtuelle Steckervektoren ( $x_{Limit}/y_{Limit}$ ) zu den Werten dieses Moduls addiert (Bild 15c).

Dies wiederum ergibt 14 NEXT-Antworten im Mated-Zustand (Tabelle 2), wobei alle Antworten den Grenzwert im Mated-Zustand einhalten müssen. Dies ist in Bild 16 dargestellt.

36-45 low	12-36 low	36-78 low	12-45 low	45-78 low	12-78 low
36-45 central low	12-36 high	36-78 high	12-45 high	45-78 high	12-78 high
36-45 central high					
36-45 high					

Tabelle 2: Re-embedded-Vektoren.



Bild 15a



Bild 15b

Fotos: R&M

$$\begin{aligned}
 x_{Limit} &= \text{Amplitude}_{Limit} * \cos(\varphi_{\text{Teststecker}}) \\
 y_{Limit} &= \text{Amplitude}_{Limit} * \sin(\varphi_{\text{Teststecker}}) \\
 x_{\text{re-embedded}} &= [x_{\text{mated}} - x_{\text{Teststecker}} + x_{Limit}] \\
 y_{\text{re-embedded}} &= [y_{\text{mated}} - y_{\text{Teststecker}} + y_{Limit}] \\
 \text{Betrag}_1 &= 20 * \log [\sqrt{(x_{\text{re-embedded}}^2 + y_{\text{re-embedded}}^2)}] \\
 \text{Betrag}_2 & \\
 &\dots \\
 \text{Betrag}_{14} &
 \end{aligned}$$

Bild 15c  
SALSA-Stecker für das Re-embedding.



Bild 16: Addition der Vektoren von Modul und Re-embedded-Steckern.  
Grafik: R&M

Die mathematischen Zusammenhänge aus Bild 15c sind in Bild 17 grafisch dargestellt. Der grüne Vektor sei das Ergebnis einer Messung im Mated-Zustand. Die dunkle Strichlinie ist der Vektor unseres bekannten SALSA-Steckers, der von dem Ergebnis der Messung im Mated-Zustand zu subtrahieren ist. Daraus ergibt sich der Vektor des einzelnen Moduls, der rot strichliert dargestellt ist.

Durch Re-embedding ergibt sich der graue Vektor, der einen Teststecker repräsentiert (Re-embedded-Grenzvektor). Dies ergibt schliesslich die berechnete Antwort im Mated-Zustand, die durch den orangefarbenen Vektor wiedergegeben ist.

Dieser Ablauf wird bei NEXT 36-45 mit vier unterschiedlichen Re-embedded-Grenzvektoren (ungünstigster Fall) durchgeführt. Bild 18 zeigt exemplarisch vier Re-embedded-Kurven bei NEXT 36-45.

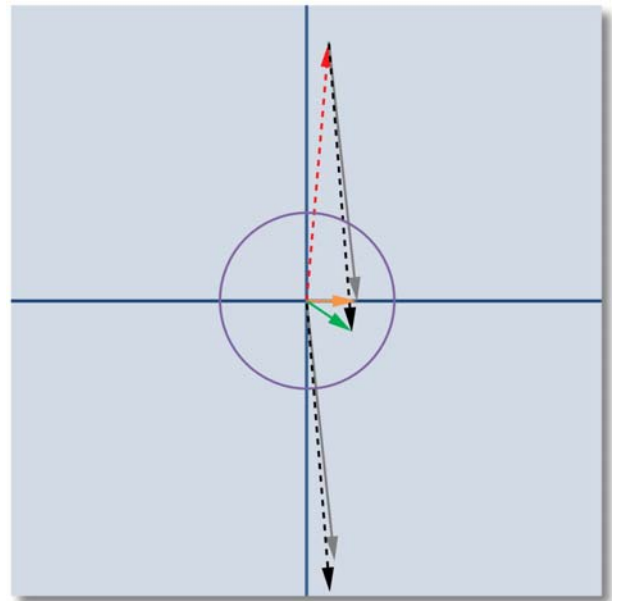


Bild 17: Grafische Darstellung des mathematischen Re-embedding-Prozesses. Grafik: R&M

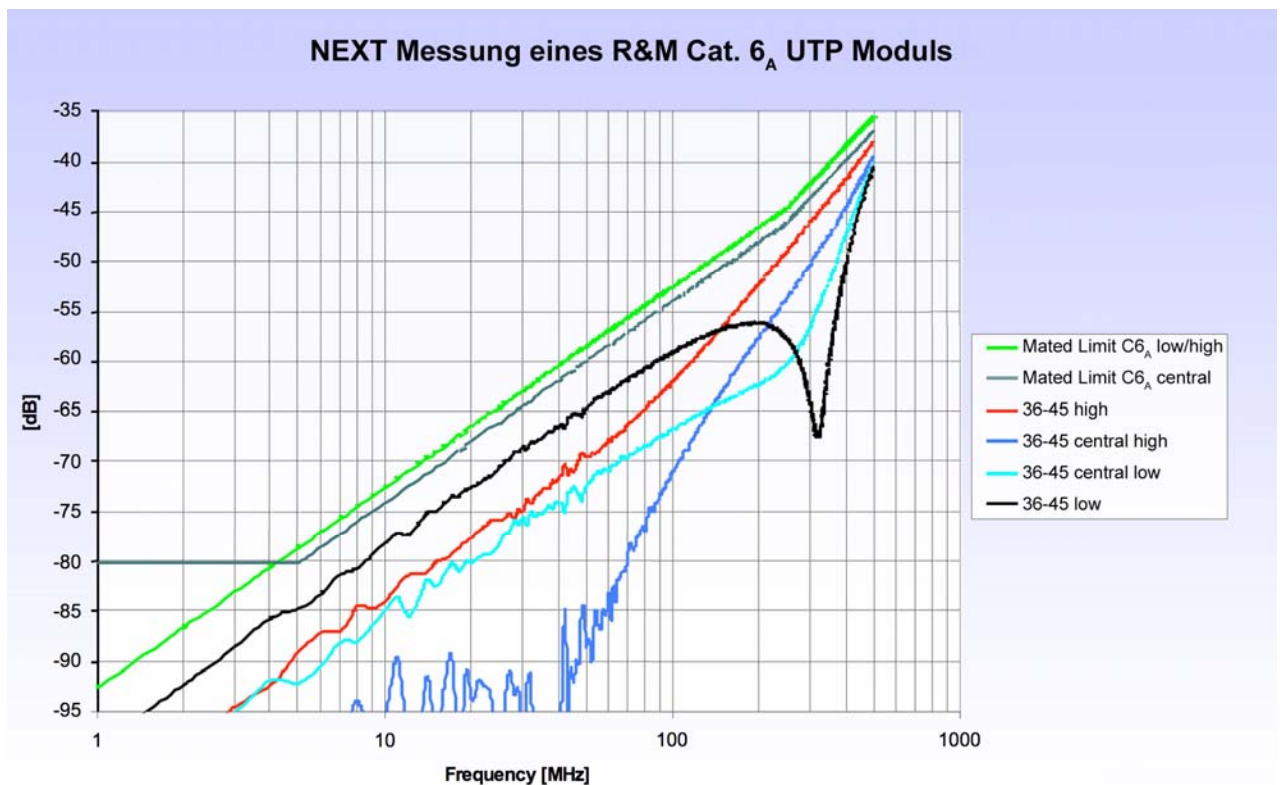


Bild 18: NEXT Messung eines ungeschirmten Cat. 6<sub>A</sub>-Moduls von R&M nach der Re-embedded-Methode. Die Kurven zeigen das Nahnebensprechen zwischen den Aderpaaren 36 und 45 unter vier virtuellen Testbedingungen.

Grafik: R&M

Der *Re-embedding*-Prozess wird nur für den Parameter NEXT durchgeführt. Er könnte auch auf alle anderen Parameter (FEXT, IL, RL, TCL, TCTL) angewandt werden. Zur Vereinfachung wird darauf verzichtet.

Das Cat. 6<sub>A</sub>-Verhalten und das *Re-embedding*-Testverfahren werden anhand der folgenden Normen bestimmt bzw. durchgeführt:

- IEC 60603-7-41
- IEC 60603-7-51
- IEC 60512-25-9
- IEC 60512-27-100

### 4.3. Bedeutung der Referenzebene

Bei Vektorberechnungen ist die Signalphase entscheidend. Netzwerkanalysatoren haben normalerweise eine Port-Extension-Funktion (PE), mit der die Referenzebene verschoben und die Phase auf einen bestimmten Wert eingestellt werden kann. Der Norm folgend muss die Referenzebene an der Berührungsfläche von Stecker und Buchse liegen.

Zuerst kann die Verzögerungszeit mit dem Testadapter (DPF) bestimmt werden. Diese Verzögerungszeit muss als PE eingestellt werden, wenn das Signal in den Stecker eingespeist wird. Bei Einspeisung des Signals in die Buchse muss ausserdem noch die Verzögerungszeit der gesteckten Verbindung gemessen werden, um einen Wert für die Verzögerungszeit der Buchse zu erhalten. Diese PE-Einstellung erschwert die Situation im Vergleich zum *De-embedding*-Ablauf, bei dem keine Nachverarbeitung erforderlich war. Ohne Berechnungen wie im *De-embedded*-Zustand (Abbildung 19a) hat die PE keinen Einfluss auf den Betrag.

Bild 19b zeigt deutlich den Einfluss auf den Betragsfehler beim *Re-embedding*. Angenommen, der orangefarbene Vektor (Eingang, Bild 19c) und der Vektor mit der orangefarbenen Strichlinie (Berührungsfläche, Bild 19c) seien das Ergebnis einer Messung im Mated-Zustand. Nach dem *De-embedding* des SALSA-Steckers (schwarzer Vektor, Bild 19b) und dem *Re-embedding* der virtuellen Stecker (violette Vektoren, Bild 19b), erhält man die Antworten im Mated-Zustand (roter und grüner Vektor, Bild 19b). Die Grösse der Vektoren unterscheidet sich jeweils und hängt von der ordnungsgemässen PE-Einstellung ab.

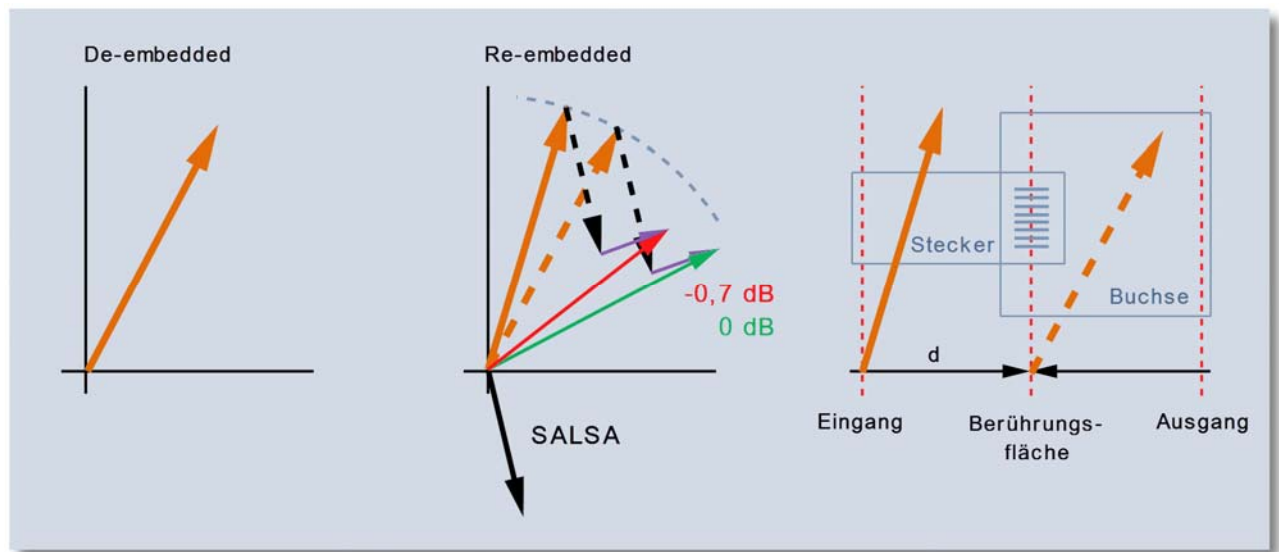


Bild 19a

Bild 19b

Bild 19c

Bedeutung der korrekten Port-Extension-Einstellung.

Grafik: R&M

## 5. Bedeutung der Messqualität

### 5.1. Rückwärtskompatibilität

Durch die Entwicklung von Cat. 5 über Cat. 6 bis zu Cat. 6<sub>A</sub> muss die aktuelle Kategorie zu ihrer Vorgängerin kompatibel sein. Theoretisch wird dies durch die Normen gewährleistet. Das bedeutet, dass ein *Re-embedded* getestetes Modul dasselbe Ergebnis liefern muss wie ein *De-embedded* getestetes.

In der Praxis werden Änderungen an den Messgeräten, Testvorrichtungen und Testkomponenten vorgenommen sowie die Genauigkeit erhöht. Daher empfiehlt es sich, das *Re-embedded*-Verfahren in jedem Fall auch bei Produkten aus niedrigeren Kategorien anzuwenden. Dieses Verfahren ist unter dem Gesichtspunkt der Standardisierung vorzuziehen und auch im Hinblick auf physikalische Korrektheit sinnvoll.

Wenn also ein Modul nach dem *Re-embedded*-Verfahren getestet worden sein soll, könnte es sich beispielsweise um ein Cat. 5-Modul handeln. Der einzige Hinweis auf die Produktqualität ist jedoch die Angabe der entsprechenden IEC-Norm.

R&M verfeinert kontinuierlich seine Messverfahren. Produkte der unteren Kategorien werden mit modernsten Methoden analysiert und bei Notwendigkeit entsprechend angepasst. Auf diese Weise kann R&M die Rückwärtskompatibilität mühelos garantieren.

### 5.2. Herstellerunabhängige Interoperabilität (Mix&Match)

Das Konzept von Mix&Match besteht darin, eine Hardwarekomponente (z.B. eine Buchse) vom Hersteller X zusammen mit einer Hardwarekomponente (z.B. ein Stecker oder ein Patchkabel) vom Hersteller Y zu verwenden und damit volle Kompatibilität zu erreichen. Obwohl es sich hierbei um ein durchdachtes Konzept handelt, ist weder die *Re-embedded*-Methode an sich noch die Angabe einer Kategorie eine Garantie für das Zusammenspiel.

Es müssen zwei Bedingungen erfüllt sein, um die Mix&Match-Fähigkeit zu gewährleisten: Die Eigenschaften von Stecker und Buchse müssen sich jeweils in einem bestimmten Bereich sowohl des Betrags als auch der Phase befinden, wozu enge mechanische Toleranzen vorausgesetzt werden.

Da die Bereiche von Steckern seit der Verfügbarkeit der *De-embedding*-Methode gut definiert sind, ist Mix&Match bereits seit diesem Zeitpunkt möglich. Mix&Match funktioniert jedoch nur, wenn die Produkte der Buchsen- und der Steckerhersteller die Norm strikt einhalten. Entspricht eines der Produkte nicht der Norm, so funktioniert Mix&Match nicht.



## 6. Zusammenfassung

Wir haben gesehen, dass es sich beim *Re-embedding* um eine Verfeinerung der *De-embedding*-Testmethode handelt. Anstelle von Messungen bei zwölf unterschiedlichen Verbindungen im Mated-Zustand wird eine berechnete Simulation der Schwankungen durchgeführt, die bei den Steckern auftreten.

Geht man unter Berücksichtigung des Kapitels 3 (Testmethoden) einen Schritt weiter, so handelt es sich aufgrund der höheren Frequenzen letztlich um eine detaillierte und präzise Verfeinerung der Testvorrichtungen. Hierzu gehört auch, dass keine Symmetrierglieder verwendet werden. Wie auch bei der Berechnung sind weitere wirkliche Verfeinerungen des Verfahrens nicht möglich, es sei denn, dass zusätzliche Parameter in den *Re-embedding*-Prozess einbezogen werden.

R&M gibt sich nicht mit den von Standardisierungsgremien vorgeschlagenen Messmethoden zufrieden. Stattdessen setzt R&M selbst entwickeltes, technisch ausgefeiltes Messequipment ein, mit dem weitergehende und noch präzisere Messungen möglich sind. Dies ist unter dem Aspekt wirklicher Qualität ein sehr wesentlicher Faktor. Aus diesem Grund kann R&M mühelos auch die höchsten Qualitätsanforderungen einhalten.

R&M empfiehlt dringend, bei der Validierung von Verbindungs-Hardware die Datenblätter genau zu lesen, um sich zu vergewissern, ob man für sein Geld das Gewünschte erhält. Das bedeutet, dass die IEC 60603-7-4/5 nicht der Cat.6<sub>A</sub> entspricht, sondern nur die IEC 60603-7-41/51. R&M tritt für eine Kennzeichnung der Produkte ein, die sich streng nach den Normen richtet.

## 7. Quellen und weitere Informationen

Weitere Informationen zu Produkten und Lösungen von R&M finden Sie auch im Internet unter:  
[www.rdm.com](http://www.rdm.com)

## 8. Abkürzungen

NEXT	Near End Crosstalk (Nebensprechen von einer benachbarten Leitung am nahen Ende der Leitung)
FEXT	Far End Crosstalk (Nebensprechen von einer benachbarten Leitung am fernen Ende der Leitung)
PS NEXT	Power-sum Near End Crosstalk (Gesamtes Nebensprechen der benachbarten Leitungen am nahen Ende der Leitung)
PS FEXT	Power-sum Near End Crosstalk (Gesamtes Nebensprechen der benachbarten Leitungen am fernen Ende der Leitung)
PS A-NEXT	Power-sum Alien NEXT (Gesamtes Nebensprechen aus anderen Kabeln oder aus der Umgebung am nahen Ende der Leitung)
PS A-FEXT	Power-sum Alien FEXT (Gesamtes Nebensprechen aus anderen Kabeln oder aus der Umgebung am fernen Ende der Leitung)
TCL	Transverse Conversion Loss (Unsymmetriedämpfung, in Differenzspannung umgewandelter Gleichtaktanteil am nahen Ende derselben Leitung)
TCTL	Transverse Conversion Transfer Loss (Unsymmetriedämpfung, in Differenzspannung umgewandelter Gleichtaktanteil am fernen Ende derselben Leitung)
IL	Insertion Loss (Einfügedämpfung, Signalabschwächung auf derselben Leitung)
RL	Return Loss (Rückflussdämpfung, Anteil des reflektierten Signals auf derselben Leitung)
DPF	Direct Probe Fixture (Vorrichtung zur direkten Messung des Steckers)
PE	Port Extension (Funktion des Netzwerkanalysators zur Verschiebung der Referenzebene)
TL	Transmission Line (Übertragungsleitung)
TOC	Terminated Open Circuit