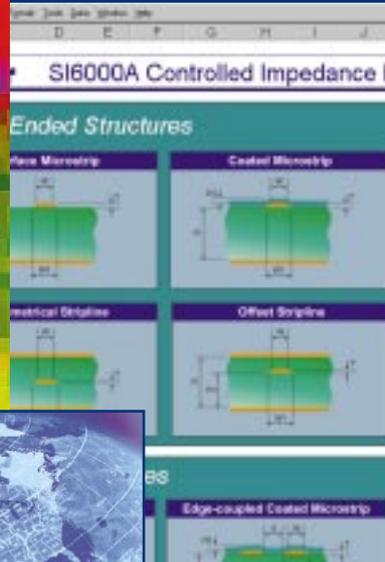
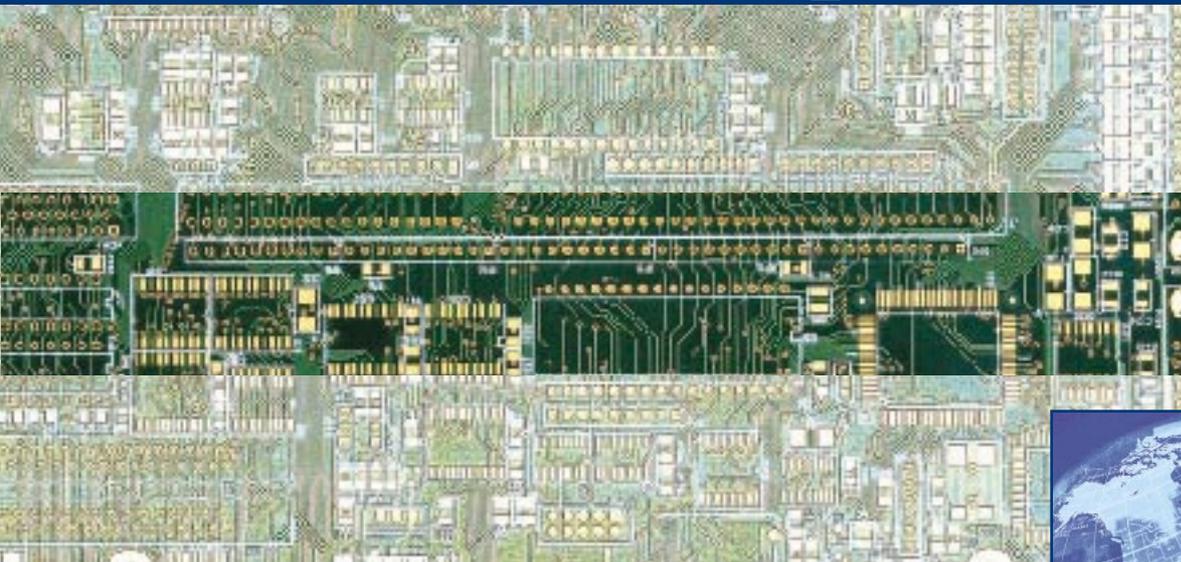


# Impedanzkontrollierte Leiterplatten



*Eine Einführung in Design und Fertigung  
impedanzkontrollierter Leiterplatten*

**Polar**

[polarinstruments.com](http://polarinstruments.com)

## Einführung

Vor einigen Jahren haben wir die erste Ausgabe dieser Broschüre als Antwort auf die vielen Fragen nach einer Grundeinführung in die Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten herausgebracht. In dieser zweiten Ausgabe haben wir zusätzliche Informationen zu einzelnen Kapiteln hinzugefügt und eine Reihe von neuen Themen berücksichtigt. Wir haben versucht, die wichtigsten Konzepte zu erklären und häufig gestellte Fragen zu beantworten, ohne dabei zuviel technischen Fachjargon zu verwenden.

Sie können dieses PDF-Dokument von [www.polarinstruments.com](http://www.polarinstruments.com) laden oder kontaktieren sie ihren lokalen Polar Instruments Distributor, wenn sie weitere Kopien benötigen.

Wir hoffen, sie finden diese Broschüre hilfreich und freuen uns über ihre Verbesserungsvorschläge wie z.B. nähere Informationen zu einzelnen Kapiteln, neue Themen etc. unter [mail@polarinstruments.com](mailto:mail@polarinstruments.com).

Index	Seite
	2 Was ist eine kontrollierte Impedanz?
	3 Warum benötigen wir kontrollierte Impedanzen?
	4 Kontrollierte Impedanzen auf Leiterplatten
	4 Systeme mit kontrollierten Impedanzen
	5 Beispiele impedanzkontrollierter Leiterplatten
	7 Die Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten
	8 Testcoupons
	9 Konstruktion und Details von Testcoupons
	11 Impedanzberechnung mittels Field Solver-Verfahren
	12 Charakterisierung Ihres Fertigungsprozesses
	13 Die Messung kontrollierter Impedanzen
	14 Die Verwendung von Impedanz-Eichleitungen
	15 Differentielle und koplanare Konfigurationen
	16 Antworten auf häufig gestellte Fragen
	17 Testsysteme für kontrollierte Impedanzen
	18 Field Solver-Berechnungsprogramme

## Was ist eine kontrollierte Impedanz?

Das Kabel, welches die Antenne mit dem Fernsehgerät verbindet, ist ein einfaches Beispiel einer kontrollierten Impedanz, welches jeder von uns kennt.

Es gibt zwei Konstruktionsarten dieses Kabels: Ein koaxiales Kabel besteht aus einem runden Innenleiter, welches von einem äußeren zylindrischen Leiter (Schirmung) durch einen Isolator getrennt ist. Die Abmessungen des Leiters und des Isolators sowie die elektrischen Eigenschaften des Isolators werden sorgfältig gewählt, um die Form, Stärke und Wechselwirkung des elektrischen Feldes zu bestimmen und somit die elektrische Impedanz des Kabels zu definieren.



Anstelle eines Koaxialkabels kann auch ein Kabel, geformt aus zwei runden Leitern und getrennt durch einen Kunststoffsteg, verwendet werden. Ähnlich wie beim Koaxialkabel werden die Abmessungen und das Material speziell gewählt, um die korrekte Impedanz zu erzielen.



Diese zwei Kabel sind Beispiele verschiedener Konfigurationen mit kontrollierter Impedanz - es gibt jedoch Viele mehr. Analog dazu werden in der Leiterplattenindustrie viele verschiedene Leiterbahnkonfigurationen eingesetzt, um eine kontrollierte Impedanz zu erzielen.

Impedanzkontrollierte Leiterplatten simulieren impedanzkontrollierte Kabel, wobei die Koaxial-Schirmung durch eine Kupferlage, der Isolator durch das Laminat und der Innenleiter durch die Leiterbahn repräsentiert wird. Ähnlich wie beim Kabel wird die Impedanz durch die Abmessungen sowie durch das Material bestimmt. Diese Parameter müssen sehr genau beim Design und in der Fertigung eingehalten werden, um die geforderte Spezifikation zu erzielen.

Die Impedanz wird in Ohm ( $\Omega$ ) gemessen, nicht zu verwechseln mit dem Widerstand, welcher ebenfalls in Ohm gemessen wird. Der Widerstand definiert die Gleichspannungscharakteristik, während die Impedanz eine Wechselspannungscharakteristik beschreibt, welche bei höheren Frequenzen - typisch ab 200 - 300 Megahertz und darüber - an Bedeutung gewinnt.

## Warum benötigen wir kontrollierte Impedanzen?

Die Funktion eines Leiters ist es, Signalleistung zwischen Bauteilen zu übertragen. Die Theorie zeigt, dass die maximale Signalleistung bei Impedanzanpassung übertragen wird.

Eine TV-Antenne besitzt eine "natürliche" Impedanz. Bei hohen Frequenzen zwischen mehreren hundert MHz (Megahertz) und GHz (Gigahertz), muß zur Erzielung der maximalen Leistungsübertragung von der Antenne zum Kabel, das Kabel die gleiche Impedanz wie die Antenne und der TV-Empfänger die gleiche Impedanz wie das Kabel aufweisen. Sind die Impedanzen der Antenne, des Kabels und des TV-Empfängers identisch, so liegt ein impedanzangepaßtes System vor und es wird die maximale Signalleistung zum Empfänger übertragen.

Bei Impedanz-Fehlanpassung wird keine maximale Leistungsübertragung erzielt. Nur ein Teil der Signalleistung wird vom Sender zum Empfänger (Koaxialkabel, Leiterbahn, etc.) übertragen. Die restliche Signalleistung wird zur Sendestelle zurückreflektiert.

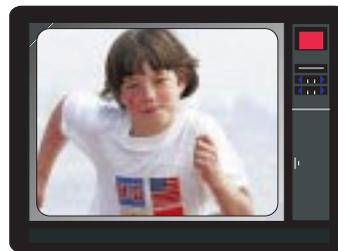
Nehmen wir an, ein Kabel mit inkorrektter Impedanz verbindet die Antenne mit dem Empfänger. Die Antenne und das Kabel sind nicht angepaßt und nur ein Teil des Antennensignals gelangt in das Kabel. Ein Teil des Signals wird zur Antenne reflektiert und wieder abgestrahlt. Der Empfänger erhält nicht das maximale Empfangssignal und die Bildqualität wird beeinträchtigt.

Da die Kabelimpedanz nicht der Impedanz des Empfängers entspricht, gelangt nicht das gesamte Signal im Kabel in den Empfänger.

Ein Teil wird in das Kabel zurückreflektiert, was zu einem weiteren Verlust des verfügbaren Signals am Empfänger führt.

Dies ist leider erst der Anfang des Problems. Das reflektierte Signal gelangt nun zurück zur Antenne, wo es auf eine weitere Fehlanpassung trifft und eine weitere Teilreflektion auftritt. Dieses reflektierte Signal trifft ein weiteres Mal - mit einer geringen Verzögerung zum Originalsignal - beim Empfänger ein. Der TV-Empfänger wird gleichzeitig mehrere Kopien des gleichen Bildes darstellen - das Original und das reflektierte Signal - ähnlich einem Echo.

Das Bild (oder auch Daten) wird durch Signalreflektionen aufgrund einer Impedanz-Fehlanpassung stark gestört.



**Impedanzanpassung**



**Impedanz-Fehlanpassung**

Die Konsequenzen in diesem Beispiel - eine Bildstörung - sind nicht allzu ernst. Nehmen wir jedoch an, das Signal transportiert elektronische Daten einer Bank in Form von binären Einsen und Nullen. Was passiert, wenn eine Null auf der Leitung mehrfach reflektiert und die Daten Ihres Kontos falsch angezeigt werden?

*"Ihr Konto ist leider überzogen"*

Obwohl wir uns auf Leitungsverbindungen konzentriert haben, gelten die gleichen Betrachtungen auch für die Signalübertragung in Leiterplatten. Wenn eine Leiterbahn hochfrequente Signale führt, so muß diese so ausgelegt werden, daß ihre Impedanz jener des Senders und des Empfängers entspricht. Je länger die Leiterbahn oder je höher die Frequenz, umso wichtiger ist die Einhaltung der Leiterbahnimpedanz. Die Leiterplattenhersteller variieren die Impedanz durch Verändern der Geometrien und Abstände der betroffenen Leiterbahnen und Lamine.

Eine Impedanz-Fehlanpassung ist nach der Bestückung der Leiterplatte extrem schwierig zu analysieren. Bauteile weisen unterschiedliche Toleranzen auf, so daß eine Bauteiltype eine Impedanz-Fehlanpassung womöglich toleriert, eine andere Type hingegen nicht. Zusätzlich kann sich die Charakteristik der Komponenten mit der Temperatur ändern, so daß Probleme sporadisch auftreten. Bauteile werden nun fälschlicherweise anstelle der Leiterbahn als vermeintliche Fehlerquelle verdächtigt. Oft wird dann eine teure Bauteilselektion vorgenommen, und die tatsächliche Fehlerquelle – eine Impedanz-Fehlanpassung – bleibt unentdeckt!

Aus diesen Gründen spezifizieren die Leiterplattendesigner die Impedanz sowie die Toleranz und arbeiten eng mit den Leiterplattenherstellern zusammen, um die Spezifikationen einzuhalten.

Vor nicht langer Zeit, 1997, erforderten nur exotische High-Speed-Bauteile impedanzkontrollierte Leiterplatten. Der Anteil lag bei ca. 20% der Gesamtproduktion. Bereits 2001 werden ca. 80% aller Multilayer mit impedanzkontrollierten Leiterbahnen gefertigt. Dies betrifft Leiterplatten für alle Arten von Technologien in den Bereichen

- \* Telekommunikation (Analog und Digital)
- \* Video-Signalverarbeitung
- \* Hochgeschwindigkeits-Digitalverarbeitung
- \* Echtzeit-Grafikverarbeitung
- \* Prozeßsteuerung

In vielen Haushalten gibt es bereits zahlreiche Low-Cost-Anwendungen dieser Technologien:

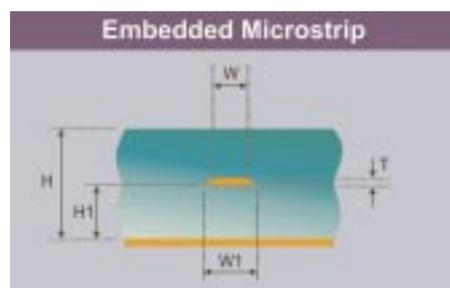
- \* Modems, Schnurlostelefone, Mobiltelefone  
Analog- und Digitalfernsehen,  
Satelliten-TV, GPS, Radar.
- \* Videospiele, Digitalkameras und digitale Videokameras, DVDs.
- \* Personal Computer, CDs,  
Farbdrucker
- \* Digital-Fernsehempfänger, Video-On-Demand
- \* Motormanagement-Systeme

Die Industrie setzt diese Technologien selbst im großen Ausmaß ein und die Zahl dieser Anwendungen wächst ständig. Wir können daher davon ausgehen, daß in naher Zukunft praktisch alle Leiterplatten impedanzkontrollierte Leiterbahnen aufweisen. Kontrollierte Impedanzen zählen zur Norm.

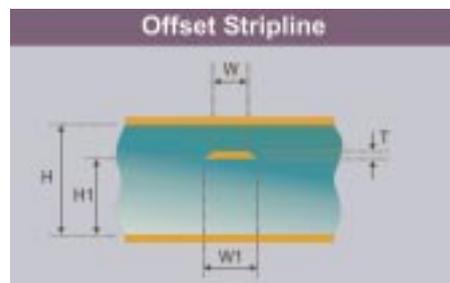
## Beispiele impedanzkontrollierter Leiterplatten

Diese Bilder zeigen Beispiele einiger der vielen verschiedenen Konfigurationen, die von Designern verwendet werden. Beachten Sie beim Aufbau eines Multilayers, daß die kontrollierten Impedanzen durch Kupferlagen geschirmt sind und daher nur die Laminatdicke zwischen den Lagen auf beiden Seiten der Leiterbahn berücksichtigt werden muß, wenn sich diese in einem Multilayer befindet.

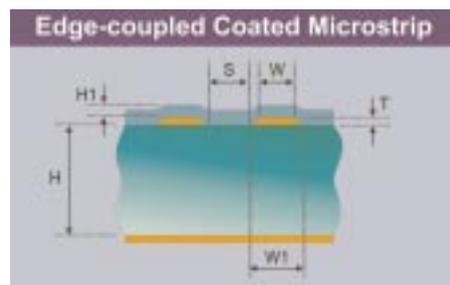
Eine Embedded Microstrip besteht aus einer Leiterbahn eingebettet in Dielektrikum, mit einer Kupferfläche an einer Seite.



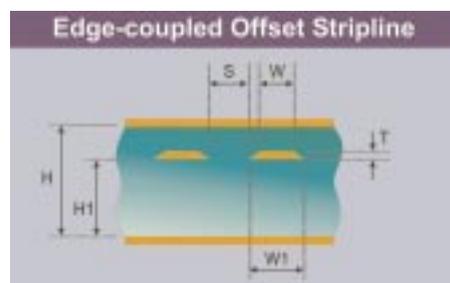
Eine Offset Stripline besteht aus einer Leiterbahn eingebettet in Dielektrikum mit Kupferflächen an beiden Seiten.



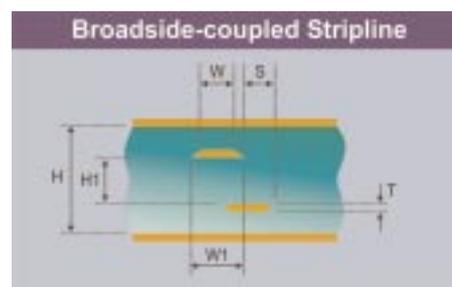
Eine Edge Coupled Coated Microstrip ist eine differentielle Konfiguration mit zwei impedanzkontrollierten Leiterbahnen an der Oberfläche, abgedeckt durch Lötstoplack mit einer Kupferfläche an der gegenüberliegenden Seite.



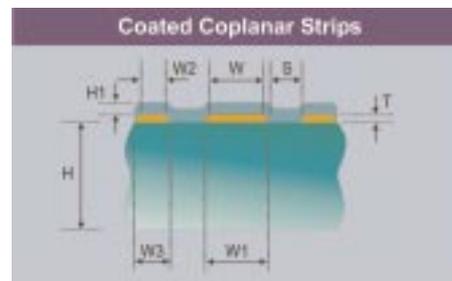
Eine Edge Coupled Offset Stripline ist eine differentielle Konfiguration mit zwei impedanzkontrollierten Leiterbahnen zwischen zwei Lagen. Die Leiterbahnen sind aus der Mitte versetzt, könnten jedoch auch mittig liegen ( $2H1+T=H$ ).



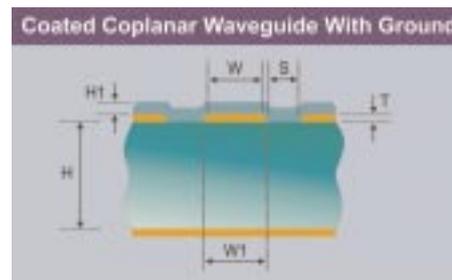
Diese differentielle Konfiguration weist zwei Leiterbahnen auf, die durch ein Laminat getrennt und zwischen zwei Lagen angeordnet sind. Obwohl in der Abbildung die beiden Leiterbahnen versetzt sind, ist es das Ziel, diese ohne Versatz, d.h. direkt übereinanderliegend zu fertigen. Diese Konfiguration ist sehr schwierig zu produzieren.



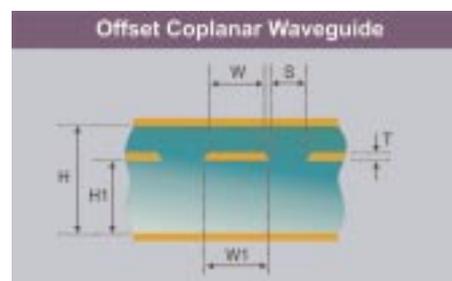
Bei dieser Coated Coplanar Strips Konfiguration liegt eine einzelne impedanzkontrollierte Leiterbahn zwischen zwei Masseleitern mit definierter Breite ( $W2/W3$ ). Alle Leiterbahnen sind mit Lötstoplack versehen.



Die Coated Coplanar Waveguide besitzt eine impedanzkontrollierte Leiterbahn mit seitlichen Kupferflächen (oder sehr breiten Masseleitern) mit Lötstoplack und eine durchgehende Massefläche an der gegenüberliegenden Seite.



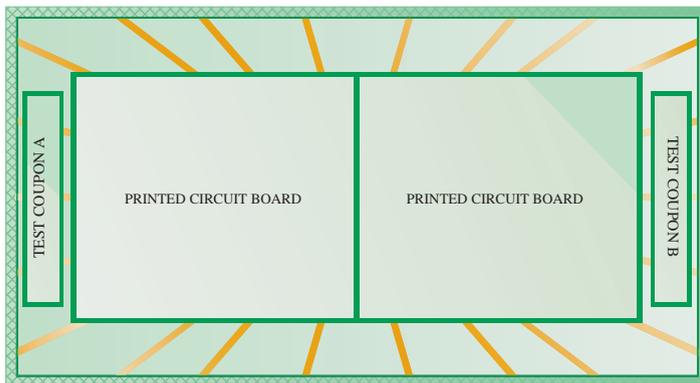
Die Coplanar Waveguide ist ähnlich der Konfiguration oben, jedoch besitzt sie Bezugslagen an beiden Seiten des Laminates sowie seitliche Bezugslagen in der gleichen Lage wie die impedanzkontrollierte Leiterbahn.



## Die Fertigung von impedanzkontrollierten Leiterplatten.

Mit steigenden Betriebsfrequenzen von elektronischen Schaltungen steigt auch der Bedarf an kontrollierten Impedanzen, welche von der Mehrheit der Leiterplattenhersteller gefertigt werden. Wie bereits beschrieben, kann es sehr schwierig sein, einen inkorrekten Impedanzwert auf einer bestückten Leiterplatte nachzuweisen. Da die Impedanz von mehreren Parametern abhängt (Leiterbahnbreite, Dicke, Laminatstärke, etc.), wird die Mehrzahl der Leiterplatten gegenwärtig auf korrekte Impedanz getestet. Gemessen werden nicht die eigentlichen Leiterplatten, sondern spezielle Testcoupons, welche zur gleichen Zeit und auf dem gleichen Panel wie die Leiterplatte gefertigt wurden. Manchmal ist der Testcoupon in die Leiterplatte integriert.

**Dem Auftraggeber der Leiterplatten ist oft nicht bekannt, daß die Tests am Besten auf Testcoupons durchgeführt werden. Sie als Leiterplattenhersteller müssen oft die Vorteile von Testcoupons deutlich machen:**



Typisches Produktionspanel

*Alle Bezugs- und Versorgungslagen werden nur auf dem Testcoupon verbunden.*

*Es werden die gleichen Blendencodes auf dem Coupon wie auch auf der Leiterplatte verwendet.*

- \* Impedanzkontrollierte Leiterbahnen sind oft nicht für Testzwecke zugänglich (oft fehlt auch eine benachbarte Masseverbindung).
- \* Bezugsflächen auf der Leiterplatte sind meist nicht miteinander verbunden, was zu Meßfehlern führen kann.
- \* Genaue und wiederholbare Ergebnisse erfordern eine gerade, einzelne Leiterbahn mit einer Länge von 150 mm (oder länger). Meist sind die Leiterbahnen auf der Leiterplatte zu kurz.
- \* Die Leiterbahn auf der Leiterplatte kann Verzweigungen oder Vias aufweisen, was die Messung erschwert.
- \* Das Hinzufügen von eigenen Pads und Vias auf der Leiterplatte für Testzwecke beeinträchtigt die Eigenschaften der impedanzkontrollierten Leiterbahn und benötigt (oft ohnehin knappen) Platz.

## Testcoupons

Der typische Testcoupon besteht aus einer Leiterplatte mit ca. 200x30mm mit exakt dem gleichen Lagenaufbau und Leiterbahnkonstruktion wie die eigentliche Leiterplatte. Er besitzt Leiterbahnen mit der gleichen Breite und Lage wie die impedanzkontrollierte Leitung auf der Haupt-Leiterplatte.

Wenn das Layout erstellt wird, so werden für den Coupon die gleichen Blenden (D-codes) verwendet, wie für die impedanzkontrollierten Leitungen auf der Leiterplatte. Da der Coupon zur gleichen Zeit wie die Leiterplatte gefertigt wird, weist der Coupon die gleichen Impedanzen wie die Leiterplatte auf. Um korrekte Testergebnisse sicherzustellen, werden die Bezugslagen nur am Coupon miteinander verbunden.

Es ist nötig, die Bezugsflächen des Coupons von der Leiterplatte zu isolieren, falls ein Verbindungstest an der Leiterplatte durchgeführt wird, während sich diese noch im Panel befindet.

Üblicherweise werden zwei Testcoupons an den gegenüberliegenden Ecken des Panels vorgesehen, um ein repräsentatives Bild zu erhalten und um sicherzustellen, daß keine Unterschiede in der Leiterbahnbreite, Kupferdicke, Laminatstärke etc. über das gesamte Panel hinweg auftreten.

Manche Hersteller führen Messungen an Coupons auch durch, um die Fertigungsqualität zu überwachen, auch wenn die Leiterplatte selbst keine impedanzkontrollierten Leiterbahnen aufweist. Da die Impedanz der Coupons von den Leiterplatten-Parametern abhängt, ist sie ein genaues Maß für die Gleichförmigkeit der Leiterplatte, ohne Schliffbilder von dieser anzufertigen.

Zusätzlich zu den üblichen Leiterplatten-Angaben sollte der Leiterplattendesigner folgendes spezifizieren:

- \* Welche Lagen beinhalten impedanzkontrollierte Leiterbahnen
- \* Die Impedanz(en) der Leiterbahn(en) - es können verschiedene Impedanzen pro Lage vorkommen
- \* Separate Blendencodes für impedanzkontrollierte Leiterbahnen, z.B. 4 mil nicht-impedanzkontrolliert und 4 mil impedanzkontrollierte Leiterbahn.
- \* **Sowie weiters:**

1. die Breite (w) der impedanzkontrollierten Leiterbahn  
oder
2. die Laminatstärke (h) über und unter der impedanzkontrollierten Leiterbahn.

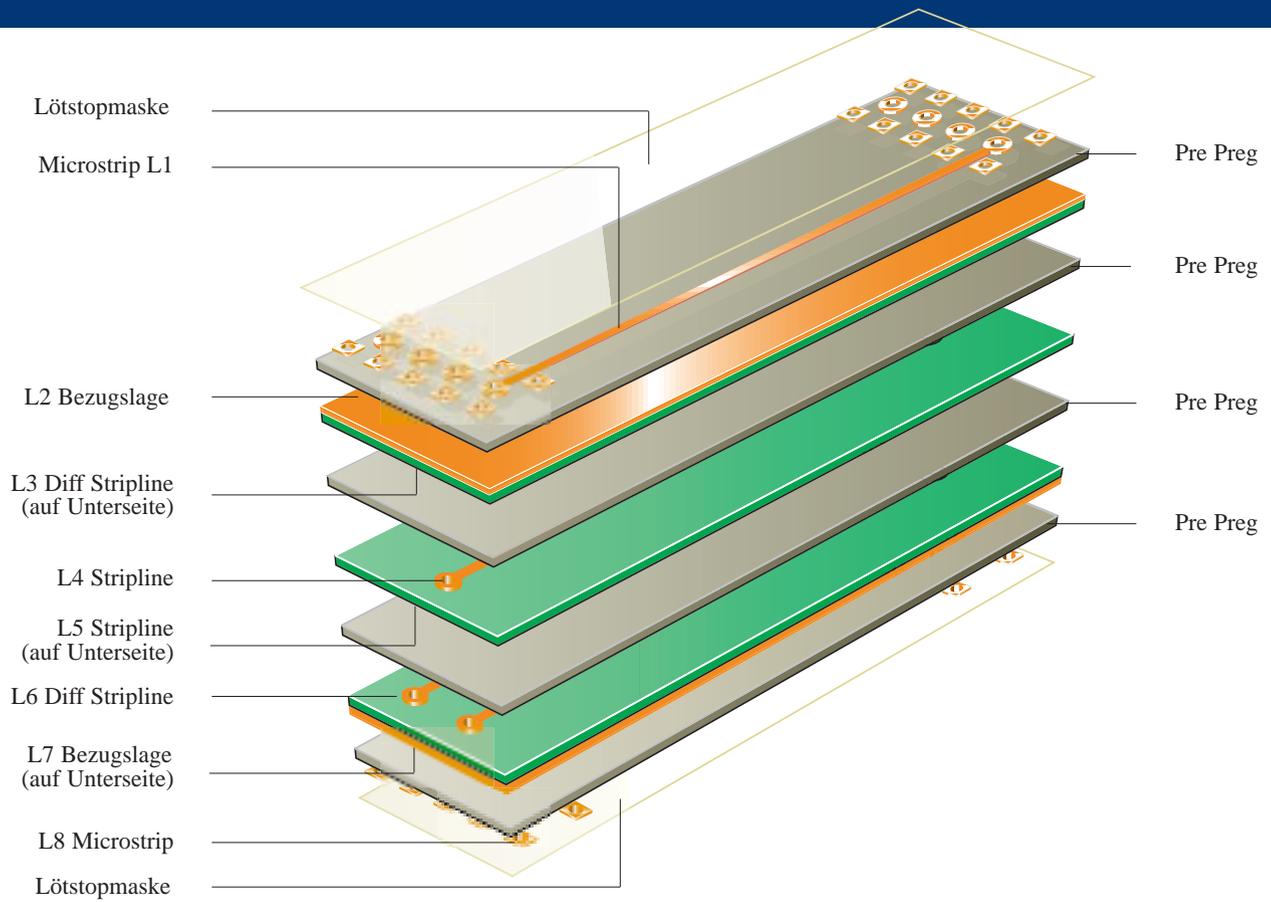
Im Fall 1, bei spezifizierter Leiterbreite (w), variiert der Hersteller die Laminatstärke (h) um den korrekten Impedanzwert zu erzielen.

Im Fall 2, bei angegebener Laminatstärke (h), verändert der Hersteller die Leiterbreite (w), um den geforderten Impedanzwert zu erreichen.

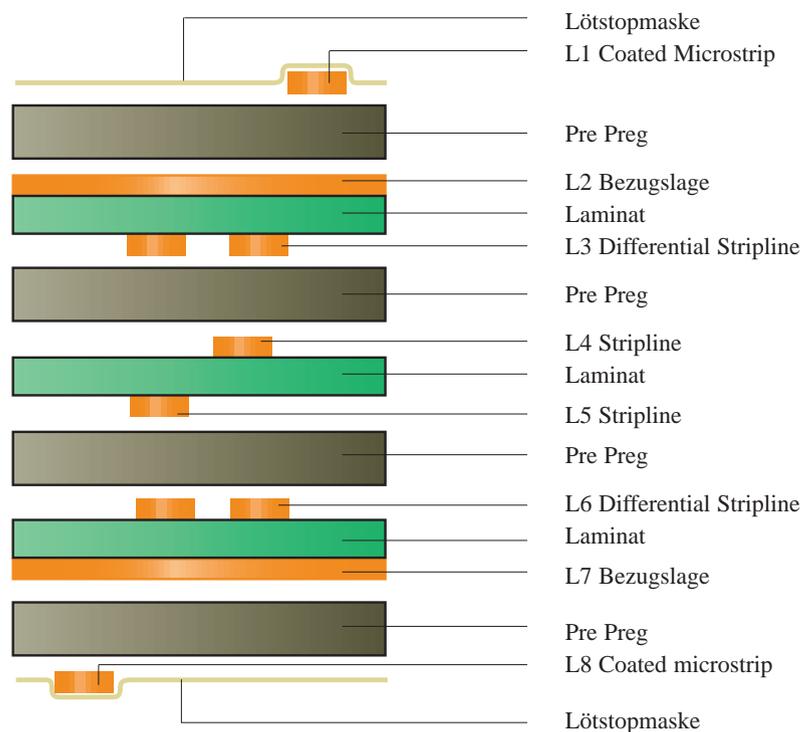
Einige Konfigurationen (differentiell, koplanar) erlauben die Veränderung von mehr als einem Parameter um die korrekte Impedanz zu erzielen.



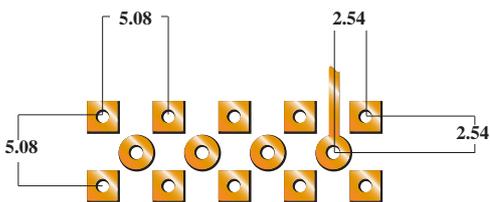
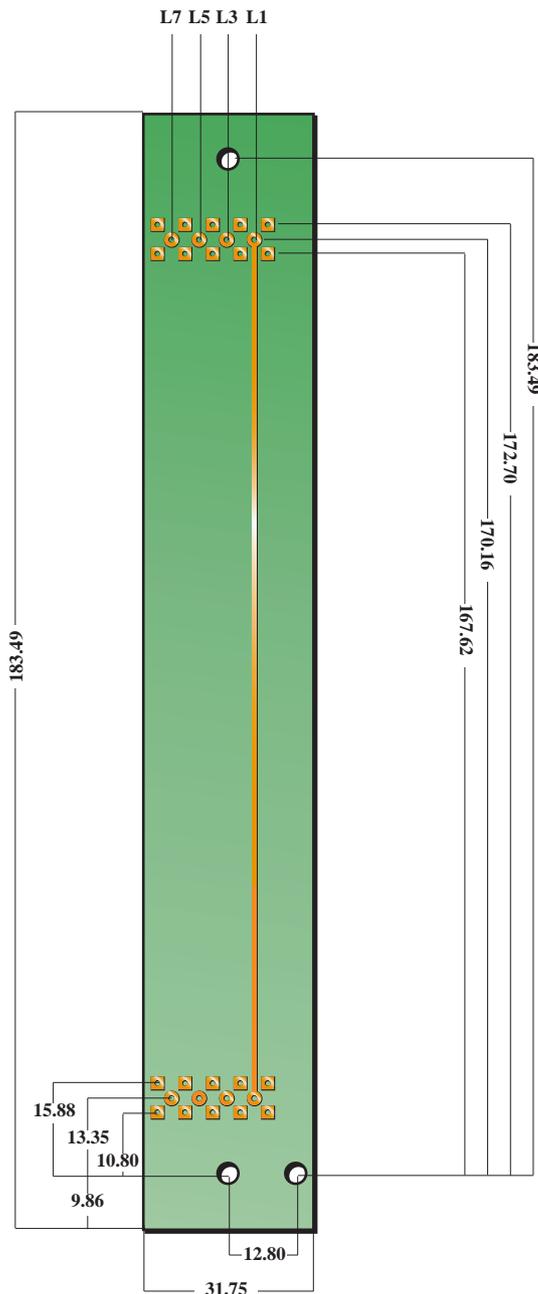
Explosionsansicht eines Testcoupons



Explosionsansicht eines Testcoupons



## Konstruktion und Details von Testcoupons



nicht maßstabgerecht

Sie können Gerber-Dateien eines typischen Impedanztestcoupons von [www.polarinstruments.com](http://www.polarinstruments.com) laden.

### Der typische Testcoupon

(Referenz: IEC-Entwurf, Anhang zu IEC326-3)

1. Die dielektrische Separation entspricht jener der impedanzkontrollierten Struktur auf der Leiterplatte
2. Die Bohrungen der Testkontakte sind durchkontaktiert, um alle Testleitungen auf den Innenlagen zu erreichen.
3. Durchkontaktierungen zu Masse/Versorgungslagen sind durch quadratische Pads gekennzeichnet und für die Messung zugänglich.
4. Die Leiterbreiten entsprechen jenen der impedanzkontrollierten Lagen.
5. Vias werden nach Bedarf hinzugefügt
6. Kupferschraffierung wird nach Bedarf auf Aussenlagen eingesetzt.
7. Zwei Coupons pro Panel. Diese sollen individuell mit den Buchstaben A & B gekennzeichnet werden.
8. Job No. und Datumcode werden nach Kundenanforderung hinzugefügt.
9. Alle Bezugslagen sind miteinander zu verbinden. (nur auf dem Testcoupon).

### Kapazitive Aufladung

Um kapazitive Aufladung während des Tests zu vermeiden, sollte die Größe der Pads und Vias speziell bei hohen Impedanzwerten minimiert werden. Obwohl der Standardcoupon Pads an beiden Enden aufweist, erzielen Sie bei höheren Impedanzwerten bessere Ergebnisse, wenn Sie ein Pad an nur einem Ende vorsehen.

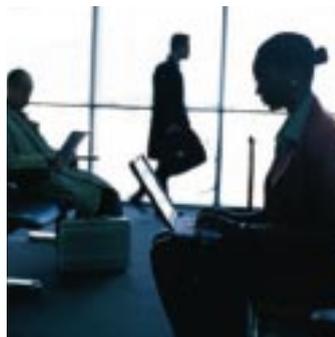
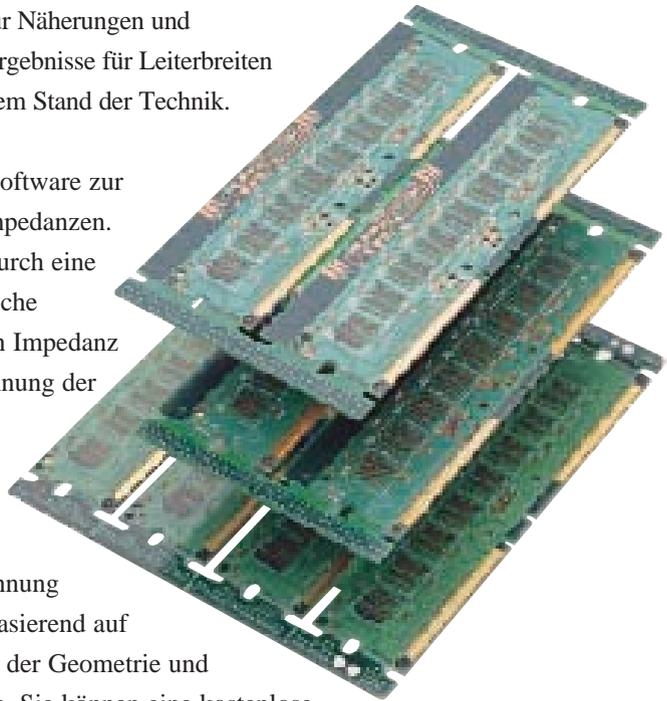
## Impedanzberechnung mittels Field Solver-Verfahren

Bis vor wenigen Jahren konnten sie einfache, veröffentlichte Formeln zur Berechnung der Leiterbahnabmessungen für einen bestimmten Impedanzwert einsetzen. Diese Formeln waren ausreichend genau für Leiterbreiten größer 15 mil. Diese Formeln sind jedoch nur Näherungen und ermöglichen keine genauen Ergebnisse für Leiterbreiten und Leiterplatten nach heutigem Stand der Technik.

Sie benötigen Field-Solver Software zur Berechnung kontrollierter Impedanzen. Deren Effizienz wird noch durch eine Zielsuchfunktion erhöht, welche die Eingabe der gewünschten Impedanz und die automatische Berechnung der Abmessungen ermöglicht.

Polar Instruments bietet Field Solver Software speziell für die Vorausberechnung der Leiterbahnimpedanzen basierend auf der Leiterbahnkonfiguration, der Geometrie und den Materialeigenschaften an. Sie können eine kostenlose, funktionsfähige Demoversion dieser Software von unserer Website laden:

[www.polarinstruments.com](http://www.polarinstruments.com)



## Charakterisierung Ihres Fertigungsprozesses

Die Verwendung von Field Solver-Software ist ein guter Ausgangspunkt zur Berechnung von Nominalwerten für Leiterbreite ( $w$ ) und Laminatstärke ( $h$ ) für einen spezifischen Impedanzwert. Sie werden jedoch Testpaneele mit vielen Coupon-designs mit verschiedenen Leiterbahnbreiten, verschiedenen Konfigurationen (Stripline, Microstrip, Embedded Microstrip) und Lagenaufbauten unterschiedlicher Laminat/Pre-Preg-Stärken anfertigen müssen.

Idealerweise sollten Sie einen Standardcoupon verwenden (siehe empfohlenes Design) wobei jeder Coupon mehrere Impedanzwerte enthält. Nach der Herstellung der Testpaneele werden sie die tatsächlichen Impedanzwerte messen und vergleichen, wie diese Werte mit den theoretischen Werten korrelieren.

Die Laminathersteller bieten Listen von  $\epsilon_r$  (Dielektrizitätskonstante) für verschiedene Kernmaterialien. FR-4 besitzt ein  $\epsilon_r$  von typ. 4.2. Wenn sie ein bevorzugtes Kernmaterial einsetzen, so werden ihnen gleichbleibende Eigenschaften zugesichert. Durch das Anfertigen einer Tabelle und dem Vergleich der gemessenen Werte mit den berechneten Werten, können sie die Prozeßabweichungen von der Theorie feststellen. Sie können dann die Testpaneele erneut fertigen, wobei sie  $w$  und/oder  $h$  ändern um die exakten Impedanzwerte zu erreichen. Nach mehreren Annäherungen gewinnen sie Erfahrung über ihren Fertigungsprozeß und sie können aus den Anforderungen des Designers direkt Werte für Ihren Prozess ableiten und somit Boards produzieren, deren Impedanz im geforderten Bereich liegt und damit den Yield maximieren.

Es ist auch zweckmäßig, Schliffbilder von manchen Coupons anzufertigen, um die tatsächlichen Abmessungen der Leiterbahnen mit den Nominalwerten zu vergleichen. Diese gemessenen Geometrien können dazu verwendet werden, um eine Impedanzberechnung mit den tatsächlichen Abmessungen durchzuführen und sie können so eine dritte Spalte zur Vergleichstabelle hinzuzufügen.

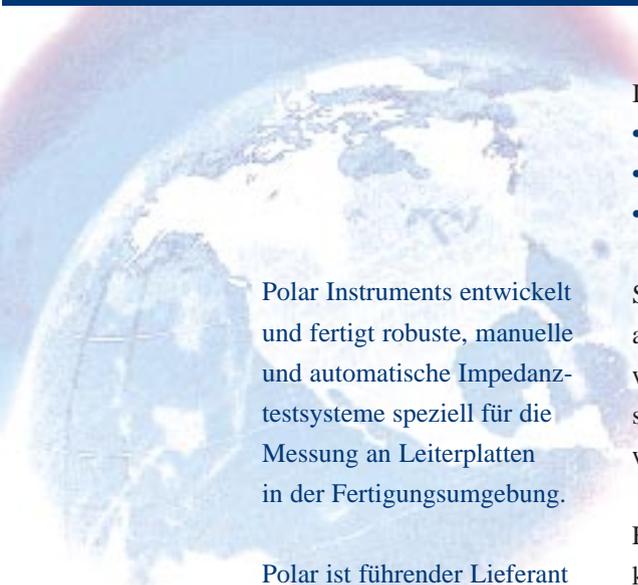
Hierbei ist anzuführen, daß vorhandener Lötstoplack die Impedanz von Surface Microstrip beeinflusst und daher in die Charakterisierung des Prozesses miteinbezogen werden muß.

Impedanzen liegen typisch zwischen 40 Ohm und 120 Ohm. Höhere Impedanzen sind schwieriger einzuhalten, da sie geringere Leiterbreiten aufweisen und von einem exakten Ätzprozess in höherem Ausmaß abhängen. (Die Impedanz verhält sich invers proportional zur Leiterbreite und Dicke. Bei sehr schmalen Leiterbahnen ist daher der relative Einfluß des Ätzprozesses höher und hat größeren Auswirkung auf Breite und Profil und somit auf die Impedanz).

Die folgenden Zusammenhänge geben Ihnen eine Abschätzung, wie die Impedanz von den Abmessungen abhängt. Für sehr geringe Leiterbreiten gelten Sie jedoch nur näherungsweise:

- Die Impedanz ist invers proportional zur Leiterbahnbreite.
- Die Impedanz ist invers proportional zur Leiterbahndicke.
- Die Impedanz ist proportional zur Laminatstärke.
- Die Impedanz ist invers proportional zur Quadratwurzel des  $\epsilon_r$  des Laminats.

## Die Messung kontrollierter Impedanzen



Polar Instruments entwickelt und fertigt robuste, manuelle und automatische Impedanztestsysteme speziell für die Messung an Leiterplatten in der Fertigungsumgebung.

Polar ist führender Lieferant von Testinstrumenten für alle weltweit namhaften Leiterplattenhersteller.

Impedanzen können mit folgenden Geräten gemessen werden:

- **Netzwerkanalysator**
- **Labor-Zeitbereichsreflektometer (TDR)**
- **Impedanztestsystem (basierend auf TDR-Technik)**

Sowohl Netzwerkanalysatoren als auch Labor-TDR's sind sehr komplexe und anspruchsvolle Laborinstrumente, welche nur von geschulten Technikern bedient werden können. Ein Impedanzmeßsystem (beruhend auf TDR-Technik), welches speziell für die Messung kontrollierter Impedanzen auf Leiterplatten entwickelt wurde, bietet hier eine optimale Lösung.

Ein TDR legt einen sehr steiflankigen elektrischen Impuls über ein impedanzkontrolliertes Kabel (und eine impedanzangepaßte Prüfspitze) an den Coupon an. An einer Impedanzänderung (Diskontinuität) wird ein Teil der Signalleistung zum TDR-Gerät reflektiert (wie bereits Eingangs behandelt) und dieses reflektierte Signal wird vom TDR-Gerät gemessen.

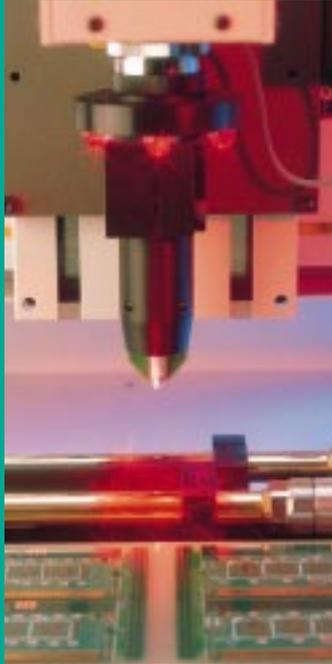
Die Zeitverzögerung zwischen dem ausgesandten Impuls und dem Empfang des reflektierten Signals ist proportional der Distanz zur Diskontinuität. Die Amplitude des reflektierten Signals ist abhängig von der Größe der Diskontinuität.

Aus diesen Daten ist es möglich, die Impedanz in Abhängigkeit ihrer Position auf dem Coupon grafisch darzustellen. Dies erfolgt mittels Software zur Steuerung des TDR's und zur Verarbeitung der gelieferten Daten.

Ein TDR, welches speziell für die Messung von kontrollierten Impedanzen in der Fertigung eingesetzt wird, sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- *Sollte zuverlässig und bequem in einer normalen Fertigungsumgebung von einer angelernten Kraft ohne großen Schulungsaufwand eingesetzt werden können.*
- *Bietet einen Grad an Automation zur Erhöhung des Durchsatzes.*
- *Produziert einfach zu verstehende Ergebnisse in Form eines Impedanzverlaufes über der Länge des Testcoupons.*
- *Bietet die Anzeige und Aufzeichnung der Gut/Fehler-Ergebnisse für jeden Coupon.*
- *Datenaufzeichnung und Reports zur Weitergabe an den Kunden.*
- *Speichert Testdateien, welche alle Spezifikationen für jede produzierte Coupontype enthalten und eine automatische Einstellung des TDR's ermöglichen.*

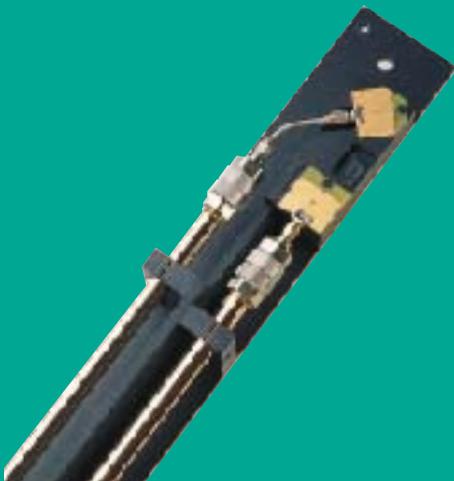
## Die Verwendung von Impedanz-Eichleitungen



Präzisions-Eichleitungen (Airlines) sind der anerkannte "Standard" für kontrollierte Impedanzen. Sie bestehen aus zwei exakt gefertigten konzentrischen Röhren, deren Abmessungen sehr genau definiert sind, sowie einem entsprechenden Konnektor. TDR's, welche zur Impedanzmessung eingesetzt werden, sind Präzisionsinstrumente, die regelmäßig kalibriert werden müssen. Referenzeichleitungen zur Kalibrierung von TDR's sind in verschiedenen Standard-Impedanzwerten erhältlich (typisch  $28\Omega$ ,  $50\Omega$ ,  $75\Omega$  und  $100\Omega$ ).

Präzisions-Eichleitungen sind sehr teuer und eine akzeptable Alternative für weniger kritische Anwendungen stellt ein Set von kalibrierten Präzisions-Semi-Rigid-Kabeln dar.

Eichleitungen sind auf einen nationalen Standard rückführbar (NIST, NPL) und werden einer speziellen Meßtechnik -"air gauging"- unterzogen, welche die exakten Abmessungen der Leitung bestimmt und daraus die Impedanz mittels Standard-Formeln ermittelt.



## Differentielle Konfigurationen

Viele moderne Designs setzen differentielle Leitungspaare zwischen Komponenten ein. Verglichen mit unsymmetrischen Leitungen sind differentielle Leitungspaare weniger empfindlich auf Störstrahlungen.

***Für die volle Effizienz ist eine Anpassung nötig :***

- *Beide Leitungen müssen gleiche Abmessungen und Abstände zu Nachbarleitungen/Lagen haben.*
- *Die Leitungen sollen so nah wie möglich aneinander liegen - so nah es der Fertigungsprozeß erlaubt.*
- *Der Abstand zwischen den Leitern muß konstant sein.*

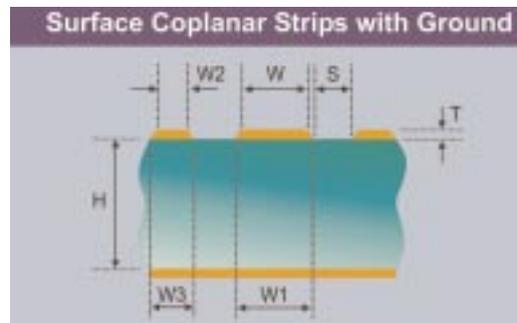
Der Wert der kontrollierten Impedanz hängt vom Leiterbahnabstand und von den Abmessungen der einzelnen Leiterbahnen ab. Zur Messung muß eine differentielle Impedanzmessung durchgeführt werden.

Der Wert der differentiellen Messung liegt typisch etwas unter dem zweifachen Wert der unsymmetrischen Impedanz der einzelnen Leitungen. Wenn Sie jede Leitung eines  $100\Omega$  differentiellen Paares messen, so erhalten Sie Werte zwischen  $53\Omega$  und  $55\Omega$ .

## Koplanare Konfigurationen

Koplanare Konfigurationen wurden in den letzten Jahren zunehmend beliebter und werden häufig in Rambus™- Systemen eingesetzt. Einer der Vorteile von Surface Coplanar Konfigurationen ist, dass die Betriebsfrequenz von FR4 weiter hinausgeschoben wird. FR4 weist oberhalb 2 GHz schlechtere HF-Eigenschaften auf. Bei einer Surface Coplanar breitet sich der Hauptanteil des Feldes zwischen Leitung und Bezugsmasse in Luft aus, die Verluste im Laminat haben daher bei höheren Frequenzen keinen so großen Einfluß.

Es gibt mehrere Varianten von koplanaren Konfigurationen und man kann auch koplanare differentielle Leitungen fertigen.



*Diese Abbildung zeigt nur eine von vielen koplanaren Konfigurationen.*

## Antworten auf häufig gestellte Fragen:

**F.** Mein Kunde verlangt eine Messung bei 900 MHz. Ist das möglich mit einem TDR-basierenden System?

**A.** Ja, ein TDR-basierendes Impedanzmeßsystem eignet sich zum Test über einen weiten Frequenzbereich. Die Parameter, welche die Impedanz bestimmen (die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$ ) ändern sich nicht signifikant unterhalb von 3-4 GHz. Es ist daher unnötig kosten- und zeitintensiv, eine Einzelfrequenzmessung mit einem Netzwerkanalysator durchzuführen.

**F.** Mein Kunde verlangt keine Messung der kontrollierten Impedanz - was soll ich nun tun?

**A.** Ihr Kunde geht fälschlicherweise davon aus, daß durch die Vorgabe der Abmessungen die Leiterbahnen automatisch korrekte Impedanzwerte haben. Wie Eingangs beschrieben, erfordert jeder Fertigungsprozeß eine Charakterisierung um sicherzustellen, daß der Prozeß mit Nominalwerten von Field Solvern abgeglichen wurde. Ihr Kunde wird sicher nicht zufrieden sein, wenn die Baugruppen aufgrund von Fehlanpassung ausfallen. Arbeiten sie eng mit dem Kunden zusammen und helfen sie ihm, die Notwendigkeit der Messung zu verstehen.

**F.** Wie kann ich die Abmessungen der kontrollierten Impedanzen auf Innenlagen in meinem Lagenaufbau berechnen?

**A.** Sie können sämtliche Lagen ausserhalb der zu berechnenden Lage ignorieren. Sie müssen nur die Laminatstärke zwischen der Leiterbahn und den angrenzenden Bezugslagen an beiden Seiten berücksichtigen. Sie können sich die beiden Bezugslagen als Schirmung vorstellen.

**F.** Warum sind alle Impedanzwerte auf meinem Coupon falsch, obwohl die Abmessungen mit der Field Solver-Berechnung übereinstimmen?

**A.** Sie haben möglicherweise vergessen, alle Bezugslagen miteinander zu verbinden. Dies ist notwendig, um korrekte Werte zu erzielen. Beachten sie, daß dies nur auf dem Coupon nötig ist. Sie sollten die Bezugsflächen des Coupons von jenen der Leiterplatte isolieren, wenn sich der Coupon noch auf dem Panel befindet.

*Sie finden eine große Auswahl an Applikationschriften auf unserer website unter*

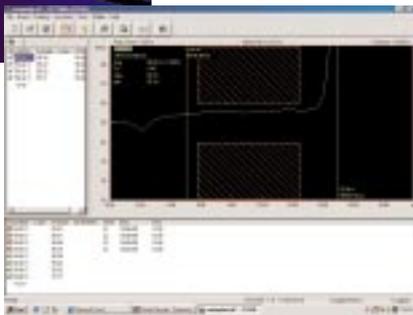
[www.polarinstruments.com](http://www.polarinstruments.com).

## Controlled Impedance Test Systems (CITS)

Das Polar Instruments CITS500s Impedanztestsystem zählt zum Industriestandard für den Einsatz in der Fertigungsumgebung unter Bedienung durch angelernte Kräfte. Es wird auch vielfach bei Lohnbestückern zur Prüfung im Wareneingang verwendet.



Das CITS beruht auf TDR-technik zur Impedanzmessung und es meldet automatisch, wenn eine Messung außerhalb des spezifizierten Toleranzfelds liegt. Es verarbeitet die Daten automatisch und zeigt den Impedanzverlauf über der Leiterbahnlänge als Meßkurve.



Alle Ergebnisse und Systemeinstellungen werden automatisch aufgezeichnet. Daten können einfach in externe Programme (SPC) exportiert werden. Testprotokolle können nach Kundenanforderung erstellt werden.

Systeme mit 32-bit Software bieten höchste Genauigkeit durch eine Werkskalibrierung auf rückführbare Präzisions-Eichleitungen bei 28, 50, 75 und 100 Ohm.

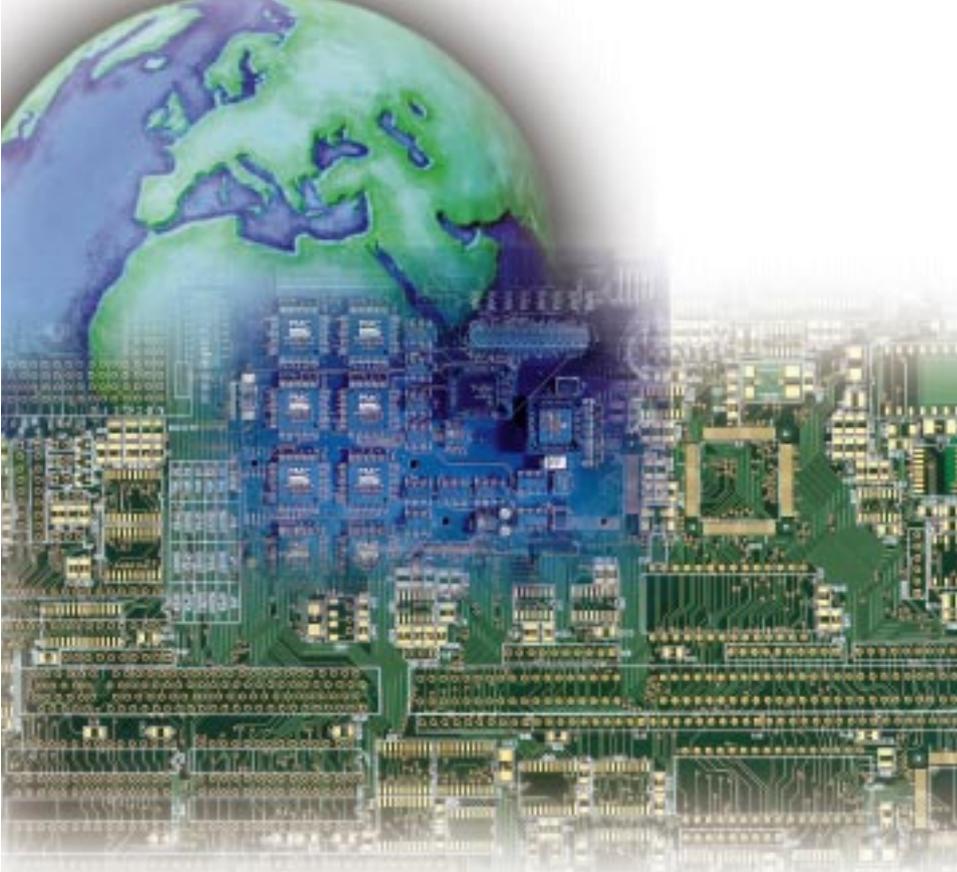
Anwender bestätigen exzellente Ergebnisse hinsichtlich der Wiederholgenauigkeit.

## Robotic Impedance Test System (RITS)



Das Polar Instruments RITS automatische Impedanztestsystem wird zur Messung von mittleren bis hohen Stückzahlen eingesetzt. Die Messung beruht auf dem Industriestandard CITS in Kombination mit einer Flying Probe-Automation um den Durchsatz zu erhöhen und bisher nicht erreichte Meßgenauigkeit, Zuverlässigkeit und Wiederholgenauigkeit zu erzielen.





Wer ist Polar Instruments?  
Polar Instruments Ltd. wurde vor 25 Jahren gegründet und entwickelte sich zum Marktführer für die Messung und Berechnung von impedanzkontrollierten Leiterplatten. Durch die Fokussierung und Spezialisierung auf dieses Gebiet sind wir in der Lage, sehr eng mit unseren Kunden zusammenzuarbeiten um auch in der Zukunft den Markt- anforderungen gerecht zu werden.

Polar ist ISO9000 zertifiziert und besitzt Niederlassungen in Kalifornien, Singapur sowie England. Gemeinsam mit unseren 35 Distributoren stellen wir sicher, daß sie sämtliche erforderliche Unterstützung bei Ihrer Anwendung erhalten.

Weitere Informationen erhalten sie auf unserer Website

[polarinstruments.com](http://polarinstruments.com)

oder kontaktieren sie uns unter einer der folgenden Adressen:

**Polar**

**Polar Instruments Ltd.**  
Garenne Park Guernsey  
UK. GY2 4AF  
Tel: +44 1481 253081  
Fax: +44 1481 252476  
mail@polarinstruments.com

**Vertrieb A, CH, D:**  
Reischer Industrie-Elektronik  
Schweglerstrasse 45/4  
A-1150 Wien  
Österreich  
Tel: +43 1 98 54 680 0  
Fax: +43 1 98 54 680 20  
reischer@via.at

**Polar Instruments Inc**  
320E. Bellevue Avenue  
San Mateo  
CA 94401, USA  
Tel: (800) 328-0817  
Fax: (650) 344-7964  
mail@polarinstruments.com

**Polar Instruments (Singapore) Ltd**  
The Fleming Unit #59D  
Singapore Science Park 1  
Singapore 118243  
Tel: +65 873 7470  
Fax: +65 873 7471  
mail@polarinstruments.com

€19.95

© Polar Instruments 2001.  
Polar Instruments verfolgt eine Politik der ständigen Weiterentwicklung seiner Produkte. Die Spezifikationen in diesem Dokument können daher ohne Vorankündigung geändert werden.

Alle Warenzeichen anerkannt.

LIT: 145 Ausgabe 2