

Steckverbinder, die was wegstecken

## Wie Steckverbinder für die Medizintechnik Robustheit erlangen



Steckverbinder in der Medizintechnik sind besonderen Anforderungen unterworfen. Man denke nur an MRT-Geräte, deren Bildgebung selbst unter starken Vibrationen und elektromagnetischen Einwirkungen stets präzise sein muss. Um stets eine zuverlässige Signalübertragung zu gewährleisten, dürfen Steckverbinder unter keinen Umständen ausfallen. Dabei müssen sie je nach spezifischem Einsatzgebiet einer ganzen Reihe von Belastungen durch ihre Umgebung trotzen: Nicht nur elektromagnetische und mechanische Einwirkungen wie Schock, Vibration und Schwingungen gefährden die Stabilität der Datenübertragung, sondern auch thermische und chemische Umwelteinflüsse durch Extremtemperaturen, starke Temperaturschwankungen, Schadgase, Feuchtigkeit und Schmutz. Hersteller qualitativ hochwertiger Steckverbinder ziehen daher ein ganzes Register an Möglichkeiten, um ihre Stecker gegen diese Belastungen zu wappnen.

Autoren:  
Martin Adamczyk,  
Laura Mittlewski  
ept GmbH  
sales@ept.de  
www.ept.de

### Robustheit trotz Miniaturisierung

Die moderne Medizintechnik unterliegt einem Trend mehr denn je: der Miniaturisierung. Baugruppen und ihre Komponenten müssen dabei nicht nur immer leistungsfähiger, sondern auch immer kleiner werden. Dennoch kommen sie häufig unter rauen Realbedingungen zum Einsatz. Bauteile wie auch Steckverbinder werden daher bei gleichbleibender Belastung immer filigraner. Ein wertiger Steckverbinder trotz diesem Stress jedoch nicht nur ebenso gut wie sein älterer und größerer Bruder, sondern sogar besser. Grund hierfür sind Weiterentwicklungen in der Materialzusammensetzung sowie im Produktdesign, beispielsweise in der Isolierkörpergeometrie (Bild 1).

### Einflussfaktor Oberfläche

Eine Vielzahl von Faktoren wirkt sich auf die Robustheit eines Steckverbinders aus. Einer davon ist die Kontaktoberfläche. Diese bestimmt maßgeblich die Lebensdauer des Steckers, die in der Regel in Steckzyklen gemessen wird. Beim Feldeinsatz ist der Steckverbinder gewissen Mikrobewegungen ausgesetzt. Diese führen zu Oberflächenabrieb und infolgedessen zu Oxidbildung (Bild 2).

Die Konsequenz ist ein erhöhter Übergangswiderstand und damit eine schlechtere Qualität in der Signalübertragung. Daher gilt es, mithilfe einer qualitativ hochwertigen

und haltbaren Kontaktbeschichtung den Oberflächenabrieb beim Steckvorgang sowie im Betrieb auf ein Minimum zu reduzieren. Dafür müssen sowohl Messer- als auch Federkontakt eine entsprechend glatte Oberfläche aufweisen. Trotz steigender Preise benutzt man Gold aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und hervorragenden Leitfähigkeit noch heute gerne für Oberflächenbeschichtungen. Da reines Gold weich ist, wird es mit einem Anteil von 0,2 bis 0,3 Prozent Kobalt oder Nickel legiert und so Hartgold gewonnen. Wer jedoch eine preisstabilere Alternative zu diesem Schichtaufbau sucht, kann beispielsweise auf eine Legierung aus Nickel und Phosphor mit Goldflash zurückgreifen. In ganz bestimmten Anteilen kombiniert zeigen diese beiden Werkstoffe die positiven Eigenschaften, die auch Gold mit sich bringt: hohe Korrosionsbeständigkeit, ausgeprägte Verschleißfestigkeit und

hervorragende Leitfähigkeit. Um Diffusionen zwischen Kontaktmaterial und Oberflächenbeschichtung zu verhindern, wird oftmals eine sogenannte Nickel-Sperrschicht eingesetzt. Mithilfe dieser Barriere können Korrosionen vermieden werden.

### Einflussfaktor Kontaktdesign

Die Kontakte eines Steckverbinders werden gestanzt oder gedreht. Beim Stanzen entsteht auf der Unterseite des Stanzbandes jedoch eine unter dem Mikroskop sichtbare inhomogene, scharfkantige Oberfläche. Herkömmliche Systeme kontaktieren auf dieser Stanzkante, was mit einem verstärkten Oberflächenabrieb und daher mit höherem Übergangswiderstand einhergeht. Dies kann umgangen werden, wenn man die Federtulpe im sogenannten Stanzbiegeprozess um 90 Grad biegt, sodass sie mit der glatten, gewalzten Fläche auf den Messerkontakt trifft (Bild 3).

Doch nicht nur das Design der Federleiste, sondern auch das der Messerleiste sind ausschlaggebend für die Langlebigkeit des Steckverbinders. Denn auch letztere müssen sauber gestanzt und weiterverarbeitet werden, um schadhafte, scharfe Geometrien zu vermeiden.

### Einflussfaktor Kontaktsystem

Klassische zweiteilige Steckverbinder verfügen über einen Messer- und einen Federkontakt. Im

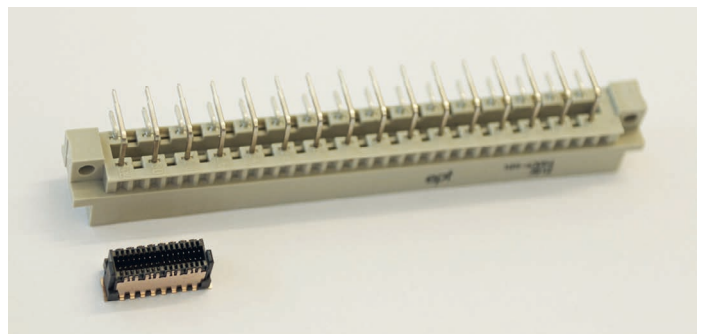
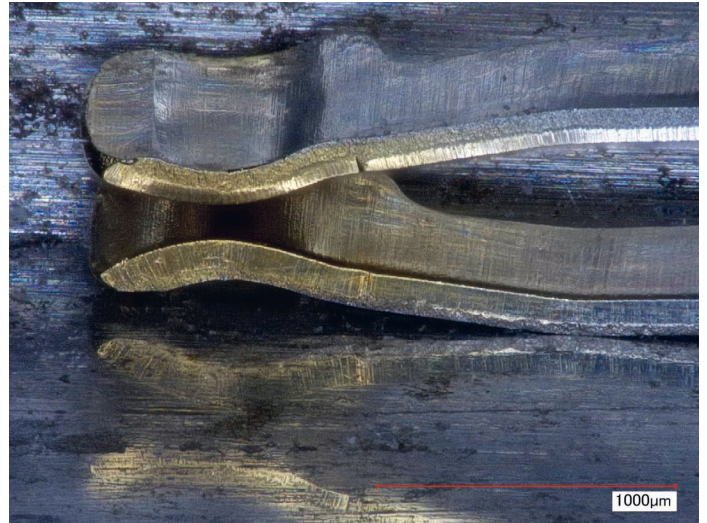


Bild 1: Ein alter DIN-Stecker der Reihe D im Raster 5,08 mm und darunter der neue Zero8 im Raster 0,8 mm



**Bild 2: Abrieb und Korrosion der Kontaktoberfläche**



**Bild 3: Federtulpe des One27 nach dem Stanzbiegeprozess**

Falle starker Schockeinwirkung kann die Messerleiste jedoch von der Federleiste abheben. Damit es nicht zu einer solchen Kontaktunterbrechung kommt, kann mit-

hilfe einer doppelseitigen Federleiste für Redundanz und somit für Kontaktsicherheit gesorgt werden, denn durch die zweite Feder ist die Signalübertragung zu jeder Zeit min-

destens über einen Kontaktpunkt sichergestellt (Bild 4).

Noch robuster sind dagegen Steckverbinder mit sogenanntem „genderneutralem“ Kontaktsystem. Die Besonderheit besteht dabei in den identischen Kontaktgeometrien von den Steckerhälften, Plug und Socket. Beide verfügen demnach sowohl über eine Feder, als auch ein Messer. So wird jeder Pin von zwei Federn kontaktiert, Plug und Socket sind

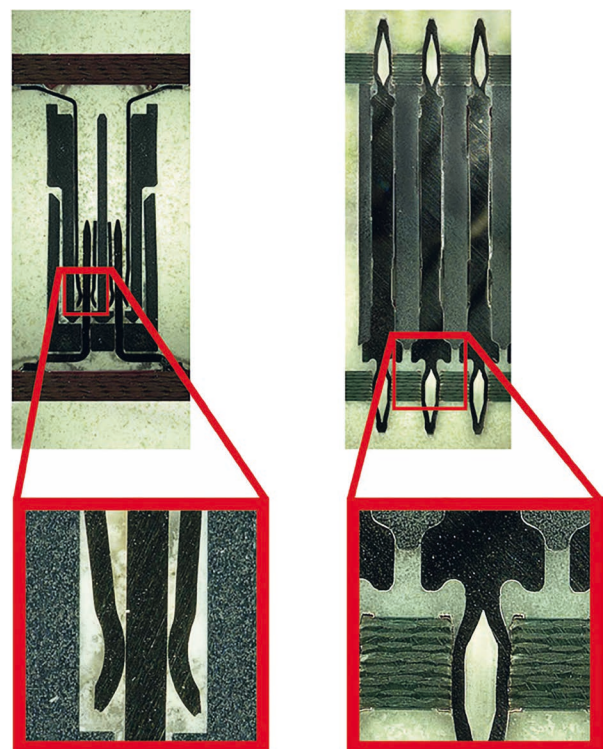
dabei ineinander verschränkt und können nicht voneinander abheben. Während eine doppelseitige Federleiste unter mechanischer Belastung immer mindestens einen Kontaktpunkt sicherstellt, gewährleisten die verschränkten Geometrien bei genderneutralen Kontaktsystemen, dass die Signalübertragung immer über zwei Kontaktpunkte läuft. Diese hohe Redundanz ermöglicht somit maximale Kontaktsicherheit (Bild 5).



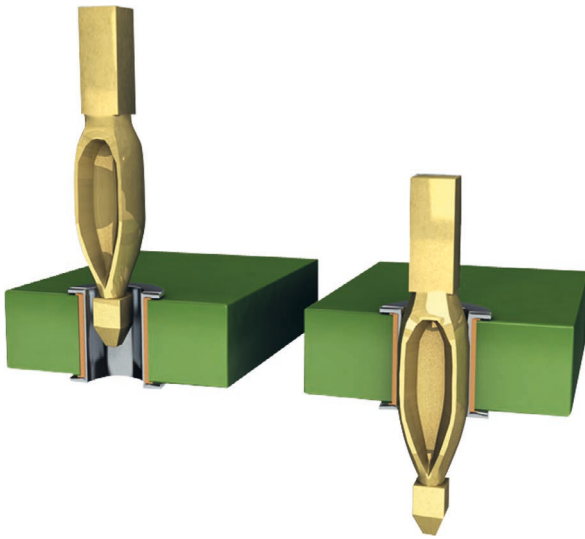
**Bild 4: Schematische Darstellung: doppelseitiger Federkontakt des One27 ohne (links) und mit Schockeinwirkung (rechts)**



**Bild 5: Ein Schnitt durch den Zero8-Steckverbinder zeigt das genderneutrale Kontaktsystem**



**Bild 6: Schliffbild zweiteiliger Steckverbinder vs. einteiliger flexi-link<sub>p-t-b</sub> nach Verguss**



**Bild 7: Der Einpressvorgang**

Hinsichtlich seiner Robustheitseigenschaften wird das genderneutrale Kontaktsystem nur von einteiligen Steckverbindern übertroffen. Diese verzichten dabei gänzlich auf das klassische zweiteilige Kontaktprinzip aus Messer- und Federleiste. Durch den Wegfall des vulnerablen Kontaktbereichs haben einteilige Steckverbinder nicht nur die höchste Widerstandsfähigkeit gegen Schock, Vibration und Feuchtigkeit, sondern eignen sich auch für den Verguss und andere Komponentenschutzverfahren. In Kombination mit der Einpresstechnik stellen sie die sicherste mechanische und elektrische Verbindung zweier Leiterplatten dar (Bild 6).

## Einflussfaktor Anslusstechnik

Es gibt verschiedenen Möglichkeiten, Steckverbinder auf den Leiterplatten anzubringen. Eine davon ist die bereits erwähnte Einpresstechnik. Sie hat zum Ziel, unter möglichst geringer Einpresskraft möglichst hohe Haltekräfte zwischen Steckverbinder und Leiterplatte zu realisieren. Die Haltekräfte entscheiden über die mechanische Verbindung, die wiederum Schock

und Vibration trotzen muss. Diese Anslusstechnik ist ein milliardenfach bewährtes Verfahren, bei dem ein Einpressstift in ein durchkontaktiertes Loch in der Leiterplatte gepresst wird (Bild 7).

Dabei hat der Einpressstift eine größere Diagonale als der Lochdurchmesser der Leiterplatte. Der Steckverbinderstift ist in der Einpresszone flexibel, damit die Leiterplatte durch die physikalischen Kräfte beim Einpressvorgang nicht verformt wird. Die Verformung beschränkt sich daher auf die Einpresszone (Bild 8).

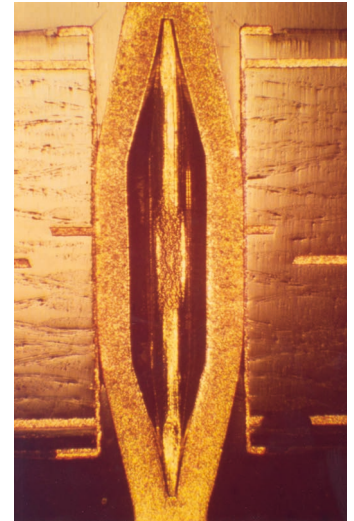
## Extrem stabil

Es entsteht eine Kaltverschweißung zwischen Kontaktstift und metallisiertem Leiterplattenloch: eine gasdichte, korrosionssichere, niederohmige und elektrisch gut leitende mechanische Verbindung, die sich auch für den Verguss eignet. Sie wird darüber hinaus in der DIN EN 60352-5 spezifiziert und bleibt auch bei sehr hohen mechanischen und thermischen Belastungen, wie Vibration, Biegung und starken Temperaturwechseln kontaktsicher und hält sogar Schockbelastung von bis zu 200g stand.

Aufgrund ihrer hervorragenden Robustheitseigenschaften und der zehnmal besseren Ausfallrate (FIT-Rate) als automatisiert gelötete Steckverbinder, kommt die Einpresstechnik gerne in Hochsicherheitsanwendungen wie Dialysegeräten zum Einsatz, bei denen eine Signalübertragung unter keinen Umständen unterbrochen werden.

## Surface-Mount-Technologie

Doch nicht immer ist die Einpresstechnik geeignet, beispielsweise, wenn Leiterplatten beidseitig bestückt werden sollen oder der Mindestabstand zu Bauteilen in Krafrichtung nicht eingehalten werden kann. Eine weitere Möglichkeit, eine zuverlässige und haltbare Verbindung zwischen Steckverbinder und Leiterplatte herzustellen, ist dann die Surface-Mount-Technologie (SMT). Mittels Lotpaste werden dabei die Steckverbinder auf definierte Anschlussflächen der Leiterplatte, den Löt pads, gelötet. Erst in einem sogenannten Reflow-Ofen wird das Lötmedium zum Aufschmelzen und anschließend zum Aushärten gebracht. Durch SMT lassen sich stabile Verbindungen zwischen Stecker und Leiterplatte realisieren. Dazu müssen jedoch einige Kriterien erfüllt sein: Zunächst ist für eine normkonforme IPC-A-610-Lötstelle das richtige Verhältnis von Lötfuß, Löt pad und Lotpaste einzuhalten. Nur so wird eine qualitativ hochwertige Verbindung hergestellt, die einen Anschluss nach IPC-Klasse 3 ermöglicht, sich also für den Einsatz in der Hochleistungselektronik eignet. Ausfälle in der Signalübertragung



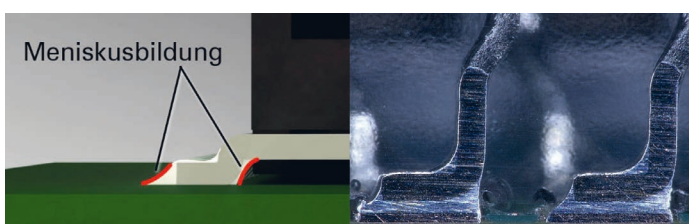
**Bild 8: Mikroskopaufnahme der ept-eigenen Einpresszone Tcom press**

müssen in dieser Klasse zu jeder Zeit ausgeschlossen sein. Eine optimale Lötverbindung erkennt man an der gleichmäßigen Meniskusbildung. Der Kontakt muss umlaufend mit Lötmetall umschlossen sein, um die besten Haltekräfte auf der Leiterplatte zu erreichen (Bild 9).

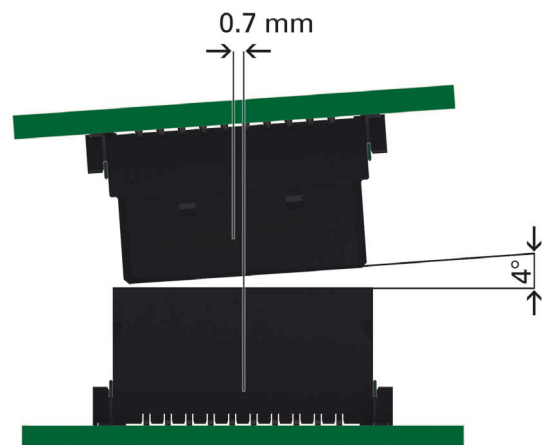
Die Koplanarität der Kontaktfüße ist dabei Voraussetzung für eine hervorragende Verbindung. Sind all diese Voraussetzungen erfüllt, können SMT-Stecker nachweislich mechanische Belastungen von bis zu 400 N standhalten.

## Einflussfaktor Isolierkörperdesign

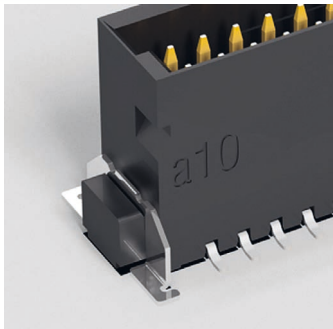
Die Isolierkörpergeometrie eines Steckverbinders hilft darüber hinaus, die Kontakte davor zu schützen, im Betrieb oder bei der Installation



**Bild 9: Gleichmäßige Meniskusbildung um den Lötfuß des One27**



**Bild 10: Der Steckverbinder Zero8 ermöglicht einen Mittenversatz von  $\pm 0,7$  mm und Winkelversatz von  $4^\circ$**



**Bild 11: Boardlock des One27**

Schaden zu nehmen. Sie sollte dabei so beschaffen sein, dass die vulnerablen Kontakte im Inneren des Steckverbinders geschützt liegen.

Durch Einführschrägen können außerdem Beschädigungen bei der Montage vermieden werden. Sie helfen, einen Versatz der Leiterplatten beim Stecken in jede Richtung auszugleichen. Mithilfe eines zusätzlichen Fangbereichs können die beiden Steckerhälften auch im Falle eines Mitten- oder Winkelversatzes ohne Beschädigung zusammengesteckt werden (Bild 10).

## Boardlocks

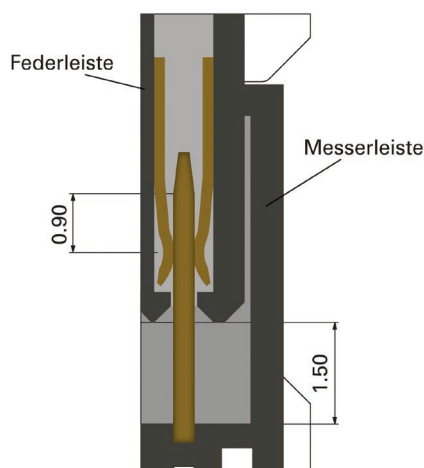
Manche Steckverbinder verfügen darüber hinaus über Boardlocks. Darunter versteht man Metallbügel, die am Isolierkörper befestigt sind und ebenfalls auf der Leiterplatte verlötet werden (Bild 11). So sorgen sie zusätzlich für Stabilität – auch unter widrigen Bedingungen wie Vibration und Schock.

## Einflussfaktor Toleranzbereich

Der Toleranzbereich eines Steckverbinders spielt für die Beurteilung seiner Robustheit eine entscheidende Rolle. Kann der Stecker gegebene Toleranzen nicht ausgleichen, führen mechanische Bewegungen zum Verschleiß oder gar zur Beschädigung der Steckverbindung. Bei der Installation bieten Einführschrägen hier eine Unterstützung, um ein schadloses Stecken von Messer- und Federleiste zu ermöglichen. Doch auch im gesteckten Zustand müssen Mikrobewegungen überbrückt werden. Dies gelingt durch die Kontakt- und Isolierkörpergeometrie. Verfügt ein Steckverbinder über eine Floating-Funktion, kann er auch im Betrieb bis zu  $\pm 0,4$  mm ausgleichen. Diese Funktion gewinnt zunehmend an Relevanz, da sie bei der Bestückung einer Leiterplatte mit mehreren Steckverbindern eine entscheidende Rolle spielt. Im Feld entstehen Belastungen jedoch nicht nur in x- und y-, sondern auch in z-Richtung (Bild 12).

## Überstecksicherheit

Hier stellt sich die Frage nach der Überstecksicherheit eines Steckverbinders. Sie beschreibt den Überlappungsbereich von Messer- und Federleiste und ermöglicht damit nicht nur unterschiedliche Leiterplattenabstände, sondern – je nach Größe dieses Bereichs – auch Toleranzbereiche (Bild 13). Maximale Toleranzausgleiche gelingen hingegen mittels Kabelverbindung.

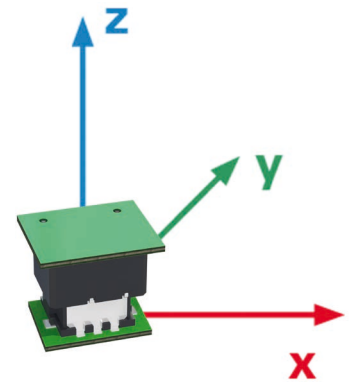


**Bild 13: Übersteckbereich von 1,5 mm und 0,9 mm zusätzliche Kontaktsicherheit beim One27**

Hier entscheidet die Länge des Kabels über den Toleranzbereich der Steckverbindung.

## Prüfverfahren

Um Steckverbinder hinsichtlich ihrer Robustheitseigenschaften auf Herz und Nieren zu testen, gibt es verschiedene Prüfverfahren. Dabei werden Variablen wie die Spannungsfestigkeit und der Übergangswiderstand jeweils vor und nach einem Belastungstest betrachtet und der Zustand der Kontakte optisch inspiziert. So können beispielsweise die Auswirkungen von 500 Steckzyklen auf die Spannungsfestigkeit überprüft oder im klimatischen Test festgestellt werden, ob sich mehrere Stunden bei zunächst  $-55$  °C und anschließend  $125$  °C negativ auf den Übergangswiderstand des Steckverbinders auswirken. Beim Temperaturschock-Test muss der Stecker den schnellen Wechsel zwischen diesen Extremtemperaturen 100-mal für je 30 Minuten aushalten. Und auch der Mitten- und Winkelversatz beim Stecken, ebenso wie der Toleranzbereich im gesteckten Zustand, sollten nicht nur am CAD-Modell in der Theorie überprüft, sondern in der Praxis ausgiebig getestet und die Belastbarkeit empirisch bestätigt werden. Ebenso wichtig ist es, dass verschiedene Prüfungen, die für die Kontaktoberfläche kritisch sind, auch kombiniert durchgeführt werden, um Realbedingungen zu simulieren. So könnten beispielsweise Steckzyklen- und Schadgastests in Kombination erfolgen, um sicherzustellen, dass

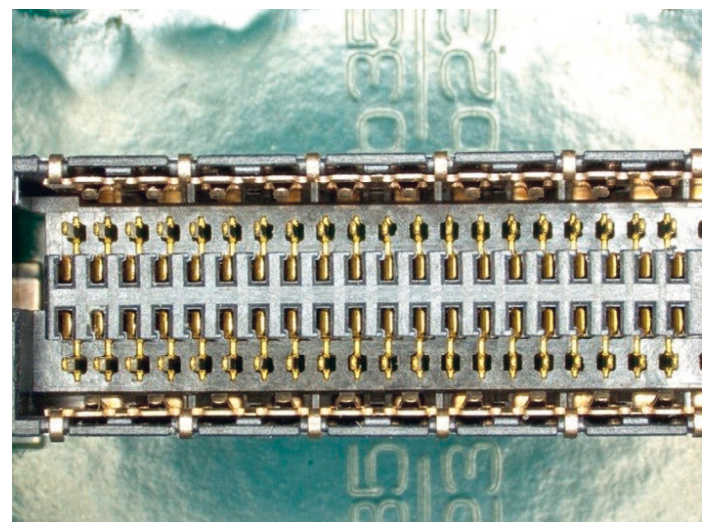


**Bild 12: Toleranzausgleich des Zero8 in alle Richtungen**

sich die Leistung des Steckverbinders hinsichtlich Übergangswiderstand und Spannungsfestigkeit nicht verschlechtert hat und die Kontakte keinen Schaden genommen haben (Bild 14).

## Ihr Design – Ihre Wahl

Je nach Anforderung der Anwendung fallen unterschiedliche Robustheitskriterien an, die ein Steckverbinder erfüllen muss. Muss er beispielsweise hohe Toleranzen ausgleichen? Ist er großen Schockbelastungen oder Vibrationen ausgesetzt? Kommt er unter der Einwirkung von starker Hitze- oder Kältezufuhr zum Einsatz? Oder muss die Anschlusslösung vor Feuchtigkeit und Schadgasen geschützt sein? Orientiert sich ein Anwender bei der Wahl seiner Anschlusslösung an diesen Fragen, kann er sich sicher sein, dass sein Steckverbinder für den Einsatz in der Medizintechnik bestens gewappnet ist. ◀



**Bild 14: Unbeschädigte Kontakte des Zero8 Socket nach bestandener Steckzyklen-Schadgas-Testung**