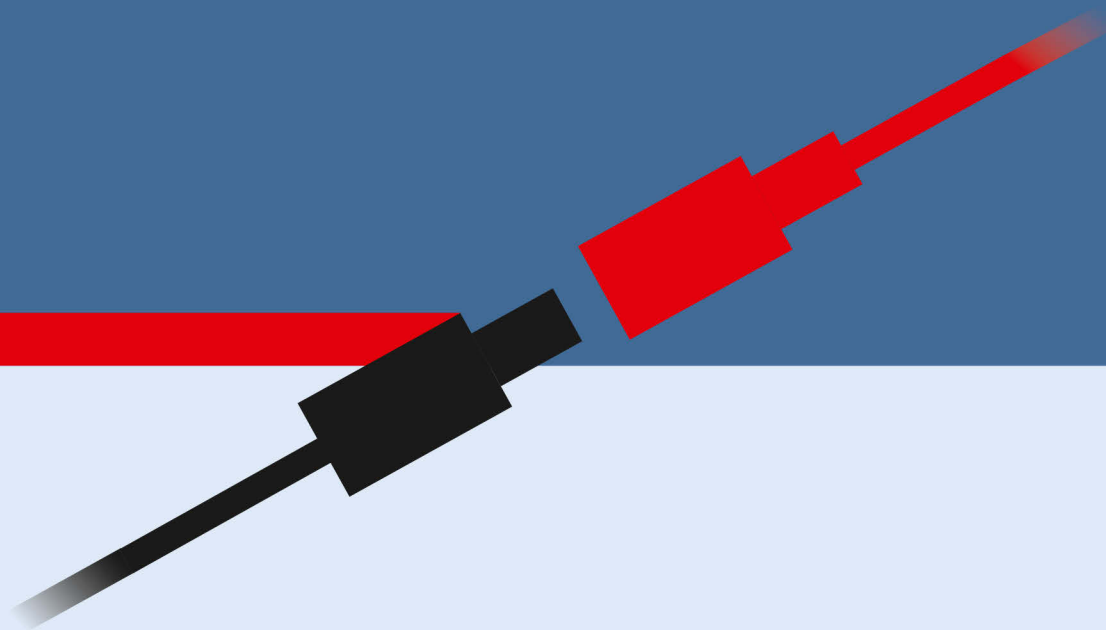


Herbert Endres (Hrsg.)

# PRAXISHANDBUCH STECKVERBINDER



Ing. (grad.) Herbert Endres (Hrsg.)

# **Praxishandbuch Steckverbinder**

Vogel Business Media

**Der Herausgeber:**  
**Ing. (grad.) HERBERT ENDRES**

**Die Autoren:**

**Dipl.-Ing. TOBIAS BEST**, ALPHA-Numerics GmbH, Nastätten  
**Dr. ISABELL BURESCH**, TE Connectivity Germany GmbH, Wört  
**TIMO DREYER** (Staatlich geprüfter Techniker)  
**Ing. (grad.) HERBERT ENDRES**, ConConsult, München  
**Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) SANDRA GAST**, ept GmbH, Peiting  
**Dipl.-Ing. (FH) TILMAN HEINISCH**, SGS-Gruppe Deutschland  
**Dr.-Ing. UTE HÖRMANN**, Hochschule Reutlingen  
**Dipl.-Ing. (FH) THOMAS IBERER**, Fa. CADFEM GmbH  
**Dr. JOACHIM LAPSIEN**, CETA Testsysteme GmbH, Hilden  
**Dr.-Ing. Dipl.-Phys. MICHAEL LEIDNER**, TE Connectivity Germany GmbH  
**Dipl.-Ing. (FH) ROLAND LIEM**, Fa. Komax, Dierikon, Schweiz  
**MARCEL MAINKA**, Weidmüller Gruppe Deutschland  
**HEIKO MEIER**, Han-Modular, HARTING Electric  
**Ing. SASCHA MÖLLER**, Weidmüller Gruppe, Detmold  
**Dipl.-Wirt.-Ing. Kai NOTTÉ**, Bürklin Elektronik, Oberhaching  
**M.Sc ETH Masch.-Ing. ALEKSANDAR OPACIC**  
**Dipl.-Ing. BERND ROSENBERGER**, Fa. Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG, Fridolfing  
**Dr.-Ing. HELGE SCHMIDT**, TE Connectivity Germany GmbH  
**M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) BERND SPORER**, GE Intelligent Platforms, Augsburg, Deutschland  
**Dipl.-Ing. MATHIAS WECHLIN**, IPT Technology GmbH, Efringen-Kirchen  
**THOMAS WIELSCH**, Weidmüller Gruppe Deutschland

**Weitere Informationen:**

**www.vbm-fachbuch.de**



<http://twitter.com/vbmfachbuch>



[www.facebook.com/vbm-fachbuch](http://www.facebook.com/vbm-fachbuch)



[www.vbm-fachbuch.de/rss/buch.rss\\_](http://www.vbm-fachbuch.de/rss/buch.rss_)

Molex<sup>®</sup> ist ein eingetragenes Warenzeichen von Molex, LLC in den Vereinigten Staaten von Amerika und kann in anderen Ländern eingetragen sein.

Andere in diesem Handbuch verwendete Produktbezeichnungen dienen ausschließlich zu Identifikationszwecken und sind möglicherweise Warenzeichen der jeweiligen Unternehmen. Wir beanspruchen keinerlei Rechte an diesen Warenzeichen.

ISBN 978-3-8343-3414-5

1. Auflage. 2018

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2018 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg



# wieland



+ **RST**® STECKVERBINDER  
für Industrie + AUSSEN

+ **GESIS**® STECKVERBINDER  
für Gebäude + INNEN

# HELLO CONNECTION.

Smartes Denken und Handeln sind seit mehr als 100 Jahren der Garant für unseren Erfolg. Wir sind Erfinder der sicheren elektrischen Verbindungstechnik und heute Weltmarktführer für steckbare Elektroinstallation für Gebäudetechnik, sowie Lösungsanbieter für Sicherheits- und Automatisierungstechnik.

Unser mehrfach ausgezeichnetes Steckersystem **GESIS**®, für den Innenbereich, und das speziell für Industrie- und Außenanwendungen konzipierte Steckverbinder-System **RST**®, schaffen durch ihre hohe Performance steckbar einfache Verbindungen mit Mehrwert.

Wir schaffen Verbindungen. **Sicher. Schnell. Flexibel.**



[www.wieland-electric.com](http://www.wieland-electric.com)

## Vorwort

Im Jahr 2005 hatte Herr HERMANN STRASS die Idee, Anwender und Hersteller von elektrischen Steckverbindungen in einem Kongress zueinander zu bringen. Daraus entstand der alljährlich in Würzburg stattfindende Steckverbinder-Kongress, der in 2018 zum zwölften Mal stattfindet.

Nach über zehn erfolgreichen Jahren sollte nun ein Buch entstehen, in dem die Erfahrungen dieser zehn Jahre als Kompendium niedergelegt sind.

Dieses Steckverbinder-Praxisbuch kann nicht alle Fragen bezüglich Technik und Anwendung über Steckverbinder beantworten. Es sollte jedoch dem Anwender Richtlinien geben, sich im Dschungel der vielen Steckverbinder-Ausführungen, die es auf dem Markt gibt, zurechtzufinden.

Ich möchte Herrn STRASS für seine Initiative danken und hoffe, dass seine Ideen in diesem Werk wiederzufinden sind.

München

Herbert Endres



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Was ist ein Steckverbinder?</b> .....	17
<b>2 Steckverbinder-Bestandteile</b> .....	19
<b>3 Unterschiedliche Anslusstechniken</b> .....	21
3.1 Einlöten .....	21
3.2 Durchlöten .....	21
3.3 Auflöten .....	21
3.4 Einpresstechnik .....	22
3.5 Anlöten .....	22
3.6 Anschweißen .....	23
3.7 Anschrauben .....	23
3.8 Crimpen .....	23
3.9 Schneidklemmtechnik .....	24
<b>4 Isolatormaterialien</b> .....	25
4.1 PBT .....	30
4.2 PA .....	30
4.3 LCP .....	31
4.4 PPS .....	31
4.5 PC .....	31
4.6 Produktion von Steckverbindergehäusen .....	31
4.7 Reel-to-Reel-Verarbeitung .....	31
4.8 Krematoriumseffekte .....	32
<b>5 Kontaktmaterialien</b> .....	33
5.1 Kupfer .....	34
5.2 Messing .....	34
5.3 Federnde Legierungen .....	34
5.4 Relaxation der Federkräfte .....	34
5.5 Kontakte .....	36
<b>6 Kontaktpunkt</b> .....	37
<b>7 Verschiedene Kontaktoberflächen</b> .....	39
7.1 Nickel .....	39
7.2 Gold .....	40
7.3 Palladium .....	40
7.4 Silber .....	40
7.5 Zinn .....	40
7.6 Multilayer .....	41
7.7 Nickel-Sperrschicht .....	41

7.8	Kontakte aus vorveredelten Bandmaterialien .....	41
7.9	Kontaktgabe zwischen unterschiedlichen Kontaktoberflächen .....	42
<b>8</b>	<b>Kontaktwiderstand .....</b>	<b>43</b>
8.1	Kontaktwiderstand und Temperatur .....	47
8.2	Kontaktwiderstand und Korrosion .....	48
8.3	Kontaktwiderstand und Reibkorrosion .....	48
8.4	Kontaktwiderstand und Steckzyklen .....	49
8.5	Filme auf den Kontaktoberflächen .....	50
8.6	Ein niedriger Kontaktwiderstand ist wichtig .....	50
<b>9</b>	<b>Abschirmmaßnahmen .....</b>	<b>53</b>
9.1	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	54
9.2	Der EMV-Schirmfaktor .....	56
9.3	Pseudo-Koaxial-Pinbelegung zur Optimierung der Signalintegrität .....	58
<b>10</b>	<b>Verriegelung der Steckverbinder .....</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>Gehäuse und Mechanik .....</b>	<b>67</b>
11.1	Positionscodierungen .....	67
11.2	Vorzentrierungen .....	68
11.3	Steckkompatibilität .....	69
11.4	Inverse Stecksysteme .....	70
11.5	Soft- und hartmetrische Rückwand-Leiterplattensysteme .....	70
11.6	Wasserdichte Ausführungen .....	71
11.7	Explosionengeschützte Steckverbinder .....	73
<b>12</b>	<b>Warum werden neue Steckverbinder entwickelt? .....</b>	<b>75</b>
<b>13</b>	<b>Steckverbinder in der Leistungselektronik .....</b>	<b>77</b>
13.1	Beispiel Kühlung durch Anschlussleitungen .....	78
13.2	Beispiel Kühlung durch Kupfer in der Leiterplatte .....	78
13.3	Thermische Simulation für den Extremfall .....	79
13.4	Hot Plugging in der Leistungselektronik .....	80
13.5	Stromverträglichkeit im Grenzbereich .....	81
<b>14</b>	<b>Steckverbinder für hohe Datenraten .....</b>	<b>85</b>
14.1	Warum werden diese Signale als differenzielles Paar übertragen? .....	85
14.2	Wie überträgt man digitale Signale? .....	85
14.3	Was muss bei den Übertragungstrecken beachtet werden? .....	88
14.4	Warum sind Impedanz-Stoßstellen kritisch? .....	89
14.5	Neben- oder Übersprechen bei hohen Datenraten .....	90
14.6	Signal-Störabstand – Warum ist Nebensprechen so kritisch? .....	91
14.7	Simulation in der Steckverbinderindustrie .....	93
14.8	Signalübertragung bei hohen Datenraten .....	95
14.9	S-Parameter .....	99
14.10	S-Parameter im unsymmetrischen Betrieb (single ended) .....	99



14.11 S-Parameter im Mischbetrieb .....	100
14.12 Verifikation von S-Parametern nach der Simulation .....	103
14.13 Was sind Augendiagramme? .....	104
14.14 Einfluss der Leiterplatte .....	106
<b>15 Weiterverarbeitung von Steckverbindern im Fertigungsprozess .....</b>	<b>109</b>
15.1 Lötvorgänge bei unterschiedlichen Leiterplatten-Löttechniken .....	109
15.2 Steckverbinder auf Leiterplatten in Einpresstechnik setzen .....	110
15.3 Anschluss von Drähten, Litzen und Kabeln an Steckverbinder .....	111
<b>16 Steckverbinderauswahl .....</b>	<b>113</b>
16.1 Einsatzfall .....	113
16.1.1 Ein-/Ausgabe-Steckverbinder .....	113
16.1.2 Leiterplattensteckverbinder .....	113
16.1.3 Leiterplattenverbinder .....	114
16.1.4 Rückwandleiterplatten-Steckverbinder .....	114
16.1.5 Mezzanine Steckverbinder .....	115
16.1.6 Weitere Steckverbinder .....	116
16.2 Checkliste .....	117

## Expertenbeiträge

<b>1 Steckverbinder qualifizieren und bewerten .....</b>	<b>123</b>
<b>Dipl.-Ing. (FH) TILMAN HEINISCH / Dr.-Ing. UTE HÖRMANN</b>	
1.1 Anforderungen an Steckverbinder .....	123
1.2 Anforderungen an das Prüflabor .....	123
1.3 Normen, Standards, Prüfprogramme .....	124
1.4 Bewertungskriterien und Prüfmethoden .....	125
1.4.1 Durchgangswiderstand .....	125
1.4.2 Isolationswiderstand und Spannungsfestigkeit .....	125
1.4.3 Klimatische Prüfungen .....	126
1.4.4 Mechanische Prüfungen .....	126
1.4.5 Strombelastbarkeit / Derating .....	128
1.5 Fehler- und Schadensanalyse an Stecksystemen .....	129
1.5.1 Widerstandserhöhende Schichten .....	130
1.5.2 Whisker .....	133
1.5.3 Produktionsfehler an Crimpverbindern und Stecksystemen .....	135
<b>2 Einpresstechnik .....</b>	<b>139</b>
<b>Dipl.-Wirt.-Ing. SANDRA GAST</b>	
2.1 Reparaturfähigkeit .....	140
2.2 Leiterplattenoberflächen .....	140
2.3 Lochaufbau .....	141
2.4 Oberflächenbeschichtung der Kontakte und der Einpresszone .....	141
2.5 Leiterplattendesign: Mindestabstand und Leiterbahnenverlauf .....	142
2.6 Einpressprozess .....	142
2.7 Pressen .....	144

2.8	Zuverlässigkeit der Einpresstechnik .....	144
2.9	Anwendungsbeispiele .....	145
2.9.1	Von High Speed bis High Current .....	145
2.9.2	Anwendungsbeispiele zur Schock- und Vibrationsbeständigkeit .....	145
<b>3</b>	<b>Komponentendesign für die automatisierte Kabelsatzfertigung .....</b>	<b>147</b>
	<b>Dipl.-Ing. ROLAND LIEM</b>	
3.1	In Zukunft gibt es keine Alternative mehr zur automatisierten Fertigung .....	147
3.2	Neue Herausforderungen und Chancen für Entwickler von Kabelsätzen und Komponenten .....	147
3.3	Die große Herausforderung ist die Geschwindigkeit der Automaten .....	148
3.4	Die heute noch gültigen Prüfnormen sind unzeitgemäß .....	148
3.5	Fasungen und Rundungen erleichtern den Einführprozess .....	148
3.6	Generelle Anforderungen an die Stecker .....	149
3.7	Flächen für die optische Vermessung .....	150
3.8	Vorsicht mit vor- und rückversetzten Kammereingängen! .....	151
3.9	Zusätzliche Fixierung für Einzeladerabdichtungen .....	152
3.10	Tipps für Kammereinläufe und Übergänge in den Stecker .....	153
3.11	Empfehlungen für Konstruktionen von Steckern mit Dichtmatten .....	154
3.12	Keine Kunst, sobald man das Prinzip kennt .....	156
<b>4</b>	<b>Werkstoffe für Steckverbinderkontakte .....</b>	<b>157</b>
	<b>Dr. ISABELL BURESCH</b>	
4.1	Warum Kupferlegierungen? .....	157
4.2	Applikationsspezifische Eigenschaften .....	159
4.2.1	Leitfähigkeit .....	159
4.2.2	Festigkeit .....	160
4.2.3	Biegebarkeit .....	161
4.2.4	Spannungsrelaxation .....	163
4.2.5	Biegewechselfestigkeit .....	165
4.2.6	Federbiegegrenze .....	166
4.2.7	Kosten .....	166
4.3	Kupferwerkstoffe für Stanz-Biegekontakte .....	167
4.3.1	Reinkupfersorten .....	167
4.3.2	Mischkristallhärtende Kupferwerkstoffe .....	168
4.3.3	Ausscheidungshärtende Kupferwerkstoffe .....	173
4.4	Kupferwerkstoffe für spanend hergestellte Kontakte .....	179
4.5	Ausblick .....	179
<b>5</b>	<b>Kontaktphysik .....</b>	<b>181</b>
	<b>Dr.-Ing. MICHAEL LEIDNER / Dr.-Ing. HELGE SCHMIDT</b>	
5.1	Einleitung .....	181
5.2	Der Engwiderstand nach HOLM .....	181
5.3	Reale versus scheinbare Kontaktfläche .....	185
5.4	Morphologie des Kontaktpunktes und elektrische Leitvorgänge .....	187
5.4.1	Bereiche der reinen metallischen Berührung .....	188
5.4.2	Bereiche der reinen quasimetallischen Berührung .....	189

5.4.3	Isolierende Kontaktfläche .....	189
5.4.4	Frittung und Dry-Circuit-Messbedingungen .....	190
5.5	Simulation der realen Kontaktfläche .....	190
5.5.1	Der rein Hertzsche Kontakt .....	193
5.5.2	Einfluss der Schichtabfolge .....	194
5.5.3	Einfluss der Oberflächentopographie .....	195
5.5.4	Messung und Simulation des Engwiderstandes .....	196
5.5.5	Stromdichteverteilung innerhalb des Kontaktpunktes .....	198
5.5.6	Innere mechanische Spannungen / Verschleißverhalten .....	199
5.6	Verschleiß .....	201
5.6.1	Beginnender Verschleiß im fixen Kontaktpunkt .....	201
5.6.2	Triboverschleiß und Fretting-Korrosion .....	203
<b>6</b>	<b>Oberflächen für Steckverbinderkontakte .....</b>	<b>205</b>
	<b>Dr.-Ing. HELGE SCHMIDT</b>	
6.1	Anforderungen an die Oberflächen für Steckverbinder .....	205
6.2	Kontaktmaterialien für Steckverbinder .....	206
6.2.1	Gold .....	206
6.2.2	Platin und Rhodium .....	206
6.2.3	Palladium .....	207
6.2.4	Silber .....	207
6.2.5	Zinn .....	207
6.2.6	Nickel .....	207
6.3	Hartgold-Oberflächen für Steckverbinder .....	208
6.3.1	Nickel-Zwischenschicht .....	209
6.3.2	Poren .....	209
6.3.3	Temperaturverhalten .....	211
6.3.4	Normalkräfte und Reibung .....	211
6.3.5	Verschleißverhalten .....	212
6.4	Palladium oder Palladium-Nickel mit Flashgold .....	213
6.4.1	Temperaturverhalten .....	215
6.5	Nickel-Phosphor-Flashgold .....	216
6.6	Silber .....	217
6.6.1	Härte .....	219
6.6.2	Normalkräfte und Reibung .....	220
6.6.3	Verschleißverhalten .....	221
6.6.4	Temperaturverhalten .....	222
6.7	Sn-basierte Oberflächen für Steckverbinderkontakte .....	223
6.7.1	Zinn als Kontaktoberfläche .....	224
6.7.2	Funktionelle Eigenschaften von Zinnoberflächen .....	232
6.7.3	Eigenschaftsoptimierung von Zinnoberflächen für Steckkontakte .....	235
6.8	Zusammenfassung und Einsatzempfehlungen .....	241
6.8.1	Übersicht .....	241
6.8.2	Kreuzbarkeit / Kreuzkompatibilität von Kontaktoberflächen .....	241

<b>7</b>	<b>Neue hochleistungsfähige Beschichtungen für Steckverbindersysteme – Es muss nicht immer «edel» sein</b> .....	245
	<b>SASCHA MÖLLER / THOMAS WIELSCH / MARCEL MAINKA</b>	
7.1	Einleitung .....	245
7.2	Experimentelles .....	246
	7.2.1 Probenherstellung .....	246
	7.2.2 Tribologische Untersuchungen .....	246
7.3	Ergebnisse und Diskussion .....	247
	7.3.1 Schichtaufbau des Multilayer-Systems .....	247
	7.3.2 Makroreibung .....	248
	7.3.3 Mikroreibung (Fretting) .....	254
	7.3.4 Applikationsversuche .....	258
7.4	Ausblick .....	265
<b>8</b>	<b>Technologische Herausforderungen bei der Anwendung von Koaxialsteckverbindern bei hohen Datenraten</b> .....	267
	<b>Dipl.-Ing. BERND ROSENBERGER</b>	
8.1	Einleitung .....	267
8.2	Stand der Technik heute .....	268
	8.2.1 Serie BNC / TNC .....	268
	8.2.2 Serie N .....	268
	8.2.3 Serie QN .....	269
	8.2.4 Serie Snap N .....	269
	8.2.5 Serie 7–16 .....	269
	8.2.6 Subminiatur-Koaxial-Steckverbinderserien für unterschiedliche Anwendungsbereiche .....	270
	8.2.7 Koaxiale Leiterplatten-Steckverbinder .....	270
8.3	Neue koaxiale Steckverbinder für Mobilfunk-Anwendungen .....	270
	8.3.1 Koaxiales Stecksystem 4.3–10 .....	271
8.4	Koaxiale Steckverbinder Board-to-board «blind mate» .....	271
	8.4.1 Serie SMP .....	272
	8.4.2 Ergänzungen Serien Mini-SMP / WSMP / Z-SMP .....	272
	8.4.3 Toleranzausgleich mit Board-to-board-Verbindern .....	273
8.5	Integrierte Lösungen von Koaxialsteckverbindern im Automobil FAKRA .....	275
	8.5.1 FAKRA-Steckverbindersystem .....	275
	8.5.2 HFM® – High-Speed-FAKRA-Steckverbinder und FAKRA-Mini .....	276
8.6	Koax-Verbindung für Übergang von Glasfaser auf elektrische Leitung .....	276
	8.6.1 WSMP – ein extrem breitbandiges rechtwinkliges Stecker-Array bis 100 GHz .....	276
8.7	Zusammenfassung: Die Grenzen der Koaxialtechnik .....	277
<b>9</b>	<b>USB 3.1 C – Eine Steckverbindung, nicht nur für USB-Anwendungen!</b> .....	279
	<b>TIMO DREYER</b>	
9.1	Typische Anwendungen .....	279
9.2	Image vs. Fakten .....	281
9.3	Lowcost: Nein danke! .....	281

9.4	Mechanische Performance .....	282
9.5	EMV .....	283
9.6	SuperSpeed+ USB 10 Gbit/s .....	283
9.7	Die Schirmung der Steckverbindung .....	288
9.8	Bei der Auswahl des Steckers zu beachten .....	289
<b>10</b>	<b>Qualitätsabsicherung der Dichtheit von Steckverbindern im Produktionsprozess</b> .....	<b>291</b>
	<b>Dr. JOACHIM LAPSIE</b>	
10.1	Steckverbinder .....	291
	10.1.1 Vielfältige Einsatzbereiche und extreme Anforderungen an Steckverbinder .....	291
	10.1.2 Undichtheiten an Steckverbindern .....	292
10.2	Dichtheitsprüfung im Labor .....	292
	10.2.1 Laborprüfungen – Typprüfung und IP-Schutzarten .....	292
	10.2.2 Vor- und Nachteile der Typprüfung im Labor .....	293
10.3	Dichtheitsprüfung im Produktionsprozess .....	294
	10.3.1 Stückprüfungen .....	294
	10.3.2 Zusammenhang zwischen Dichtheit, Leckrate und Lochgröße .....	294
	10.3.3 Auswahl des Prüfmediums .....	295
	10.3.4 Dichtheitsprüfung mit dem Prüfmedium Druckluft .....	295
	10.3.5 Vor- und Nachteile der produktionsbegleitenden Stückprüfung .....	297
10.4	Dichtheitsprüfung von Steckverbindern .....	298
	10.4.1 Adaption von Steckverbindern .....	298
	10.4.2 Zustand des Steckverbinders und geeignete Prüfmethode .....	299
10.5	Optimierungen .....	301
10.6	Typprüfung versus Stückprüfung .....	301
<b>11</b>	<b>Entwicklungen für Spezialanwendungen</b> .....	<b>303</b>
	<b>M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) BERND SPORER</b>	
<b>12</b>	<b>Thermische Charakteristik eines Steckverbinders</b> .....	<b>311</b>
	<b>Dipl.-Ing. (FH) TOBIAS BEST</b>	
<b>13</b>	<b>CAE-Simulation als unterstützendes Werkzeug im Entwicklungsprozess für Steckverbinder</b> .....	<b>315</b>
	<b>Dipl. Ing. (FH) THOMAS IBERER</b>	
13.1	Einsatz der CAE-Simulation im Entwicklungsprozess .....	315
13.2	Die Verfahren der CAE-Simulation zur Steckverbinderentwicklung .....	315
	13.2.1 Feldsimulation .....	316
	13.2.2 Kopplung physikalischer Domänen – «Multiphysiksimulation» .....	317
	13.2.3 Simulation von Übertragungsstrecken und Signalformen .....	318
13.3	Durchführung einer CAE-Simulation am Beispiel der elektromagnetischen Feldsimulation von Steckverbindern .....	320
	13.3.1 Modellvorbereitung (Preprocessing) .....	320
	13.3.2 Analyse (Solution) .....	322

13.3.3 Ergebnisauswertung (Postprocessing) .....	324
13.4 Potenzial der parametrischen Simulation in der Produktentwicklung .....	325
<b>14 Modulare Steckverbinder</b>	
<b>Kompakte und flexible Schnittstellen für Produktionsanlagen</b> .....	327
<b>HEIKO MEIER</b>	
14.1 Entstehung modularer Steckverbinder .....	328
14.2 Aufbau modularer Steckverbinder-Programme .....	328
14.3 Modulare Verbindungen für modulare Maschinen .....	328
14.4 Vielfältige Optionen für eine Schnittstelle .....	329
14.5 Platz sparen bei der Lichtwellenleiter-Übertragung .....	329
14.6 Einfache Anschlussstechnik für schnelle Installationen .....	329
14.7 Modular und smart für die Netzwerkkommunikation .....	330
14.8 Empfindliche Elektronik schützen, Anlagenverfügbarkeit verbessern .....	330
<b>15 Optische Steckverbindungen für die Kommunikationsnetze</b> .....	333
<b>M.Sc ETH Masch.-Ing. ALEKSANDAR OPACIC</b>	
15.1 Definition .....	333
15.2 Struktur und Funktion eines optischen Steckverbinders, Parameter .....	333
15.3 Struktur und Funktion eines Mittelstücks / Adapters .....	337
15.4 Struktur und Funktion optischer Steckverbindungen, Parameter der Einfügedämpfung .....	338
15.5 Grenzwerte und Qualitäten der optischen Steckverbindungen .....	342
15.6 Steckverbinder und Kabel .....	343
15.7 Simplex-, Duplex- und Mehrfasersteckverbinder, Anwendungsbereiche .....	344
15.8 Patchkabel und Pigtails .....	345
15.9 Standards .....	346
<b>16 Die Steckverbinderwahl in der digitalen Welt</b> .....	347
<b>Dipl.-Wirt.-Ing. KAI NOTTÉ</b>	
16.1 Produktinformationen in Textform .....	347
16.1.1 Die klassische Produktbeschreibung .....	347
16.1.2 Elektronische Kataloge .....	348
16.2 Produktinformationen, visuell dargestellt .....	348
16.2.1 Zeichnungen und 3D-Modelle .....	348
16.2.2 Grafische Daten .....	349
16.2.3 Produktfotografien .....	349
16.3 Produktinformationen suchen und finden .....	350
16.3.1 Hersteller .....	350
16.3.2 Distributoren .....	351
16.3.3 Andere Plattformen .....	351
16.4 Die Zukunft .....	352
<b>17 Die etwas andere Verbindung – Kabellose Übertragung</b> .....	353
<b>Dipl.-Ing. MATHIAS WECHLIN</b>	
17.1 Die elektrische Zahnbürste – Das erste kabellose Ladesystem mit Massenverbreitung .....	353

17.2 Was zeichnet induktive kabellose Übertragungssysteme aus? .....	358
17.3 Praxisbeispiel Elektromobilität .....	358
17.4 Megatrends mit kabellosen Übertragungslösungen begegnen .....	361
<b>Sponsored Content</b> .....	363
Kodierung von M12-Steckverbindern .....	363
<b>ALEXANDER HORNAUER (Corporate Marketing), SEBASTIAN RICHTER (Teamleiter Senior Produktmanager Business Unit Connectors)</b>	
<b>Schlusswort</b> .....	369
<b>Abkürzungen</b> .....	371
<b>Lebensläufe der Autoren</b> .....	375
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	381
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	389
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	391





# 1 Was ist ein Steckverbinder?

ROBERT S. MROCZKOWSKI, ein weltweit anerkannte Steckverbinder-Guru, beschreibt in seinem *Electronic Connector Handbook* [1] die Funktion einer elektrischen Steckverbindung wie folgt:

«Ein elektrischer Steckverbinder ist eine elektromechanische Vorrichtung, die eine Trennstelle zwischen zwei Komponenten eines elektronischen Systems ermöglicht, ohne einen nicht akzeptablen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu verursachen.»

Was will er uns damit sagen?

Zuerst müssen wir feststellen, dass ein Steckverbinder nur in seltenen Fällen eine optimale Lösung der Problemstellung ist. Beim Einsatz von Steckverbindern muss immer ein Kompromiss eingegangen werden – sei es im mechanischen Aufbau oder auch für die elektrische Signalführung.

Unter diesem Aspekt versucht man die Steckverbindung in Bezug auf Impedanz, Frequenzeigenschaften, Übergangswiderständen und Lebensdauererwartungen so zu gestalten, dass die Anforderungen an das Gesamtsystem unter ökonomischen Gesichtspunkten erfüllt wird.

Da die Trennstellen auch physikalischen (Steckzyklen, Schock und Vibration) und chemischen (Korrosions-) Anforderungen gerecht werden müssen, muss man die Kontaktmaterialien auf Kupferbasis (Leitfähigkeit) wie Messing, Phosphorbronze oder Neusilber mit Oberflächen versehen, die einen möglichst geringen Kontaktübergangswiderstand bei gleichzeitiger Korrosionsfestigkeit und Abriebfestigkeit über die Lebensdauer des Gesamtsystems erreichen.

Uns werden diese Kompromisse im Folgenden weiterhin begleiten. Viele Anwender meinen, ein Hersteller würde ihnen eine Steckverbindung speziell für ihren Anwendungsfall designen. Auch wenn der Anwender Werkzeugkosten bezahlt, ist dies nur in den seltensten Fällen machbar. Der Hersteller wird den Markt untersuchen, ob derartige Anwendungsfälle global auftreten. Und selbst wenn dem so ist, wird er nur zögerlich zustimmen, weil die Neuentwicklung einer Steckverbindung heutzutage in die Millionen geht und andererseits der Anwender früher oder später eine Second Source verlangt, sei es aus Gründen der Preiskontrolle oder sei es wirklich aus Gründen der Versorgungssicherheit.

Warum sind Neuentwicklungen von Steckverbindungen so teuer? Weil der Kunde ein optimales Produkt in reproduzierbarer Qualität verlangt, das nicht mehr durch Handarbeit gefertigt werden kann, sondern mit Kamera-überwachten Stanzwerkzeugen, integrierten Spritz- oder Umspritz-Werkzeugen und vollautomatischen Assemblage-Werkzeugen hergestellt werden muss.

Deshalb ist es für den Anwender sinnvoll, sich auf existierende Produkte zu konzentrieren. Manchmal sind es Kleinigkeiten, wie zum Beispiel Temperaturbereiche, die den Einsatz existierender Produkte verhindern. In solchen Fällen sollte der Anwender durchaus mit dem Hersteller sprechen, weil Produkte für einen spezifizierten Markt entwickelt werden und dieser Markt unter Umständen geringere Anforderungen hat als der aktuelle Einsatzfall.

In solchen Fällen wird der Hersteller eventuell seine Zustimmung erteilen, auch wenn sich dies nicht in einer überarbeiteten Produktspezifikation niederschlägt. Eine neue Produktspezifikation würde auch eine neue Produktqualifikation bedeuten, was wiederum sehr kostenintensiv ist.

## TIPP

Wenn Sie vertieftes Interesse am Ablauf von Steckverbinderqualifikationen und Fehlerbildern haben, dann lesen Sie den Expertenbeitrag 1 «Steckverbinder qualifizieren und bewerten» in diesem Buch.



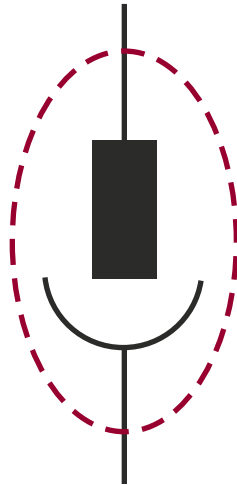
**In Kürze**

Eine optimale Auswahl eines Produktes für einen speziellen Anwendungsfall ist wichtig, um eine kostengünstige Lösung für das vorhandene Steckverbinderproblem zu finden. Dieses Buch soll Ihnen bei Auswahl und Entscheidung helfen.

## 2 Steckverbinder-Bestandteile

Schauen wir uns eine Steckverbindung im Detail an (Bild 2.1), so stellen wir fest, dass folgende Einzelteile berücksichtigt werden müssen:

- Anslusstechnik Stiftkontakt
- Isolator Stiftkontakt
- Basismaterial Stiftkontakt
- Oberfläche Stiftkontakt
- Oberfläche Buchsenkontakt
- Basismaterial Buchsenkontakt
- Isolator Buchsenkontakt
- Anslusstechnik Buchsenkontakt
- Schirmung der Steckverbindung (- - - -)
- Gehäuse und Verriegelung



**Bild 2.1** Elemente eines Steckverbinders

Zuerst wollen wir uns der Anslusstechnik widmen; dabei unterscheiden wir typischerweise

- Löten,
- Schweißen,
- Schrauben,
- Einpressen,
- Crimpen und
- Schneidklemmen.



## 3 Unterschiedliche Anschlusstechniken

Beim Löten unterscheiden wir zwischen Einlöten, Durchlöten, Auflöten und Anlöten.

### 3.1 Einlöten

Einlöten ist der Schwall- oder Wellenlötvorgang, wenn ein bedrahtetes Bauelement zum Beispiel in eine Einlagen-Leiterplatte eingelötet wird. Diese Technologie ist heute kaum mehr in Gebrauch. Ausnahmen bilden Leiterplatten, die beispielsweise in einfache Haushaltsgeräte, Hobbywerkzeuge o.Ä. verbaut werden.

### 3.2 Durchlöten

Durchlöten ist eine Technik, bei der die Lotpaste über ein durchkontaktiertes Loch aufgebracht wird, in das anschließend ein bedrahtetes Bauelement durchgesteckt wird, das anschließend im Reflow-Prozess gelötet wird. Diese Technik nennt sich auch **Pin-in-Paste** (PiP) oder **Through-Hole-Reflow** (THR) und bedingt, dass die Leiterplatten durchkontaktierte Löcher aufweisen und die Bauelemente reflowfähig sind, d.h. Temperaturen von +260 °C aushalten.

Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die über der Leiterplatte aufgebrachte Lotpastenfläche groß genug ist (oft durch das Rastermaß minus 0,2 mm Trennsteg in der Schablone begrenzt), um den Zwischenraum zwischen dem durchkontaktierten Loch und dem Anschlusspin des Bauelements auszufüllen. In der Kalkulation muss das Schrumpfen der Lotpaste (ca. 50% vom Volumen) während des Reflow-Vorgangs berücksichtigt werden.

Weitere Randbedingungen sind ein Abstand von 0,25 mm zwischen dem Steckverbindergehäuse und der Leiterplatte im Bereich des Lotpastendrucks (Abstandsfüßchen) sowie ein maximaler Durchstieg der Anschlusspins durch die Leiterplatte von 1 mm; dadurch wird vermieden, dass sich Lotpaste am Pinende ansammelt, die dann im Lötbereich fehlen würde.

Schließlich ist es angebracht, diese Bauelemente in Bestückungsgurten anzuliefern, damit sie mit Pick&Place-Maschinen vollautomatisch bestückt werden können.

### 3.3 Auflöten

Das Auflöten, üblicherweise als SMT-Technologie genannt, ist heute Stand der Technik. SMT-Technologie hat den Vorteil, dass unter dem Bauelement bei Mehrlagen-Leiterplatten Leiterbahnen verlaufen können und dass die B-Seite der Leiterplatte ebenfalls mit Komponenten bestückt werden kann.

Die Leiterplatten werden mithilfe von Schablonen mit dem Pastendruck versehen, anschließend werden die Komponenten platziert und schließlich im Reflow-Verfahren gelötet.

Der Komponentenhersteller gibt das Layout für die Löt pads vor. Die Größe des Pastendrucks wird meistens durch In-House-Richtlinien definiert, die auch Lötstopplacke u.Ä. berücksichtigen.

SMT-Technologie ist auf Bauelemente-Längen von maximal 50 mm begrenzt, weil sich Leiterplatten während des Reflow-Prozesses durchbiegen können und dadurch bei größeren

Bauelementen offene Lötstellen entstehen. Wenn 50-mm-Bauelemente verarbeitet werden müssen, bieten sich die Einpresstechnik oder das PiP/THR-Verfahren an.

Neben dem Löten können Anschlusspins auch Leiterplatten mit Einpresstechnik kontaktieren.

### 3.4 Einpresstechnik

Die Einpresstechnik hat ihren Ursprung in den 1970er-Jahren, als Baugruppensysteme für Telekommunikation und militärische Anwendungen noch in Wire-Wrap-Technik auf der Rückwandleiterplatte verdrahtet wurden. Damals begann man, solide Pfosten in Leiterplatten mit durchkontaktierten Löchern einzupressen. Es war schnell klar, dass diese Technik sehr viel Stress in die Leiterplatten bringt – insbesondere, weil man auch Reparaturmöglichkeiten evtl. beschädigter Steckverbinder berücksichtigen musste.

Deshalb entwickelte man flexible Einpresszonen. In den 1990er-Jahren konkurrierten über 20 verschiedene Ausführungen für das durchkontaktierte Loch von 1,05 mm Durchmesser, und jeder Hersteller von Steckverbindern behauptete, seine Konstruktion sei die einzig wahre.

Damals lagen die Steckverbinderraster bei 2,54 mm oder 2,5 mm. Aufgrund der immer höher werdenden Packungsdichte mussten die Lochdurchmesser reduziert werden und heute wird Einpresstechnik hauptsächlich als gestanztes Nadelöhr (EoN = *Eye of a Needle*) für Lochdurchmesser von 0,31 mm bis 1,05 mm angeboten. Bei den Lochdurchmessern handelt es sich um Fertigmaße (*finished hole diameter* des PTH = *Plated Through Hole*). Im bleifreien Zeitalter werden die ursprünglich großen Lochtoleranzen nicht mehr benötigt; man setzt auf chemisch verzinnete oder ENIG (*Electroless Nickel Gold*)-Leiterplattenoberflächen, und Leiterplattenhersteller wissen, dass die Fertigmaße der durchkontaktierten Löcher im oberen Bereich des Toleranzbandes liegen müssen, weil chemisch verzinnete Oberflächen rauer sind als die früheren bleihaltigen HAL (*Hot Air Leveling*)-Oberflächen und demzufolge der Einpressvorgang im unteren Toleranzband kritisch werden kann.



#### TIPP

Der Expertenbeitrag 2 «Einpresstechnik» in diesem Buch gibt detaillierte Informationen über diese Technik.

Den Anschluss von Drähten, Litzen und Kabeln an Steckverbinder beschreiben die folgenden Abschnitte.

### 3.5 Anlöten

Das Anlöten ist der traditionelle Lötprozess mit LötKolben und Lötendraht. Die vorverzinnte Litze wird in den Löttopf eingebracht oder durch die Lötöse gesteckt und durch Zugabe von Lötendraht verlötet. Lötanschlüsse von Litzenleitern müssen zusätzlich mit einer Knickschutztülle (Schrumpfschlauch) versehen werden, da sonst beim Biegen des Litzenleiters hinter der Lötstelle einzelne Litzen abbrechen können. Schirmanbindungen sollten mit Kupferfolie und Beilaufdraht ausgeführt werden.

Neben dem Löten können Drähte auch angeschweißt, angeschraubt oder angecrimpt werden.

## 3.6 Anschweißen

Das Anschweißen von Drähten – sei es durch Widerstandsschweißen oder durch Ultraschallschweißen – ist ein aufwendiger Prozess, der aber automatisiert werden kann. Schweißen wird immer dann eingesetzt, wenn entweder der Übergangswiderstand einer Crimpverbindung zu instabil ist (beispielsweise bei einem ABS-Sensor, der hoher Vibration ausgesetzt ist) oder der Übergangswiderstand einer Crimpverbindung zu groß ist (beispielsweise bei Litzenleitern über 25 mm<sup>2</sup> im Hochstromeinsatz).

## 3.7 Anschrauben

Das Anschrauben von Drähten findet nicht nur in der Installationstechnik statt. Mehr und mehr Klemmleisten für elektronische Leiterplatten kommen zum Einsatz – sowohl als einteilige Klemmleisten als auch in zweiteiliger Ausführung, jeweils mit eingelöteten Pins. Bezüglich der Schraube ist zu beachten, dass die Klemmstelle den Litzenleiter nicht beschädigt (keine Schrauben direkt auf den Litzenleiter) oder dass Aderendhülsen Verwendung finden.

Eine einfachere Klemmung von Drähten ist der Einsatz von Käfigzugfedern. Je nach Ausführungen und Querschnitt gibt es Käfigzugfedern für direkte Kontaktierung (Draht einfach einstecken) oder für größere Querschnitte mit Ver- und Entriegelungstasten.

## 3.8 Crimpen

Das Crimpen von Kontakten an Drähte ist sicherlich die am weitesten verbreitete Anschluss-technik. Dabei wird der Draht in einen Stripper-Crimper eingeführt und dort ein Kontakt – vorzugsweise mit Drahtcrimp und Isolationscrimp – direkt an dem Drahtende aufgebracht. Das Bündel der angecrimpten Kontakte wird danach manuell oder mit Hilfe von Farberkennung der Drahtisolationen im Automaten in die korrekten Positionen des Steckverbindergehäuses eingeschnappt. Hat der Kontakt keinen Isolationscrimp, ist auch hier das Aufbringen einer Knickschutztülle (Schrumpfschlauch) erforderlich!

Drahtquerschnitt (mm<sup>2</sup> oder AWG), Crimpkontakt und Werkzeugeinstellung müssen aufeinander abgestimmt werden.

Da das Crimpen eine Art Kaltverschweißung der Einzeldrähte eines Litzenleiters darstellt, muss die Überwachung der Crimpmaschine regelmäßig durch Höhen- und Breitenkontrolle des Crimps sowie durch Messen der Abzugskräfte erfolgen.

Crimpen ist eine Kaltverformung des Kontaktmaterials, weshalb Zinnbronze zu bevorzugen ist. Messing bildet beim Crimpen Mikrorisse, die langfristig zu Korrosion führen können.

Volldraht kann nicht im Crimpkontakt verarbeitet werden, da keine Kaltverschweißung stattfindet!

### TIPP

Der Expertenbeitrag 3 «Komponentendesign für die automatisierte Kabelsatzfertigung» in diesem Buch gibt detaillierte Informationen über diese Technik.

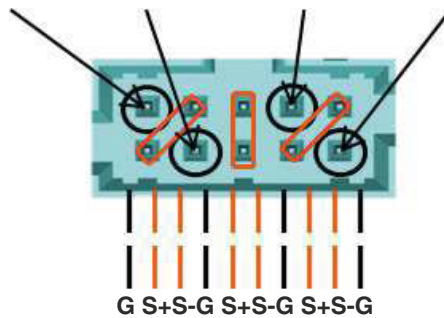


### 3.9 Schneidklemmtechnik

Bei der Schneidklemmtechnik werden gleichzeitig mehrere Drähte – vorzugsweise von einem Flachbandkabel – an einen Steckverbinder kontaktiert. Hier müssen Drahtquerschnitt und Kontaktgabel genau aufeinander abgestimmt sein. Die Kerbschlagfestigkeit der Aderisolierung wirkt sich ebenfalls wesentlich auf die Qualität der Schneidklemmtechnik aus.

Geschirmte Flachbandkabel sind teuer und schwierig zu verarbeiten, weshalb Rundkabel angeboten werden, die im Inneren verdrehte Aderpaare führen. Eine einfachere Lösung sind zusätzliche Masseleitungen im Flachbandkabel, die es erlauben, über kurze Distanzen akzeptable Schirmung zu erreichen:

Zusätzliche Masseleitungen (G = Ground)



**Bild 3.1** In dieser Anordnung haben die differenziellen Paare eines Flachbandkabels mit 1 mm Raster 105  $\Omega$  Impedanz!



## 4 Isolatormaterialien

Dieses Kapitel betrachtet Materialien, die die Kontakte auf Position halten. Dabei sind die wesentlichen Auswahlkriterien die mechanische Stabilität, die elektrischen Eigenschaften, die Verarbeitung der Materialien bei der Steckverbinderherstellung und schließlich das Verhalten der Materialien der Weiterverarbeitung der Steckverbindung, zum Beispiel im Reflow-Lötprozess.

In früheren Zeiten hat man Speckstein (zuletzt im Bügeleisen-Stecker verwendet) und Bakelit (eines der ersten Isolatormaterialien mit sehr langer Prozesszeit) eingesetzt. Später wurden dann Duroplaste (zum Beispiel Diallylphthalat) besonders bei militärischen Steckverbindungen eingesetzt. Heutzutage werden nur noch Thermoplaste verarbeitet, weil die Prozesszeiten kurz sind und diese Materialien die wesentlichen Anforderungen für den Steckverbinderhersteller erfüllen.

Folgende Punkte der Materialauswahl müssen beim Steckverbinderdesign berücksichtigt werden:

- Durchschlagfestigkeit (Überschlagsspannung),
- Oberflächenwiderstand (Isolationswiderstand),
- stabile Abmessungen (Raster, Position, Verriegelung, Codierung),
- Kriechstromfestigkeit (bei erhöhten Temperaturen),
- Zug- und Druckkräfte,
- Kerbschlagzähigkeit,
- Temperaturstabilität bei kurzfristiger Überlastung,
- Langzeitstabilität bei thermischer Alterung,
- chemisch stabil bei Produktion und in der Anwendung,
- flammhemmend und selbstverlöschend.

Für Anwendungen bei höheren Datenraten ist auch die Dielektrizitätskonstante wichtig, um Signalintegrität und Übertragungseigenschaften sicherzustellen und Laufzeitverzögerungen, Dämpfung und Signalverzerrungen zu vermeiden.

Die in Tabelle 4.1 gelb markierten Kunststoffe sind als Isolatormaterialien für Steckverbinder geeignet.

Auch die am häufigsten in Steckverbindern eingesetzten Kunststoffe haben ihre Grenzen.

**Tabelle 4.1** Alle gängigen Thermoplaste, wobei die für die Steckverbindungen wesentlichen Kunststoffe gelb markiert sind [4.1]

Name	Kürzel	Typ	Chemische Beständigkeit	Eigenschaften
Acrylester-Styrol-Acrylnitril	ASA			
Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS	Besser als PS 3	Alterungsbeständig, hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit bis 120kV/mm, sonst wie SAN	Bis 95 °C, Armaturen, Batteriegehäusen, Schutzhelme
Casein-Kunststoffe, Kunsthorn	CS, CSF			
Celluloseacetat, Celluloseacetatbutyrat, Celluloseacetatpropionat, Celluloseacetatphthalat	CA, CAB, CAP	Benzin, Benzol, Trichlorethylen	Unterschiedlich je nach Carbonsäure bei Veresterung, hart, zäh, geschmacksfrei, schalldämmend	< 80 °C, Folien, Gerätegehäuse, Werkzeuggriffe, Brillengestelle, Zigarettensfilter
Cellulosehydrat	CH			
Cellulosenitrat	CN			
Cyclo-Olefin-Copolymere	COC		Hohe Steifigkeit, Festigkeit und Härte, niedrige Dichte	65–175 °C
Ethylen-Tetrafluorethylen	ETFE		Langzeitgebrauchstemperatur: – 190 bis +155 °C (kurzzeit. 200 °C)	Kabelisolierung, Auskleidung von Behältern, Armaturen und Pumpen für die Chemieindustrie, Zahnräder, Laborzubehör
Ethylen-Chlortrifluorethylen	ECTFE			Chemische Industrie
Fluorethylenpropylen	FEP		Langzeitgebrauchstemperatur: – 200 bis +205 °C (kurzzeit. +250 °C)	Kabelisolierung, Schläuche, Beschichtungen, Auskleidung von Behältern und Armaturen für die Chemieindustrie, Formteile
Flüssigkristall-Polymere	LCP			
High Impact Polystyrene	HIPS		Hochschlagfest	Gerätegehäuse von Fernsehern, Computer
Modifizierte Fluoralkoxy-Polymere	MFA			Chemieindustrie, Laborzubehör, Elektrotechnik, als korrosionshemmende Metallbeschichtung Gefäßmaterialien, Kabelisolierung, Auskleidung von Behältern, Armaturen und Pumpen, Laborzubehör, Schläuche, Füllkörper

Name	Kürzel	Typ	Chemische Beständigkeit	Eigenschaften
Perfluoralkoxy-Polymere	PFA	Fluorkunststoff mit höchster Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit	Langzeitgebrauchstemperatur: -200...+260 °C	
Polyamid	PA, Bio-PA	Alkohol, Kraftstoff, Öl, schwache Laugen, Säure, Salze	Hart, sehr zäh, abriebfest, gleitfähig, maßbeständig hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte, gute Witterungsbeständigkeit	Bis 100 °C formbeständig, Druckschläuche, Dichtungen, Feinwerktechnik, Lager, Fasern, Zahnräder
Polybutylenterephthalat	PBT			Technische Teile für Automobilbau und Elektrotechnik
Polycarbonat	PC	Alkohol, Benzin, Öl, schwache Säuren	Hart, steif, schwer entflammbar, wärmeformbeständig, formstabil, glasklar, elektrisch isolierend, transparent	< 135 °C, schlagzäh bis -100 °C, Gehäuse, Wasserflaschen, Auto-mobil-verschneibung, optische Linsen, CDs
Polychlortrifluorethylen	PCTFE			
Polyetherimid	PEI		Gute chem. Beständigkeit, transparent, zäh	Bis + 170 °C
Polyetherketone	PEK, PEEK u.a.			Zahnimplantate
Polyethersulfon	PES		Fest, steif, zäh, gute chem. Beständigkeit	Bis + 180 °C
Polyethylen	PE, Bio-PE	Benzol, Laugen, Lösungsmittel, Säuren, witterungsbeständig	Weich, flexibel (PE-LD) bis steif, unzerbrechlich (PE-HD), durchscheinend, Geruchsfrei	Bis 80 °C (PE-LD) bzw. bis 100 °C (PE-HD), Dichtungen, Folien, Isoliermaterial, Rohre, Flaschen
Polyethylenterephthalat	PET		Hohe Steifigkeit und Härte, lackierfähige Oberfläche, witterungsstabil, hohe Formbeständigkeit in der Wärme	Flaschen
Polyimid	PI	Fast alle Lösungsmittel, jedoch keine Laugen	Abriebfest, sehr gute Gleit- und elektrische Eigenschaften (Isolierung), sehr geringe Gasdurchlässigkeit	-240 bis 280 °C, Formgebung durch Sintern, Dichtungen, Lager
Poly(lactid (Polymilchsäure)	PLA		Biobasiert, biologisch abbaubar	Verpackungsfolien, Kunststoffbesteck, Kunststoffbecher, Verbrauchs-materialien, Flaschen, Fasern und Gewebe, Teebeutel
Polymethacrylimid	PMMI			
Poly(trimethylen)terephthalat	PTT			

**Tabelle 4.1** Alle gängigen Thermoplaste, wobei die für die Steckverbindungen wesentlichen Kunststoffstoffe gelb markiert sind [4.1] – Fortsetzung

Name	Kürzel	Typ	Chemische Beständigkeit	Eigenschaften
Polymethylmethacrylat	PMMA	Schwere Laugen, Säuren, Benzin, witterungs-beständig	Hart, spröde, splittert nicht, alterungsbeständig, transparent	–40 bis 90 °C, Modelle, Leuchten, Sicherheitsverglasung
Polymethylpenten	PMP	Säuren, Laugen	Hohe Transparenz, UV-durchlässig, geringe Oberflächenspannung, geringe Wasseraufnahme	Labogeräte, Kosmetikbehälter, Spritzen
Polyoxymethylen oder Polyacetal	POM	Fast alle Lösungsmittel	Hart, zäh, gleitfähig, teilkristallin, geringe Wasseraufnahme, maßbeständig	–50 bis 120 °C, Armaturen, Beschläge, Lager, Zahnräder
Polyphenylenether	PPE oder PPO		Gute chemische Beständigkeit	Bis 100 °C
Polyphenylsulfid	PPS			
Polyphthalamid	PPA			
Polypropylen	PP	Benzol, Laugen, Lösungsmittel, Säuren, witterungs-beständig	Hart, unzerbrechlich, teilkristallin, geruchs- und geschmacksfrei	Beständig von 0 bis 130 °C, Batteriekästen, Waschmaschinenteile
Polystyrol	PS	Alkohol, Laugen, Öl, Säuren, Wasser	Hart, spröde, glasklar, geruchs- und geschmacksfrei, färbbar	Bis 80 °C, Isolierfolien, Spielwaren, Verpackungen, Zeichengeräte
Polystyrol geschäumt	PS-E	Alkohol, Laugen, Öl, Säuren, Wasser	Geringe Dichte, Schall und Wärmedämmung	Platten für Wärme- und Schallschutz, Verpackungen
Polystyrol schlagfest	SB	Wie PS	Schlagfest, schwer zerbrechlich, Versprödung durch Licht und Wärme, sonst wie PS	Bis 70 °C, Behälter, Elektroinstallationen, Geräte- und Tiefziehteile
Polysulfon	PSU		Zäh, transparent, gute elektr. Eigenschaften, hohe Festigkeit	–40 bis 150 °C, Medizin, Haushalt
Polytetrafluorethylen	PTFE	Hervorragende Beständigkeit	Hart, zäh, teilkristallin, keine Wasseraufnahme, sehr gute elektrische Eigenschaften (Isolierung), nicht benetzbar (hydrophob)	–90 bis 350 °C, Formgebung durch Sintern, Beschichtungen, Dichtungen Isolierfolien, Lager, Schläuche
Polyvinylacetat	PVAC			Weißleim (Holzleim)
Polyvinylchlorid (Hart-PVC)	PVC-U	Alkohol, Laugen, Säuren, Mineralöl, Benzin	Abriebfest, hornartig, zäh	Bis 60 °C, Rohre, Fittings, Folien, Hohlkörper, Batteriekästen

Name	Kürzel	Typ	Chemische Beständigkeit	Eigenschaften
Polyvinylchlorid (Weich-PVC)	PVC-P	Etwas geringer beständig als PVC-U	Abriebfest, gummi- bis lederartig, keine Wasseraufnahme	Bis 80 °C, Bekleidung, Bodenbelag, Folien, elektrische Isolierung
Polyvinylidenfluorid	PVDF		Langzeitgebrauchstemperatur: -60 - +150 °C Fluorgehalt: ca. 57 %	Dichtung, Membran, Verpackungsfolie, Rohre, Ventile und Pumpenauskleidungen, Schläuche, Gleitschienen
Styrol-Acrylnitril- Copolymerisat	SAN	Ätherische Öle, sonst wie PS	Sehr schlagzäh, steif, stabil, Temperaturwechsel-fest	Bis 95 °C, Batteriekästen, Gerätegehäuse, Spielwaren
Thermoplastische Stärke	TPS		Biobasiert, biologisch abbaubar	Verpackungsfolien, Extrusionsteile, Golf-Tees, Kunststoffbesteck
Polyhydroxyalkanoate	PHA	Feuchtigkeit, UV-Licht	Biobasiert, biologisch abbaubar; spröde und steif bis elastisch, Aroma-Barriere, ähnlich PP	Bis ca. 180 °C, (Lebensmittel)-verpackungen, medizinisches Nahtmaterial, Implantate
Polyhydroxybutyrat	PHB	Feuchtigkeit, UV-Licht	Biobasiert, biologisch abbaubar; spröde und steif bis elastisch, Aroma-Barriere, ähnlich PP	Bis ca. 180 °C, (Lebensmittel)-verpackungen, medizinisches Nahtmaterial, Implantate
Ethylen-Propylen-Copolymer	EPM		Schmelzfähig	-200 bis 300 °C
Polyester				Polyester ist eine Gruppe von diversen Polymeren, wie z.B. Polycarbonat (PC), PET oder PBT
Polyether-Block-Amid	PEBA			
Styrol-Butadien-Styrol	SBS			
Thermoplastisches Polyurethan	TPU oder TPE-U			

## 4.1 PBT

PBT (Polybutylenterephthalat) ist sehr kerbschlagfest und wird deshalb gern für Automobilanwendungen eingesetzt. PBT ist nur für Wellenlötung geeignet.

Reflow-Verfahren scheiden bei PBT generell aus. Steckverbinder aus PBT haben deshalb üblicherweise Einpresszonen an den Pins, um in mehrlagigen ECU-Leiterplatten verarbeitet werden zu können.

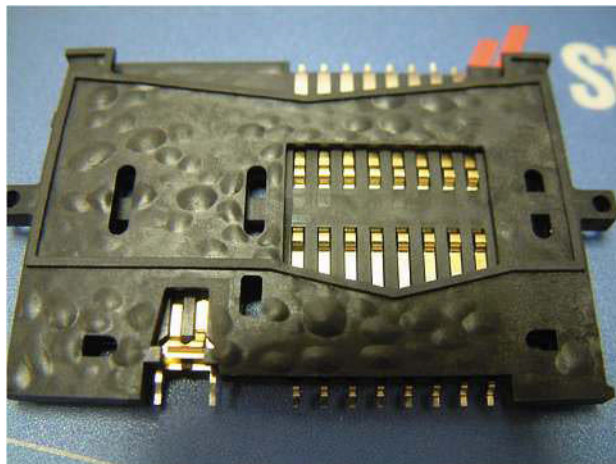
## 4.2 PA

PA (Polyamid = Nylon) hält nur bedingt Reflow-Temperaturen stand. Nylon 6/6 ist das temperaturstabilste PA. Es ist allerdings nicht für Wellenlötung geeignet, wenn die Einpresszapfen durch die Leiterplatte ragen (Bild 4.1).



**Bild 4.1** Verbrannte Einpresszapfen und Zinnkügelchen bei Nylongehäusen nach dem Wellenlöten

Leider ist PA hygroskopisch und saugt Feuchtigkeit aus der Luft wie ein Schwamm, was bei feuchten Gehäusen zur Blisterbildung (auch Popcorn-Effekt genannt) während des Reflow-Prozesses führt. Nach feuchter Lagerung empfiehlt sich eine Vorbehandlung der Produkte (Wärmebehandlung oder Backen), was die Feuchtigkeit im PA reduziert.



**Bild 4.2** Blisterbildung durch Feuchtigkeit im Kunststoff nach dem Reflow-Prozess