

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Was ist ein Steckverbinder?</b> .....	17
<b>2 Steckverbinder-Bestandteile</b> .....	19
<b>3 Unterschiedliche Anschlusstechniken</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 Kontaktobерflächen</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-Sperrsicht .....	41

7.8	Kontakte aus vorveredelten Bandmaterialien .....	41
7.9	Kontaktgabe zwischen unterschiedlichen Kontaktobertächen .....	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 Kontaktobertächen .....	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	Explosionsgeschützte 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 Übertragungsstrecken 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 Lötorgänge 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	Biegsamkeit .....	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 Engewiderstand 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 Hertzche Kontakt .....	193
5.5.2	Einfluss der Schichtabfolge .....	194
5.5.3	Einfluss der Oberflächentopographie .....	195
5.5.4	Messung und Simulation des Engewiderstandes .....	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>i</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 Kontaktoboberfläche .....	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 Kontaktoboberflächen .....	241

<b>7 Neue hochleistungsfähige Beschichtungen für SteckverbinderSysteme – Es muss nicht immer «edel» sein .....</b>	245
<b>SASCHA MÖLLER / THOMAS WIELSCH / MARCEL MAINKA / Dr. ISABELL BURESCH</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 Technologische Herausforderungen bei der Anwendung von Koaxialsteckverbbindern 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 Koaxialsteckverbbindern 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 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 LAPSIEN</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 Steckverbinder und geeignete Prüfmethoden .....	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 Steckverbinder .....</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 Modularer Steckverbinder</b>	
<b>Kompakte und flexible Schnittstellen für Produktionsanlagen .....</b>	<b>327</b>
HEIKO MEIER	
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 Anschlusstechnik 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>	<b>333</b>
M.Sc ETH Masch.-Ing. ALEKSANDAR OPACIC	
15.1 Definition .....	333
15.2 Struktur und Funktion eines optischen Steckverbinder, 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 Steckverbinderauswahl in der digitalen Welt .....</b>	<b>347</b>
Dipl.-Wirt.-Ing. KAI NOTTE	
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>	<b>353</b>
Dipl.-Ing. MATHIAS WECHLIN	
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>	<b>363</b>
Kodierung von M12-Steckverbindern .....	363
<b>ALEXANDER HORNAUER (Corporate Marketing), SEBASTIAN RICHTER (Teamleiter Senior Produktmanager Business Unit Connectors)</b>	
<b>Schlusswort .....</b>	<b>369</b>
<b>Abkürzungen .....</b>	<b>371</b>
<b>Lebensläufe der Autoren .....</b>	<b>375</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>381</b>
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>389</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>391</b>