

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Was ist ein Steckverbinder?	17
2 Steckverbinder-Bestandteile	19
3 Unterschiedliche Anschlusstechniken	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
4 Isolatormaterialien	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
5 Kontaktmaterialien	33
5.1 Kupfer	34
5.2 Messing	34
5.3 Federnde Legierungen	34
5.4 Relaxation der Federkräfte	34
5.5 Kontakte	36
6 Kontaktpunkt	37
7 Verschiedene Kontaktoberflächen	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
8	Kontaktwiderstand	49
8.1	Kontaktwiderstand und Temperatur	53
8.2	Kontaktwiderstand und Korrosion	54
8.3	Kontaktwiderstand und Reibkorrosion	54
8.4	Kontaktwiderstand und Steckzyklen	55
8.5	Filme auf den Kontaktoberflächen	56
8.6	Ein niedriger Kontaktwiderstand ist wichtig	56
9	Abschirmmaßnahmen	59
9.1	Elektromagnetische Verträglichkeit	60
9.2	Der EMV-Schirmfaktor	62
9.3	Pseudo-Koaxial-Pinbelegung zur Optimierung der Signalintegrität	64
10	Verriegelung der Steckverbinder	69
11	Gehäuse und Mechanik	73
11.1	Positionscodierungen	73
11.2	Vorzentrierungen	74
11.3	Steckkompatibilität	75
11.4	Inverse Stecksysteme	76
11.5	Soft- und hartmetrische Rückwand-Leiterplattensysteme	76
11.6	Wasserdichte Ausführungen	77
11.7	Explosionsgeschützte Steckverbinder	79
12	Warum werden neue Steckverbinder entwickelt?	81
13	Steckverbinder in der Leistungselektronik	83
13.1	Beispiel Kühlung durch Anschlussleitungen	84
13.2	Beispiel Kühlung durch Kupfer in der Leiterplatte	84
13.3	Thermische Simulation für den Extremfall	85
13.4	Hot Plugging in der Leistungselektronik	86
13.5	Stromverträglichkeit im Grenzbereich	87
14	Steckverbinder für hohe Datenraten	91
14.1	Warum werden diese Signale als differenzielles Paar übertragen?	91
14.2	Wie überträgt man digitale Signale?	91
14.3	Was muss bei den Übertragungsstrecken beachtet werden?	94
14.4	Warum sind Impedanz-Stoßstellen kritisch?	95
14.5	Neben- oder Übersprechen bei hohen Datenraten	96
14.6	Signal-Störabstand – Warum ist Nebensprechen so kritisch?	97
14.7	Simulation in der Steckverbinderindustrie	99
14.8	Signalübertragung bei hohen Datenraten	101
14.9	S-Parameter	105
14.10	S-Parameter im unsymmetrischen Betrieb (single ended)	105

14.11 S-Parameter im Mischbetrieb	106
14.12 Verifikation von S-Parametern nach der Simulation	109
14.13 Was sind Augendiagramme?	110
14.14 Einfluss der Leiterplatte	112
15 Weiterverarbeitung von Steckverbindern im Fertigungsprozess	115
15.1 Lötvorgänge bei unterschiedlichen Leiterplatten-Löttechniken	115
15.2 Steckverbinder auf Leiterplatten in Einpresstechnik setzen	116
15.3 Anschluss von Drähten, Litzen und Kabeln an Steckverbinder	117
16 Steckverbinderauswahl	119
16.1 Einsatzfall	119
16.1.1 Ein-/Ausgabe-Steckverbinder	119
16.1.2 Leiterplattensteckverbinder	119
16.1.3 Leiterplattenverbinder	120
16.1.4 Rückwandleiterplatten-Steckverbinder	120
16.1.5 Mezzanine Steckverbinder	121
16.1.6 Weitere Steckverbinder	122
16.2 Checkliste	123

Expertenbeiträge

1 Steckverbinder qualifizieren und bewerten	129
Dipl.-Ing. (FH) TILMAN HEINISCH / Dr.-Ing. UTE HÖRMANN	
1.1 Anforderungen an Steckverbinder	129
1.2 Anforderungen an das Prüflabor	129
1.3 Normen, Standards, Prüfprogramme	130
1.4 Bewertungskriterien und Prüfmethoden	131
1.4.1 Durchgangswiderstand	131
1.4.2 Isolationswiderstand und Spannungsfestigkeit	131
1.4.3 Klimatische Prüfungen	132
1.4.4 Mechanische Prüfungen	132
1.4.5 Strombelastbarkeit / Derating	134
1.5 Fehler- und Schadensanalyse an Stecksystemen	135
1.5.1 Widerstandserhöhende Schichten	136
1.5.2 Whisker	139
1.5.3 Produktionsfehler an Crimpverbindern und Stecksystemen	141
2 Einpresstechnik	145
Dipl.-Wirt.-Ing. SANDRA GAST	
2.1 Reparaturfähigkeit	146
2.2 Leiterplattenoberflächen	146
2.3 Lochaufbau	147
2.4 Oberflächenbeschichtung der Kontakte und der Einpresszone	147
2.5 Leiterplattendesign: Mindestabstand und Leiterbahnenverlauf	148
2.6 Einpressprozess	148
2.7 Pressen	150

2.8	Zuverlässigkeit der Einpresstechnik	150
2.9	Anwendungsbeispiele	151
2.9.1	Von High Speed bis High Current	151
2.9.2	Anwendungsbeispiele zur Schock- und Vibrationsbeständigkeit	151
3	Whisker in der Einpresstechnik	153
	Dr. ERIKA CRANDALL	
3.1	Whisker	153
3.2	Historie der Zinn-Whisker	154
3.3	Whisker-Wachstumstheorie & Wachstums-Mechanismen	155
3.4	Whisker-Wachstum bei Einpress-Verbindungen	157
3.5	Whisker-Risikobewertung	161
3.6	Standards / Normen	164
4	Oberflächen für Einpresspins	169
	Dr. ISABELL BURESCH	
4.1	Sn-haltige Oberflächen	170
4.1.1	Sn mit/ohne Ni-Zwischenschicht	170
4.1.2	SnAg-Oberflächen	173
4.2	Sn-freie Einpresstechnik	176
4.2.1	Rein-Ni-Oberflächen	177
4.2.2	Indium	177
4.2.3	Bismut	179
4.3	Zusammenfassung	181
5	Komponentendesign für die automatisierte Leitungssatzfertigung	183
	Dipl. El-Ing. (FH) CHRISTIAN INFANGER	
5.1	Manuelle Fertigung stößt an ihre Grenzen	183
5.2	Automation bereits in frühen Projektphasen berücksichtigen	183
5.3	Gültige Prüfnormen sind nicht mehr zeitgemäß	184
5.4	Fasungen und Rundungen im Einführbereich von Kontaktteilen	184
5.5	Vollständige Verarbeitungsspezifikation als Teil von Datenblättern	184
5.6	Flächen für die optische Vermessung vorsehen	185
5.7	Kammereingang muss frei zugänglich sein	186
5.8	Einzeladerabdichtungen mit Kragen erhöhen die Prozesssicherheit	188
5.9	Konstruktionen von Kammereinlauf und Übergängen im Steckverbinder	189
5.10	Besonderes Augenmerk auf Steckverbinder mit Familiendichtung	189
5.11	Kleine Anpassungen, große Wirkung	191
6	Werkstoffe für Steckverbinderkontakte	193
	Dr. ISABELL BURESCH	
6.1	Warum Kupferlegierungen?	193
6.2	Applikationsspezifische Eigenschaften (Fokus auf Bandwerkstoffe)	195
6.2.1	Leitfähigkeit	196
6.2.2	Festigkeit	196
6.2.3	Biegebarkeit	197
6.2.4	Spannungsrelaxation	199
6.2.5	Biegewechselfestigkeit	201

6.2.6	Federbiegegrenze	202
6.2.7	Kosten	203
6.3	Kupferwerkstoffe für Stanz-Biegekontakte	203
6.3.1	Reinkupfersorten	203
6.3.2	Mischkristallhärtende Kupferwerkstoffe	204
6.3.3	Ausscheidungshärtende Kupferwerkstoffe	209
6.4	Kupferwerkstoffe für spanend hergestellte Kontakte	217
7	Kontaktphysik	221
	Dr.-Ing. MICHAEL LEIDNER / Dr.-Ing. HELGE SCHMIDT	
7.1	Einleitung	221
7.2	Der Engewiderstand nach HOLM	221
7.3	Reale versus scheinbare Kontaktfläche	225
7.4	Morphologie des Kontaktpunktes und elektrische Leitvorgänge	227
7.4.1	Bereiche der reinen metallischen Berührung	228
7.4.2	Bereiche der reinen quasimetallischen Berührung	229
7.4.3	Isolierende Kontaktfläche	229
7.4.4	Frittung und Dry-Circuit-Messbedingungen	230
7.5	Simulation der realen Kontaktfläche	230
7.5.1	Der rein Hertzsche Kontakt	233
7.5.2	Einfluss der Schichtabfolge	234
7.5.3	Einfluss der Oberflächentopographie	235
7.5.4	Messung und Simulation des Engewiderstandes	236
7.5.5	Stromdichteverteilung innerhalb des Kontaktpunktes	238
7.5.6	Innere mechanische Spannungen / Verschleißverhalten	239
7.6	Verschleiß	241
7.6.1	Beginnender Verschleiß im fixen Kontaktpunkt	241
7.6.2	Triboverschleiß und Fretting-Korrosion	243
8	Oberflächen für Steckverbinderkontakte	245
	Dr.-Ing. HELGE SCHMIDT / Dr. ISABELL BURESCH	
8.1	Anforderungen an die Oberflächen für Steckverbinder	245
8.2	Kontaktmaterialien für Steckverbinder	246
8.2.1	Gold	246
8.2.2	Platin und Rhodium	246
8.2.3	Palladium	247
8.2.4	Silber	247
8.2.5	Zinn	247
8.2.6	Nickel	247
8.3	Edelmetall-Oberflächenbeschichtungen	248
8.3.1	Hartgold-Oberflächen für Steckverbinder	248
8.3.1.1	Nickel-Zwischenschicht	249
8.3.1.2	Poren	249
8.3.1.3	Temperaturverhalten	251
8.3.1.4	Normalkräfte und Reibung	252
8.3.1.5	Verschleißverhalten	253
8.3.2	Palladium oder Palladium-Nickel mit Goldflash	254
8.3.2.1	Temperaturverhalten	256

8.3.3	Nickel-Phosphor-Goldflash	257
8.3.4	Silber	258
8.3.4.1	Härte	260
8.3.4.2	Normalkräfte und Reibung	262
8.3.4.3	Verschleißverhalten	263
8.3.4.4	Temperaturverhalten	264
8.3.4.5	Silberdispersionsschichten für spezielle Anforderungen	265
8.4	Oberflächenbeschichtungen mit unedlen Metallen	267
8.4.1	Zinnbasierte Beschichtungen	267
8.4.1.1	Zinn als Kontaktoberfläche	267
8.4.2	Funktionelle Eigenschaften von Zinnoberflächen	275
8.4.2.1	Reib- und Verschleißverhalten	275
8.4.2.2	Korrosionsverhalten	277
8.4.2.3	Whisker-Wachstum	278
8.4.3	Eigenschaftsoptimierung von Zinnoberflächen für Steckkontakte	279
8.4.3.1	Legierungsschichten	280
8.4.3.2	Einsatz von Zwischenschichten – Sn-basierte Multilayerschichten	280
8.4.3.3	Passivierungen und Schmierung	282
8.4.3.4	Oberflächenstrukturierung	283
8.4.4	Ausblick für zinnbasierte Beschichtungen	284
8.4.5	Nickelbeschichtungen	286
8.5	Zusammenfassung und Einsatzempfehlungen	287
8.5.1	Übersicht	287
8.5.2	Kreuzbarkeit / Kreuzkompatibilität von Kontaktoberflächen	287

9 Neue hochleistungsfähige Beschichtungen für Steckverbindersysteme –

Es muss nicht immer «edel» sein	291
--	------------

SASCHA MÖLLER / THOMAS WIELSCH / MARCEL MAINKA

9.1	Einleitung	291
9.2	Experimentelles	292
9.2.1	Probenherstellung	292
9.2.2	Tribologische Untersuchungen	292
9.3	Ergebnisse und Diskussion	293
9.3.1	Schichtaufbau des Multilayer-Systems	293
9.3.2	Makroreibung	294
9.3.3	Mikroreibung (Fretting)	300
9.3.4	Applikationsversuche	304
9.4	Ausblick	311

10 Technologische Herausforderungen bei der Anwendung von Koaxialsteckverbindern bei hohen Datenraten

313

Dipl.-Ing. BERND ROSENBERGER

10.1	Einleitung	313
10.2	Stand der Technik heute	314
10.2.1	Serie BNC / TNC	314
10.2.2	Serie N	314
10.2.3	Serie QN	315

10.2.4 Serie Snap N	315
10.2.5 Serie 7–16	315
10.2.6 Subminiatur-Koaxial-Steckverbinder serien für unterschiedliche Anwendungsbereiche	316
10.2.7 Koaxiale Leiterplatten-Steckverbinder	316
10.3 Neue koaxiale Steckverbinder für Mobilfunk-Anwendungen	316
10.3.1 Koaxiales Stecksystem 4.3–10	317
10.4 Koaxiale Steckverbinder Board-to-board «blind mate»	317
10.4.1 Serie SMP	318
10.4.2 Ergänzungen Serien Mini-SMP / WSMP / Z-SMP	318
10.4.3 Toleranzausgleich mit Board-to-board-Verbindern	319
10.5 Integrierte Lösungen von Koaxialsteckverbindern im Automobil FAKRA	321
10.5.1 FAKRA-Steckverbindersystem	321
10.5.2 HFM® – High-Speed-FAKRA-Steckverbinder und FAKRA-Mini	322
10.6 Koax-Verbindung für Übergang von Glasfaser auf elektrische Leitung	322
10.6.1 WSMP – ein extrem breitbandiges rechtwinkliges Stecker-Array bis 100 GHz	322
10.7 Zusammenfassung: Die Grenzen der Koaxialtechnik	323
11 USB-C – Eine Steckverbindung, nicht nur für USB-Anwendungen!	325
TIMO DREYER	
11.1 Typische Anwendungen	325
11.2 Image vs. Fakten	327
11.3 Lowcost: Nein danke!	327
11.4 Mechanische Performance	328
11.5 EMV	329
11.6 SuperSpeed USB 20 GBit/s	329
11.7 Die Schirmung der Steckverbindung	334
11.8 Bei der Auswahl des Steckers zu beachten	335
11.9 Die weitere Evolution des USB: «USB4»	336
12 M12 Push-Pull Steckverbinder	339
Dipl.-Ing. (FH) MANUELA GUTMANN	
12.1 Einleitung	339
12.2 Metrische M12-Rundsteckverbinder	339
12.3 Der Weg zum M12 Push-Pull	339
12.4 Funktionsweise Push-Pull System nach IEC 61076-2-012	341
12.5 Push-Pull System nach IEC 61076-2-010	344
12.6 Fazit und Ausblick	345
13 Steckverbinder für Single Pair Ethernet	347
Dipl.-Ing. MATTHIAS FRITSCHÉ	
13.1 Die aktuellen IEEE802.3 Standards für SPE	347
13.2 Auslegung der elektrischen Kennwerte	351
13.3 Technische Ausführung der SPE-Verbindungstechnik nach IEC 63171-6	352
13.4 SPE-Verbindungstechnik nach IEC 63171-1	354
13.5 SPE-Verbindungstechnik nach IEC 63171-4	355

13.6	SPE-Verbindungstechnik nach IEC 63171-2 und -5	355
13.7	SPE-Verbindungstechnik nach IEC 63171-7	356
13.8	SPE-Verbindungstechnik für Automotive Anwendungen	356
14	Wird Single Pair Ethernet den RJ45 verdrängen?	357
	SILKE LÖDIGE / KLAUS LEUCHS / RALF TILLMANNS / SIMON SEEREINER	
14.1	Ethernet Netzwerke im Gebäude	357
14.2	Ethernet wandert in industrielle Anwendungen	357
14.3	Ethernet erreicht die Feldebene	359
14.4	Die Automobilindustrie als Treiber für Single Pair Ethernet	359
14.5	Unterschiedliche Anwendungsfelder für Single Pair Ethernet	360
14.6	Vorteile von SPE in der Industrie	361
14.7	Steckverbinder für Single Pair Ethernet	362
14.8	Grundlegende elektrische Eigenschaften von SPE Steckverbindern	364
	14.8.1 Impedanz	364
	14.8.2 Spannungsfestigkeit	365
	14.8.3 Übertragungstechnische Eigenschaften	365
14.9	Vergleich RJ45- und SPE-Steckverbinder	367
14.10	Zukunft der Kommunikationsschnittstellen	370
15	Steckverbinder für neue Fahrzeugarchitekturen und Bordnetze	371
	Dipl.-Ing. (FH) UWE HAUCK	
15.1	Neue Fahrzeugarchitekturen und die Veränderungen im Bordnetz	371
15.2	Anforderungen an Hochvolt-Verbindungssysteme	373
15.3	Betriebssicherheit	374
	15.3.1 Elektrische Sicherheit	374
	15.3.2 Mechanische Sicherheit	377
	15.3.3 Funktionale Sicherheit	378
15.4	Applikationen	379
	15.4.1 HV-Bordnetz	381
	15.4.2 Batterie	382
	15.4.3 Ladetechnologie	388
15.5	Ausblick	391
16	Qualitätsabsicherung der Dichtheit von Steckverbindern im Produktionsprozess	393
	Dr. JOACHIM LAPSIEN	
16.1	Steckverbinder	393
	16.1.1 Vielfältige Einsatzbereiche und extreme Anforderungen an Steckverbinder	393
	16.1.2 Undichtheiten an Steckverbindern	394
16.2	Dichtheitsprüfung im Labor	394
	16.2.1 Laborprüfungen – Typprüfung und IP-Schutzarten	394
	16.2.2 Vor- und Nachteile der Typprüfung im Labor	395
16.3	Dichtheitsprüfung im Produktionsprozess	396
	16.3.1 Stückprüfungen	396
	16.3.2 Zusammenhang zwischen Dichtheit, Leckrate und Lochgröße	396

16.3.3 Auswahl des Prüfmediums	397
16.3.4 Dichtheitsprüfung mit dem Prüfmedium Druckluft	397
16.3.5 Vor- und Nachteile der produktionsbegleitenden Stückprüfung	399
16.4 Dichtheitsprüfung von Steckverbindern	400
16.4.1 Adaption von Steckverbindern	400
16.4.2 Zustand des Steckverbinders und geeignete Prüfmethode	401
16.5 Optimierungen	404
16.6 Typprüfung versus Stückprüfung	405
17 Entwicklungen für Spezialanwendungen	407
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) BERND SPORER	
18 Thermische Charakteristik eines Steckverbinders	415
Dipl.-Ing. (FH) TOBIAS BEST	
19 CAE-Simulation als unterstützendes Werkzeug im Entwicklungsprozess für Steckverbinder	419
M.Sc (TU) ALEXANDER SHALABY	
19.1 Einsatz der CAE-Simulation im Entwicklungsprozess	419
19.2 Die Verfahren der CAE-Simulation zur Steckverbinderentwicklung	419
19.2.1 Feldsimulation	420
19.2.2 Kopplung physikalischer Domänen – «Multiphysiksimulation»	421
19.2.3 Simulation von Übertragungstrecken und Signalformen	422
19.3 Durchführung einer CAE-Simulation am Beispiel der elektromagnetischen Feldsimulation von Steckverbindern	424
19.3.1 Modellvorbereitung (Preprocessing)	424
19.3.2 Analyse (Solution)	426
19.3.3 Ergebnisauswertung (Postprocessing)	428
19.4 Potenzial der parametrischen Simulation in der Produktentwicklung	429
20 Modulare Steckverbinder:	
Kompakte und flexible Schnittstellen für Produktionsanlagen	431
HEIKO MEIER	
20.1 Entstehung modularer Steckverbinder	432
20.2 Aufbau modularer Steckverbinder-Programme	432
20.3 Modulare Verbindungen für modulare Maschinen	432
20.4 Vielfältige Optionen für eine Schnittstelle	433
20.5 Platz sparen bei der Lichtwellenleiter-Übertragung	433
20.6 Einfache Anschlusstechnik für schnelle Installationen	433
20.7 Modular und smart für die Netzwerkkommunikation	434
20.8 Empfindliche Elektronik schützen, Anlagenverfügbarkeit verbessern	434
20.9 Weitere Miniaturisierung durch individuelle Module	435
21 Optische Steckverbindungen für die Kommunikationsnetze	439
M.Sc ETH Masch.-Ing. ALEKSANDAR OPACIC	
21.1 Definition	439
21.2 Struktur und Funktion eines optischen Steckverbinders, Parameter	439

21.3	Struktur und Funktion eines Mittelstücks / Adapters	443
21.4	Struktur und Funktion optischer Steckverbindungen, Parameter der Einfügedämpfung	444
21.5	Grenzwerte und Qualitäten der optischen Steckverbindungen	448
21.6	Steckverbinder und Kabel	449
21.7	Simplex-, Duplex- und Mehrfasersteckverbinder, Anwendungsbereiche	450
21.8	Patchkabel und Pigtails	451
21.9	Standards	452
22	Die Steckbinderauswahl in der digitalen Welt	453
	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Kai Notte	
22.1	Produktinformationen in Textform	453
22.1.1	Die klassische Produktbeschreibung	453
22.1.2	Elektronische Kataloge	454
22.2	Produktinformationen, visuell dargestellt	454
22.2.1	Zeichnungen und 3D-Modelle	454
22.2.2	Grafische Daten	455
22.2.3	Produktfotografien	455
22.3	Produktinformationen suchen und finden	456
22.3.1	Hersteller	456
22.3.2	Distributoren	457
22.3.3	Andere Plattformen	457
22.4	Die Zukunft	458
23	Die etwas andere Verbindung – Kabellose Übertragung	459
	Dipl.-Ing. Mathias Wechlin	
23.1	Die elektrische Zahnbürste – Das erste kabellose Ladesystem mit Massenverbreitung	459
23.2	Was zeichnet induktive kabellose Übertragungssysteme aus?	464
23.3	Praxisbeispiel Elektromobilität	464
23.4	Megatrends mit kabellosen Übertragungslösungen begegnen	467
	Schlusswort	469
	Abkürzungen	471
	Lebensläufe der Autoren	475
	Literaturverzeichnis	483
	Quellenverzeichnis	497
	Glossar	499