

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	Verringelung 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	Explosionengeschützte 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 Übertragungstrecken 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 berücksichtigt	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-Steckverbinderserien 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 Übertragungsstrecken 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 Steckverbinderauswahl in der digitalen Welt	453
	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Kai Notté	
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 begeben	467
	Schlusswort	469
	Abkürzungen	471
	Lebensläufe der Autoren	475
	Literaturverzeichnis	483
	Quellenverzeichnis	497
	Glossar	499

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

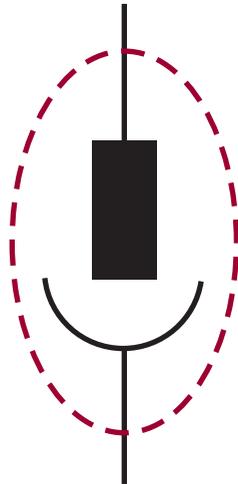


Bild 2.1 Elemente eines Steckverbinders

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 verzinnte oder ENIG (*Electroless Nickel Gold*)-Leiterplattenoberflächen, und Leiterplattenhersteller wissen, dass die Fertigmaße der durchkontaktierten Löcher im oberen Bereich des Toleranzbandes liegen müssen, weil chemisch verzinnte 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.

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 [Q.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

5 Kontaktmaterialien

An die Kontaktbasismaterialien werden elektrische, mechanische und Lebensdauer-Anforderungen gestellt.

Geringer Durchgangswiderstand und damit eine minimale Erwärmung bei Stromdurchfluss erfordern eine gute elektrische Leitfähigkeit bei Stift und Buchse im Anschlussbereich und im Kontaktbereich.

Für den federnden Buchsenkontakt ist eine geringe Relaxation über die Lebensdauer erforderlich. Diese Relaxation ist abhängig von der Umgebungstemperatur im Kontaktbereich und somit auch von der Strombelastung und der daraus resultierenden Temperaturüberhöhung im Kontaktbereich.

Das Design muss die Verarbeitung des Kontaktes im Herstellungsprozess berücksichtigen. Als typische Herstellungsverfahren kennen wir Drehen, Stanzen, Stauchen oder Tiefziehen des Basismaterials.

TIPP

Ausführliche Informationen über die Basismaterialien erfahren Sie im Expertenbeitrag 6 «Werkstoffe für Steckverbinderkontakte» in diesem Buch.



Basismaterialien sind für elektrische Kontaktoberflächen ungeeignet. Deshalb muss eine Oberflächenveredelung vorgesehen werden, die über die Lebensdauer des Kontaktsystems den Kontaktwiderstand garantiert, Korrosion im Kontaktpunkt vermeidet und Reibkorrosion minimiert.

Außerdem wollen wir einen geringen Kontaktwiderstand (der durch die Kontaktnormalkraft bestimmt ist) bei erträglichen Steck- und Ziehkräften des Gesamtsystems erreichen.

Tabelle 5.1 Gegenüberstellung der in Frage kommenden Kontaktbasismaterialien [Q.2] (* = Federmaterial)

Material	Elektrische Leitfähigkeit	Elektrischer Widerstand	Widerstandsänderung	Wärmeleitfähigkeit
	σ in S/m	10 mm 1×1 mm	α in Ω /K	W/(m·K)
Silber	$61,39 \cdot 10^6$	0,16 m Ω	$3,8 \cdot 10^{-3}$	418
Kupfer	$\geq 58,0 \cdot 10^6$	0,17 m Ω	$3,9 \cdot 10^{-3}$	380
Gold	$44,0 \cdot 10^6$	0,23 m Ω	$3,7 \cdot 10^{-3}$	311
Aluminium	$36,59 \cdot 10^6$	0,27 m Ω	$4,0 \cdot 10^{-3}$	200
HL-Leg CuNi3Si1Mg *	$25,0 \cdot 10^6$	0,40 m Ω	$1,8 \cdot 10^{-3}$	190
Messing CuZn37	$\approx 15,5 \cdot 10^6$	0,64 m Ω	$1,6 \cdot 10^{-3}$	120
Eisen	$10,02 \cdot 10^6$	1,00 m Ω	$6,6 \cdot 10^{-3}$	50
Zinn	$9,1 \cdot 10^6$	1,10 m Ω	$4,6 \cdot 10^{-3}$	65
Bronze CuSn6/8 *	$9,0/6,5 \cdot 10^6$	1,1/1,5 m Ω	$0,6 \cdot 10^{-3}$	58
Neusilber CuNi9Sn2 *	$6,4 \cdot 10^6$	1,56 m Ω	$0,6 \cdot 10^{-3}$	48
Blei	$4,69 \cdot 10^6$	2,13 m Ω	$4,2 \cdot 10^{-3}$	35
Edelstahl	$1,4 \cdot 10^6$	7,14 m Ω	$\approx 3 \cdot 10^{-3}$	20

5.1 Kupfer

Wie nicht anders zu erwarten, erkennen wir, dass Kupfer das preiswerteste Basismaterial mit bester Leitfähigkeit ist. Allerdings ist Reinkupfer weich und deshalb schlecht als Kontaktmaterial geeignet.

5.2 Messing

Messing hat geringe Federeigenschaften und ist deshalb vorrangig für nicht federnde Kontaktteile und bedingt für Buchsenkontakte geeignet. Vorsicht ist bei Crimpkontakten angesagt, weil Messing zu Mikrorissen im Crimpbereich neigt und Korrosion über die Lebensdauer in diesen Mikrorissen stattfindet!

5.3 Federnde Legierungen

Federnde Legierungen sind Neusilber, Bronze oder Hochleistungslegierungen (Zeile 5 in Tabelle 5.1). Die Auswahl der federnden Legierungen ist immer ein Kompromiss zwischen Leitfähigkeit, Federeigenschaften, Festigkeit und Langzeitverhalten.

Die Leitfähigkeit bestimmt die Temperaturüberhöhung bei einem gegebenen Strom. Die Temperatur beeinflusst wiederum die Relaxation über die Lebensdauer und somit die Federeigenschaften des Kontaktes. Nachlassende Federeigenschaften reduzieren die Kontaktnormalkraft, was zu einer Erhöhung des Übergangswiderstandes führt, der eine zusätzliche Temperaturüberhöhung erzeugt, was schließlich im Ausfall des Kontaktsystems endet – ein Teufelskreis!

5.4 Relaxation der Federkräfte

Betrachtet man die Relaxation der Federkräfte, so erkennt man bei Raumtemperatur kaum Unterschiede im Verhalten über die Zeit. Bei höheren Temperaturen über +80 °C verhalten sich die Materialien sehr unterschiedlich (Bild 5.1).

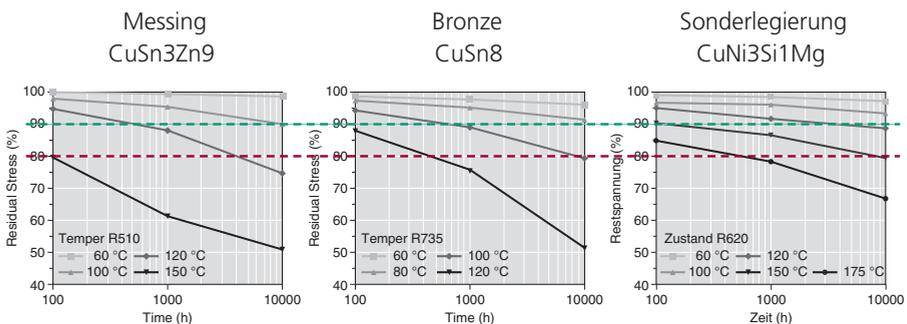


Bild 5.1 Unterschiedliche Relaxation bei Messing, Bronze und Sonderlegierung [Q.3]

Die grüne Linie zeigt uns eine unbedenkliche Relaxation von 10%, die rote Linie sei als Grenzwert der Relaxation bei 80% der ursprünglichen Federkraft angenommen. Während die

7 Verschiedene Kontaktflächen

Korrosion ist das große Problem bei Steckverbinderkontakten – egal, ob einzelne Kontaktflecken durch Korrosion blockiert werden oder ob der gesamte Kontakt ausfällt. Aus diesem Grund werden Kontaktbasismaterialien generell durch Oberflächenbehandlung gegen Korrosion geschützt.

TIPP

Informationen über Kontaktflächen in Einzelheiten erfahren Sie im Expertenbeitrag 8 «Oberflächen für Steckverbinderkontakte» in diesem Buch.



Es gibt edle Metalle wie Gold, Palladium oder Silber. Aus Kostengründen versucht man die veredelten Kontaktpunkte so dünn wie möglich zu machen. Dünne Oberflächen unter 2 µm sind galvanisch nicht porenfrei aufzubringen, weshalb es einer sogenannten Sperrschicht unter den Kontaktflächen bedarf, die verhindert, dass die unedlen Atome der Basismaterialien durch die dünne Veredelung an die Oberfläche wandern und sich dort Korrosion bildet, die die Anzahl der Kontaktflecken reduziert und damit den Kontaktübergangswiderstand erhöht. Als preiswerte und zuverlässige Sperrschicht hat sich Unternickelung in Schichtstärken um 2 µm erwiesen.

7.1 Nickel

Die Nickel-Sperrschichten sorgen dafür, dass Atome der Kontaktbasismaterialien nicht in die Funktionsschicht an der Kontaktfläche gelangen und dort intermetallische Phasen oder Korrosion erzeugen können. Den Vorgang nennt man Diffusion; er ist die Bewegung von Teilchen innerhalb einer Substanz. Sie beruht nicht auf äußeren Kräften, sondern ist rein thermisch bedingt und wird in der Literatur als Brownsche Molekularbewegung beschrieben. Durch diese thermische Fluktuation findet ein bedingter Platzwechsel von Atomen oder Ionen statt, der im Laufe der Zeit zur Durchmischung zweier oder mehrerer Stoffe führt.

INTERNET

Siehe auch Diffusion in: http://de.wikibooks.org/wiki/Werkstoffkunde_Metall/Innerer_Aufbau/Legierung#Zweistoffsysteme_mit_vollst.C3.A4ndiger_Unl.C3.B6slichkeit
[Short-URL: bit.ly/2JkciE]



Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften ist Nickel für viele Anwendungen als Überzugsmaterial besonders gut geeignet. Nickel ist gegen Luft, Wasser, verdünnte Säuren und die meisten Laugen – aber nicht gegen Salpetersäure, konzentrierte Salzsäure und Ammoniak – beständig. Allerdings ist der Kontaktübergangswiderstand bei Nickeloberflächen zu hoch für Elektronikanwendungen, aber gut genug für die Schuko-Netzstecker.

Die Nickel-Sperrschicht verhindert, dass Atome der unedlen Basismetalle durch die (dünne) Oberflächenveredelung diffundieren und Korrosionsablagerungen bilden.

Allerdings dürfen Basismaterialien mit derartig aufgebracht Sperrschichten nicht mehr stark verformt werden, weil die Nickelsperrschichten sonst aufbrechen würden. Auch bei verzinneten Kontakten hat sich die Einbringung von Nickelsperrschichten bewährt, um bei Durchrieb Korrosionssicherheit zu erhalten.

7.2 Gold

Gold ist nach wie vor die am weitesten verbreitete Veredelung in der Kontakttechnologie und wird üblicherweise als Hartvergoldung (Kobalt-dotiert) mit $0,1\ \mu\text{m}$ (für Consumer-Produkte), $0,38\ \mu\text{m}$ (für Büroprodukte) und $0,76\ \mu\text{m}$ (für professionelle Produkte) Schichtstärke aufgebracht. Die «krummen» Werte kommen aus der Umrechnung von Inch in Mikrometer ($0,76\ \mu\text{m} = 30\ \mu\text{Inch}$). Besonders wichtig bei der Abscheidung der Oberflächen in der Galvanik ist die Porenfreiheit. Poren in der Oberfläche erlauben es den unedlen Atomen des Kontakt-Basismaterials, an die Oberfläche zu kommen und Korrosion aufzubauen. Aus diesem Grund verwendet man unter dem Gold eine Nickel-Sperrschicht, die wir uns noch im Detail ansehen.

7.3 Palladium

Palladium als Oberfläche hat in reinem Zustand die Eigenschaft, mit Hilfe von Stickstoff aus der Luft sogenanntes Brown Powder abzuscheiden, was einen hohen Kontaktübergangswiderstand zur Folge hat. Palladium-Nickel (Pd-Ni) zeigt keinen Brown-Powder-Effekt und ist deshalb ebenfalls als Kontaktfläche geeignet. Palladium wurde in den 1990er-Jahren als Goldersatz in Erwägung gezogen, weil damals Palladium weit billiger war als Gold. Zwischenzeitlich haben sich die Rohstoffpreise relativiert und Palladium-Nickel wird dort eingesetzt, wo es auf besonders harte Oberflächen für viele Steckzyklen ankommt. Um zu verhindern, dass der Nickelanteil der Pd-Ni-Legierung passiviert, müssen Palladium-Nickel-Oberflächen mit einer Hauchvergoldung geschützt werden.

7.4 Silber

Silber ist das Edelmetall mit der besten Leitfähigkeit, weshalb man Silberoberflächen besonders oft bei Hochstromverbindern und Stromschienen einsetzt. Silber reagiert mit dem Schwefel in der Luft zu leitfähigem Silbersulfid (Ag_2S) mit brauner Oberfläche (Anlaufen von Silberbesteck). Je länger dieser Vorgang dauert, desto mehr Silber wird umgesetzt, was zu einer Reduzierung der Silberdicke führt. Dies ist für die Funktion unkritisch, solange der Steckverbinder im gesteckten Zustand ruht. Allerdings fällt das Silbersulfid dann beim nächsten Steckvorgang ab und die Oberfläche ist beschädigt. Deshalb werden Silberschichten immer $>2\ \mu\text{m}$ aufgetragen.

Gold, Palladium und Silber funktionieren bei Kontaktnormalkräften über $0,4\ \text{N}$.

7.5 Zinn

Zinn ist die preiswerteste Oberfläche, um Korrosion zu vermeiden. Allerdings bildet Zinn Oxide, die durchgerieben werden müssen, was wesentlich höhere Kontaktnormalkräfte erfordert (größer $2\ \text{N}$). Zinn hat außerdem die Eigenschaft der Whisker-Bildung – ein unangenehmer Effekt, der bei Temperaturschwankungen auftritt und feine Härchen von bis zu $0,3\ \text{mm}$ Länge erzeugt. Um Whisker-Bildung nach der Elektrolyse zu vermeiden, werden den Galvanikbädern Additive zugesetzt. Whisker-Bildung tritt nicht auf, wenn galvanische Oberflächen wärmebehandelt werden oder einen Reflow-Prozess durchlaufen. Auch feuerverzinnete Oberflächen zeigen keine Whisker-Bildung. Wegen der höheren Kontaktnormalkräfte haben verzinnete Steckverbinder höhere Steck- und Ziehkräfte.

Zinn funktioniert bei Kontaktnormalkräften über $2\ \text{N}$.

9 Abschirmmaßnahmen

Werden in einem Steckverbinder mehrere Signale gleichzeitig übertragen, so ist darauf zu achten, dass das Übersprechen dieser Signale minimiert wird. Dies geschieht durch das Einbringen von Abschirmblechen zwischen den Kontakten bei höheren Anforderungen oder – im einfacheren Fall – durch zusätzliche Kontakte, die auf Signalmasse gelegt werden.

Was ist Übersprechen?

Übersprechen geschieht durch kapazitive Kopplung zweier Signale oder durch induktive Kopplung der Signalleitungen. Im ersten Fall spricht man von Nahnebensprechen oder NEXT (phasengleich), die induktive Kopplung erzeugt Fernübersprechen oder FEXT (phasengedreht).

Wir erkennen das grüne Nutzsignal, das im oberen Leiter von links nach rechts läuft und dort gedämpft ankommt (Bild 9.1).

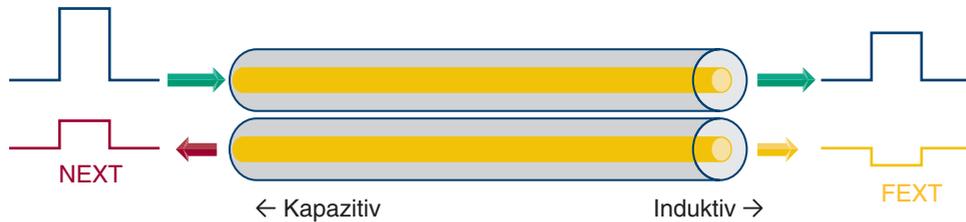


Bild 9.1 Nahnebensprechen und Fernübersprechen von zwei massebezogenen Leitern

Das rote Nahnebensprechen (NEXT) wird das Nachbarsignal phasengleich überlagern und somit stören. Das gelbe Fernübersprechen (FEXT) wird das Nachbarsignal phasenversetzt stören.

Im einfachen Fall wird man Massekontakte (G) um das zu schirmende Signal setzen, was zwar zusätzliche Kontakte bedingt, aber je nach Anwendungsfall eine preiswerte Schirmlösung sein kann. Das rote Empfängersignal (R) und das rote Sendesignal (T) werden somit durch Massekontakte (G) isoliert (Bild 9.2).

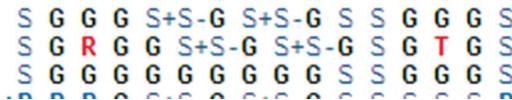


Bild 9.2 Pseudo-Koaxial-Beschaltung in einem Stiffeld

Die Schirmdämpfung einer solchen Anordnung liegt bei 40 dB oder mehr. Wenn eine bessere Schirmdämpfung erforderlich ist, kommt man oft um den Einsatz eines koaxialen Steckverbinders nicht herum (Bild 9.3).

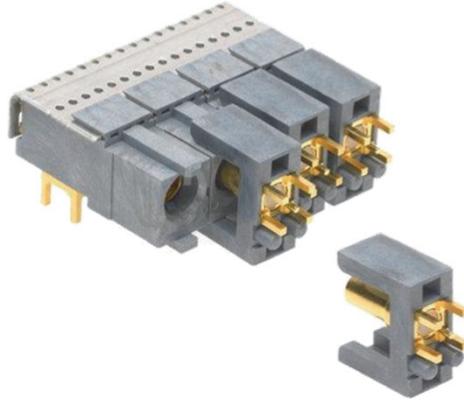


Bild 9.3 Koaxiale Einzelsteckverbinder auf Halteschiene für Rückwand-Leiterplattensysteme

Datenraten von einem Gigabit pro Sekunde (1Gbps) und mehr bedingen die Signalführung als differenzielles Paar. In diesem Fall ist es notwendig, Steckverbinder mit integrierten Schirmblechen einzusetzen (Bild 9.4).

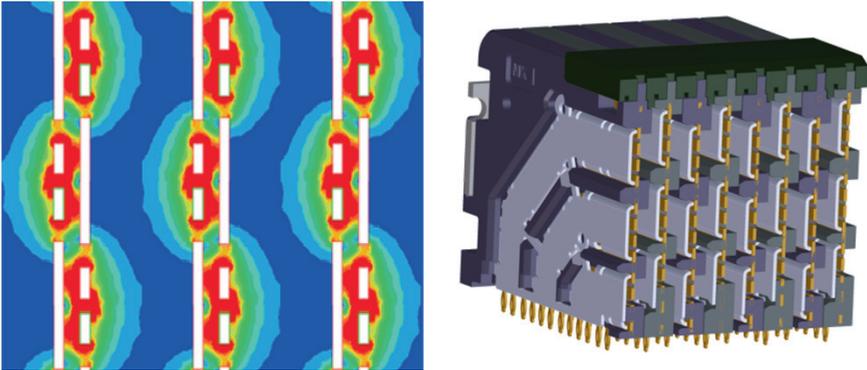


Bild 9.4 Unterschiedliche Schirmmaßnahmen in Steckverbindern für differenzielle Paare [Q.5]

Je nach Datenrate werden Pseudo-Schirmbleche oder Rundum-Schirmbleche eingesetzt.

Um den gesamten Steckverbinder abzuschirmen, bedarf es einer Analyse aller auftretenden Störungen. Diese Überlegung ist insbesondere bei Eingabe-Ausgabe-Steckverbindern wesentlich.

9.1 Elektromagnetische Verträglichkeit

Man unterscheidet zwischen Störungen über das Kabel und Störungen durch die Luft. Diese können sowohl von außen in das Gerät als auch vom Inneren des Gerätes nach außen auftreten. Eine Übersicht der wesentlichen Störfaktoren bietet Bild 9.5.

11 Gehäuse und Mechanik

Die Steckverbinderhaube kann integraler Bestandteil des Steckverbinders sein oder auch als Steckverbinder-Zubehör geliefert werden und kommt insbesondere bei Ein-/Ausgabe-Steckverbindern zum Einsatz.

Wichtig ist hier, dass die Kabelzugentlastung und die Schirmkontaktierung voneinander getrennt sind. Mechanische Zugbeanspruchung am Kabel darf nicht zu einer Unterbrechung der Schirmkontaktierung führen!

Bild 11.1 zeigt ein Beispiel, wie man es nicht machen sollte.

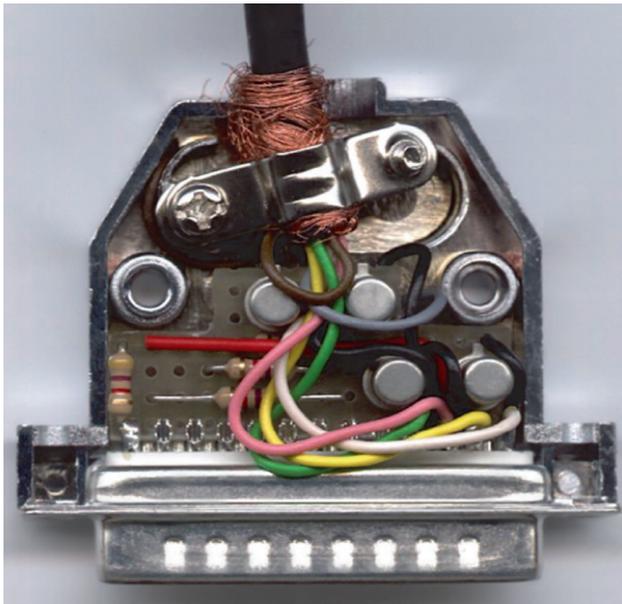


Bild 11.1 Kein gutes Beispiel, wenn Zugentlastung und Schirmübergabe in einer Klemmstelle sind.

11.1 Positionscodierungen

Werden mehrere mechanisch identische Ein-/Ausgabe-Steckverbinder an einem Gerät eingesetzt und haben diese Steckverbinder unterschiedliche Signalbelegung, so ist die Positionscodierung sinnvoll (Bild 11.2). Das Falschstecken wird vermieden und das Zusammenstecken der richtigen Steckerkomponenten wird gewährleistet.

Positionscodierungen sind rein mechanische Vorrichtungen, die vom Anwender so eingestellt oder bestellt werden können, dass es zu keiner Verwechslung beim Anschließen kommen kann. Die Codierung kann über unterschiedliche mechanische Maßnahmen erfolgen. Typische Bauformen sind Sperrbolzen oder spezielle Kontakteinsätze, die eine große Variantenvielfalt zur Codierung bieten.

13 Steckverbinder in der Leistungselektronik

Elektrische und elektronische Systeme müssen heutzutage mit immer schnelleren Taktraten arbeiten und mit immer weniger Leistung auskommen. Das führt dazu, dass die Versorgungsspannungen kleiner und demzufolge die auftretenden Ströme größer werden.

Die Hybridisierung und die Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen, die Verdrängung von Dieselmotoren aus dem öffentlichen Personennahverkehr und autarke Generatoren im Nutzfahrzeugbereich verlangen nach stromintensiven Steckverbindungen.

Wir haben gelernt, dass aufgrund der Kontaktflecken und der Stromverdrängung in jedem Kontaktpunkt nur ein gewisser Strom übertragen werden kann und deshalb Kontakte für höhere Ströme aus Mehrfach-Kontaktfedern bestehen müssen.

Das Grundübel ist der Kontaktübergangswiderstand, der Wärme erzeugt, die wiederum die Relaxation der Kontaktfeder beschleunigt, was eine kleinere Kontaktnormalkraft und dadurch einen höheren Kontaktübergangswiderstand zur Folge hat. Wir müssen diesen Teufelskreis durchbrechen.

Das kennen wir von Heizgeräten:

$$P = I^2 \cdot R$$

Auf den Steckverbinder übertragen, tritt diese Erwärmung doppelt auf, in der Hinleitung und in der Rückleitung:

$$P = 2 \cdot I^2 \cdot \text{Übergangswiderstand}$$

Wenn der Strom I erhöht wird, muss der Übergangswiderstand quadratisch reduziert werden, um die Verlustleistung am Kontaktpunkt und damit die Temperaturüberhöhung konstant zu halten.

Bei doppeltem Strom ist also der Widerstand zu vierteln!

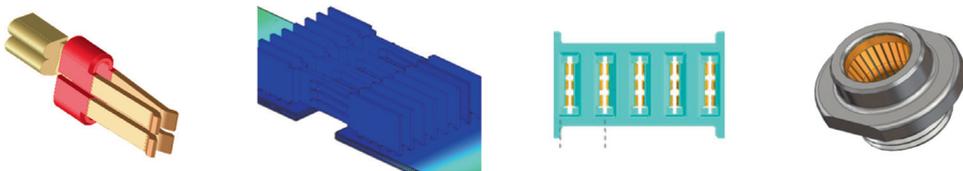


Bild 13.1 Parallelschaltung von Kontakten für höhere Ströme ... oder die Wärme macht uns zu schaffen!

Es gibt also nur zwei Alternativen:

- niedrigerer Übergangswiderstand (Material, Parallelkontakte, Oberfläche)
 - Hochleistungslegierungen mit hoher Temperaturbeständigkeit und guter Wärmeleitung,
 - Mehrfachkontaktsysteme wie oben gezeigt,
 - versilberte Kontaktoberflächen haben den niedrigsten Kontaktübergangswiderstand.

- Kühlung (Fremdbelüftung oder Wärmeableitung)
 - Luftkanäle zwischen den Kontakten helfen, wenn Fremdbelüftung vorhanden,
 - dickere Anschlussleitungen zum Abführen der Wärme in Richtung Kabel,
 - Leiterplatten mit dickerem Kupferauftrag, wenn die Wärme nicht von innen kommt.

13.1 Beispiel Kühlung durch Anschlussleitungen

Hersteller geben für Kabelverbinder Strombelastungsgrenzen für unterschiedliche Anwendungen an.

Der Querschnittsunterschied zwischen AWG28 (0,1 mm²) und AWG16 (1,5 mm²) erlaubt durch die bessere Kühlung die 5...8-fache Strombelastung (Tabelle 13.1). Die Strombelastung gilt, wenn alle Kontakte bestromt sind, weshalb bei höherpoligen Verbindern die Stromgrenze pro Kontakt niedriger ist. Die Grenzwerte sind wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit bei Messing (CuZn = Brass) etwas besser als bei Federbronze (CuSn = Phosphorbronze).

Die Grenzwerte gelten für eine UL-Temperaturüberhöhung von 30 °C. Bei Umgebungstemperaturen über +65 °C sind reduzierte Werte gültig, weil die Temperatur am Kontaktpunkt dann bereits +95 °C ist und die Relaxation des Federmaterials mit einkalkuliert werden muss (Derating).

Tabelle 13.1 Strombelastbarkeit unterschiedlicher Leiterquerschnitte beim Mini Fit jr [Q.5]

Table 5 - WIRE-TO-BOARD									
Brass					Phosphorbronze				
Wire \ Ckt. Size	2 - 3	4 - 6	7 - 10	12 - 24	Wire \ Ckt. Size	2 - 3	4 - 6	7 - 10	12 - 24
AWG #16	9	8	7	6	AWG #16	8	7	6	5
AWG #18	9	8	7	6	AWG #18	8	7	6	5
AWG #20	7	6	5	5	AWG #20	6	5	4	4
AWG #22	5	4	4	4	AWG #22	4	3	3	3
AWG #24	4	3	3	3	AWG #24	3	2	2	2
AWG #26	3	2	2	2	AWG #26	2	1	1	1
AWG #28	2	1	1	1	AWG #28	1	1	1	1

Note: PCB trace design may greatly affect temperature rise results.

13.2 Beispiel Kühlung durch Kupfer in der Leiterplatte

Eine dickere Kupferlage auf der Leiterplatte bringt eine bessere Wärmeableitung bei diesen koplanaren Leiterplattensteckverbindern. Allerdings wird in der Praxis ein größerer Wärmeezeuger (z.B. ein ASIC) auf der Leiterplatte sein, der der Wärmeabfuhr nicht förderlich ist.

14 Steckverbinder für hohe Datenraten

Nicht nur hohe Ströme sind ein Grenzbereich für Steckverbinder, sondern auch hohe Datenraten. Hier handelt es sich um kleinste Ströme und Spannungen im Millivolt-Bereich, die dann meistens das Signal als differenzielles Paar übertragen und besonders anfällig für das Übersprechen des Nachbarsignals sind.

14.1 Warum werden diese Signale als differenzielles Paar übertragen?

Überträgt man viele digitale Signale im sogenannten massebezogenen (*single ended signal*) System (Bild 14.1), so ist der Rückstrom dieser Signale undefiniert, weil viele parallel geführte Signale im eingeschalteten Zustand (1) einen hohen Rückstrom erzeugen, während im ausgeschalteten Zustand (0) der Rückstrom sehr gering ist. Dies führt zu unterschiedlichem Spannungsabfall auf der gemeinsamen Masseleitung, was als Ground Bounce bezeichnet wird. Fließen über die gemeinsame Masseleitung zusätzlich noch Versorgungsströme für die Bauelemente, dann wird das Massepotential undefiniert.

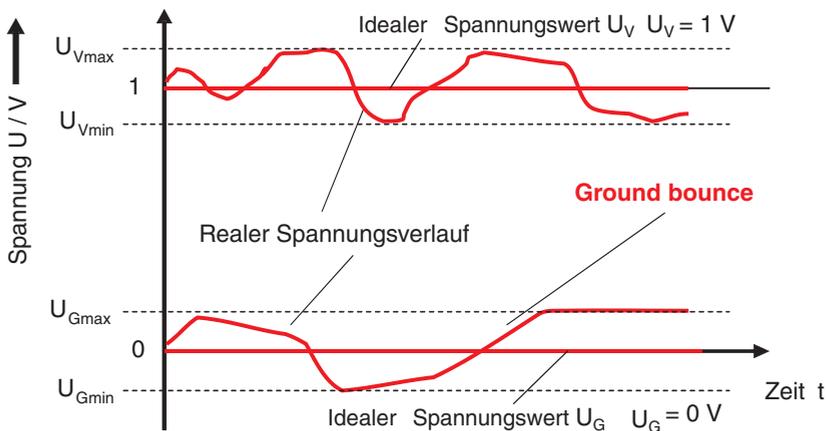


Bild 14.1 Ground Bounce oder Massepotentialschwankung bei massebezogener Signalübertragung

Gleichstrom- und Gleichspannungssysteme haben in der Praxis keine konstanten Spannungspegel. Diese Pegel ändern sich in Abhängigkeit von den Aktivitäten in der elektronischen Schaltung. Die Veränderungen der Pegel werden als Ground Bounce oder Powerintegrität bezeichnet.

14.2 Wie überträgt man digitale Signale?

In digitalen Systemen wollen wir Rechtecksignale übertragen. Um zu verstehen, wie so ein Rechtecksignal entsteht, müssen wir uns etwas mit der Theorie von Herrn FOURIER beschäftigen. FOURIER bewies bereits im 19. Jahrhundert, dass jede Kurvenform aus einer Überlagerung von Sinuswellen unterschiedlicher Amplitude und Frequenz entsteht. Für das Rechtecksignal ist dies relativ einfach, weil aus einem Sinussignal und dessen ungeraden Oberwellen sukzessive ein Rechtecksignal entsteht.

16 Steckverbinderauswahl

Wer die Wahl hat, hat die Qual. Dieses Sprichwort gilt auch bei der Auswahl eines Steckverbinders für eine spezielle Anwendung. Allerdings kann man durch Vorselektion die Auswahl einschränken. Hierzu wollen wir grundsätzliche Kriterien erarbeiten, deren sukzessive Abfolge es ermöglicht, die richtige Entscheidung zu treffen.

16.1 Einsatzfall

Der Einsatzfall ist das erste Kriterium, den auch die Steckverbinderindustrie im Internet als Auswahlfilter anbietet.

16.1.1 Ein-/Ausgabe-Steckverbinder

Ein-/Ausgabe-Steckverbinder (auch I/O bezeichnet) dienen meistens zum Anschluss von Kabeln und Leitungen an ein Gerät oder eine Baugruppe. Die Signale können an der fest angebauten Pärchenhälfte im Inneren des Gerätes mit Drähten (Flanschverbinder, auch **Wire-to-Wire** oder WtW) weitergeführt werden. Die fest eingebaute Hälfte kann auch direkt in die Leiterplatte ein- oder aufgelötet werden. Dies bedingt wiederum die Montage des Steckverbinders von innen nach außen (*Rear Mount*).

Ein-/Ausgabe-Steckverbinder haben viele Eigenschaften. Angefangen von einer Schirmung, Vorzentrierungen oder Fangbolzen, einer Polarisierung, einer Positionscodierung und einer Verriegelung im Steckgesicht über verschiedene Drahtanschlusstechniken bis hin zum vorkonfektionierten Kabel können sie Industriestandards (z.B. D-Sub, USB, M12, RJ45) sein, oder sie sind spezielle wasserdichte Ausführungen für das Automobil, den Medizinmarkt oder für Nutzfahrzeuge.

Ein-/Ausgabe-Steckverbinder werden als Rechteck-, Trapez- oder Rundsteckverbinder angeboten, sie können aber auch Lichtwellenleiter enthalten oder rein optische Steckverbinder sein.

TIPPS

Der Expertenbeitrag 20 «Modulare Steckverbinder: Kompakte und flexible Schnittstelle für Produktionsanlagen» in diesem Buch gibt detaillierte Informationen über Ein-/Ausgabe-Steckverbinder.

Der Expertenbeitrag 21 «Optische Steckverbindungen für die Kommunikationsnetze» in diesem Buch gibt einen Überblick über Lichtwellenleiter-Steckverbindungen.



16.1.2 Leiterplattensteckverbinder

Leiterplattensteckverbinder zum Anschluss von Drähten innerhalb der Geräte haben nicht die Vielfalt der Eigenheiten wie eben geschildert und werden auch als **Wire-to-Board**- oder WtB-Verbinder bezeichnet. Diese Verbinder sind meist nicht geschirmt und haben integrierte Rast- oder Schnappverriegelung.

Auf der Hälfte der Leiterplatte wird eingelötet (Wellenlöten- oder Pin-in-Paste Reflow), aufgelötet (SMT) oder eingepresst. Die Steckrichtung kann senkrecht zur Oberfläche der Leiterplatte

(vertikal) oder parallel zur Oberfläche (90 Grad abgewinkelt) sein, manchmal sind auch 45°-Steckrichtungen verfügbar. Das Gegenstück kann die unterschiedlichsten Anschlusstechniken aufweisen, wie Handlöten, Crimpen oder Schneidklemmtechnik für Einzeldrähte bzw. Flachbandkabel. Auch FFC (*Flexible Flat Conductor*)-Verbinder zählen zu dieser Kategorie, wobei es hier keinen Gegenstecker, sondern ein laminiertes Bandkabel mit flachgepressten Volldrähten oder eine rückseitig verstärkte Flexfolie mit vergoldeten, verzinnnten oder mit Carbon-Leitlacken (CCI – *Carbon Conductive Ink*) gedruckten Anschlüssen gibt.

16.1.3 Leiterplattenverbinder

Leiterplattenverbinder zum Verbinden zweier Leiterplatten werden auch als **Board-to-Board**- oder **BtB**-Verbinder bezeichnet. Diese Verbinder haben für höhere Datenraten oft integrierte Schirmung. Ungeschirmte mehrreihige Stift- und Buchsenleisten werden auch gern in Pseudo-Koax-Beschaltung benützt. Parallelschaltung von (gleich langen) Kontakten vermeidet manchmal den Einsatz von Hochstromverbindern.

Verbal ist es schwierig, die Lagen der beiden zu verbindenden Leiterplatten zu beschreiben. Hier hilft die Übersicht in Bild 16.1.

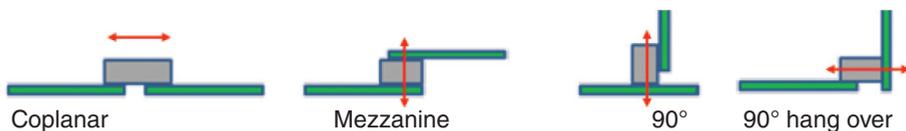


Bild 16.1 Unterschiedliche Konstellationen von Leiterplattensteckverbindern (BtB)

Es gibt auch einteilige Leiterplattenverbinder, sogenannte Edge-Card-Verbinder, die als Gegenstecker die vergoldeten Kontakte (sogenannte Goldfinger) der zu verbindenden Leiterplatte kontaktieren. Sie sind zweireihig für eine bestimmte Leiterkartendicke verfügbar und haben Kontaktraster von 3,96 mm, 2,54 mm, 1,27 mm, 1,0 mm, 0,8 mm und sogar 0,75 mm. Edge-Card-Verbinder wurden hauptsächlich in Desktop-Computern eingesetzt (PCI- und PCIe-Kartenschnittstellen), sind jedoch auch für > 10 Gbps Datenraten im Raster 0,8 mm und 0,75 mm für die oben gezeigten Leiterplattenkonstellationen erhältlich.

16.1.4 Rückwandleiterplatten-Steckverbinder

Rückwandleiterplatten- oder Backplane-Steckverbinder sind eigentlich eine Untergruppe der BtB-Verbinder. Allerdings nehmen sie insofern eine Sonderstellung ein, dass diese Verbinder meist integrierte Schirmung, Vorzentrierungen mit Fangbolzen, Polarisierung, oft auch Positionscodierung, aber keine Verriegelung aufweisen. Außerdem gibt es passend zu den unterschiedlichen Systemen auch Hochstrom-Module. Alle diese Steckverbinder sind hauptsächlich in Einpresstechnik verfügbar. Die Entscheidung, für welches System sich ein Kunde entscheidet, ist oft über Jahre bindend. Deshalb ist der Markt für Rückwandleiterplatten-Steckverbinder hart umkämpft.

Die Industrie versucht, die Generationen aufwärtskompatibel zu designen, damit bei Erhöhung der Datenrate nur die Baugruppen, nicht aber die Rückwandleiterplatte getauscht werden müssen. Allerdings zeigen die neuesten Entwicklungen, dass der Sprung auf 25 Gbps weniger von den

1 Steckverbinder qualifizieren und bewerten

Innerhalb der elektrischen Verbindungstechnik stellen Steckverbindungen sowohl das zentrale als auch das möglicherweise kritischste Teiglied einer ganzen Funktionskette dar: Durch natürliche Umwelteinflüsse oder betriebsbedingte Belastungen altern mechanische Verbindungen und können unter Umständen zu Fehlfunktionen oder zum Ausfall führen. Dieses Risiko auszuschalten ist das Ziel einer produkt- und einsatzbezogenen Validierung. Um gezielt einzelne Fehlermechanismen zu verstehen und entsprechend präventiv konstruieren zu können, sind zusätzlich Instrumente der Fehler- und Schadensanalytik angezeigt.

1.1 Anforderungen an Steckverbinder

Je nach der funktionellen Aufgabenstellung und den Einsatzbedingungen werden an einen Steckverbinder unterschiedliche Anforderungen gestellt: Funktionell kann beispielsweise die sichere Übertragung von Niederspannungssignalen relevant sein oder auch das Weiterleiten von hohen Strömen. Zu den äußeren Belastungen zählen unter anderem klimatische und mechanische Einflüsse – nicht nur während des eigentlichen Betriebes, sondern oftmals auch während des Transportes.

MERKSATZ

Zu jedem Zeitpunkt des Einsatzzeitraumes eines Steckverbinders muss die Kontaktzuverlässigkeit gewährleistet sein.



Definiert wird die Kontaktzuverlässigkeit über elektrische Kenngrößen, wobei der Durchgangswiderstand – gemessen an einem gesteckten Kontaktpaar – der bestimmende Parameter ist. Wichtiger als die absolute Höhe des Widerstandswertes ist die messbare Änderung, die dieser Wert über eine Testsequenz oder eben die praktische Lebensdauer hinweg erfährt. Für vergoldete Steckkontakte der Nachrichtentechnik beispielsweise gilt typischerweise die Anforderung, dass die maximale Änderung des Durchgangswiderstandes während und nach den unterschiedlichsten Belastungen maximal 5 m Ω betragen darf; für verzinnete Kontakte der Automobilindustrie gelten weitere Grenzen (z. B. 20 m Ω).

1.2 Anforderungen an das Prüflabor

Für die Qualifizierungs- und Bewertungsprozesse muss das damit befaste Prüflabor über drei Kompetenzfelder verfügen:

- Belastungen (klimatisch, mechanisch, korrosiv, elektrisch) darstellen,
- elektrische Kenngrößen (z. B. Durchgangs- und Isolationswiderstand, Spannungsfestigkeit) messen,
- Fehlermechanismen (z. B. Veränderungen an Werkstoffen und Oberflächen, Kontaktkräfte) verstehen, analysieren und beurteilen.

Nicht jeder Hersteller oder Anwender verfügt über entsprechende Kompetenzen und / oder die dazu erforderliche technische Infrastruktur; darüber hinaus ist es für den Marktzugang in vielen Branchen unumgänglich, die Qualifizierungstests durch ein unabhängiges und akkreditiertes Prüflabor vornehmen zu lassen.

1.3 Normen, Standards, Prüfprogramme

Im Idealfall liegt für einen bestimmten Steckverbindertyp eine konkrete Prüfvorschrift vor; in der Nachrichtentechnik beispielsweise existiert eine Vielzahl von bau- und einsatzspezifischen Normen, die mehrheitlich an die «Ur-Stecker-Norm» DIN 41 612 angelehnt sind.

Ebenfalls klare Vorschriften gibt es im Automotive-Bereich: Die deutschen OEMs beispielsweise haben sich auf die Prüfvorschrift LV 214 geeinigt, die in umfassender Form die Testbedingungen für Steckkontakte definiert, die in Pkw verbaut werden.

Diese und andere Prüfvorschriften haben gemein, dass üblicherweise die Gesamtheit der Prüfmuster auf verschiedene Prüfgruppen aufgeteilt werden und dass sich die unterschiedlichen Belastungen mit Initial-, Zwischen- und Endmessungen der elektrischen (z. B. der erwähnte Durchgangswiderstand) oder auch mechanischen (z. B. Steck- und Ziehkräfte) Parameter abwechseln. Wie dieses «Wechselspiel» für einen Prüfplan aussehen kann, zeigt Bild 1.1.

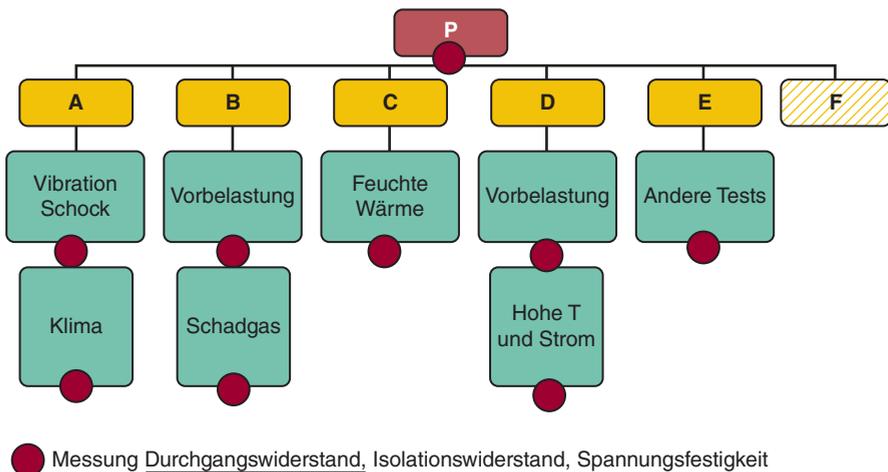


Bild 1.1 Typischer Ablaufplan für eine Steckverbindererprobung

Etwas schwieriger gestaltet sich die Auslegung eines Prüfprogramms, wenn zwar eine allgemeine Spezifikation für eine Komponente oder ein System vorliegt, nicht aber explizit für die beteiligten Steckverbinder. In diesem Fall kann es hilfreich sein, als Grundgerüst den oben erwähnten Ablauf aus einer anderen Anwendung zu übernehmen und um die Schärfegrade (beispielsweise Temperaturgrenzen oder Anregungswerte für die Vibration) des Komponenten- oder Systemlastenheftes zu erweitern.

Gänzlich von Grund auf neu muss ein Prüfplan definiert werden, wenn es weder eine Stecker- noch eine Systemvorschrift gibt. Dies kann der Fall sein, wenn die Anwendung neu ist oder wenn in einer wenig gängigen Applikation eine vormals feste Verdrahtung durch eine lösbare Verbindung ersetzt werden soll. Das könnte beispielsweise eine Kontaktierung sein, die in der feuchten

6 Werkstoffe für Steckverbinderkontakte

Die Anforderungen an Steckverbinderwerkstoffe sind in den letzten Jahren durch die Entwicklung neuer Designs, erhöhte Belastungsbedingungen und die Trends zur Miniaturisierung/De-materialisierung und zu hohen Strömen für nachhaltige neue Technologien stetig gestiegen.

Der Kostendruck und der Fokus auf Nachhaltigkeit in allen Branchen zwingt auch die Steckverbinderhersteller, neue Wege zu gehen. Materialsparende Designs, aber auch mehrteilige Konstruktionen, die den Einsatz kostengünstiger und weniger leistungsfähiger Werkstoffe in Kombination mit Hochleistungswerkstoffen erlauben, werden eingesetzt. Die Herausforderung bei der Entwicklung und/oder der Auswahl des geeigneten Werkstoffs liegt in der Eigenschaftskombination aus Leitfähigkeit, Umformbarkeit, Festigkeit, Relaxationsbeständigkeit sowie den Kosten. Kupferlegierungen erfüllen viele dieser Anforderungen. Da die Kombination der geforderten Eigenschaften je nach Einsatzgebiet variiert, gibt es nicht **die** optimale Kupferlegierung oder Beschichtung für alle Anwendungen.

Die Stellhebel, um die Anforderungen zu erreichen, liegen in der Zusammensetzung und dem Fertigungsprozess des Grundmaterials.

6.1 Warum Kupferlegierungen?

Die wichtigste Funktion einer Steckverbindung ist das Übertragen von Strom. Kupfer ist neben Silber das Element mit der höchsten elektrischen und damit auch der höchsten thermischen Leitfähigkeit bei Raumtemperatur. Kupferbasislegierungen sind deshalb der dominierende Werkstoff bei Kabeln, Steckverbindern und Halbleiterträgern. Sie sind in verschiedene Legierungsgruppen unterteilt und nach ihren Legierungsgehalten bzw. -bestandteilen genormt (DIN EN 1412, 1654 und DIN CEN/TS 13388).

Bild 6.1 gibt einen Überblick zu den Kupferlegierungen, welche bevorzugt bei Steckverbinderkontakten Verwendung finden.

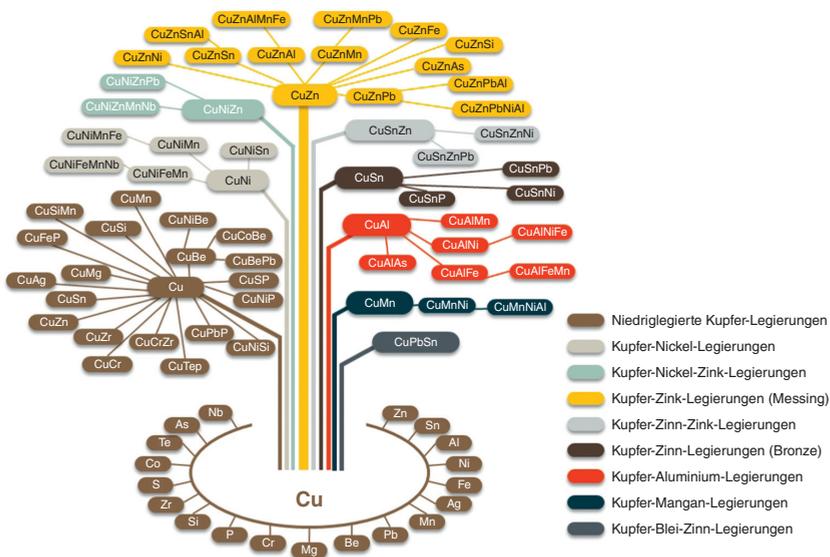


Bild 6.1 Kupferbaum [6.1]

Sie lassen sich entsprechend ihrer Gefügeausbildung und der Mechanismen zur Festigkeitssteigerung einteilen in mischkristallhärtende und ausscheidungs-härtende Legierungen (Bild 6.2). Beschrieben wird damit der Mechanismus zur Steigerung der Festigkeit, welcher sich charakteristisch im Verhalten bei Umformungs- und Temperprozessen in der Fertigung der Werkstoffe und in der Gefügeausbildung äußert (Bild 6.3). Eine weitere Unterteilung der Kupferlegierungen kann anhand der Weiterverarbeitungsprozesse erfolgen; in «zerspanbare» Legierungen, meist in Stangen- und Drahtform gefertigt und «schlecht zerspanbare» und dafür gut «stanzbare» Legierungen – meist als Band gefertigt.

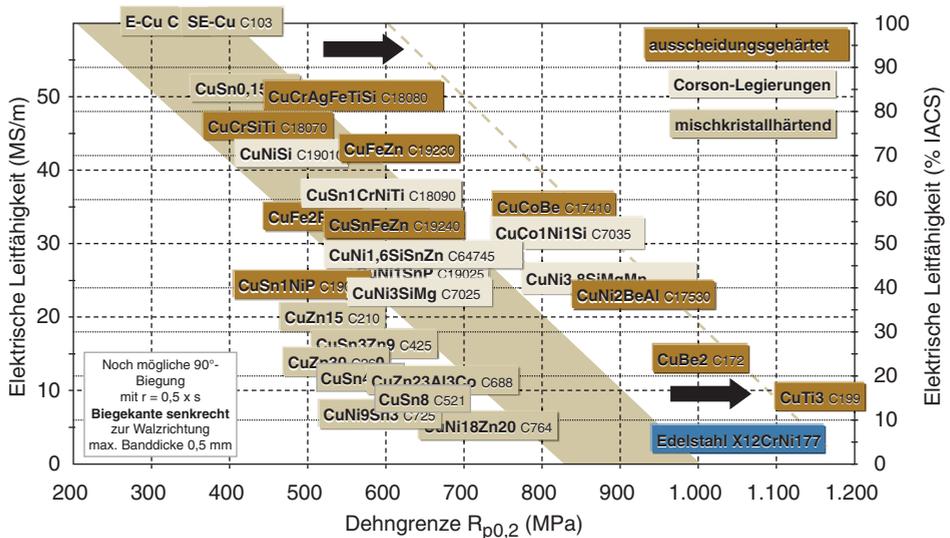


Bild 6.2 Beispiele für ausscheidungs-härtende und mischkristallhärtende Cu-Legierungen, welche als Bandwerkstoffe zur Verfügung stehen, in Abhängigkeit von Leitfähigkeit σ und Streckgrenze $R_{p0,2}$ [6.2; 6.3]

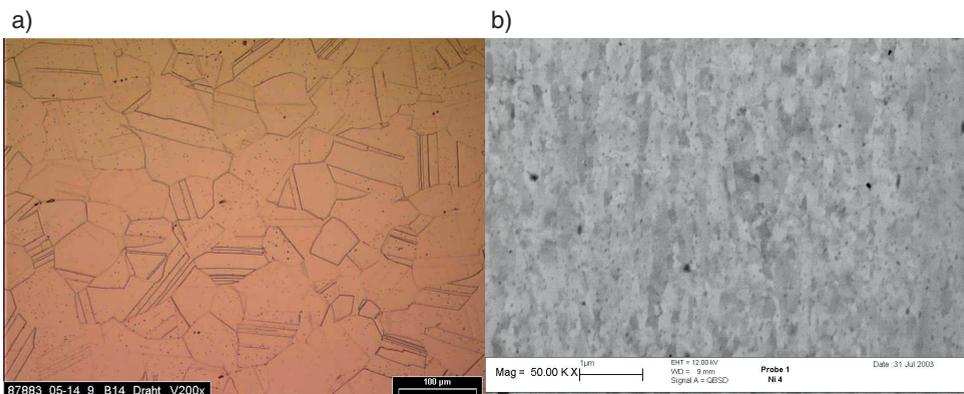


Bild 6.3 Gefügeausbildung bei a) mischkristallhärtenden Legierungen (Bsp. CuSn6) und b) ausscheidungs-härtenden Legierungen (Bsp. CuNi3SiMg) [6.5]

Reines Kupfer besitzt eine ausgezeichnete elektrische und thermische Leitfähigkeit, weist allerdings im unlegierten Zustand für die meisten Anwendungsfälle unzureichende mechanische Eigenschaften auf. Durch Zulegieren von metallischen oder nicht-metallischen Elementen, welche in der Kupfermatrix löslich oder unlöslich sind, lässt sich die Festigkeit des Grundmetalls steigern.