

Inhaltsverzeichnis

	Einführung	1
1	Grundbegriffe zu elektrischen Kontakten	6
	<i>V. Behrens</i>	
1.1	Einleitung	6
1.2	Der geschlossene Kontakt	6
1.3	Der reibende Kontakt	15
1.4	Der öffnende Kontakt	16
1.5	Der schließende Kontakt	21
1.6	Der offene Kontakt	21
1.7	Kontakte in verschiedenen Medien	22
1.8	Kontakteigenschaften und Statistik	23
	Literatur	23
2	Kontaktwerkstoffe auf Gold-, Palladium- und Platinbasis für niedrige und mittlere elektrische Belastungen	24
	<i>R. Paulsen</i>	
2.1	Einleitung	24
2.2	Verfügbarkeit und Eigenschaften der Werkstoffe Gold, Palladium, Platin und Silber	24
2.2.1	Gold	24
2.2.2	Palladium	26
2.2.3	Platin	28
2.2.4	Silber	29
2.3	Anwendungsbezogene Kontaktwerkstoff-Eigenschaften	31
2.3.1	Schaltkontakte	31
2.3.2	Gleitkontakte	40
2.3.2.1	Monolithisch einsetzbare Kontaktfedern auf Edelmetallbasis	43
2.3.3	Steckkontakte	43
2.4	Zusammenfassung und Aussicht	48
	Literatur	48
3	Herstellverfahren und Prüfungen von Kontaktschichten in der Nachrichtentechnik	49
	<i>R. Paulsen</i>	
3.1	Herstellverfahren	49
3.1.1	Walzplattierverfahren	49
3.1.1.1	Plattenplattierung	49
3.1.1.2	Kaltwalzplattieren	50
3.1.1.3	Sonderverfahren	54
3.1.2	Feuerverzinnung	54
3.1.3	Mehrschichtplattierungen von Kontaktprofilen	55
3.1.4	Galvanische Beschichtungen	57
3.1.5	Vakuumtechnische Beschichtung	59

3.1.6	Wesentliche Unterschiede zwischen den Beschichtungsverfahren und Vergleich der Schichteigenschaften	60
3.2	Prüfverfahren für Kontakthalbzeuge und Teile	61
3.2.1	DIN IEC 60512	62
3.2.2	DIN 40046-36 / - 37	62
3.2.3	DIN IEC 60603	62
3.2.4	DIN EN 60068	62
3.2.5	VG 95324	62
3.2.6	Schichtdickenmessung	62
3.2.7	Oberflächenrauigkeit	63
3.2.8	Oberflächenreinheit	63
3.2.9	Härte	63
3.2.10	Duktilität	63
3.2.11	Elektrische Leitfähigkeit	63
3.2.12	Kontaktwiderstand	63
3.2.13	Schaltkontaktprüfung	65
3.2.14	Prüfung mechanischer Verschleiß	67
3.2.15	Korrosionsprüfungen	69
3.3	Zusammenfassung und Aussicht Literatur	71 72
4	Kontaktträgerwerkstoffe auf Kupferbasis <i>G. Müller und U. Hoffmann</i>	73
4.1	Einführung	73
4.2	Grundlagen	74
4.2.1	Die Wechselwirkung zwischen mechanischen und elektrischen Eigenschaften	74
4.2.2	Naturharte Werkstoffe	76
4.2.3	Ausscheidungsverfestigende Werkstoffe	77
4.2.4	Dispersionsverfestigte Werkstoffe	79
4.3	Physikalische Eigenschaften	79
4.4	Mechanische Eigenschaften	81
4.4.1	Federbiegegrenze	81
4.4.2	Biegewechselfestigkeit	83
4.4.3	Verhalten unter thermischer Beanspruchung	84
4.4.3.1	Entfestigungsverhalten	84
4.4.3.2	Relaxationsverhalten	86
4.5	Biegeverhalten	87
4.6	Korrosionsverhalten	90
4.7	Verzinnung	90
4.8	Fügeverfahren	93
4.9	Zusammenfassung Literatur	95 95
5	Kontaktträgerwerkstoffe auf Eisenbasis und Sonderlegierungen <i>G. Sedlmayr und J. Ulmer</i>	97
5.1	Einleitung	97
5.2	Kontaktträgerwerkstoffe auf Eisenbasis	97
5.3	Legierungen auf Nickel- / Kobalt-Basis	98

5.4	Werkstoffe mit besonderen physikalischen Eigenschaften	99
5.5	Thermobimetalle	100
5.6	Formgedächtnislegierungen	103
	Literatur	105
6	Steckverbinderkontakte der Elektrotechnik und Elektronik	106
	<i>J. Horn</i>	
6.1	Anwendungsgebiete von Steckverbindern	106
6.2	Ausführungsformen von Steckverbindern	107
6.2.1	Prinzipieller Aufbau eines Steckverbinders	107
6.2.2	Leiterplattensteckverbinder	108
6.2.3	Flach- und Rundsteckverbinder	109
6.2.4	Sockel und Fassungen	109
6.2.5	Nullkraftsteckverbinder	109
6.2.6	Montagearten	109
6.3	Funktionelle Anforderungen an Steckverbinder	110
6.3.1	Elektrisches Verhalten	110
6.3.2	Mechanisches Verhalten	110
6.3.3	Konstanz der funktionellen Eigenschaften	110
6.4	Prinzipieller Aufbau und Funktion eines Steckverbinderkontaktes	111
6.5	Funktionelle Kenngrößen von Steckverbinderkontakten	114
6.5.1	Kontaktdurchgangswiderstand	114
6.5.1.1	Anschlusswiderstand	116
6.5.1.2	Widerstand des Kontaktkörpers	116
6.5.1.3	Kontakt-Engwiderstand	116
6.5.1.4	Fremdschichtwiderstand	117
6.5.2	Strombelastbarkeit von Steckverbinderkontakten	118
6.5.2.1	Strombelastbarkeit der Kontaktzone	118
6.5.2.2	Stationäre Strombelastbarkeit von Kontaktsystemen	119
6.5.2.3	Derating-Kurven mehrpolige Steckverbinder	123
6.5.3	Steck- und Ziehkraft; Verschleißverhalten	123
6.6	Werkstoffe und Beschichtungen für Steckverbinderkontakte	128
6.6.1	Basiswerkstoffe	128
6.6.2	Beschichtungen von Steckverbinderkontakten	133
6.6.2.1	Überblick zu Schichtwerkstoffen und Beschichtungsverfahren	133
6.6.2.2	Edelmetallbeschichtungen	135
6.6.2.3	Nicht-Edelmetallbeschichtungen	138
7	Anwendungsbeispiele für schaltende Kontakte in der Informationstechnik	141
	<i>W. Schmitt, F. Kaspar und V. Behrens</i>	
7.1	Einführung	141
7.2	Definition der Informationstechnik	141
7.3	Anforderungen an das Kontaktsystem	142
7.4	Kontaktschichten für Schaltkontakte der Informationstechnik	143
7.4.1	Gold	143
7.4.2	Silber	143
7.4.3	Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium	144
7.4.4	Leitfähige Kunststoffe	144

7.5	Kontakttypen	145
7.5.1	Kontaktните	145
7.5.2	Miniprofile	145
7.5.3	Geprägte Kontakte	146
7.5.4	Schnappscheiben	147
7.6	Herstellung von Kontaktschichten	148
7.6.1	Herstellung aus der festen Phase: Walzplattieren	148
7.6.2	Galvanische Abscheidung	149
7.6.3	Beschichtung aus der Gasphase: Sputtern	150
7.6.4	Leitfähige Kunststoffe	151
7.6.5	Gedruckte leitfähige Pasten	151
7.7	Kontaktdesign	152
7.7.1	Kontaktdesign eines Einzelkontaktes	152
7.7.2	Kontaktdesign eines Doppelkontaktes	153
7.8	Kontaktzuverlässigkeit	154
7.8.1	Mechanismen für Kontaktstörungen	154
7.8.2	Korrosion	154
7.8.3	Verschärfung der Korrosion bei anliegender Spannung	157
7.8.4	Kleinklima	158
7.9	Beispiele für Schaltkontakte in der Informationstechnik	159
7.9.1	Positionsschalter	159
7.9.2	Tasten	164
7.9.2.1	Schnappscheiben auf Leiterplatten	164
7.9.2.2	Folientastatur	166
7.9.3	Relais	167
7.9.3.1	Telekomrelais	168
7.9.3.2	Reedrelais	170
7.9.3.3	Mikromechanisches Relais	172
	Literatur	176
8	Kontaktwerkstoffe auf Silberbasis	177
	<i>P. Braumann</i>	
8.1	Einführung	177
8.2	Silber und Silberlegierungen	178
8.2.1	Feinsilber	178
8.2.2	Silber-Legierungen AgNi 0,15 (Feinkornsilber) und AgCu	180
8.2.3	Weitere Silber-Legierungen	180
8.2.4	Verbindungstechnik	181
8.2.5	Physikalische und technische Eigenschaften	181
8.2.6	Kontakt- und Schalteigenschaften sowie Anwendungen	181
8.3	Silber-Verbundwerkstoffe	182
8.3.1	Silber-Nickel-Verbundwerkstoff (Ag/Ni)	182
8.3.1.1	Herstellung	182
8.3.1.2	Verbindungstechnik	183
8.3.1.3	Physikalische Eigenschaften	183
8.3.1.4	Kontakt- und Schalteigenschaften sowie Anwendungen	184
8.3.2	Silber-Metalloxid-Verbundwerkstoffe	184
8.3.2.1	Herstellung über die Pulvermetallurgie	185
8.3.2.2	Innere Oxidation	189
8.3.2.3	Physikalische Eigenschaften von Silber-Metalloxid	191

8.3.2.4	Kontakt- und Schalteigenschaften	192
8.3.3	Silber-Kohlenstoff-Verbundwerkstoff (Ag/C)	201
8.3.3.1	Herstellung	201
8.3.3.2	Physikalische Eigenschaften	202
8.3.3.3	Kontakt- und Schalteigenschaften	203
8.3.4	Silber-Verbundwerkstoffe Ag/W, Ag/WC und Ag/Mo	204
8.3.4.1	Herstellung	204
8.3.4.2	Physikalische Eigenschaften	205
8.3.4.3	Kontakt- und Schalteigenschaften	205
8.3.5	Silber-Verbundwerkstoffe Ag/WC/C	206
	Literatur	207
9	Verbindungstechniken für elektrische Kontakte	209
	<i>G. Sedlmayr</i>	
9.1	Mechanische Verbindungsverfahren	209
9.2	Löten von elektrischen Kontakten	212
9.2.1	Hartlote auf Silberbasis	213
9.2.2	Flussmittel	215
9.2.3	Flussmittelfreie Lote	216
9.2.4	Positionierung der Kontakte	216
9.2.5	Lötverfahren für Kontaktwerkstoffe	216
9.2.5.1	Flammlöten	217
9.2.5.2	Ofenlötung – direkte und indirekte Erwärmung	217
9.2.5.3	Widerstandslöten	218
9.2.5.4	Induktionslöten	219
9.3	Schweißen von elektrischen Kontakten	222
9.3.1	Schweißverfahren für Teile und Halbzeuge	222
9.3.2	Kaltpressschweißen – Nietkalterschweißen	223
9.3.3	Pressstumpfschweißen - Nietwarmschweißen	223
9.3.4	Widerstandsschweißen von Kontaktplättchen und Profilabschnitten	225
9.3.4.1	Buckelschweißen	225
9.3.4.2	Plättchenaufschweißen	225
6.3.4.3	Kontaktschweißen mit vertikaler Drahtzuführung	228
9.3.4.4	Profilabschnittschweißen	231
9.3.4.5	Kurzzeit-Abbreinstumpfschweißen / Perkussionsschweißen	233
9.3.4.6	Schallschweißen	233
9.3.4.7	Laserschweißen	235
9.3.4.8	Elektronenstrahlschweißen	237
9.3.4.9	Sonderschweißverfahren	238
9.4	Kontaktteile aus Halbzeugen	238
9.5	Prüfverfahren zur Qualitätssicherung in der Verbindungstechnik	239
9.5.1	Qualitätsprüfung	239
9.5.2	Qualitäts-Überwachung	240
9.5.3	Qualitätsregelung	241
	Literatur	241

10	Prüfung von elektrischen Kontakten der Energietechnik	243
	<i>P. Braumann</i>	
10.1	Einführung	243
10.1.1	Kontakt- und Schalteigenschaften als Systemgröße	243
10.1.2	Werkstoffprüfungen und Geräteprüfungen	246
10.2	Werkstoffkundliche Untersuchungsverfahren	248
10.2.1	Gefügeuntersuchungen	248
10.2.2	sonstige Messverfahren	249
10.3	Messgrößen bei der Prüfung des Schaltverhaltens	250
10.3.1	Einschaltvorgang	250
10.3.2	Stromführungsphase	251
10.3.3	Ausschaltvorgang	251
10.4	Prüfungen mit Modellschaltern	252
10.4.1	Einschaltprüfstand	252
10.4.2	Ausschaltprüfstand	255
10.5	Prüfungen in serienmäßigen Motorschaltern	258
10.5.1	Normen	258
10.5.2	Besonderheiten der Prüfung von Kontaktwerkstoffen	259
10.6	Analyse der Ein- und Ausschaltvorgänge	259
10.6.1	Mess- und Steuerkreis	259
10.6.2	Analyse der Einschaltvorgänge	260
10.6.2.1	Prellidiagramm	261
10.6.2.2	Schalt-Synchronismus	262
10.6.2.3	Phasenfolge und Schließverzug	262
10.6.2.4	Energieumsatz beim Prellen	264
10.6.2.5	Anwendung der Einschaltanalyse bei der Kontaktwerkstoffentwicklung	265
10.6.3	Analyse der Ausschaltvorgänge	267
10.6.3.1	Schaltsynchronismus	268
10.6.3.2	Phasenfolge und Öffnungsverzug	269
10.6.3.3	Lichtbogenenergie	269
10.6.3.4	Spezifischer Ausschaltabbrand	270
	Literatur	272
11	Anwendungsbeispiele für Schaltkontakte in der Energietechnik	273
	<i>V. Behrens und E. Vinaricky</i>	
11.1	Einführung	273
11.2	Steuer- und Regeltechnik	274
11.3	Niederspannungs-Energietechnik	276
11.3.1	Motorschalter	276
11.3.2	Schutzschalter	282
11.4	Mittel- und Hochspannungs-Energietechnik	285
11.4.1	Allgemeines	285
11.4.2	Vakuumschalter	286
11.4.2.1	Vakuumschütze	288
11.4.2.2	Vakuumleistungsschalter	290
11.4.3	Hochspannungs-Leistungsschalter	293
	Literatur	296

12	Schaltkontakte im Kraftfahrzeug	298
	<i>Th. Schöpf und J.Weiser</i>	
12.1	Einleitung	298
12.1.1	Anforderungen an die Lebensdauer von Kfz-Relais	298
12.1.2	Elektrische Lastarten in Kraftfahrzeugen und resultierende Anforderungen an das Schaltgerät	301
12.1.3	Betrieb von Relais unter den Einsatzbedingungen von Kraftfahrzeugen	302
12.1.4	Aspekte zur Durchführung von Lebensdauerprüfungen	305
12.2	Verschiedene Kontaktwerkstoffe in klassischen Relaisanwendungen im Kraftfahrzeug	306
12.2.1	Motorlast	306
12.2.2	Blinkerlampenlast	309
12.2.3	Scheinwerfer-Lampenlast	313
12.3	Schaltkontakte im 42 V PowerNet	315
12.3.1	Lastgrenzkurve	316
12.3.2	Quasistatische Lichtbogencharakteristiken (U-I-Kennlinien)	316
12.3.3	Lichtbogendauer bei verschiedenen Kontaktkonfigurationen und Belastungen	319
12.3.4	Kontaktwerkstoffe	321
	Literatur	322
13	Elektrische Kontakte und Schadstoffe: Ein Überblick	323
	<i>V. Behrens</i>	
13.1	Einführung	323
13.2	Schadstoffe in Schaltgeräten und Komponenten	323
13.2.1	Kontaktwerkstoffe	323
13.2.1.1	Silber / Cadmiumoxid (Ag/CdO)	323
13.2.1.2	Cadmiumhaltige Goldlegierungen	324
13.2.1.3	Silber / Nickel (Ag/Ni)	325
13.2.1.4	Quecksilber (Hg)	326
13.2.1.5	Weitere Kontaktwerkstoffe	327
13.2.2	Lote	327
13.2.2.1	Hartlote	327
13.2.2.2	Weichlote	327
13.2.3	Trägerwerkstoffe	328
13.2.3.1	Kupfer-Beryllium (Cu-Be)	328
13.2.3.2	Blei (PB) als Zusatz zu Metallen	328
13.2.4	Schalt- und Isoliermedien	329
13.2.5	Kunststoffe	330
13.3	Gesetzliche Beschränkungen	331
13.3.1	Behandlung von Schadstoffen auf Ebene der Europäischen Union	331
13.3.1.1	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	331
13.3.1.2	EU-Altautoverordnung (ELV)	332
13.3.1.3	EU-Elektro- und Elektronik-Altgeräteverordnungen (WEEE und ROHS)	332
13.3.1.4	EU-REACH-Verordnung	333

13.3.2	Regelungen außerhalb der EU	333
13.3.2.1	Schweiz	333
13.3.2.2	China	334
13.3.2.3	Korea	334
13.3.2.4	Japan	334
13.3.2.5	USA	334
13.4	Regelungen in der Industrie	334
	Literatur	335
14	Oberflächenanalytische Methoden zur Aufklärung von Funktionsstörungen elektrischer Kontakte	338
	<i>J. Fischer-Bühner</i>	
14.1	Einführung	338
14.2	Übersicht und Gemeinsamkeiten der Methoden	339
14.3	Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Elektronenstrahl- mikroanalyse (ESMA, EDX, WDX)	343
14.3.1	Abbildung mit dem REM	343
14.3.2	Elementaranalyse im REM mittels ESMA: Messprinzip bei EDX / WDX	347
14.3.3	EDX / WDX im REM: Möglichkeiten und Grenzen	352
14.4	Augerelektrovenspektroskopie (AES)	355
14.4.1	Messprinzip der Auger-Analyse	355
14.4.2	AES: Möglichkeiten und Grenzen	361
14.5	Photoelektrovenspektroskopie (ESCA, XPS)	361
14.5.1	Messprinzip bei ESCA	361
14.5.2	ESCA: Möglichkeiten und Grenzen	366
14.6	Glimmentladungsspektroskopie (GDOS)	366
14.6.1	Messprinzip der GDOS-Analyse	366
14.6.2	GDOS: Möglichkeiten und Grenzen	370
14.7	Organisation und Vergabe einer Analyse	370
	Literatur	371
	Stichwortverzeichnis	372
	Autorenverzeichnis	