

# Verbindungen und Anschlüsse in der Elektrotechnik

Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Beyer  
Doz. Dr. sc. techn. Petre Iancu  
Dr.-Ing. Manfred Merkel

# Inhaltsverzeichnis

<b>0. Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Physikalisch-technische Grundlagen der Herstellung elektrisch leitender Verbindungen und Anschlüsse</b> .....	<b>11</b>
1.1. Werkstoffe für Leiter und Armaturen .....	11
1.1.1. Einige Grundlagen der elektrischen Leitfähigkeit .....	11
1.1.2. Leiterwerkstoffe .....	17
1.2. Ruhende elektrische Kontakte .....	24
1.2.1. Allgemeines .....	24
1.2.2. Kontaktflächen .....	25
1.2.3. Kontaktwiderstand .....	30
1.3. Forderungen an elektrisch leitende Verbindungen und Anschlüsse .....	36
1.4. Verhalten des Übergangswiderstands bei elektrischer Belastung .....	37
1.4.1. Erwärmung der Kontaktstelle bei Stromfluß .....	37
1.4.2. Zeitverhalten des Übergangswiderstands bei Strombelastung .....	41
1.4.3. Prüfvorschriften — Zeitverhalten des Übergangswiderstands .....	45
1.5. Wirkung und Prüfung von Umgebungsbelastungen .....	51
1.5.1. Klassifizierung von Umgebungsbedingungen .....	51
1.5.1.1. Umgebungsklassen .....	51
1.5.1.2. Einsatzklassen .....	52
1.5.2. Klimatische Belastungen .....	52
1.5.2.1. Technoklimatische Einteilung der Erde, Lufttemperatur und -feuchte .....	52
1.5.2.2. Einfluß und Prüfung .....	53
1.5.3. Belastungen durch chemisch aktive Stoffe .....	55
1.5.4. Mechanische Belastungen .....	57
1.5.4.1. Darstellung der schadensäquivalenten mechanischen Prüfung .....	57
1.5.4.2. Ermittlung der Feldbedingungen, Ableitung von Prüfvorschriften .....	60
1.5.4.3. Prüfvorschriften — dynamische Belastungen .....	62
1.6. Kombinierte elektrische und Umgebungsbelastungen .....	68
1.6.1. Allgemeine Grundlagen .....	68
1.6.2. Prüfvorschriften .....	69
<b>2. Systematisierung der Verfahren zur Herstellung elektrisch leitender Verbindungen und Anschlüsse</b> .....	<b>70</b>
2.1. Allgemeines .....	70
2.2. Allgemeine Ordnungsprinzipien .....	70
2.3. Kriterien zur Systematisierung der Verbindungs- und Anschlußverfahren .....	75

<b>3. Verbindungen und Anschlüsse, hergestellt durch Bearbeitungsvorgänge . . . . .</b>	79
3.1. Allgemeines, Systematisierung . . . . .	79
3.2. Herstellung von Verbindungen und Anschläßen unter Nutzung thermischer Energie — ihre Anwendung in der elektrotechnischen Industrie . . . . .	81
3.2.1. Schmelzschweißen . . . . .	81
3.2.1.1. Besonderheiten des Schmelzschweißens von Aluminium und seinen Legierungen . . . . .	82
3.2.1.2. Besonderheiten des Schmelzschweißens von Kupfer und seinen Legierungen . . . . .	83
3.2.1.3. Besonderheiten beim Schmelzschweißen von Metallkombinationen . . . . .	84
3.2.1.4. Gasschweißen von Aluminium und Kupfer sowie ihren Legierungen . . . . .	89
3.2.1.5. Schutzgasschweißen von Aluminium und Kupfer sowie ihren Legierungen . . . . .	93
3.2.1.6. Aluminothermisches Schweißen . . . . .	96
3.2.1.7. Schmelzschweißen nicht artgleicher Metalle" . . . . .	97
3.2.2. Löten . . . . .	104
3.2.2.1. Allgemeines, Systematisierung . . . . .	104
3.2.2.2. Beim Löten ablaufende Prozesse . . . . .	105
3.2.2.3. Zusatz- und Hilfswerkstoffe . . . . .	109
3.2.2.4. Weichlötverfahren und ihre Anwendung in der elektrotechnischen Industrie . . . . .	111
3.2.2.5. Prüfung der Lötbarkeit . . . . .	118
3.3. Verfahren unter Nutzung thermischer und mechanischer Energie . . . . .	120
3.3.1. Allgemeines . . . . .	120
3.3.2. Preßschweißen . . . . .	120
3.3.2.1. Verbindungsbildung . . . . .	120
3.3.2.2. Preßschweißverfahren mit Widerstandserwärmung und teilweisem Schmelzen . . . . .	122
3.3.2.3. Preßschweißverfahren mit Widerstandserwärmung ohne Schmelzen . . . . .	127
3.3.2.4. Preßschweißverfahren unter Nutzung der Reibung . . . . .	127
3.3.2.5. Preßschweißverfahren mit Erwärmung im Lichtbogen und teilweisem Schmelzen der zu verbindenden Flächen . . . . .	131
3.3.2.6. Preßschweißverfahren unter Nutzung der Explosionsenergie (Explosivschweißen) . . . . .	133
3.3.2.7. Preßschweißverfahren mit Langzeiterwärmung im Vakuum oder in Schutzgasatmosphäre (Diffusionsschweißen) . . . . .	136
3.4. Verfahren unter Nutzung rein mechanischer Energie . . . . .	137
3.4.1. Kaltpreßschweißen . . . . .	137
3.4.1.1. Zur Theorie der Verbindungsbildung . . . . .	138
3.4.1.2. Verfahrensvarianten und ihre praktische Anwendung . . . . .	141
3.4.2. Preßverbindungen . . . . .	156
3.4.2.1. Allgemeines, theoretische Grundlagen . . . . .	156
3.4.2.2. Eindruckpressen . . . . .	181
3.4.2.3. Umfangpressen . . . . .	187
3.4.2.4. Rollpressen . . . . .	192
3.4.3. Wickelverbindungen . . . . .	211
3.4.3.1. Allgemeines, Grundlagen . . . . .	211
3.4.3.2. Eigenschaften von Wickelverbindungen, Anschlußarmaturen und Drähten . . . . .	215
3.4.3.3. Einsatz und Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	219
<b>4. Verbindungen und Anschlüsse, hergestellt durch Bewegungsvorgänge . . . . .</b>	222
4.1. Allgemeines, Systematisierung . . . . .	222
4.1.1. Kriterium „Wirkbewegung“ . . . . .	223
4.1.2. Kriterium „Übertragung des Kontaktdrucks“ . . . . .	225

<b>4.2. Klemmen</b> . . . . .	226
4.2.1. Grundlagen der Herstellung von Klemmverbindungen . . . . .	226
4.2.2. Ausführungsformen und ihre Eigenschaften . . . . .	228
<b>4.3. Stecken</b> . . . . .	236
4.3.1. Grundlagen der Steckverbindung . . . . .	236
4.3.2. Ausführungsformen und ihre Eigenschaften . . . . .	239
<b>5. Vorbereitung der Verbindungs- und Anschlußelemente sowie Möglichkeiten zur Kontaktverbesserung von Aluminium</b> . . . . .	253
5.1. Drahtbereitstellung . . . . .	253
5.2. Verfahren zum Abisolieren . . . . .	254
5.3. Möglichkeiten zur Verbesserung des Kontaktverhaltens von Aluminium . . . . .	258
5.3.1. Allgemeines . . . . .	258
5.3.2. Verbundwerkstoffe . . . . .	260
<b>6. Aufbau eines Informationssystems der Verbindungs- und Anschlußtechnik</b> . . . . .	268
6.1. Allgemeines, Prinzipien . . . . .	268
6.2. Programmablaufpläne zur Auswahl von elektrisch leitenden Verbindungen und Anschlüssen . . . . .	271
6.3. Datenspeicherung zur Auswahl von Verbindungs- und Anschlußverfahren . . . . .	282
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	284
<b>Sachwörterverzeichnis</b> . . . . .	300