

Inhaltsverzeichnis

1 Weichlöten in der Elektronik

1.1 Stellung des Weichlötens	19
1.1.1 Weichlöten als System	19
1.1.1.1 Weichlötparameter	19
1.1.1.2 Das Weichlötssystem	22
1.1.2 Parameter im Weichlötssystem	24
1.1.2.1 Konstruktion	24
1.1.2.2 Werkstoffe	24
1.1.2.3 Verfahren	25
1.1.2.4 Kontrolle und Nacharbeit	25
1.1.3 Normung	25
1.1.4 Zuverlässigkeit des Weichlötens	26
1.2 Grundlegende Aspekte des Weichlötens	27
1.2.1 Erwärmen	28
1.2.2 Benetzen der Oberfläche	28
1.2.3 Der Fluß des Lotes	29
1.2.4 Ausreichende Menge Lot	29
1.2.5 Fixierung der Bauteile bei der Erstarrung des Lotes	29

2 Benetzung der Oberflächen

2.1 Oberflächenspannung	32
2.1.1 Zur Theorie der Oberflächenspannung	32
2.1.2 Gleichgewichtsform von Tropfen	34
2.1.3 Der Ursprung der Oberflächenspannung	35
2.1.4 Einfluß der Oberflächenrauigkeit und Rillen	37
2.1.5 Gleichgewichtsbedingungen	37
2.2 Konturen flüssiger Lotoberflächen	38
2.2.1 Eine in Lot eingetauchte Platte	38
2.2.2 In Lot eingetauchter Draht	42
2.2.3 Rechtwinklige Platten	42
2.2.4 Lötstellen auf einem Draht	43
2.2.5 Liegende Lottropfen	46
2.2.6 Lottropfen auf einem Draht	47

2.3	Ausmaß der Benetzung	48
2.3.1	Notwendigkeit eines Flußmittels	49
2.3.2	Fortschreiten der Benetzung	50
2.3.3	Entnetzung	52
	2.3.3.1 Auflösung benetzbarer Überzüge auf nicht benetzbaren Substraten	53
	2.3.3.2 Nicht benetzbare Stellen	53
	2.3.3.3 Verunreinigtes Lot	56
	2.3.3.4 Rechenmodell für Entnetzung aufgrund nicht benetzbarer Punkte	57
2.3.4	Benetzung mit Hilfe von Ultraschall	59
	2.3.4.1 Prinzip	59
	2.3.4.2 Anwendungen	60
	2.3.4.3 Bewertung	61
2.4	Anhang zu Kapitel 2	61
2.4.1	Berechnung der idealen Kuppe	61
2.4.2	Berechnung der flüssigen Lotoberfläche	65

3 Thermische Aspekte des Weichlötens

3.1	Löten und Wärme	67
3.1.1	Aufheizstrategien	68
3.1.2	Sicherer Bereich für das Weichlöten	69
3.2	Aufheizen der Leiterplatten	70
3.2.1	Örtliche Erwärmung	71
	3.2.1.1 Thermisch dünne Platten	71
	3.2.1.2 Thermisch dicke Platten	72
3.2.2	Gleichmäßiges Aufheizen durch die Platten	74
3.3	Erwärmen von Bauteilen	76
3.3.1	Das Modell und das Temperatur/Zeit-Diagramm	76
3.3.2	Die thermischen Hauptgrößen des Modells	80
	3.3.2.1 Wärmekapazität	80
	3.3.2.2 Thermischer Widerstand	80
	3.3.2.3 Die Schädigungstemperatur	82
3.3.3	Die Anwendbarkeit des Modells	82
3.3.4	Modellrechnungen von Kondensatoren	83
3.3.5	Vorwärmung	84
3.3.6	Messung der Bauteiltemperatur	86
3.4	Thermische Angleichung	89
3.4.1	Angehobene Bestückung mit Bauteilen	89
3.4.2	Gedruckte Schaltungen	90
3.4.3	Abscheidungsdicke in den Löchern	91
3.4.4	Drähte in Löchern	93

4 Weichlotlegierungen

4.1	Zinn-Blei-Lote	94
4.1.1	Die Verwendung der Weichlote	94
4.1.2	Formen (fester) Lote	95
4.1.3	Drähte mit Seele	96
4.1.4	Gesundheitliche Aspekte der Weichlote	97

4.2. Metallurgie der Zinn-Blei-Legierungen	97
4.2.1 Zustandsdiagramme	98
4.2.2 Abkühlungskurven	100
4.2.3 Zinnpest	101
4.2.4 Whisker	102
4.2.5 Intermetallische Verbindungsschichten (IMV)	102
4.2.5.1 Zinn-Gold-IMV	102
4.2.5.2 Zinn-Kupfer-IMV	103
4.2.5.3 Benetzbarkeit	104
4.2.5.4 Sperrschichten	107
4.2.5.5 Zinn-Nickel-IMV	107
4.3 Physikalische Eigenschaften der Zinn-Blei-Legierungen	109
4.3.1 Elastizität	109
4.3.2 Oberflächenspannung	109
4.3.3 Viskosität	110
4.3.4 Dichte der Zinn-Blei-Legierungen	111
4.3.4.1 Andere Elemente im Lot	111
4.3.4.2 Flüssige Metalle	112
4.3.4.3 Wärmeausdehnungskoeffizienten	112
4.3.5 Spezifische Wärme	112
4.3.6 Elektrischer Widerstand und thermische Leitfähigkeit	112
4.4 Verunreinigungen in Weichloten	113
4.4.1 Zusammensetzung	113
4.4.2 Antimon	114
4.4.3 Kupfer	115
4.4.4 Silber und Gold	115
4.4.5 Aluminium, Zink und Cadmium	116
4.4.6 Eisen und Nickel	116
4.4.7 Wismut	117
4.4.8 Nichtmetalle	117
4.4.9 Zusätze zur Steigerung der Festigkeit	117
4.5 Oxidation von flüssigen Zinn-Blei-Loten	117
4.5.1 Statische Bäder	118
4.5.2 Bewegte Bäder	119
4.6 Auflösung von Substratmetall	121
4.6.1 Lösungsgeschwindigkeit	121
4.6.2 Lösung von Gold	122
4.6.3 Lösung von Silber	123
4.6.4 Lösung von Kupfer	124
4.7 Festigkeitseigenschaften der Weichlote	125
4.7.1 Zug- und Scherfestigkeit	126
4.7.2 Das Kriechen von Loten	127
4.7.3 Dauerbruch	127
4.7.4 Legierungen mit höheren Festigkeiten	129
4.7.5 Lücke zwischen Weich- und Hartlötten	130
4.8 Niedrigschmelzende Legierungen (Fusible Alloys)	130
4.9 Anhang zu Kapitel 4	133
4.9.1 Einige für das Weichlöten wichtige Zustandsdiagramme	133
4.9.2 Bestimmungsmethoden der Lotzusammensetzung	134
4.9.3 Dichtebestimmung von Weichloten	134
4.9.4 Korrektur des Zinn-Blei-Verhältnisses im Lotbad	135

5 Flußmittel für das Weichlöten

5.1 Wirksamkeit von Flußmitteln	138
5.1.1 Flußmittelaktivität	138
5.1.2 Einfluß der Löttemperatur	139
5.1.3 Schutzwirkung von Flußmitteln	140
5.1.4 Schutzatmosphären	140
5.2 Korrosivität der Flußmittel	141
5.2.1 Flußmittelprüfung	141
5.2.1.1 Halidgehalt in Flußmitteln	141
5.2.1.2 Säurewert der Flußmittel	141
5.2.1.3 Elektrischer Widerstand des Wasserextraktes von Flußmitteln	142
5.2.1.4 Kupferspiegeltest für den direkten Korrosionsangriff	142
5.2.1.5 Abbau der mechanischen Festigkeit von Drähten	143
5.2.2 Tests an gelöteten Leiterplatten	143
5.2.2.1 Klimatests zum Verhalten von Flußmittelrückständen	143
5.2.2.2 Oberflächenwiderstand gelöteter Platten	144
5.3 Oberflächenverunreinigungen	146
5.3.1 Kupferoxide	146
5.3.1.1 Dampf-Wärmebehandlung	148
5.3.1.2 Chromatfilme	148
5.3.2 Zinnoxide	148
5.3.3 Sulfide	149
5.4 Chemische Wirkung der Flußmittel	149
5.4.1 Flußmittelreaktion mit Metalloxiden	150
5.4.1.1 Flußmittelwirkung des Zinkchlorids	151
5.4.1.2 Hofbildung	152
5.4.2 Eisschalen-Theorie	153
5.4.3 Andere Schichten	153
5.5 In organischen Lösungsmitteln lösliche Flußmittel	154
5.5.1 Kolophonium	155
5.5.2 Nichtaktivierte Harzflußmittel	157
5.5.3 Aktivierte Harzflußmittel	157
5.5.3.1 Organische Salze DEA HCl und DMA HCl	158
5.5.3.2 Organische Säuren	159
5.5.4 Festigkeit der Flußmittelrückstand-Schicht	160
5.5.5 Beispiele für den Einsatz von Harzflußmitteln	160
5.5.5.1 Flußmittel für professionelle Elektronik	160
5.5.5.2 Flußmittel für Consumer Elektronik	161
5.6 Wasserlösliche Flußmittel	161
5.6.1 Zusammensetzung der wasserlöslichen Flußmittel	161
5.6.2 Flußmittel mit anorganischen Salzen	163
5.6.3 Flußmittel mit organischen Salzen	163
5.6.4 Flußmittel mit organischen Säuren	164
5.6.5 Flußmittel mit organischen Haliden und organischen Säuren	164
5.6.6 Flußmittel mit Aminen und Amiden	164
5.6.7 Beispiele für wasserlösliche Flußmittel	164
5.7 Waschen von gelöteten Teilen	165
5.7.1 Waschen von Platten nach dem Löten mit Harzflußmitteln	166
5.7.2 Waschen von Platten nach dem Löten mit wasserlöslichen Flußmitteln	167
5.7.3 Reinheitsprüfung der Platten	168
5.7.3.1 Spezifischer Widerstand von Spülwasser	168
5.7.3.2 Ionograph	169

5.8	Umweltaspekte der Flußmittel	170
5.8.1	Kolophonium	170
5.8.2	Lösungsmittel	170
5.8.3	Aktivatoren	171
5.9	Normung der Flußmittel	171
5.10	Anhang zu Kapitel 5	173
6	Weichlötbare Werkstoffe	
6.1	Blanke Substrate	174
6.1.1	Blankes Kupfer	175
6.1.2	Messing, Bronze, Nickel-Silber u.s.w.	176
6.1.3	Schlecht benetzbare Metalle	177
6.1.3.1	Rostfreier Stahl	177
6.1.3.2	Aluminium	177
6.2	Beschichtete Werkstoffe	178
6.2.1	Weichlötbare Beschichtungen	178
6.2.2	Verfahren zum Beschichten bestimmter Partien und Vorratsmaterial	179
6.3	Elektrolytisch abgeschiedene Zinn und Zinn-Blei-Überzüge	179
6.3.1	Zwischenschichten	181
6.3.1.1	Adhäsion	181
6.3.1.2	Sperrschichten gegen intermetallische Verbindungen (IMV)	181
6.3.1.3	Sperrschicht gegen Zinkdiffusion	181
6.3.1.4	Korrosionswiderstand	181
6.3.2	Dicke der Überzüge	181
6.3.3	Leiterbahnen auf gedruckten Schaltungen	182
6.3.4	Elektrolytisches Abscheiden auf Draht	183
6.3.5	Elektrolytische Abscheidungsverfahren	184
6.3.5.1	Entfettung (Reinigung)	184
6.3.5.2	Aktivieren der Oberfläche durch Beizen	185
6.3.5.3	Aufbringung von Sperrschichten	185
6.3.5.4	Aufbringung der Zinn- und Zinn-Blei-Überzüge	185
6.3.5.5	Zwischenspülungen	185
6.4	Aufschmelzen von/bzw. heiß aufgebrauchte Lotüberzüge(n)	186
6.4.1	Heißverzinnete Kupferdrähte	186
6.4.2	Heißverzinnen kleiner Teile	187
6.4.2.1	Tauchverzinnen	187
6.4.2.2	Heiß-Trommelverzinnen	188
6.4.3	Aufgeschmolzene Überzüge auf gedruckten Schaltungen; Einebnen	188
6.4.3.1	Lotaufschmelzen	189
6.4.3.2	Einebnen mit Heißluft („Hot Air Levelling“)	189
6.4.3.3	Walzverzinnung	190
6.5	Edelmetall- und Nickelüberzüge	191
6.5.1	Silberüberzüge	191
6.5.2	Goldüberzüge	192
6.5.3	Palladiumüberzüge	194
6.5.4	Nickelüberzüge (und Zinn-Nickel)	194
6.6	Schutzüberzüge zur Erhaltung der Weichlötbarekeit von Leiterplatten	194
6.6.1	Verpacken	194
6.6.2	Organische (Harz-) Beschichtungen	195
6.6.3	Benzotriazol und Benzimidazol auf Kupfer	195

6.7	Zinnwhisker	196
6.7.1	Eigenschaften	197
6.7.2	Einflußgrößen	198
6.7.2.1	Äußerer Überzug	198
6.7.2.2	Substrate	198
6.7.2.3	Zwischenschicht	198
6.7.2.4	Temperatur und Temperaturgradient	199
6.7.2.5	Atmosphäre	199
6.7.2.6	Mechanische Lasten	199
6.7.3	Regeln zur Vermeidung von Whisker	199
6.7.4	Andere Whiskerarten	200

7 Bestimmung der Weichlötbarkeit

7.1	Weichlöten und Weichlötbarkeit	201
7.1.1	Weichlötbarkeit	202
7.1.2	Benetzungszeit und Testtemperatur	202
7.2	Verfahren zur Prüfung der Weichlötbarkeit	203
7.2.1	Die Benetzungswaage	204
7.2.1.1	Prinzip der Benetzungswaage	204
7.2.1.2	Darstellung der Ergebnisse	205
7.2.1.3	Einige repräsentative Kraft-Zeit-Kurven	210
7.2.1.4	Praktische Durchführung der Messung	210
7.2.1.5	Interpretation der Kraft-Zeit-Kurve aus der Sicht von Zeitkonstanten	211
7.2.1.6	Eine Zahl für die Benetzbarkeit aus der Aufschreibung	212
7.2.1.7	Scanning	213
7.2.1.8	Andere Geschwindigkeiten	214
7.2.1.9	Prüfung sehr kleiner Bauteile	214
7.2.2	Tropfenmethode (Drahteintauchtest)	215
7.2.2.1	Prinzip	216
7.2.2.2	Masse der Lotpellets	218
7.2.2.3	Versuchstemperatur	218
7.2.2.4	Thermisches Ansprechen des Heizblocks	219
7.2.2.5	Tropfenmethode zur Messung durchkontaktierter Löcher	221
7.2.2.6	Tropfenmethode für unrunde Querschnitte	222
7.2.2.7	Zeitmessung mit Nadel	222
7.2.3	Drehtauchtest	223
7.2.3.1	Prinzip	223
7.2.3.2	Variationen der Verweilzeit	224
7.2.3.3	Versuchsdurchführung	225
7.2.3.4	Verteilung der Benetzbarkeit durchkontaktierter Löcher	226
7.2.3.5	Appendix	226
7.2.4	Meniskustest	227
7.2.5	Flächenausbreitungstest	228
7.2.6	(Vertikaler) Tauchversuch	230
7.3	Thermische Anforderungen	231
7.3.1	Konzepte	231
7.3.2	Bestimmung des spezifischen Lötabstandes	232
7.4	Widerstand gegen Löthitze	234
7.5	Statistische Auswertung der Messungen	235
7.5.1	Verteilung	235
7.5.2	Extrapolieren	238

7.6 Beschleunigte Alterungsbehandlung	239
7.6.1 Parameter der Alterung	239
7.6.2 Alterungsverfahren	240
7.6.2.1 Alterung der äußeren Oberfläche	240
7.6.2.2 Altern durch Wachsen der intermetallischen Verbindungsschicht (IMV)	241
7.6.3 Spezialfälle	242
7.7 Praktische Prüfung	242
7.7.1 Bedingungen und Durchführung	242
7.7.1.1 Versuchstemperatur	242
7.7.1.2 Zusammensetzung des Lotes	243
7.7.1.3 Zusammensetzung der Testflußmittel	243
7.7.1.4 Aufbringung der Flußmittel	244
7.7.2 Sichtbeurteilung	244
7.7.2.1 95 %-Beschichtung	245
7.7.2.2 Durchkontaktierte Löcher	245
7.7.2.3 Entnetzung	245
7.7.2.4 Sehr kleine Bauteile	248
7.7.3 Prüfanforderungen für Bauteilanschlüsse	249
7.7.3.1 Benetzungszeiten	249
7.7.3.2 Ausmaß der Benetzung	249
7.7.3.3 Permanente Benetzung	249

8 Fügestellen auf gedruckten Schaltungen

8.1 Gedruckte Schaltungen	253
8.1.1 Planheit der Platten	256
8.1.1.1 Krümmung von laminierten Platten	257
8.1.1.2 Biegung der Platten unter der Last von Bauteilen	258
8.1.2 Verbiegung durch Temperaturdifferenzen	258
8.1.3 Trocknen von Platten mit durchkontaktierten Löchern	260
8.2 Bauteile	261
8.2.1 Passive Bauelemente mit Drähten	262
8.2.2 Passive Bauelemente ohne Anschlußdrähte	263
8.2.3 Aktive Bauelemente	264
8.2.4 Elektrostatisch empfindliche Systeme	267
8.3 Auslegung der gedruckten Schaltungen	268
8.3.1 Füllgrad	269
8.3.1.1 Leiterplatten ohne durchkontaktierte Löcher	269
8.3.1.2 Leiterplatten mit durchkontaktierten Löchern	276
8.3.2 Leiterbahnen auf den Platten	277
8.3.2.1 Parallele Leiterbahnen	278
8.3.2.2 Spontane Öffnung bei Kurzschlüssen	280
8.3.2.3 Unterbrochene Lötäugen auf einseitig kaschierten Platten	282
8.3.3 Nahe zusammenstehende Bauteilanschlüsse	282
8.3.4 Vermeidung von Behinderungen des Lotflusses	284
8.3.4.1 Form der Leiterplatten	284
8.3.4.2 Entweichen der Gase	284
8.3.4.3 Gegenseitige Verschattung von Lötstellen	285
8.3.4.4 Isolierte Lötäugen	285
8.3.5 Lötstoplack („Lötresist“)	285
8.3.5.1 Die Verteilung des Lötstoplackes	286
8.3.5.2 Weitere Vorteile	287
8.3.5.3 Schichtdicken und -arten	287

8.4	Mechanische Eigenschaften der Lötstellen	288
8.4.1	Mittlere Lebenserwartung	289
8.4.2	Bruch in Lötstellen	290
8.4.3	Durchkontaktierte Löcher – nicht durchkontaktierte Löcher	294
8.4.4	Fehlstellen in Lötstellen	294
8.4.5	Thermische Aspekte der Gestaltung von Lötstellen	295

9 Maschinelles Löten gedruckter Schaltungen

9.1	Maschinenlöten, maschinelles Löten	297
9.1.1	Verfahrensparameter	298
9.1.2	Werkstoffe für das maschinelle Löten	300
9.1.2.1	Lotlegierungen	300
9.1.2.2	Flußmittel für gedruckte Schaltungen	302
9.1.2.3	Öle	303
9.1.3	Ökologische Aspekte des maschinellen Lötens	303
9.2	Flußmittelauftrag in Lötanlagen	304
9.2.1	Aufschäumen von Flußmittel	305
9.2.2	Flußmittelauftrag durch Wellen	306
9.2.3	Flußmittelauftrag durch Tauchen	307
9.2.4	Aufbürsten von Flußmittel	307
9.2.5	Aufsprühen von Flußmittel	307
9.2.6	Einstellung der gewünschten Dichte des Flußmittels	308
9.2.7	Trocknen des aufgebrachtten Flußmittels (Vorwärmung)	309
9.3	Tauchlöten	311
9.4	Schlepplöten	312
9.5	Wellenlöten (auch Schwallöten)	314
9.5.1	Form der Welle	315
9.5.1.1	Zweiseitige Welle (T-Welle)	317
9.5.1.2	Ausgebreitete Lötwellen	318
9.5.1.3	Einseitige Wellen	320
9.5.1.4	Doppelwellen-Düse	320
9.5.2	Verwendung von Öl beim Wellenlöten	320
9.5.2.1	Öl-Gemisch (Lot-Öl)	321
9.5.2.2	Öleinspritzung	322
9.5.2.3	Direkter Ölauftrag auf die Welle	322
9.5.3	Weichlöten bei Mischbestückung auf beiden Plattenseiten	323
9.5.3.1	Aufbringung des Klebers	323
9.5.3.2	Verfahren	324
9.5.3.3	Lötfehler	325
9.5.4	(Vor-) Löten-Schneiden-Löten	326
9.5.5	Vor- und Nachteile des Wellenlötens	328
9.6	Die Lötmaschine	328
9.6.1	Die Lötstation	331
9.6.1.1	Der Lottank	331
9.6.1.2	Energieverbrauch und Temperatur	332
9.6.2	Das Transportsystem	332
9.6.2.1	Abmessungen	332
9.6.2.2	Kapazität	332
9.6.2.3	Finger-Band	333
9.6.2.4	Bandrücklauf	334

9.6.3	Kühlstation	334
9.6.4	Lötrahmen	334
9.6.5	Werkstoffe für die Lötanlagen	337
9.6.6	Bestimmung der Lötparameter	337
9.6.6.1	Bestimmung der Lötlänge beim Wellenlöten	337
9.6.6.2	Bestimmung der Wellenhöhe	337
9.6.6.3	Bestimmung der Wellenform und des Anstellwinkels der Düse	337
9.6.6.4	Kontrolle der Maschineneinstellung beim Wellen- und Schlepplöten mit Testplatten	338
9.6.6.5	Messung der Löttemperatur	339

10 Reflow-Löten

10.1	Aufbringung von Lot und Flußmittel	340
10.1.1	Lotformteile	341
10.1.2	Lotpasten	342
10.1.2.1	Lotteilchen	343
10.1.2.2	Flußmittel in den Pasten	344
10.1.2.3	Auftragung der Pasten auf das Substrat	346
10.1.2.4	Lotkugelttest (Balling-Test)	348
10.1.2.5	Preise	348
10.1.3	Auftragung des Lotes durch Tauchen	349
10.2	Allgemeines Aufheizen von unten	349
10.2.1	Kontakt mit einem Heizblock	350
10.2.2	Heizen mit heißen Flüssigkeiten	351
10.2.2.1	Flüssiges Metall als Wärmeübertragungsmedium	351
10.2.2.2	Heißes Öl als Wärmeübertragungsmedium	351
10.2.3	Heizen mit Heißluft oder Strahlern	352
10.3	Allgemeines Erwärmen von oben	353
10.3.1	Heizen mit Heißgas	353
10.3.1.1	Vor- und Nachteile des Lötens mit Heißgas	353
10.3.1.2	Zusammensetzung von Heißgas	353
10.3.1.3	Heißgaslöten – Beispiele	354
10.3.2	Erwärmen mit Strahlung	354
10.3.2.1	Der Strahler	355
10.3.2.2	Beispiele für Strahlungsheizung	355
10.4	Örtliche Erwärmung von oben	356
10.4.1	Strahlungserwärmung	356
10.4.1.1	Fokussierte Lichtstrahlen	356
10.4.1.2	Aufheizen mit Laser-Strahl	357
10.4.2	Widerstandserhitzung	358
10.4.2.1	Parallelspaltlöten	358
10.4.2.2	Einpunktlöten	359
10.4.2.3	Löten vieler Anschlüsse	360
10.4.3	Aufheizen mit einem gelenkten Gasstrom	360
10.4.4	Induktionsheizung	361
10.5	Heizen aus allen Richtungen	362
10.5.1	Heizen mit Heißgas	362
10.5.2	Heizen mit heißen Flüssigkeiten	363
10.5.3	Heizen mit gesättigtem Dampf (Dampfphasenlöten)	363
10.5.3.1	Anlage	364
10.5.3.2	Flüssigkeit	365
10.5.3.3	Dampfphasenlöten	366
10.5.3.4	Gesundheitliche Aspekte	367

11 Löten von Hand

11.1	Drähte mit Flußmittelseele	368
11.2	Temperatur der Lötspitze	369
11.2.1	Konstante Energiequelle	369
11.2.2	Geregelte Temperatur der Spitze	370
11.2.3	Auslegung der Lötspitzen	370
11.3	Anwendung der LötKolben	372
11.3.1	Grundregeln für das Löten von Hand	372
11.3.2	Lötverbindungen an Terminals	373
11.3.3	Handlöten auf Leiterplatten	373
11.3.4	Löten elektrostatisch empfindlicher Bauteile	373
11.4	Entlöten (Auslöten)	374

12 Die Qualität der Lötstellen

12.1	Kontrolle der Lötstellen	376
12.1.1	Automatische Kontrollverfahren	377
12.1.2	Sichtkontrolle	377
12.2	Gute Lötstellen	378
12.2.1	Gute Benetzung	379
12.2.2	Richtige Menge Lot	380
12.2.3	Dichte und glatte Oberflächen	380
12.3	Weichlötfehler auf Leiterplatten	380
12.3.1	Klassifizierung der Fehler	381
12.3.2	Bewertung von allgemein auftretenden Fehlern	381
12.3.2.1	Nichtbenetzung	381
12.3.2.2	Entnetzung	382
12.3.2.3	Brückenbildung	383
12.3.2.4	Löcher in Lötstellen	384
12.3.2.5	Zuviel Lot	386
12.3.2.6	Lotrückstände	387
12.3.2.7	Gestörte Lötstellen	389
12.4	Beurteilung von Lötstellen auf gedruckten Leiterplatten	389
12.4.1	Leiterplatten ohne Durchkontaktierungen	390
12.4.1.1	Menge Lot	390
12.4.1.2	Löcher in Lötstellen	391
12.4.1.3	Kriterien für die Nacharbeit (Reparaturlöten)	392
12.4.2	Leiterplatten mit durchkontaktierten Löchern	392
12.4.2.1	Menge Lot	392
12.4.2.2	Blaslöcher (Ausbläser)	393
12.4.2.3	Füllen von Löchern	393
12.4.3	Auffinden der Ursachen von Lötfehlern	394
12.5	Bewertung von von Hand gelöteten Fügestellen	395
12.6	Bewertung der Lötstellen von auf der Oberfläche montierten Bauteilen	396
12.6.1	Anschlußdrahtlose Bauteile	397
12.6.1.1	Falsche Plazierung	397
12.6.1.2	Menge Lot	398
12.6.2	SOT-23-Packs	399
12.6.2.1	Falsche Plazierung	400
12.6.2.2	Menge Lot	400

12.7	Reparaturlöten von Weichlötstellen	402
12.7.1	Umfang der Nacharbeit (Nachlöten)	402
12.7.2	„Null-Fehler“-Löten (Zero-Defect Soldering)	404
12.7.3	Statistische Analyse der Lötfehler	405
Verwendete Einheiten		18
Schrifttum (Verzeichnis alphabetisch geordnet nach Autoren)		407
Schrifttum (Verzeichnis ohne Autorenangabe)		421
Normen		422
Verwendete Abkürzungen		422
Bibliografie der Bücher über Löten		423
Fachausdrücke (Deutsch – Englisch – Französisch – Holländisch – Schwedisch)		428
Stichwortverzeichnis (alphabetisch)		432
Anzeigenteil		439