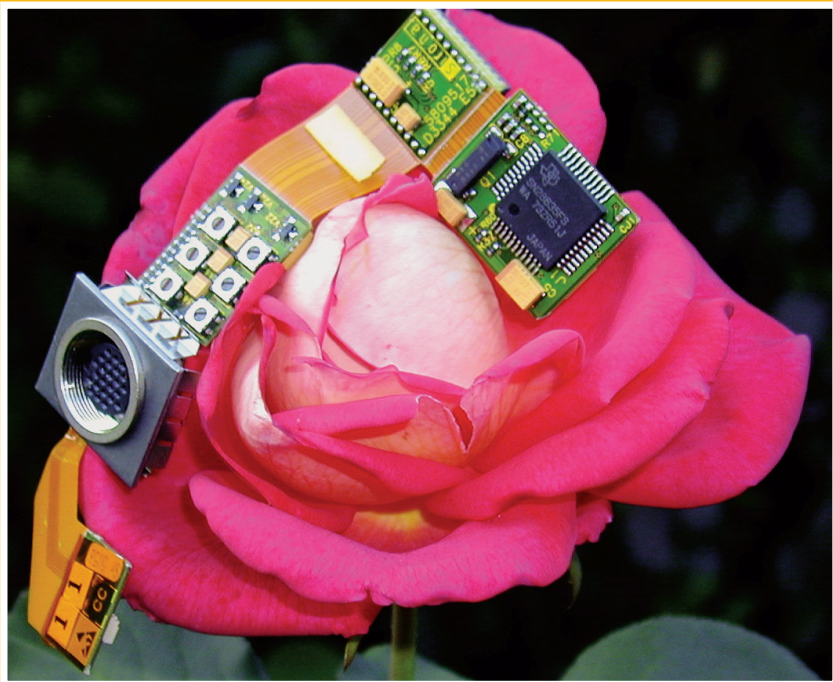


Jürgen Händschke

Leiterplattendesign

Ein Handbuch nicht nur für Praktiker



EUGEN G. LEUZE VERLAG · D-88348 Bad Saulgau, Karlstraße 4

Inhaltsverzeichnis

1	Wie entsteht ein Elektronikprodukt?.....	17
2	Die Produktentwicklung von Baugruppen- und Leiterplattendesign.....	19
2.1	Baugruppenspezifikation	19
2.2	Schaltungsentwicklung	19
2.3	Schaltungs-Review.....	19
2.4	Bauelemente einführen.....	21
2.5	Leiterplattendesign anstoßen	21
2.6	Leiterplattendesign.....	21
2.7	Design-Review	22
2.8	Produktsoftware	22
2.9	Baugruppen-Muster-Fertigung.....	22
2.10	Baugruppen-Muster-Test	23
2.11	Baugruppen-Muster-Review	23
2.12	Baugruppen-Freigabe.....	23
2.13	Konstruktionsunterlagen-Freigabe.....	23
3	Bauelemente.....	24
3.1	Elektronische Bauelemente	25
3.1.1	Passive Bauelemente	25
3.1.2	Aktive Bauelemente	25
3.1.3	Sonstige Bauelementspezifizierungen	26
3.2	Mechanische Bauelemente.....	27
3.3	Bauelementanschlussformen	27
3.4	Bauelementeinführung	28
4	Bibliothek (Library)	29
4.1	Aufbau	29
4.2	Bibliotheksstruktur.....	30
4.2.1	Schaltungssymbole.....	31
4.2.2	Zuordnung der Symbole zu den Gehäusen.....	33
4.2.3	Geometrien (Gehäuse) mit Anschlüssen	35
4.3	Gebräuchliche SMT-Gehäuseformen	35
4.3.1	Zweipolige Gehäuseformen	36
4.3.2	Dreipolige Gehäuseformen	37

4.3.3	Mehrpolige Gehäuseformen.	38
4.3.4	Hochpolige Gehäuseformen.	38
4.3.4.1	Standard-Type	38
4.3.4.2	Shrink-Type	41
4.3.4.3	Thin-Type.	43
4.3.4.4	Sonstige-Typen	43
4.3.4.5	„Ungehäuste“-Typen	44
4.4	Technologien	46
4.5	Die Gestaltung von SMT-Geometrien (Gehäusen).	47
4.5.1	Die Besonderheiten der Geometrien der Reflowseite.	49
4.6	Die Gestaltung von THT-Geometrien (Gehäusen)	50
4.7	Die praktische Durchführung.	52
4.7.1	Allgemeine Richtlinien	52
4.7.1.1	Zweipolige Bauelemente	52
4.7.1.2	Mehrpolige, einreihige Bauelemente.	52
4.7.1.3	Mehrpolige, zweireihige Bauelemente	52
4.7.1.4	Sonstige	52
4.7.2	Kennzeichnungsdruck	53
4.7.3	Der Nullpunkt (Origin).	53
4.7.4	Die Bauelementkontur (Placement-Outline)	53
4.7.5	Die Bauelementanschlüsse.	54
4.7.5.1	Allgemein	54
4.7.5.2	Beschreibung der Anschluss-Technologie	54
4.7.5.3	Bezeichnung (Name).	54
4.7.5.4	Geometrie (Form)	54
4.7.5.5	Abmessungen	54
4.7.5.6	Typ (THT oder SMT).	55
4.7.5.7	Bohrungsangaben	55
4.7.6	Vias.	56
4.7.6.1	Bohrungsdurchmesser	56
4.7.6.2	Restringbreite	56
4.7.6.3	Größe der Anschlusskreisflächen auf den Außenlagen	57
4.7.6.4	Größe der Anschlusskreisflächen auf den Innenlagen	57
4.7.6.5	Größe der Freisparung in den Kupferflächen (Planes) der Versorgungslagen.	57
4.7.6.6	Lötabdeckung	57
4.7.6.7	Lagenzuordnung	57
4.7.7	Beispiel einer halbautomatischen Systemunterstützung zur Erstellung von Geometrien	58
5	Normen und Design?	59
6	Gebräuchliche Kennzeichnungen elektronischer Produkte.	61
6.1	Das CE-Kennzeichen	61
6.2	Das VDE-Kennzeichen.	61

6.3	Das GS-Kennzeichen	61
6.4	Das UL-Kennzeichen	62
6.5	Das MIL-Kennzeichen	62
6.6	Gebräuchliche IPC-Normen	62
7	Designrichtlinien	63
7.1	Leistungsspezifikationen	63
7.2	Allgemeine Hinweise	65
7.2.1	Darstellung	65
7.2.2	Bezeichnung	65
7.2.3	Nullpunkt	65
7.2.4	Bezugsaufnahmebohrung	65
7.2.5	Kontur	65
7.2.6	Abmessungen	65
7.2.7	Höhenbegrenzung	66
7.2.8	Designentstehungsphase	66
7.3	Technologieklassen	66
7.3.1	Technologiekategorie 1	66
7.3.2	Technologiekategorie 2	66
7.3.3	Technologiekategorie 3	67
7.3.4	Technologiekategorie 4	67
7.4	Toleranzklassen	67
7.5	Platzierung	69
7.6	Mindestabstände	70
7.7	Signallagen	70
7.8	Anschlussbohrungen für bedrahtete Bauelemente (THT)	72
7.8.1	Restringbreiten	72
7.9	Fertigungstoleranz	73
7.10	Kalkulation der Bauteilanschlussflächen	73
7.11	Kalkulation der Durchsteigeranschlussflächen (Vias)	74
7.12	Datenerzeugung	75
7.13	Standardformate	75
7.14	Prüfung	75
7.15	Lagenaufbauten	75
7.16	Besonderheiten	76
8	Strombelastbarkeit von Leiterbahnen	77
8.1	Kurzzeitbelastung	77
8.2	Dauerstrombelastung	77
9	Möglichkeiten der Wärmeableitung	79
9.1	„Heatsink-Technik“	79
9.2	„Gedruckte Heatsink-Technik“	79
9.3	Flüssigkeitskühlung	80

9.4	„Kupfer-Inlay-Technik“	80
9.5	Kühlkörper	80
9.6	Designmaßnahmen	81
10	Die Einflussgrößen des Leiterplattendesigns	82
11	Die Schaltungsentwicklung	84
12	Die Platzierung	86
12.1	Die Vorgaben	86
12.1.1	Stromlaufplan, elektrische Vorgaben	86
12.1.2	Stückliste, Sachnummer	87
12.1.3	Leiterplattenkontur	87
12.1.4	Befestigungslöcher, sonstige mechanische Vorgaben	88
12.1.5	Koordinaten der Fixbauteile, Drehrichtung	88
12.1.6	Baugruppentechologie	88
12.1.7	Nutzengröße und Anordnung der Einzelplatten	89
12.1.8	Luft- und Kriechstrecken	89
12.1.9	Teststrategie	89
12.2	Allgemeine Platzierungsvorgaben	90
12.3	Die übersichtliche Platzierung	90
12.4	Das Platzierungsraster	91
12.5	Die Vorgehensweise beim Platzieren	91
12.6	Das Platzierungs-Review	97
12.7	Die Platzierungshilfen	97
13	Interaktive Verlegung der Leiterbahnen	98
13.1	Die Vorzugsrichtung	98
13.2	Die Vorgehensweise	99
13.2.1	Anschluss der Abblockkondensatoren	99
13.2.2	Verlegung besonderer Verbindungen	101
13.2.3	Verlegung direkter Verbindungen	101
13.2.4	Verlegung von Leitungsbündeln	102
13.2.5	Verlegung der restlichen Verbindungen	103
13.2.6	Die Via- oder Umsteiger-Strategie	104
13.2.7	Die Spannungsversorgung	106
13.2.8	Der Einfluss der Teststrategie	107
14	Automatische Verlegung der Leiterbahnen (Autorouting)	108
15	Leiterplattendesign für schnelle Signale	110
15.1	Signalintegrität	110
15.2	Leitungsimpedanz (Wellenwiderstand)	111
15.3	Laufzeiten	113
15.4	Übersprechen	114

16	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	115
16.1	Zonenkonzept	115
16.2	Bauteilauswahl	116
16.3	Leiterplattentechnologie	116
16.4	Platzierung	117
16.5	Masse- und Versorgungsspannungen	117
17	Beispiele zur Platzierung, Leitungsverlegung, Kontur- und Nutzengestaltung	119
17.1	Beispiel 1	119
17.1.1	Aufgabenbeschreibung	119
17.1.2	Platzierung	120
17.1.3	Leitungsführung	120
17.2	Beispiel 2	122
17.2.1	Aufgabenbeschreibung	122
17.2.2	Platzierung der Schaltungsblöcke	123
17.2.3	Kontur, Ausbruchstege, Nutzen	124
17.3	Beispiel 3	126
17.3.1	Vorgaben mechanisch	126
17.3.2	Vorgaben elektrisch	126
17.3.3	Die Platzierung	127
17.3.4	Die Leitungsverlegung	129
17.4	Beispiel 4	131
17.4.1	Spezifikationen	131
17.4.2	Aufgabenstellung	131
17.4.3	Durchführung	131
17.5	Beispiel 5	134
17.5.1	Aufgabenstellung	134
17.5.2	Durchführung	135
18	Die Leiterplatten-Fertigungsdaten	139
18.1	Die Plotdaten	139
18.1.1	Datenformate	139
18.1.2	Blendenformen	139
18.1.3	Blendentabellen	140
18.1.4	Formatbeschreibung	140
18.1.5	Einige Gerber-Befehle	141
18.1.6	Beispiel einer Gerber-Datei im Format RS274X	142
18.1.7	Welche Plotdaten werden benötigt?	143
18.1.8	Was ist bei der Datenerzeugung zu beachten?	144
18.1.8.1	Plotdaten der Außen- und Innenlagen	144
18.1.8.2	Plotdaten der Spannungsversorgungslagen (Planes)	144
18.1.8.3	Plotdaten für die Lötdeckung	145

18.1.8.4	Plotdaten für den Positionsdruck	146
18.1.8.5	Plotdaten für Siebdruckschablonen	147
18.1.8.6	Plotdaten für Zeichnungen	149
18.2	Sonstige Datenerzeugung	151
18.2.1	Bohrdaten	151
18.2.1.1	Beispiel einer Bohrtabelle	151
18.2.1.2	Beispiel einer Bohrdatei	152
18.2.2	Fräsdaten	152
18.2.3	Die Netzliste	153
18.2.3.1	Auszug aus einer Netzliste von Mentor Graphics (Neutral-File)	154
18.2.3.2	Auszug aus einer Netzliste von Zuken (PAF-File)	154
18.2.3.3	Auszug aus einer Netzliste IPC-356	155
18.2.4	Daten für mechanische CAD-Systeme	156
18.2.4.1	Beispiel zur Platzierungsbeschreibung	156
18.2.4.2	Beispiel zur Bauteilbeschreibung	157
18.2.5	Stücklisten	158
18.2.6	Daten für die Bestückung (automatisch und manuell) und für den Test	158
18.3	Graphik-Editor zur Anpassung der Leiterplatten-Fertigungsdaten (CAM-Station)	159
18.3.1	Der modulare Leistungsumfang einer CAM-Software	160
19	Die Arbeitszeiteinschätzung	162
19.1	Die Einflussgrößen	162
19.2	Zeiteinschätzung neuer Designs	163
19.3	Zeiteinschätzung bei Design-Änderungen	164
19.4	Fremdvergabe	164
19.5	Stromlaufplan und sonstige Arbeiten	165
20	Das Anforderungsprofil des Leiterplattendesigners	166
21	Beispiel einer Stellenanzeige	167
22	Wie wird man Leiterplattendesigner?	168
23	Eigene Designabteilung?	171
23.1	Vorteile	171
23.2	Nachteile	171
24	Von der Tuschezeichnung zum EDA-Koloss	173
24.1	Klebetchnik	173
24.2	Beginn der Computerunterstützung bei der Vorlagenerstellung	175
24.3	Das Zeitalter von Calay und PDP11	175
24.4	Unix-Workstations halten Einzug	177
24.5	Das durchgängige EDA-System nimmt Gestalt an	178
24.6	Der Weg zum EDA-Koloss	180
25	Der EDA-Markt	181

26	Das „richtige“ EDA-System	183
26.1	Die Eranschaffung eines EDA-Systems	184
26.1.1	Welche Abteilungen sind direkt oder indirekt von der Anschaffung eines EDA-Systems betroffen?	185
26.1.2	Wo soll der Schwerpunkt des EDA-Systems liegen?	185
26.1.3	Wie umfangreich soll das EDA-System ausgestattet sein?	187
26.1.4	Welche Anforderungen werden an die Integration des Systems gestellt?	187
26.1.5	Über welchen Zeitraum müssen die Leiterplattendesigns gepflegt werden?	187
26.1.6	Die Entscheidungsphase.	188
26.2	Der Ersatz eines EDA-Systems	189
26.2.1	Warum soll das vorhandene EDA-System ersetzt werden?	189
26.2.2	Was wird aus dem alten System?	190
26.2.3	Die Entscheidungsphase.	191
26.3	Das Leistungsspektrum der EDA-Systeme	192
26.3.1	Übersicht	192
26.3.2	Spezifischer Leistungsvergleich.	194
26.3.3	Die Antworten der System-Anbieter	195
27	Beschreibung einiger Funktionalitäten	196
27.1	Teamorientiertes Leiterplattendesign	196
27.2	Abstandsprüfung im 3D-Bereich	196
27.3	Die Verwaltung von Regeln	196
27.4	Signal- und EMV-Verhalten	197
27.5	Autorouting	197
27.6	Wiederverwendung und Mehrfachnutzung	198
27.7	Kommunikation zwischen verschiedenen Werkzeugen	198
27.8	Überprüfung der Fertigbarkeit	198
27.9	Weitere Funktionalitäten	199
28	Der EDA-Markt aus der Sicht eines Anwenders	200
28.1	Der Ist-Stand	200
28.2	Der Soll-Stand	201
28.2.1	Wünsche an die EDA-Anbieter	201
29	Das EDA-Systemumfeld	203
30	Hochachtung vor der Leiterplatte	205
30.1	Weltmarktentwicklung	205
30.2	Leiterplatten-Produktion nach Märkten	206
30.3	Das Leiterplattenmaterial (Basismaterial)	206
30.3.1	Phenolharz-Hartpapier (FR-2)	207
30.3.2	Epoxyharz-Hartpapier (FR-3)	207
30.3.3	Epoxyharz-Hartpapier mit Glasgewebeabdeckung	207
30.3.4	Epoxyharz-Glashartgewebe (FR-4)	207
30.3.5	DURAVER®-E-Cu-Qualität 104 KF	207

30.3.6	IS400-IS640	208
30.3.7	Basismaterial mit organischer Verstärkung	208
30.3.8	Die Dünnlamine	208
30.3.9	Basismaterialien im Vergleich	209
30.3.10	Das Glasgewebe	209
30.3.11	Die Harzsysteme	209
30.3.12	Die Kupferfolien	209
30.3.13	Mehrkosten bei Materialien mit höherer Glasübergangstemperatur (Tg)	210
30.3.14	Umweltaspekte zu den Basismaterialien	210
30.4	Der Fertigungsprozess der doppelseitigen Leiterplatte (Bilayer)	211
30.5	Der Fertigungsprozess der Mehrlagenleiterplatte (Multilayer)	216
30.5.1	Prozessschritte am Beispiel eines 4-Lagen-Multilayers	216
30.5.2	Die Presstechnik	217
30.5.3	Die Kupferfolientechnik	217
30.5.4	Die Ermittlung der Gesamtdicke beim Multilayer-Aufbau	218
30.6	Die Mikrotechnologie	219
30.6.1	Entwicklung der Bauteilgehäuse und der Anschlüsse im Maßstab 1:1	220
30.6.2	Einige Beispiele für Lagenaufbauten mit HDI-Technologie	221
30.6.3	Sequentielle Aufbautechnik eines HDI-Multilayers (SBU)	222
30.6.4	Semisequentieller Aufbau mit 6 Microvia-Bohrlagen pro Seite	223
30.6.5	Endaufbau – mit Verpressen der Teilaufbauten	223
30.7	Das Plugging-Verfahren	223
30.8	Der Fertigungsprozess flexibler und starr-flexibler Leiterplatten	224
30.8.1	Die Materialien	225
30.8.2	Der Aufbau	225
30.8.3	Biegeradien und Biegezyklen	226
30.9	Die Leiterplattenpreise	226
30.9.1	Technologieanteil bei Muster-Leiterplatten	227
30.9.2	Kostenaufteilung	227
30.9.2.1	Kostenfaktor Lagenanzahl	228
30.9.2.2	Kostenfaktor Bohren/Kontur	228
30.9.2.3	Kostenfaktor Leiterbild und Kupferkaschierung	228
30.9.2.4	Kostenfaktor Oberfläche	229
30.9.2.5	Kostenfaktor Lötdeckung und Positionsdruck	229
30.9.2.6	Kostenfaktor Termin	230
30.9.3	Erfahrungswerte aus der Bestellpraxis von Musterleiterplatten	230
30.10	Schlussbemerkungen	233
31	Die Baugruppenfertigung	235
31.1	Die Einflussgrößen der Baugruppenfertigung	235
31.2	Der Baugruppen-Fertigungsprozess	237
31.2.1	Wareneingang Elektronik	238
31.2.2	Bauelemente-Lager	238

31.2.3	Fertigungsauftrag und Material-Bereitstellung	238
31.2.4	Lotpastendruck	238
31.2.5	Bestückung der SMT-Bauelemente	239
31.2.6	Reflowlötung	239
31.2.7	Kleberauftrag SMT lötseitig	239
31.2.8	Klebertrocknung	240
31.2.9	Vormontage	240
31.2.10	Vorbereitung THT-Bauelemente	240
31.2.11	Bestückung THT	240
31.2.12	Schwalllötung	241
31.2.13	Fertigbearbeitung	241
31.2.14	Reinigung	241
31.2.15	In-Circuit-Test	241
31.2.16	On-Board-Programmierung	243
31.2.17	Funktionstest	243
31.2.18	Verpackung	243
31.3	Fertigungs Sonderformen	243
31.3.1	Einpresstechnik	243
31.4	Versuchsreihe zur Gestaltung der Anschlüsse mit verschiedenen Technologien und Oberflächen	244
31.4.1	Spezifikation	244
31.4.2	Design der Versuchsleiterplatte und die Abmessungen der Bauteilanschlüsse	246
31.4.3	Versuchsergebnisse	246
31.4.3.1	Allgemein	246
31.4.3.2	Lötmittel bleihaltig	246
31.4.3.3	Lötmittel bleifrei	247
31.4.3.4	Fazit	248
Glossar	251
Inserentenverzeichnis	258