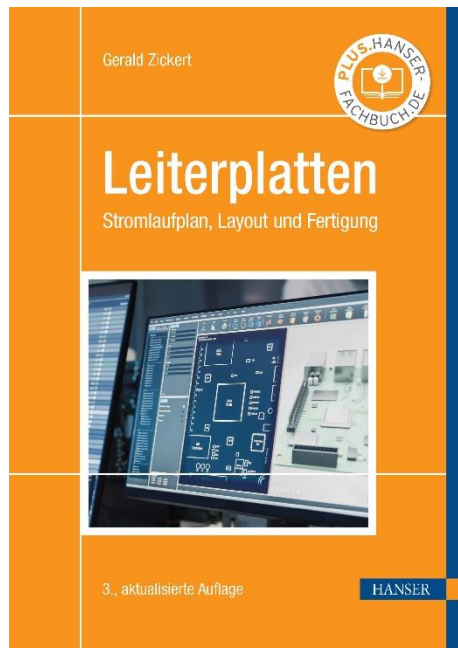


HANSER



Leseprobe

zu

Leiterplatten

von Gerald Zickert

Print-ISBN: 978-3-446-47583-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47858-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446475830>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das vorliegende Lehrbuch entstand im Zusammenhang mit den Vorlesungen *Leiterplattenentwurf* und *Aufbau- und Verbindungstechnik* im Hauptstudium der Studiengänge Informationstechnik und Kraftfahrzeugelektronik.

Die Elektronik ist unser ständiger Begleiter sowohl im beruflichen wie im privaten Umfeld. Wesentlicher Teil elektronischer Geräte ist die Leiterplatte, die mit großem Abstand das häufigste Verbindungselement der Elektronik darstellt.

Der Entwurf einer Leiterplatte beginnt mit dem Stromlaufplan, der in symbolischer Form bereits alle Bauelemente und deren Verbindungen untereinander und nach außen enthält. Mit diesen Informationen werden unter Nutzung eines Leiterplatten-Layoutsystems die Bauelemente angeordnet und Verbindungen in Form von Leitern gelegt. Dabei sind zahlreiche Restriktionen in Bezug auf die künftige Fertigung zu beachten. Der Entwurf mündet in die Erstellung der Fertigungsdaten.

Auf Basis dieser Daten werden zunächst die Leiterplatten strukturiert und für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Danach werden die elektronischen Bauelemente bestückt und gelötet. Damit diese Fertigungsschritte kostengünstig und fehlerfrei ausgeführt werden können, müssen sie bereits beim Entwurf berücksichtigt werden, weshalb der Konstrukteur auch fertigungstechnische Kenntnisse benötigt.

Die Nutzung eines CAD-Systems ist selbstverständlich und wird produktneutral und ohne Einschränkung auf die Bedienung eines speziellen Systems dargestellt.

Ziel dieses Lehrbuches ist es, vor allem Grundlagen des Leiterplattenentwurfes durchgängig von der Aufgabenstellung über Layout und Fertigung bis zur funktionsfähigen Leiterplatte zu vermitteln. Ein durchgängiges und leicht verständliches Beispiel dient der Illustration.

Ich danke dem Carl Hanser Verlag und besonders Frau Christina Kubiak und Herrn Frank Katzenmayer für die Betreuung dieser dritten Auflage.

Zwickau, April 2023

Gerald Zickert

Inhalt

■	Vorwort	5
1	Grundlagen der Konstruktion	11
	1.1 Technische Zeichnungen	11
	1.2 Ablauf und Methoden der Konstruktion	13
	1.2.1 Entwurfsprozess	13
	1.2.2 Konstruktionsprozess	14
	1.2.3 Elektrokonstruktion	14
	1.3 Normung	16
	1.3.1 Begriff und Inhalt technischer Normen	16
	1.3.2 Rechtliche Stellung der Normen	17
	1.3.3 Normungsgremien	18
	1.4 Rechnerunterstützte Konstruktion	19
	1.4.1 Smart Engineering	20
	1.4.2 Inhalte der rechnerunterstützten Konstruktion	21
	1.4.3 Rechnerunterstützte Konstruktion in der Elektrotechnik	23
2	Regeln für das Anfertigen von Stromlaufplänen	27
	2.1 Grundlegende Gestaltungshinweise	27
	2.1.1 Formatsystem und Faltungsregeln	27
	2.1.2 Standardschriftfeld	29
	2.1.3 Linienarten	30
	2.2 Grafische Symbole für Schaltunterlagen	31
	2.2.1 Grundsätze der Symbolik	31
	2.2.2 Binäre Elemente	32
	2.2.3 Analoge Elemente	37
	2.2.4 Bibliotheken im CAD-System	38

2.3	Stromlaufplan	41
2.3.1	Gestaltung und Inhalt	43
2.3.2	Anordnung der Stromkreise	44
2.3.3	Verteilte Darstellung	46
2.3.4	Referenzkennzeichen	47
2.3.5	Anschlusskennzeichnung	51
2.3.6	Angaben an Verbindungen	52
2.4	Stückliste	53
3	Aufbauprinzipien	58
3.1	Leiterplatten	58
3.1.1	Materialien für Leiterplatten	59
3.1.2	Lagenzahl	60
3.2	Weitere Schaltungsträger	61
3.2.1	Hybrid-Schaltkreise	61
3.2.2	Multi Chip Modul (MCM)	63
3.2.3	Dreidimensionale Schaltungsträger	64
3.3	Bauelemente	65
3.3.1	Bauelemente für Durchsteckmontage	65
3.3.2	Bauelemente für Oberflächenmontage	66
3.3.3	Chip on Board	71
3.3.4	Footprintbibliothek im CAD-System	72
3.4	Wärmeabführung	77
3.4.1	Physikalische Grundlagen	78
3.4.2	Dimensionierung eines Kühlkörpers	82
4	Leiterbildentwurf	85
4.1	Ausgangspunkt	86
4.2	Vorbereitung	87
4.2.1	Kontrolle und Vervollständigung der Footprintbibliothek	88
4.2.2	Optionen einstellen	88
4.3	Bauelemente platzieren	91
4.3.1	Floorplanning	91
4.3.2	Manuelles Platzieren	92
4.3.3	Automatisches Platzieren (Autoplacer)	94
4.3.4	Optimieren von Platzierung und Packaging	94
4.4	Leiter legen (interaktives Routing)	96
4.4.1	Werkzeuge	97
4.4.2	Reihenfolge	98

4.4.3	Routinghinweise	100
4.4.4	Abschließende Arbeiten	102
4.5	Autorouter	103
4.6	Multilayer	103
4.6.1	Durchkontaktierungen	104
4.6.2	Multilayeraufbau	104
4.7	Eigenstörsicherheit	106
4.7.1	Kopplungen und Gegenmaßnahmen	107
4.7.2	Hinweise zur Layoutgestaltung	109
4.7.3	Impedanzdefinierte Leiterplatte	110
4.8	Abgeleitete Unterlagen	117
4.8.1	Bohrplan	119
4.8.2	Bestückungsplan	120
4.8.3	Beschriftungszeichnung	120
4.8.4	Lötmaskenzeichnung	121
4.8.5	Lotpastenzeichnung	122
4.9	Übungsaufgaben zum Layout	124
5	Produktionsdaten	129
5.1	Leiterbild	130
5.1.1	Gerber-Datenformat	131
5.1.2	Extended-Gerber-Datenformat	133
5.2	Ergänzende Produktionsdaten	134
5.2.1	Bohrdaten	135
5.2.2	Bestückungsdaten	136
5.2.3	Daten für Serviceaufdruck	137
5.2.4	Daten für den Lötmaskendruck	138
5.2.5	Daten für den Lotpastendruck mit Schablone	139
6	Leiterplattenfertigung	142
6.1	Ablauf der Leiterplattenfertigung	142
6.2	Subtraktive Leiterbildstrukturierung	144
6.2.1	Leiterbildstrukturierung mit dem Siebdruckverfahren	145
6.2.2	Leiterbildstrukturierung mit Fotodruck	146
6.2.3	Unterätzung	148
6.3	Fräs-Bohr-Plotter	148
6.4	Multilayer	149
6.5	Bohrungen und Durchkontaktierungen	151

6.6	Oberflächen	153
6.6.1	Metallische Oberflächen	153
6.6.2	Lötmaske	154
6.6.3	Serviceaufdruck	154
7	Baugruppenfertigung	156
7.1	Bauteile (SMD) bestücken	156
7.1.1	Bestückungsautomat	156
7.1.2	Bauteile kleben	157
7.2	Lötverfahren	159
7.2.1	Lot, Flussmittel und Lotpaste	160
7.2.2	Wellenlöten	164
7.2.3	Reflowlöten	169
7.3	Leitkleben	176
7.4	Gehäuse	177
7.4.1	Aufgaben des Gehäuses	177
7.4.2	Gehäuse aus dem 19-Zoll-Aufbausystem	178
8	Lösungen	186
	Formelzeichen	197
	Glossar	199
	Literatur und Normen	207
	Index	211

Inhalte auf plus.hanser-fachbuch.de:

- Kontrollfragen/-antworten
- Glossar

Den Zugangscode finden Sie auf der ersten Seite des Buches.

In diesem Kapitel wird der Begriff Konstruktion sowohl allgemeingültig als auch angewendet auf den Bereich der Elektrotechnik beschrieben. In zunächst sehr allgemeiner Form wird dargestellt, womit sich ein Konstrukteur beschäftigt.

Die *Konstruktion* beinhaltet den Entwurf eines technischen Erzeugnisses, das eine Anlage, eine Maschine oder aber eine Leiterplatte sein kann. Im Mittelpunkt steht dabei in jedem Fall die Anfertigung technischer Zeichnungen zur Dokumentation des Entwurfsergebnisses.

■ 1.1 Technische Zeichnungen

Technische Zeichnungen werden bereits seit mehreren Jahrhunderten für Erläuterung und Ausführung technischer Vorhaben genutzt. Populäre Beispiele dafür sind die Konstruktionszeichnungen von *Leonardo da Vinci* [siehe CIAN88]. Leonardo da Vincis Bekanntheitsgrad basiert jedoch nicht nur auf seinen bemerkenswerten Konstruktionen, sondern auch auf seinen zeichnerischen Fähigkeiten als Künstler. Er war, anders als viele andere Konstrukteure seiner Zeit, fähig, seine Entwürfe zu zeichnen – technische Zeichnungen anzufertigen. Auch aus diesem Grund sind seine Ideen bis in unsere Zeit erhalten geblieben.

Heutige technische Zeichnungen beruhen auf standardisierten und z.T. international einheitlichen Zeichenregeln. Das ermöglicht, auf viele realitätsgetreue Darstellungen zu verzichten und stattdessen vereinfachte oder symbolische Darstellungen (z.B. in Stromlaufplänen) anzuwenden.



Eine *technische Zeichnung* ist die bildliche Darstellung eines technischen Erzeugnisses einschließlich ergänzender textlicher Angaben in der für technische Zwecke erforderlichen Art und Vollständigkeit.

Die erforderliche Art beinhaltet das Einhalten von Darstellungsregeln. Zur erforderlichen Vollständigkeit gehören gegebenenfalls Referenzkennzeichnungen, technische Daten, Übersichten und Ähnliches [DIN 199-1].

Eine Zeichnung kann als *Originalzeichnung* einer dauerhaft gespeicherten Zeichnung, deren Informationsinhalt als verbindlich erklärt wurde, oder als *Skizze* einer im Regelfall freihändig erstellten, nicht unbedingt maßstäblichen Zeichnung ausgeführt sein [DIN EN ISO 10209].

Eine besondere Form technischer Zeichnungen sind *Pläne*. Sie zeigen Objekte und deren relative Positionen zueinander. Sie sind üblicherweise maßstabsgerecht ausgeführt [DIN EN 61082-1].

Die technische Zeichnung ist ein *Informationsträger* und damit ein wichtiges Verständigungsmittel zwischen den technischen Abteilungen eines Unternehmens. Die Zeichnung entsteht in der Konstruktion auf der Basis einer „technischen Idee“. In der Technologie-Abteilung wird nach dieser Zeichnung die Fertigung vorbereitet und ein Arbeitsplan erstellt. Dieser Arbeitsplan wird mit der Zeichnung an die Fertigung übergeben.

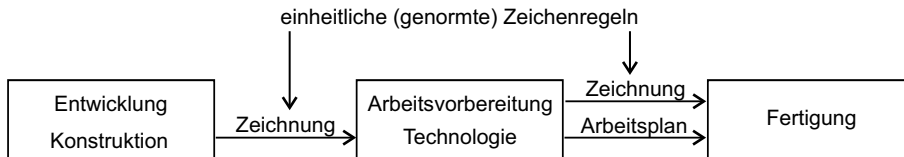


Bild 1.1 Technische Zeichnung im Unternehmen

Selbst bei diesem stark vereinfachten Ablauf müssen bereits mehrere Fachgebiete mit der technischen Zeichnung arbeiten und dabei Vereinfachungen und symbolische Darstellungen richtig interpretieren.

Ohne gegenseitige Vereinbarungen – den *Zeichenregeln* – wäre eine Verständigung nicht möglich. Die genormten Zeichenregeln bilden die Zeichnungsnormen, die als Informationsquelle für die Anfertigung eindeutiger, vollständiger und verständlicher Zeichnungen in der für technische Zwecke erforderlichen Art und Vollständigkeit genutzt werden können.



Technische Unterlagen der Elektrotechnik dienen der Erläuterung der Funktion elektrischer Schaltungen oder deren Leitungsverbindungen. Sie vermitteln ebenfalls Angaben für das Fertigen, Errichten und Erhalten elektrischer Einrichtungen.

Sie beinhalten die zeichnerische Darstellung elektrischer Bauteile, meist durch Schaltzeichen (Symbole), und zeigen die Art, in der diese Bauteile zueinander in Beziehung stehen und wie sie miteinander elektrisch, aber auch mechanisch oder thermisch verbunden sind.

■ 1.2 Ablauf und Methoden der Konstruktion

Die Arbeitsschritte des Entwurfsprozesses, dessen Einbettung in den Konstruktionsprozess in der Elektrotechnik sind wichtige Arbeitsinhalte des Leiterplattenentwicklers.

1.2.1 Entwurfsprozess

Im Zentrum der Konstruktion steht der Entwurfsprozess (Bild 1.2). Dies ist ein zyklischer und sich der Lösung schrittweise nähernder (iterativer) Prozess der Bestimmung und ständigen Detaillierung einer Struktur (Synthese) bei gleichzeitiger Prüfung auf Erfüllung der geforderten Funktion (Analyse).

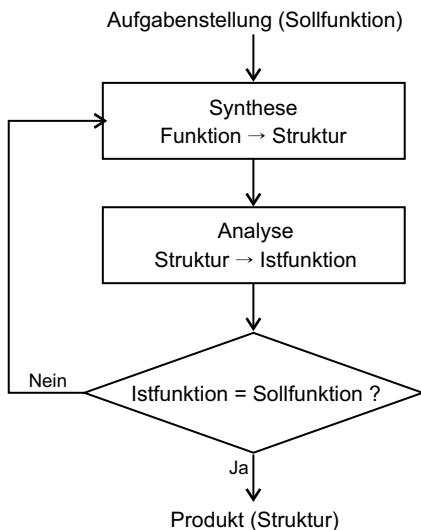


Bild 1.2 Entwurfsprozess

Das ist am Beispiel des Softwareentwurfes leicht nachvollziehbar. Basierend auf einer Aufgabenstellung (Sollfunktion) wird ein Programm (Struktur) im ersten Entwurf geschrieben. Das ist die Synthese. Danach folgt ein erster Test des Programms auf Erfüllung der geforderten Funktion. Das ist die Analyse. Meist ist das Programm in diesem Entwurfsstadium noch fehlerhaft, weshalb in der nächsten Iteration weiter an der Struktur gearbeitet wird. Dieser Zyklus wird durchlaufen, bis das Programm fehlerfrei arbeitet.

Die *Synthese* kann auch als Abbildung einer Funktion in eine Struktur verstanden werden. Diese Abbildung ist mehrdeutig, da es für eine Aufgabe meist mehrere Lösungen gibt. Der Entscheidungsspielraum wird jedoch durch Anforderungen des Auftraggebers, durch Vorschriften und Normen sowie durch weitere Randbedingungen eingeschränkt.

Die *Analyse* ist die Abbildung einer Struktur in eine Funktion und ist im Allgemeinen eindeutig.

1.2.2 Konstruktionsprozess

In der Norm VDI 2221 werden der Konstruktionsprozess und die Konstruktionsphasen ausführlich beschrieben. Die *Konstruktionsphasen* lassen sich zu fünf Schwerpunkten zusammenfassen:

- Klären der Aufgabenstellung und Formulieren der Soll-Gesamtfunktion,
- Auflösen der Gesamtfunktion in ein Netz von Teilfunktionen,
- Erarbeitung der Wirkprinzipien für jede Teilfunktion,
- Gestaltung unter Berücksichtigung von Randbedingungen,
- Detaillierung und Erstellung der Dokumentation.

Zu den Randbedingungen gehören neben den Vorschriften und Normen die Umgebungs- und Einbaubedingungen, aber auch wirtschaftliche Gesichtspunkte.

1.2.3 Elektrokonstruktion

Der zunächst allgemein beschriebene Konstruktionsprozess lässt sich auf den Bereich der *Elektrotechnik/Elektronik* anwenden. Es handelt sich ebenfalls um einen mehrschrittigen Prozess der Lösungssuche, welcher mit der Klärung der Aufgabenstellung beginnt und dessen Ziel die detaillierte Dokumentation des konstruierten Gerätes ist (Bild 1.3).

Die *Aufgabenstellung* wird als Ergebnis der Aufgabenklärung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbart. Der Auftraggeber erstellt hierzu das Lastenheft als Ausschreibungsgrundlage mit einer Zusammenstellung aller Anforderungen an das Konstruktionsergebnis. Als Grundlage für die Realisierung erarbeitet der Auftragnehmer nach Auftragserteilung das Pflichtenheft, in dem er die Umsetzung der Forderungen aus der Aufgabenstellung beschreibt. Häufig ist hierzu bereits ein Grobentwurf in Form einer Vorstudie notwendig, da grundlegende Fragen der Realisierung bereits in dieser Phase geklärt werden müssen. Das Lastenheft wird zum Bestandteil des Pflichtenheftes. Angaben zu Inhalt und Gliederung dieser Unterlagen können der VDI/VDE 3694 entnommen werden.

Eine zweckmäßige *Ablauforganisation* unter Nutzung von Methoden des Projektmanagements sichert die planmäßige Bearbeitung des komplexen Arbeitsgebietes, welches Schnittstellen zu zahlreichen Fachgebieten aufweist und vom ständigen technologischen Wandel geprägt ist. Eine besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Terminplanung und die Kostenplanung sowie deren strikte Kontrolle.

Randbedingungen aus der Aufgabenstellung schränken den Entscheidungsspielraum des Konstrukteurs ein. Die wichtigste Forderung ist die Beachtung des anerkannten Standes der Elektrotechnik, auf den zahlreiche Gesetze verweisen. Die Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften und von Sicherheitsnormen hilft, Unfälle und Havarien mit hohen Folgekosten zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls die Betrachtung der Zuverlässigkeit und der Qualität des konstruierten Produktes von großer Bedeutung.

Die *Umgebungs- und Einbaubedingungen* beinhalten neben den Anschlussbedingungen und Platzverhältnissen auch klimatische, mechanische und elektromagnetische Einflüsse sowie die notwendige Überspannungsfestigkeit.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte werden außer vom Preis auch durch Erfahrungen mit Herstellern und Lieferanten geprägt. So werden in diesem Fall durch den Auftraggeber mittels Freigabelisten einzelne Hersteller oder Produkte vorgeschrieben, für die bereits positive Erfahrungen vorliegen.

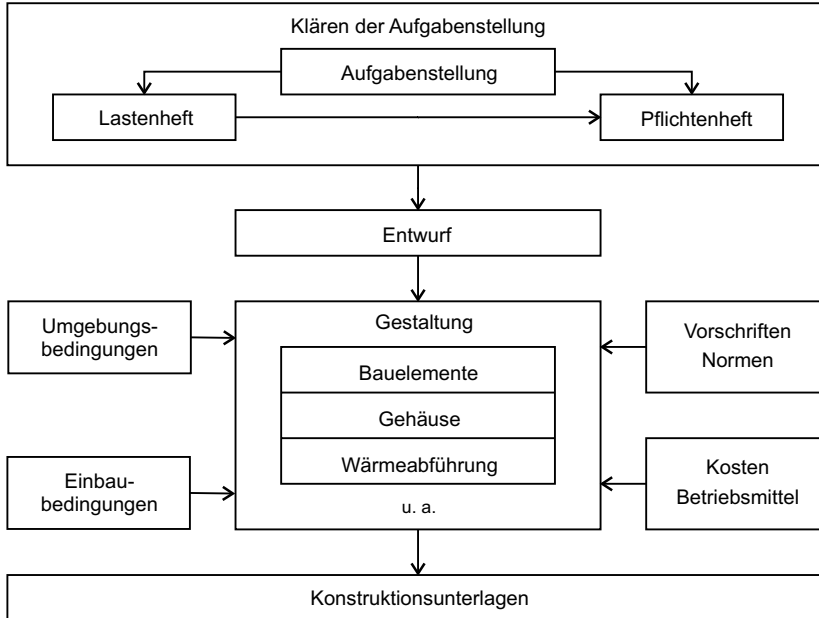


Bild 1.3 Konstruktionsprozess

Die *Gestaltung* des Gerätes umfasst ein komplexes Tätigkeitsfeld, für das Informationen aus zahlreichen Fachgebieten notwendig sind und gemäß der Aufgabenstellung in Übereinstimmung gebracht werden müssen (Bild 1.4). Die Konstruktion ist ein integratives Arbeitsgebiet, da Wissen in Zusammenhängen anzuwenden ist.

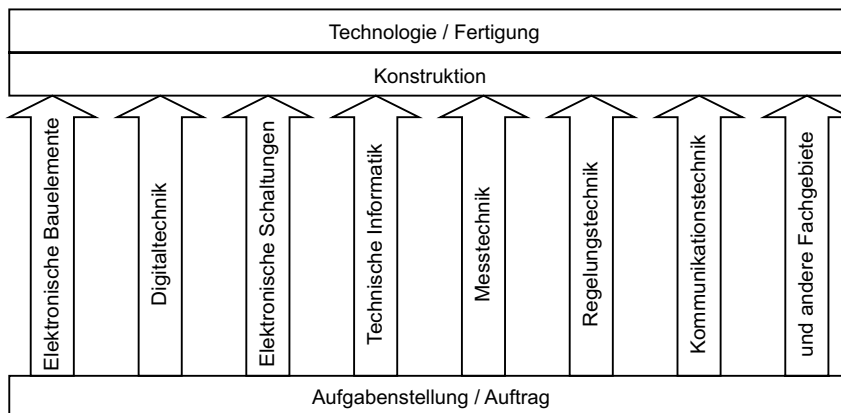


Bild 1.4 Arbeitsgebiete der Konstruktion

Zur Tätigkeit des Konstrukteurs gehört wesentlich mehr als „nur“ die Anfertigung von technischen Zeichnungen. Dennoch sind Zeichnungen und Pläne ein wichtiges Verständigungsmittel in den technischen Abteilungen eines Unternehmens. Sie dokumentieren das Arbeitsergebnis des Konstrukteurs und sind Grundlage für die anschließende Fertigung des konstruierten Gerätes.

■ 1.3 Normung

Nationale und internationale Normen sind wichtige Arbeitsgrundlagen für den Konstrukteur. Sie enthalten viele wichtige Informationen und unterstützen den Konstruktionsprozess.

1.3.1 Begriff und Inhalt technischer Normen

Normen sind ein Mittel zur Ordnung und sind Grundlage für eine sinnvolle Zusammenarbeit, denn in einer Gesellschaft kann nicht jeder nach seinem Belieben handeln. Je größer die Gemeinschaft ist, desto detaillierter müssen die Regeln (Normen) sein, die dieses Zusammenleben ordnen [KLEIN08].

Der Begriff Normung ist in DIN 820-3 definiert: Normung ist die „... *planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich im Konsens durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit.*“

Die *Normungsarbeit* erfolgt auf nationaler, regionaler oder internationaler Ebene. Hierzu gehören auch das Anwenden ihrer Ergebnisse und deren laufendes Anpassen an den jeweiligen Stand der Entwicklung. Eine Norm wird von einem Dokument geprägt, das im Wesentlichen im Konsens erstellt und von einer anerkannten Körperschaft angenommen worden ist. Sie legt entsprechende Regeln, Anleitungen oder Kenndaten für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung fest [KLEIN08].

Die Normung wird ungerechterweise oft als Einschränkung der Gestaltungsfreiheit in der Konstruktion verstanden, obwohl die Anwendung von Normen neben einer größeren Rechtssicherheit weitere entscheidende Vorteile bietet:

- **Information**

Die Normung bietet Lösungen für wiederkehrende Aufgaben wie die Ermittlung der notwendigen Leiterbreite für eine bestimmte Stromstärke.

- **Rationalisierung**

Der Einsatz von Normteilen verringert die Typenvielfalt und erlaubt die kostengünstige Herstellung in großen Stückzahlen. Gleichzeitig wird die Lagerhaltung vereinfacht und die Austauschbarkeit, z. B. von Baugruppen aus dem 19-Zoll-Aufbausystem, ermöglicht.

- **Ordnung**

Vereinheitlichte Darstellungsmittel, z. B. durch Zeichnungsnormen, ermöglichen die Verständigung zwischen unterschiedlichen Fachgebieten. Genormte Mess- und Prüfverfahren machen die Ergebnisse vergleichbar.

▪ Qualität

Durch genormte Qualitätsanforderungen werden Mindestvorgaben durchgesetzt und Qualitätsangaben einheitlich.

▪ Sicherheit

Genormte Sicherheitsanforderungen, z.B. für die sicherheitsgerechte Konstruktion, schützen vor Unfällen und Havarien, bieten Lösungen für diese Anforderungen und machen Sicherheitsangaben kompatibel.

1.3.2 Rechtliche Stellung der Normen



Die Normen des deutschen Normenwerkes gelten als Empfehlungen, sie sind keine Gesetze, der Gesetzgeber verlangt keinen Erfüllungsnachweis und sie stehen jedermann zur Anwendung frei [DIN 820-1].

Sie sind zwar einerseits Empfehlungen, gelten jedoch andererseits als anerkannte Regeln der Technik. In mehreren Gesetzen wird auf die Einhaltung dieser Regeln verwiesen oder es wird aus einer Rechtsvorschrift die Anwendungspflicht abgeleitet. Normen sind eine wichtige Informationsquelle für einwandfreies technisches Verhalten im Normalfall. Sie sind bei zivil- und strafrechtlichen Auseinandersetzungen geeignet, den Verantwortlichen zu entlasten, da deren Anwendung die Vermutung begründet, dass einwandfreies technisches Verhalten vorliegt [DIN 820-1].

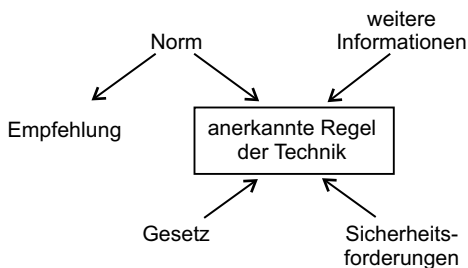


Bild 1.5 Anerkannte Regel der Technik

Normen können nicht alle Sonderfälle und alle neuen Erkenntnisse sofort berücksichtigen, weshalb weitere Informationen aus anderen Quellen, z.B. Veröffentlichungen, Fachtagungen oder Messeveranstaltungen, auszuwerten sind. In Sonderfällen sind weiter gehende oder weniger umfangreiche Maßnahmen möglich, sofern die Sicherheit nachweislich erhalten bleibt. Dies erlaubt die Übernahme neuer Verfahren, die im Normenwerk noch nicht enthalten sind.



„Durch das Anwenden von Normen entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln.“ [DIN 820-1]

Aus der Verantwortung, die der Konstrukteur einer elektrischen Anlage oder eines Gerätes für die Sicherheit hat, resultiert die Forderung, diese so sicher zu machen, wie es nach dem Stand der Technik, der in Normen beschrieben wird, möglich ist.

1.3.3 Normungsgremien

Es haben sich zahlreiche Organisationen gebildet, die die Normungsarbeit auf nationaler, europäischer oder internationaler Basis ausführen. Darüber hinaus gibt es weitere Normungsgremien als Vertreter von Firmenverbänden, die auf dem jeweiligen Fachgebiet tätig sind.

Deutschland

- **Deutsches Institut für Normung (DIN)**

Träger der Normung in Deutschland ist das Deutsche Institut für Normung. Es ist ein eingetragener und als gemeinnützig anerkannter Verein mit Sitz in Berlin. Mitglied können Unternehmen und Verbände sowie alle an der Normung interessierten Körperschaften, Behörden oder Organisationen werden. Die Arbeitsergebnisse des DIN sind die DIN-Normen.

- **Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE)**

Historisch bedingt haben sich in Deutschland zwei Organisationen entwickelt, die die Normungsarbeit einerseits auf nichtelektrischen Gebieten (DIN) und andererseits auf dem Gebiet der Elektrotechnik (VDE¹⁾) ausführen. Die DKE wurde als gemeinsames Organ des DIN und des VDE gebildet, sie wird juristisch vom VDE getragen und ist gleichzeitig die „elektrotechnische Abteilung“ des DIN. Die Arbeitsergebnisse der DKE sind DIN-Normen. Sie werden zusätzlich als VDE-Bestimmung gekennzeichnet, wenn sie Sicherheitsvorschriften für die Anwendung des elektrischen Stromes enthalten.

Europa

- **Europäisches Komitee für Normung (CEN)**

- **Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC)**

Ziel der europäischen Normung ist, bestehende nationale Normen zu harmonisieren und neue regionale Normen zu entwickeln. Die europäischen Normungsgremien sind nichtstaatliche und gemeinnützige Vereinigungen mit Sitz in Brüssel. Die Arbeitsergebnisse sind EN-Normen, die nach unveränderter Übernahme als DIN-EN-Norm geführt werden.

Internationale Organisationen

- **International Organization for Standardization (ISO)**

- **International Electrotechnical Commission (IEC)**

ISO und IEC erarbeiten internationale ISO- bzw. IEC-Normen als Empfehlungen, die von den nationalen Normungsgremien der Mitgliedsländer übernommen werden sollen.

¹⁾ Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik

Deutschland ist Mitglied beider Organisationen. Nach unveränderter Übernahme sind dies die DIN-ISO- oder DIN-IEC-Normen.

- **American National Standards Institute (ANSI)**

Das ANSI ist der wichtigste Träger der Normung in den USA und vertritt die USA in der ISO.

Fachverbände

- **Fachverband Elektronik-Design (FED)**

Der FED ist ein Interessenverband von Unternehmen der Elektronikindustrie. Er stellt IPC-Richtlinien bereit und ist ein Forum für den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Unternehmen.

- **Association Connecting Electronics Industries (IPC²)**

Association Connecting Electronics Industries ist ein weltweit tätiger Fachverband der Leiterplatten- und Elektronikindustrie, der zahlreiche Normen zur Elektronikfertigung erarbeitet hat.

- **National Electrical Manufacturers Association (NEMA)**

Amerikanischer Fachverband der Elektroindustrie, der zahlreiche Normen auf dem Gebiet der Elektrotechnik entwickelt hat.

- **EIA (Electronic Industries Alliance)**

Die EIA ist ein amerikanischer Industrieverband, der zahlreiche Normen für Geräteschnittstellen veröffentlicht hat.

- **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**

Es handelt sich um einen Berufsverband von Ingenieuren aus den Bereichen Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik, der zahlreiche Normen auf dem Gebiet der Elektrotechnik und Elektronik herausgegeben hat.

■ 1.4 Rechnerunterstützte Konstruktion

Die rechnerunterstützte Konstruktion (Computer Aided Design – CAD), das „Konstruieren am Bildschirm“, wird heute in allen wichtigen Industriebranchen vom Maschinenbau bis zur Kartografie eingesetzt. Eine Vorreiterrolle hatten sicherlich die Branchen Automobil- und Maschinenbau, allein schon wegen der dort vorhandenen Betriebsgrößen. Mittlerweile ist aber die Einführung auch in mittelständischen Betrieben und in Ingenieurbüros weit vorangeschritten.

²⁾ Gegründet unter dem Namen „Institute for Printed Circuits“

1.4.1 Smart Engineering

Zunächst sollen das Umfeld der rechnerunterstützten Konstruktion sowie die Einordnung in ein Gesamtkonzept (Bild 1.6) beleuchtet werden.

Unter *Smart Engineering* werden informationstechnische Methoden und Werkzeuge verstanden, die integriert und miteinander vernetzt in allen Betriebsbereichen eines Unternehmens eingesetzt werden.

Zu den Anwendungsgebieten zählen im Besonderen:

- **Enterprise Resource Planning (ERP)**

Hier werden unterschiedliche Funktionen, Aufgaben und Daten in eine gemeinsame Datenhaltung integriert. ERP ist aus der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) hervorgegangen und beinhaltet diese.

- **Produktionsplanung und -steuerung (PPS)**

Diese enthält die organisatorische Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotserarbeitung bis zum Versand. Die wichtigsten Hauptfunktionen sind die Produktionsprogrammplanung, die Mengenplanung, die Termin- und Kapazitätsplanung sowie die organisatorische Fertigungssteuerung.

- **Product Lifecycle Management (PLM)**

Das ist die ganzheitliche unternehmensweite Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten und Prozesse über den gesamten Lebenszyklus, von der Entwicklung und Produktion über den Vertrieb bis zur Wartung.

- **Produktdatenmanagement (PDM)**

Daten und Dokumente der Produktentwicklung werden gespeichert, verwaltet und an nachgelagerte Phasen übergeben.

- **Computer Aided Engineering (CAE)**

Hierzu zählen die Computeranwendungen in den ingenieurtechnischen Arbeitsbereichen (z. B. Konstruktion und Fertigungsvorbereitung).

- **Computer Aided Design (CAD)**

Dies umfasst die Teilaufgaben Zeichnen und Entwerfen technischer Objekte, Manipulieren und Ändern vorliegender Zeichnungen oder Modelle sowie die Simulation technischer Objekte am Computer.

- **Computer Aided Planning (CAP)**

Das ist die Rechnerunterstützung in der Fertigungsvorbereitung, beispielsweise bei der Arbeitsplanerstellung, der Technologie für Fertigung und Montage und der Prüfvorbereitung.

- **Computer Aided Manufacturing (CAM)**

Dieser Teilbereich beinhaltet die rechentechnische Unterstützung bei Steuerung und Überwachung des Fertigungsprozesses mit den Teilen Bearbeitungssystem, Materialflusssystem und Leitsystem. Meistens steht die Steuerung von Werkzeugmaschinen, Handhabegeräten sowie von Transport- und Lagersystemen im Mittelpunkt.

- **Computer Aided Quality Assurance (CAQ)**

Hierbei handelt es sich um die rechnerunterstützte Planung und Durchführung der Qualitätssicherung. Im Zusammenhang mit der Einführung eines Qualitätssicherungssystems wächst die Bedeutung dieses Teilbereiches.

Index

3D-MID 64
3D-Molded Interconnect Devices 64
19-Zoll-Aufbausystem 178

A

Abbruchstelle 52
Abhängigkeit 34
Ablageformat 28
Aktivator 162
analoges Element 37
Analyse 13
anisotrop leitfähiger Klebstoff 177
Anschlussform 70
– Ball Grid Array 70
– BGA 70
– Gull-Wing 69
– J-Lead 69
– Land Grid Array 70
– LGA 70
Anschlusskennzeichnung 32, 51
– Funktions- 33
– Produkt- 51
ANSI 19, 199
Aspekt-Ratio 119
Aufgabenstellung 14
Aufkupfern 152
Aufschwimmen 173
Autoplacer 94
Autorouter 103

B

Ball Grid Array 70, 174
Bauelement 65 ff., 69
– Chip Scale Package 70
– CSP 70
– Durchsteckmontage 65
– Flat Chip 67
– MCM 70
– MELF 67
– Metal Electrode Face Bonded 67
– Multi Chip Modul 70
– Oberflächenmontage 66
– Plastic Leaded Chip Carrier 69
– PLCC 69
– QFP 69
– Quad Flat Pack 69
– Small Outline Integrated Circuit 69
– Small Outline Transistor 68
– SO-IC 69
– SOT 68
– Surface Mounted Device 66
– Through Hole Technology 65
Baugruppe 180
Baugruppenträger 180
Bauteilliste 86
Bestückung
– automatisch 156
– halbautomatisch 156
– Hand- 156
Bestückungsautomat 156
Bestückungsdaten 136
BGA 70, 174

Bibliothek 38
– Footprint- 72
– Symbol- 39
– Typ- 40
binäres Element 32
bleifreies Lot 161
Blendentabelle 132
Blind-Via 104
Bohrdaten 135
Bohrplan 119
Braunoxidieren 150
Buried-Via 104

C

CAD 19f.
CAE 20
CAM 20
CAP 20
CAQ 20
CEN 18
CENELEC 18
Chemisch-Zinn 153
Chip on Board 71
Chip Scale Package 70
Chip & Wire 71
coated Microstrip 114
COB 71
Cofired Ceramic 63
Computer Aided Design 19f.
Computer Aided Engineering 20
Computer Aided Manufacturing 20
Computer Aided Planning 20
Computer Aided Quality Assurance 20
coplanar Impedance 111
CSP 70

D

Darstellung
– verteilte 43f.
Design Rule Check 103
Desmear 152
differential-coplanar Impedance 111
differential Impedance 111

digitales Element 32
DIN 18
Dispensen 159, 170
DKE 18
DRC 103
dual Stripline 116
Durchkontaktierung 104, 151
– blinde 104
– durchgehende 104
– verdeckte 104

E

Eigenstörsicherheit 107
Einbaubedingung 14
elektrische Konsistenzprüfung 103
Elektro-CAD 23
elektromagnetische Verträglichkeit 107
embedded Microstrip 113
EMV 107
Enterprise-Resource-Planning 20
Entwurfsprozess 13
ERP 20
Europakarte 182
eutektischer Punkt 161
Excellon-Format 135
Extended-Gerber-Datenformat 133

F

Faltung 28
Faltungsregel 29
FED 19
Fertigungsdaten 129
Flat Chip 67
Flip Chip 72
Floorplanning 91
Flussmittel 162
– Aktivator 162
– Flussmittelbasis 162
– Klassifizierung 162
Fluxer
– Schaum- 165
– Sprüh- 166
Footprint 73, 88

Footprintbibliothek 72
 Format 28
 Formatsystem 27
 – A-Reihe 27
 Fotodruck 146
 Fotoresist 146
 Fräs-Bohr-Plotter 148
 FR-Klassifizierung 59
 Frontplatte 180
 Funktionsanschlusskennzeichen 33

G

galvanische Kopplung 107
 Gate-Swapping 94
 Gehäuse 177, 180
 GenCAD-Format 136
 geometrische Abstandsprüfung 103
 Gerber-Datenformat 131
 – Blendentabelle 132
 – Extended- 133
 – Formatparameter 132
 Gestaltung 15
 Grabsteineffekt 172
 Gull-Wing 69

H

HAL 153
 Handbestückung 156
 Höheneinheit 181
 Hot Air Leveling 153
 Hybrid-Schaltkreis 61
 – Cofired Ceramic 63
 – Dickschichttechnik 61
 – Dünnschichttechnik 62

I

IEC 18
 Impedance
 – coplanar 111
 – differential 111
 – differential-coplanar 111
 – single ended 111
 impedanzdefinierte Leiterplatte 110

Impedanzklasse 111
 Impedanztyp 112
 induktive Kopplung 108
 Infrarotlöten 171
 Inkjettechnologie 137, 170
 IPC 19
 ISO 18
 Isolationsfräsen 148
 Isolierstoffträger
 – flexibel 60
 – starr 59
 isotrop leitfähiger Klebstoff 176

J

J-Lead 69

K

kapazitive Kopplung 108
 Klebepunkt 157
 Klebstoff
 – anisotrop leitfähiger 177
 – isotrop leitfähiger 176
 Klebstoffauftrag 158
 Konstruktion 13
 – rechnerunterstützte 19
 Konstruktionsphasen 14
 Konstruktionsprozess 14
 Konvektion 78 ff.
 Konvektionslöten 171
 Kopplung 106
 – galvanische 107
 – induktive 108
 – kapazitive 108
 – Strahlungs- 109
 Kühlkörper 82

L

Lage
 – Entwurfs- 89, 117
 – Leiterplatten- 77, 89
 – Signal- 61, 89
 – Versorgungs- 61, 89
 Land Grid Array 70

Lastenheft 14, 186
Layoutsystem 24
Legierung 160
Leiter 59
Leiterabstand 90
Leiterbildstrukturierung 144
Leiterbreite 90
Leiter legen 96
– automatisch 103
– interaktiv 96
– Regeln 100
– Reihenfolge 98
– Werkzeuge 97
Leiterplatte 58, 180
– doppelseitig 60
– einseitig 60
– impedanzdefinierte 110
– Mehrlagen- 60, 104
Leiterplattenentwurf 24
Leiterplattenlage 77
Leitkleben 176
LGA 70
Linienart 30
Liquidustemperatur 161
Lot 160
– bleifrei 161
Lotbrücke 168
Löten 159
– BGA 174
– Dampfphasen- 172
– Infrarot- 171
– Konvektions- 171
– Reflow- 169
– Selektiv- 167
– Wellen- 164
Lotfänger 168
Lötfehler 168, 172 f.
– Aufschwimmen 173
– Grabsteineffekt 172
– Lotbrücke 168
– Reflowlöten 171
– Schatteneffekt 168
– Wellenlöten 166
Lötmaske 138, 154
Lötmaskenzeichnung 121
Lotpaste 164

Lotpastenauftrag 170
Lotpastendruck 139
Lotpastenzeichnung 122
Lötprofil
– Reflowlöten 171
– Wellenlöten 166
Lötwellen 166

M

Mapping 40, 45
MCM 63, 202
MELF 67
Metal Electrode Face Bonded 67
Microstrip 112
mil
– 1/1000" 59
Multi Chip Modul 63, 202
Multilayer 60, 104, 149
Multilayer-Bauplan 106, 150

N

Negativ-Verfahren 145 ff.
NEMA 19
Netzliste 86
Norm 16
Normung 16
Normungsarbeit 16
Normungsgremien 18

O

Oberfläche 153
– Chemisch-Zinn 153
– Heißverzinnung 153
Originalzeichnung 12

P

Pad 76
Padstack 76, 88
Pastenauftrag
– Klebstoff- 158
– Lot- 170
PCB 58

PDM 20
 Pflichtenheft 14, 186
 Pin-Swapping 94
 Plan 12
 Plastic Leaded Chip Carrier 69
 Platzieren 91
 – automatisches 94
 Platzierungsraster 89
 PLCC 69
 PLM 20
 Positiv-Verfahren 145 f.
 PPS 20
 Prepreg 104
 Printed Circuit Board 58
 Printed Wiring Board 58
 Product-Lifecycle-Management 20
 Produktanschlusskennzeichen 51
 Produktdatenmanagement 20
 Produktionsdaten 129
 Produktionsplanung und -steuerung 20
 Projektmanagement 14
 PWB 58

Q

QFP 69
 Quad Flat Pack 69

R

Raster
 – Platzierungs- 89
 – Routing- 89
 Rechnerunterstützte Konstruktion 19
 Referenzkennzeichnung 47
 – Kennbuchstabe 48
 – Produktaspekt 48
 – Zählnummer 50
 Reflowlöten 169
 Resist 146
 – Negativ- 146
 – Positiv- 146
 RoHS 161
 RoHS-2 161
 Routing 96

– Auto- 103
 – interaktiv 96
 – Regeln 100
 – Reihenfolge 98
 – Werkzeuge 97
 Routingraster 89

S

Schablonendruck 158, 170
 Schaltschrank 180
 Schaltzeichen 31, 39
 Schatteneffekt 168
 Schaumfluxer 165
 Schriftfeld 29
 Schutzgas
 – Reflowlöten 171
 – Wellenlöten 167
 Selektivlöten 167
 Serviceaufdruck 137, 154
 Siebdruck 145, 158, 170
 Sieb&Meyer-Format 135
 single ended Impedance 111
 single Stripline 114
 Skizze 12
 Small Outline Integrated Circuit 69
 Small Outline Transistor 68
 Smart Engineering 20
 SMD 66
 SO-IC 69
 Solidustemperatur 161
 SOT 68
 Spannungsversorgung 45
 – Schaltkreise 45
 – Zweileitersystem 45
 Sprühfluxer 166
 Steckplatte 180
 Steckverbinder 180
 Stempelverfahren 159
 Strahlungsaustauschkonstante 82
 Strahlungskopplung 109
 Stripline 112
 Stromlaufplan 24, 43
 – Anordnung der Stromkreise 44
 – Inhalt 44

Strukturierung

- Fotodruck- 146
- Leiterbild- 142
- Siebdruck- 146
- Stückliste 53
- Surface Microstrip 112
- Surface Mounted Device 66
- Symbol 31, 39
 - analoges Element 37
 - Anwendung 31
 - Ausführung 31
 - Ausgangsblock 34
 - binäres Element 32
 - Steuerblock 34
- Symbolbibliothek 39
- Synthese 13

T

- technische Zeichnung 11
- Teilungseinheit 181
- Temperatur
 - Liquidus- 161
 - Solidus- 161
- thermischer Widerstand 79
- Through Hole Technology 65
- THT 65
- Typbibliothek 40

U

- Umgebungsbedingung 14
- Unterätzung 148
- Unterlagen der Elektrotechnik 12

V

- Verbindung
 - Abbruchstelle 52
- Verfahren
 - Negativ- 145
 - Positiv- 145
- verteilte Darstellung 43, 46
- Via 104
 - Blind- 104
 - Buried- 104
 - Through-Hole- 104
- Vorheizung
 - Reflowlöten 167
 - Wellenlöten 167

W

- Wärmeabführung 77
- Wärmeleitung 78f.
- Wärmestrahlung 78, 81
- Wärmestrom 78
- Wärmeübergangskoeffizient 81f.
- Wellenlöten 164
- Widerstand
 - thermischer 79

Z

- Zeichenregel 12
- Zeichnung
 - technische 11
- Zustandsdiagramm 160