

# **Konstruktion von Leiterplatten**

## **Eine Einführung**

1. Grundlagen
2. Bibliotheksarbeit
3. Berechnungen
4. Layout von einseitigen, einlagigen Leiterplatten
5. Layout von einseitigen, zweilagigen Leiterplatten
6. Layout von einseitigen, mehrlagigen Leiterplatten
7. Ausblick

## **Einstieg**

Generelle Empfehlungen für die Konstruktion von Leiterplatten, welche bei verschiedensten Quellen gefunden werden können, gibt es viele. Entweder sind sie zu allgemein gehalten, oder für einen bestimmten uController, oder die wichtige Information, die Sie suchen, fehlt.

Diese Empfehlungen sollen Ihnen Wege aufzeigen, ein Board zu konstruieren, unabhängig von den verwendeten Bauteilen, - und unabhängig vom verwendeten CAD-Programm.

Diese Dokumentation erklärt die meisten bekannten, veröffentlichten Layout-Techniken. Ein weiterer besonderer Punkt ist, dass alle erklärten Beispiele auch tatsächlich produziert wurden; teilweise in sehr hohen Mengen. Von diesen Industrie-Boards stammen alle Fotografien in diesem Dokument.

Besondere Anstrengungen wurden unternommen, um insbesondere ein- und zweiseitige Leiterplatten zu fokussieren, da sie am meisten im Hobby-Bereich, zumeist im Do-It-Yourself-Verfahren, selber geätzt werden.

Der Profi, oder wer ein Profi werden will, wird hier wertvolle Informationen finden, seine Boards noch besser, in der Funktion stabiler und EMV-verträglicher zu gestalten.

# 1. Grundlagen – was ist eigentlich eine Leiterplatte?

Die Technik der Leiterplatte ist schon ca. 50 Jahre alt. In den 50ern des vergangenen Jahrhunderts, mit Erfindung des Transistors, suchte man eine elegantere Methode, elektronische Bauteile miteinander dauerhaft und zuverlässig zu verbinden. Vorher waren alle Geräte „fliegend“ verdrahtet, mit dicken Kabelbäumen wurden die Verbindungen realisiert.

Dann kamen die ersten, einseitigen Leiterplatten auf. Die elektronischen Bauteile werden durch das Board hindurch gesteckt, und auf der Unterseite verlötet. Somit war eine sehr funktionelle, praktikable und kostengünstige Methode gefunden worden.

Da die Packungsdichte immer mehr anstieg, kam die zweiseitige Leiterplatte auf.

In den 70ern wurden die Multilayer-Boards geboren, Leiterplatten mit mehr als zwei Lagen. Heute sind Boards mit mehr als 20 Lagen keine Seltenheit mehr.

Auch das Material wurde „erwachsen“. Über Hartpapier und Pertinax, dem FR-4 als heutigen Standard, bis zu Keramik-Substraten, kann man jegliches Material als Leiterplatte bekommen.

Standardmässig können Sie diese Stärken bekommen:

0,1mm – 0,2 – 0,3 – 0,5 – 0,8 – 1,0 – 1,2 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 4,0mm.

Die erhältlichen Kupferstärken sind:

5µm – 8 – 10 – 12 – 17.5 – 35 – 70 – 100 140 – 200 – 400µm.

Zwischen diesen Materialien können Sie (fast) alle Kombinationen bilden, um Ihr Konstruktionsziel zu erreichen.

(Weitere Grundlagen, Bohrergrößen, Material, Lötverfahren, Pins, Pads, Padstack etc. später.)

## Wie geht man also vor, wenn man eine Leiterplatte konstruieren will?

Nun, zuerst benötigt man einen Schaltplan.

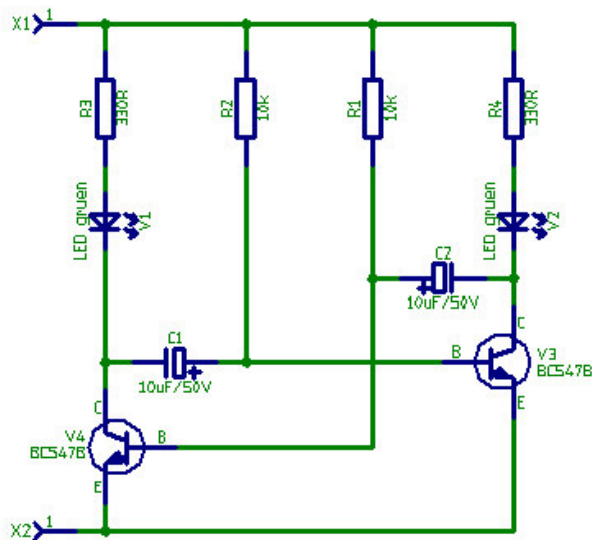
Dieser kann entweder nur ganz grob mit Bleistift skizziert sein, oder er ist bereits fertig im CAD.

Beginnen wir mit einem ganz einfachen Design. Wir wollen einen Wechselblinker konstruieren. Diese auch als astabiler Multivibrator bekannte Schaltung lässt zwei Leuchtdioden abwechselnd blinken. Wir wollen diese Schaltung zuerst mit Durchsteckbauteilen (THT, Through-Hole-Technology - „Durch-das-Loch-Technologie“) konstruieren, dann mit oberflächenmontierten Bauteilen (SMT, Surface-Mounted-Technology, Oberflächenmontierte Technologie).

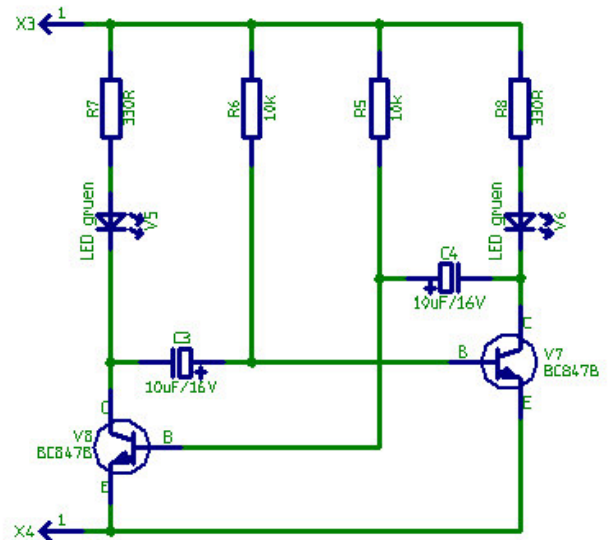
Hier der Schaltplan, gleich für beide Varianten, als Bleistiftskizze:

.....

Und hier im CAD gezeichnet:



Durchsteck-Variante



SMD-Variante

Was benötigen wir als nächstes? Ganz klar, die Bauteile in der Bibliothek.

## 2. Bibliotheksarbeit

Das Wichtigste zuerst: Absolute Genauigkeit ist in der Bibliothek erforderlich! Jeder noch so kleine Fehler findet sich garantiert im Layout wieder, und Ihre stundenlange Arbeit wäre zunichte gemacht. Darum: Kontrollieren Sie lieber jede Berechnung, jede Eingabe, zwei- oder dreimal, bevor Sie weiter arbeiten – Sie werden sehen, es lohnt sich. Es ist immer wieder erstaunlich, wo man Fehler machen kann. Und es wäre doch schade, wenn Sie Ihr Board wegwerfen müssten, nur weil Sie ein Bauteil spiegelbildlich angelegt haben, oder ein Bohrdurchmesser zu klein ist, oder...

### Wie geht man vor, bei der Neuanlage eines Bauteils?

Zuerst beschaffen Sie sich das aktuellste Datenblatt vom Hersteller. Dann überlegen wir uns, ob die Beinchen umgebogen werden müssen oder nicht. Bei einem Widerstand, einem liegenden Kondensator oder einer Diode müssen die Beinchen in einem akzeptablen Abstand zum Bauteilkörper umgebogen werden, bei stehenden Kondensatoren und Transistoren nicht.

Die Beinchen nennen wir im Schaltplan Pins, die entsprechenden Lötflächen auf der Leiterplatte Pads.

Die Bibliothek soll durchdacht strukturiert werden. Es macht Sinn, zum Beispiel diese Struktur einzuhalten:

- SMT/Kondensatoren
  - SMT/Widerstände
  - SMT/Transistoren
  - SMT/Steckverbinder
  - SMT/ICs
  - THT/Kondensatoren
  - THT/Widerstände
  - THT/Transistoren
  - THT/Steckverbinder
  - THT/ICs
- etc.

Diese einzelnen Einträge können noch beliebig verfeinert werden.

Die Pads sortieren wir auch innerhalb unserer Bibliothek:

- SMT/Rechteckig
- SMT/Rund
- SMT/Oval
- SMT/Quadratisch
- THT/Rechteckig
- THT/Rund
- THT/Oval
- THT/Quadratisch

Diese Überlegungen sind sehr wichtig für die Bibliothek und beeinflussen direkt unsere tägliche Arbeit. Eine schlecht strukturierte Bibliothek wird uns täglich das Leben schwer machen.

Auf achteckige Löt pads, wie wir sie manchmal in Bibliotheken sehen, verzichten wir. Es hat sich herausgestellt, dass mitunter Belichtungsautomaten der Hersteller diese Pads falsch ausbelichten. Das Resultat sind unbrauchbare Leiterplatten.

Sehen wir uns einen Widerstand an. Laut Schaltplan und Datenblatt hat er die Gehäusebezeichnung „0207“. Was bedeutet das? Die Bezeichnung „0207“ beschreibt die Dimensionen des Bauteilkörpers, und zwar die erste Position „02“ den Durchmesser des Körpers, und die zweite Position „07“ die Länge. Eigentlich müsste es „020070“ heißen, aber man spart die jeweils nachfolgende Null. „020“ oder auch „02“ bedeutet den Durchmesser des Körpers in sog. Mil, in Tausendstel Inch. Ein Inch sind 25,4mm. Somit sind ein Mil 0,0254mm. Wenn man nun den Wert von 20 Mil mit 0,0254 multipliziert, erhält man für den Durchmesser des Widerstandskörpers 0,508mm; abgerundet also 0,5mm. Die Länge des Körpers errechnet sich zu 70 Mil multipliziert mit 0,0254, ergibt 1,778mm. Gerundet sind das gute 1,8mm.

### **Welche Genauigkeit soll ich nehmen, wieviele Stellen nach dem Komma benötige ich?**

Die Genauigkeit, mit der Sie Ihre Konstruktion machen müssen, richtet sich nach den Maßen und Rastermaßen der Bauteile, die Sie verwenden wollen.

Von einem Rastermaß als alleiniges Maß können wir uns sofort verabschieden: 2,54mm. Die Zeiten, wo es nur Bauteile mit diesem Rastermaß gab, sind schon sehr lange vorbei. Ganz im Gegenteil: Die imperial denkenden Länder haben angefangen, unser metrisches Maß zu übernehmen. Sie werden sehen, dass mittlerweile die allermeisten Datenblätter metrisch verfasst sind.

Ein Beispiel: Sie möchten ein IC mit dem Rastermaß von 2,54mm und ein anderes IC mit einem Rastermaß von 0,8mm verwenden. Nun müssen wir das kleinste gemeinsame Vielfache finden. Das wären 0,01mm. Mit einem Raster von 0,01mm können wir beide ICs zeichnen, ohne eines der beiden Bauteile zu benachteiligen oder Zugeständnisse machen zu müssen.

Zeichnen Sie mit einem Raster von 0,01mm, können Sie alle modernen Bauteile verarbeiten, bis hin zu BGAs und CSPs. Alle aktuellen BGAs haben ein metrisches Raster.

### 3. Berechnungen

Aber wieder zurück zu unserem Widerstand.

Nun nehmen wir uns ein Blatt Papier, und zeichnen den Körper, nach Datenblatt.

.....

Als nächstes müssen wir die Beinchen umbiegen, da wir ja den Widerstand durch das Board hindurch stecken wollen. Der Radius, mit dem die Beinchen umgebogen werden sollen, beträgt das drei- bis fünffache des Drahtdurchmessers.

.....

Der Abstand der Biegestelle vom Körper soll einen bis zwei Millimeter betragen.

Nun kommen wir zu einer sehr wichtigen Angelegenheit; wir müssen die benötigte Bohrung festlegen.

Standardmässig nehmen wir den maximalen Drahtdurchmesser, inklusive aller Fertigungstoleranzen, die im Datenblatt stehen. Das wären 0,6mm. Nun addieren wir 0,2mm hinzu, und kommen auf 0,8mm Bohrungsdurchmesser. Diese 0,2mm sollen Fertigungstoleranzen des Boards abfangen, und sorgen dafür, dass das Lot am Draht entlang durch das Board hindurchsteigen kann.

Den Bohrdurchmesser haben wir, nun benötigen wir noch die Größe des Löt pads.

Bei einer einseitigen Leiterplatte nehmen Sie 0,5mm rundum laufend, bei einem doppelseitigen Board sind 0,3mm Restring ausreichend. Sie dürfen den Restring natürlich auch größer machen; nur kleiner machen sollten sie ihn nicht.

Bei unserer einseitigen Leiterplatte nehmen wir einen Restring von 0,5mm rundum laufend, und so kommen wir auf einen Paddurchmesser von 1,8mm.

.....

Nun speichern wir diesen Footprint ab unter „THT/Widerstände/RES0207“. Den hier vorgeschlagenen Namen und Pfad brauchen Sie nicht allzu ernst zu nehmen; alles muss selbstverständlich so sein, dass es zu Ihrem Computer und Ihrem CAD-Programm passt!

Eine wichtige Sache können wir noch vorbereiten: Wenn wir das Board selbst ätzen wollen, sollten wir die verfügbaren Bohrer berücksichtigen. Normalerweise finden Sie häufig einen 1mm-Bohrer zu kaufen. So erzeugen wir uns noch einen zweiten Footprint, mit einer Bohrung von 1mm und einem Pad von 2mm. Lötstop können wir hinzufügen; 0,05mm rundum laufend. Also ein 2,1mm-Pad auf der Lage Lötstop.

Diesen zweiten Footprint für unseren Durchsteck-Widerstand speichern wir unter „THT/DIY/Widerstände/RES0207“. Sie können auch „DIY\_RES0207“ verwenden; Sie sollten nur kenntlich machen, dass dieser Footprint für Ihre eigene Leiterplattenherstellung gedacht ist.

Wundern Sie sich nicht, dass wir nicht nur die untere Lage mit einem Pad versehen, sondern auch die obere Lage und Innenlage. Damit können wir denselben Padstack für ein-, zwei- und mehrlagige Leiterplatten verwenden. Wenn wir eine einseitige Leiterplatte beim Hersteller bestellen, werden

wir ihm einfach nur die untere Gerberlage senden. Mit Gerberlage bzw. Gerberdaten meinen wir die Produktionsdaten, die der Leiterplattenhersteller von uns bekommt. Gerber heisst eine Firma in USA, die Belichtungsautomaten produziert.

Wenn wir daheim eine Leiterplatte ätzen wollen, werden wir normalerweise auf einen Lötstoplack verzichten. Da wir möglicherweise einmal eine Leiterplatte professionell fertigen lassen wollen, berücksichtigen wir aber den Lötstoplack in der Bibliothek.

Generell kann man sagen: Wenn die Fabrik den Lötstoplack per Siebdruck aufträgt, muss zum Lötpad ein Abstand von rundum laufend 0,2mm eingehalten werden. Wenn die Fabrik den Lötstoplack als sog. Fotolack aufträgt, müssen wir einen Abstand von rundum laufend 0,05mm einhalten. Der Grund liegt darin, dass der Siebdruck nur mit einer größeren Lagetoleranz, dem sog. Lagenversatz, aufgebracht werden kann. Der Fotolack wird fotografisch herausgearbeitet, und darf dadurch enger toleriert sein. Wenn Sie sich darüber nicht ganz im Klaren sind: Fragen Sie den Hersteller, oder schauen Sie auf seine Web-Site im Internet. Oft finden Sie dort die Empfehlungen des Herstellers zum download.

.....

Als letztes fehlt uns noch der Bestückdruck. Dieser Bestückdruck wird normalerweise als Siebdruck aufgebracht, und wenn Ihr CAD-Programm diesen Siebdruck nicht herausrechnen kann, müssen Sie auch hier einen Abstand von 0,2mm zu Kupfer einhalten.

.....

Als nächstes Bauteil erzeugen wir uns einen Kondensator.

.....

Nun kommt der Transistor an die Reihe.

Dieser hat eine Besonderheit: Seine Beinchen sind nicht rund, sondern quadratisch. Hierbei errechnen wir die benötigte Bohrung wie folgt:

.....

Die maximale Beinchenbreite beträgt inklusive aller Toleranzen 0,6mm. Über den Satz des Pythagoras errechnen wir eine maximale Breite von 0,98mm. Zuzüglich 0,2mm Fertigungszugabe kommen wir auf einen Bohrdurchmesser von 1,18mm. Da es die Bohrer nur in Schritten von 0,05mm gibt, runden wir unseren benötigten Bohrdurchmesser auf 1,20mm auf.

Das Lötpad errechnen wir wieder zu Bohrdurchmesser plus rundum laufend 0,5mm, ergibt 2,2mm.

.....

Hoppla! - Wir haben eine Kollision zwischen den Pads.

Standardmässig wollen wir versuchen, einen Isolationsabstand von 0,3mm zu erreichen. Hierzu zeichnen wir uns mit Hilfslinien auf einer nicht-elektrischen Lage die Situation ein, mit den entsprechenden Abständen. Als Standard-Leiterbahnbreite verwenden wir ebenfalls 0,3mm, und zeichnen auch das ein.

.....



## 9V-Clip

Der 9V-Clip hat zwei feindrähtige Adern. Hier müssen wir berücksichtigen, dass diese feinen Kupferdrähte nicht immer exakt verdreht sind. So könnten wir zum angegebenen Drahtdurchmesser eine Toleranzzugabe von 0,5mm rechnen. Der Draht hat laut Datenblatt einen Durchmesser von 0,8mm. Plus unserer Toleranzzugabe ergibt das einen Bohrdurchmesser von 1,3mm. Die Löt pads werden errechnet zu Bohrdurchmesser plus rundum laufend 0,5mm, das ergibt 2,3mm.

Nun könnte man noch den Clip mit den genauen Maßen zeichnen, oder nur stilisiert darstellen, oder einfach nur die Pads, und auf den Rest verzichten. Da die Drähte des Clips normalerweise keine anderen Bauteile auf dem Board stören, lassen wir den Rest weg.

## 4. Layout von einseitigen, einlagigen Leiterplatten

Lassen Sie uns zuerst die Leiterplatte festlegen. Ich schlage vor, ein Quadrat mit 50mm Kantenlänge. Natürlich können Sie auch eine andere Kontur verwenden.

.....

Nun platzieren wir alle Bauteile neben das Board. Der Vorgang, wie Sie vom Schaltplan zum Layout gelangen, ist abhängig von Ihrem CAD-Programm.

Bei mir sieht das so aus:

.....

Nun wollen wir diese kleine Schaltung auch mit SMD-Bauteilen realisieren.

Da es verschiedene Lötverfahren gibt für SMD (siehe Grundlagen weiter vorne), legen wir uns für unser kleines Lehrprojekt standardmässig auf das Reflow-Löten fest.

Beginnen wir wieder mit dem Widerstand.

Da wir mit aktuellem Material arbeiten wollen, verwenden wir keine großen Bauformen, sondern kleine.

Bei SMD-Widerständen gibt es hauptsächlich diese Bauformen (neben einigen größeren Leistungswiderständen):

2510, 2506, 1810, 1806, 1210, 1206, 0805, 0603, 0402, 0201, 01005.

Von 2510 bis 1210 sind es hauptsächlich niederohmige Leistungswiderstände, 1206 war jahrelang Industriestandard, 0805 folgte, und aktuell (im Jahre 2005) befinden wir uns bei 0603 und 0402. In der Handyindustrie ist derzeit 0402 und 0201 in Verwendung. Die Bauformen 0201 und 01005 stehen bereits vor der Tür.

### Aber was bedeutet eigentlich 0603?

Das ist wieder dasselbe Prinzip wie bei den bedrahteten Widerständen. 06 oder genauer 060 (auf die folgende Null wird verzichtet) ist die Länge des Chips in Mil, 03 oder 030 die Breite in Mil. Somit hat ein Widerstand der Bauform 1206 die Maße ( $120 \times 0,0254\text{mm} = 3,048\text{mm}$ ), und eine Breite von ( $60 \times 0,0254\text{mm} = 1,524\text{mm}$ ).

Hin und wieder stoßen Sie auch auf die metrische Bemaßung eines Chip-Widerstandes. Beim 1206-Widerstand wäre das die Angabe 3216. Das sind 3,2mm Länge und 1,6mm Breite.

Die Höhe lässt sich normalerweise nicht aus diesen Angaben ableiten. Sie liegt standardmässig im Bereich von 0,3mm bis 0,8mm und lässt sich aus dem Datenblatt entnehmen.

Lassen Sie uns nun das Leiterplattensymbol festlegen.

Das Leiterplattensymbol wird auch als Footprint bezeichnet. Wie legt man nun den Footprint für einen solchen Chip-Widerstand fest?

Da wir mit aktuellem Standardmaterial arbeiten wollen, wählen wir die Bauform 0603 aus. Laut

Datenblatt hat der Chip die Maße 1,6mm (rechnerisch  $060 \times 0,0254\text{mm} = 1,524\text{mm}$ ) für die Länge und 0,8mm (rechnerisch  $030 \times 0,0254\text{mm} = 0,762\text{mm}$ ) für die Breite. Die Höhe beträgt 0,4mm.

Wir haben nun vier Möglichkeiten, den Footprint festzulegen.

1. Der Hersteller gibt in seinem Datenblatt eine Empfehlung. Diese Empfehlungen werden oft als Layout Recommendations bezeichnet.
2. Sie haben die aktuellen Normen von der amerikanischen IPC oder IEC-Normen.
3. Sie finden an anderer Stelle, zum Beispiel im Internet, passende Informationen.
4. Sie berechnen den Footprint selbst.

Wir stellen uns vor, dass wir weder über die Normen, noch über andere Quellen verfügen. Wir wollen den Footprint selber berechnen.

Nehmen wir uns wieder ein Blatt Papier, und zeichnen einen Chip-Widerstand auf. Wir benötigen die Ansicht von oben und die Seitenansicht.

.....

Nun zeichnen wir die Lötflächen ein.

.....

Als nächstes zeichnen wir die Maße ein, mit den Toleranzen laut Datenblatt. Die Toleranzen können auf verschiedene Weise eingetragen sein, zum Beispiel als absolute Toleranzen (zum Beispiel 3,2mm ~ 3,4mm), oder als (+/-)-Abweichung vom Sollwert (zum Beispiel 3,1mm +/- 0,1mm) .

.....

Am besten lötet die lange, verzinnte Seite der Lötfläche. Das sind unsere primären Lötflächen. Die kürzeren Lötflächen sind nicht ganz so wichtig; sie heißen sekundäre Lötflächen.

Mittlerweile sind die Bestückautomaten so genau, dass wir sogar gänzlich auf die sekundären Lötflächen verzichten könnten. Sie werden sehen, dass wir das tatsächlich bei späteren Bauteilen tun werden. Für unseren Chip-Widerstand wollen wir die sekundären Lötflächen berücksichtigen; weil wir für Löten von Hand größere Löt pads benötigen.

Bei der primären Lötfläche geben wir 0,5mm Kupfer hinzu, für die sekundäre Lötfläche 0,2mm.

.....

Nun berechnen wir aus den Größt- und Kleinstmaßen die erforderlichen Maße für die Löt pads.

.....

Unter dem Körper des Bauteils geben wir nur 0,1mm zum Kleinstmaß der Lötflächen hinzu.

.....

Es ist von eminenter Bedeutung, dass wir die Pads entsprechend der obigen Vorgehensweise weit genug unter den Bauteilkörper ziehen; damit verhindern wir das sog. „Tombstoning“. Wenn die Anziehungskräfte des flüssigen Lötzinns an den äußeren Flächen des Bauteils stärker sind, als unter

dem Bauteil selbst, dann kann sich das Bauteil während des Lötvorganges aufrichten. Dieser Vorgang wird als „Tombstoning“ bezeichnet.

.....

Wir gehen von Photoresist aus, und definieren den Lötstop mit rundum laufend 0,05mm.

.....

Den fertigen Footprint speichern wir in der Partition „SMD/Widerstände“ unter RES\_0603.

Der Kondensator verwendet denselben Footprint. So speichern wir ihn nochmals in der Partition „SMD/Kondensatoren“ unter CAP\_0603.

Der SMD-Transistor

Dieses Bauteil hat eine besondere Form: Ein kleiner, rechteckiger Körper, und an einer langen Seite zwei Pins, an der anderen langen Seite einen Pin. Die Pins ragen waagerecht aus dem Körper heraus, um dann senkrecht nach unten und dann wieder waagerecht abgebogen zu werden.

.....

Diese Pins bezeichnet man als „Gullwing“, sog. Möwenflügel. Diese Gullwing-Struktur findet man bei sehr vielen SMDs, insbesondere Transistoren und ICs.

Bei Gullwing-Pins ist eines eminent wichtig: Die sog. Lötkehle.

.....

Der Hersteller hat die Wahl, die Pins zu verzinnen, bevor der Chip mit Kunststoff ummantelt wird, oder danach. Normalerweise wissen wir nicht, wann der Hersteller verzinnt, und auch die Datenblätter geben darüber keine Auskunft.

Darum müssen wir uns über eine sehr wichtige Sache klar werden: Wenn das Bauteil verzinnt wurde, bevor es aus dem Trägermaterial heraus gestanzt wurde, sind die Enden der Pins nicht verzinnt! Das bedeutet, dass wir eine Lötung an den Enden der Pins nicht hundertprozentig garantieren können.

Aber Rettung naht: Wir legen unser Augenmerk auf die sog. Lötkehle. Die Lötkehle ist der Bereich des Pins, der nach unten gebogen ist, und das Lötpad berührt. An dieser Stelle ist eine hundertprozentige Lötung garantiert.

.....

Da an den Enden der Pins nicht unbedingt eine zuverlässige Lötung zu erwarten ist, genügt eine Materialzugabe von 0,2mm zur maximalen Breite des Bauteils.

.....

Da wir nicht wollen, dass der Körper des Bauteils auf den Löt pads aufsitzt, rechnen wir 0,1mm an beiden Seiten des Körpers hinzu. So kommen wir auf die gesamte Länge der Löt pads.

.....

Für den Lötstop rechnen wir wieder mit rundum laufend 0,05mm, so dass unser Padstack nun so aussieht:

.....

Als letztes zeichnen wir noch die Siebdrucklage ein.

.....

Nun ist unser Footprint SOT23 fertig.

Als letztes Teil zeichnen wir noch den 9V-Clip, diesmal allerdings als SMD-Version. Hierbei werden die Drähte direkt auf Löt pads gelötet. Mein Vorschlag: Ein Pad mit einer Länge von 4mm und einer Breite von 3mm.

.....

Dazu bauen wir noch das gesamte Bauteil:

.....

Auch aus diesen neuen Bauteilen machen wir einen Schaltplan.

.....

Nun legen wir die Teile neben das Board.

.....

Dieses Board wird sehr anschaulich darstellen, wie interessant die SMD-Technik ist. Ein direkter Größenvergleich konventioneller Elektronik mit SMT, auf einer Leiterplatte untergebracht.

Wir wollen versuchen, das Board einseitig bestückt, mit nur einer Kupferlage auf der Unterseite, zu konstruieren. Daraus resultiert, dass die eine Hälfte des Boards auf der Oberseite den Wechsel blinker mit THT-Bauteilen beherbergen wird, und auf der unteren Seite, der Lötseite, der andere Wechsel blinker mit SMT-Bauteilen sein wird. Selbstverständlich können Sie auch ein richtiges zweilagiges Board machen; da ist Ihrer Fantasie keine Grenze gesetzt. Hier wollen wir aber ein Board gestalten, das auch mit Hobbymitteln machbar ist.

Nun teilen wir das Board, und platzieren zuerst die THT-Bauteile auf der Oberseite.

.....

Ein paar Optimierungen, um Leiterbahnen zwischen den Transistor-Beinchen zu vermeiden:

.....

Als nächstes wäre es wichtig, die Breite der Leiterbahnen, und den Isolationsabstand in den Regeln zu definieren. Wir verwenden 0,3mm Leiterbahnbreite und 0,3mm Isolationsabstand. So ist das Board auch mit einfachen Mitteln ätzbefähigt.

.....

Unter Widerständen und Kondensatoren können wir getrost Leiterbahnen verlegen.

.....

Nun platzieren wir alle SMD-Bauteile auf der Unterseite.

.....

Die SMT-Technologie ist etwas feiner, und so müssen wir etwas mehr überlegen, um zu einem guten, ätzbereiten Ergebnis zu gelangen.

.....

Nun routen wir noch die SMT-Schaltung.

.....

### **Fertig!**

Der nächste Schritt ist wieder sehr wichtig: Wir müssen den „DRC“ laufen lassen. Der Design-Rule-Check überprüft das Board, ob alle Regeln eingehalten sind.

Wenn Ihr Programm zu den besseren zählt, wird es die zu Beginn eingegebenen Regeln während des gesamten Routing-Vorganges eingehalten haben, und der DRC wird keine Fehler finden. Es gibt aber weitere Fehlerquellen, wie zum Beispiel von Hand hinzu gefügte Texte im Kupfer, die möglicherweise zu nahe an anderen Elementen aus Kupfer liegen. Diese Fehler wird der DRC finden und anzeigen. Der Funktionsumfang des DRC ist von Programm zu Programm unterschiedlich; Sie werden feststellen, dass einfachere Programme weniger Elemente auf Fehler testen, und größere Programme sogar nicht-elektrische Informationen, wie Lötstoplack oder Bestückdruck, prüfen können. Näheres wird Ihnen die Bedienungsanleitung Ihres Programmes verraten.

..... (DRC completed successfully.)

Nun haben wir zwei Alternativen: Entweder ätzen wir das Board selber, oder wir erzeugen die Daten, die eine Leiterplattenfabrik benötigt, um das Board für uns zu produzieren.

Wenn wir das Board selber ätzen wollen, müssen wir das Layout auf eine durchsichtige Folie ausdrucken, eine fotobeschichtete Leiterplatte damit belichten, und ätzen. Dies soll aber nicht Gegenstand dieser Abhandlung sein.

Ein Leiterplattenhersteller benötigt sogenannte Gerberdaten für die Produktion. Diese Gerberdaten kann normalerweise jedes CAD-Programm erzeugen, welches für die Konstruktion von Leiterplatten gedacht ist. Theoretisch könnte man sogar mit anderen CAD-Programmen, wie zum Beispiel Autocad oder Corel Draw, eine Leiterplatte konstruieren. Allerdings gibt es hierbei zwei gravierende Probleme: Zum einen haben wir keine Kontrolle, ob unsere gewünschten Regeln eingehalten werden, und müssen alles selbst überwachen. Zum anderen können wir den Herstellern keine Gerberdaten zur Verfügung stellen, was diese Arbeit ungleich komplizierter macht, als gleich von Anfang an mit einem Leiterplatten-CAD-Programm zu arbeiten. Man merke: Jedes noch so kleine Leiterplatten-CAD-Programm ist jedem noch so großen anderen Programm überlegen. Und bevor Sie ein Layout mit einem 8.000-Euro-Mechanik-Programm erstellen, sollten Sie es besser mit einem 200-Euro-Elektronik-Programm umsetzen.

Ich wünsche Ihnen, dass diese kleine Einführung in die Leiterplatten-Konstruktion Ihnen den Einstieg in dieses interessante Gebiet der Elektronik geebnet hat!

## 5. Layout von einseitigen, zweilagigen Leiterplatten

Das Layout von zweiseitigen Leiterplatten bietet ohne Zweifel einige Vorteile; aber ebenso auch Nachteile. Zu den Vorteilen zählt, dass man die Leiterplatte doppelseitig bestücken könnte. Auch kann die Dichte der Verdrahtung höher ausfallen, als bei einem einlagigen Board.

Zu den Nachteilen zählt, dass man mit Hobbymitteln nicht so ohne weiteres eine derartige Leiterplatte machen kann. Dieser Aufsatz ist aber insbesondere für Hobbyisten geschrieben, und so wollen wir einige Aspekte ansprechen, die es ermöglichen, auch zuhause eine zweiseitige Leiterplatte zu machen.

Wenn Sie Ihr Board bei einem Leiterplattendienst professionell produzieren lassen wollen, besprechen wir die entsprechenden Voraussetzungen, die Ihr Design einhalten muss.

### Grundlagen einer zweilagigen Leiterplatte

Eine zweilagige Leiterplatte ist die Weiterentwicklung der einlagigen Leiterplatte. Das bedeutet, auf dem Glasfaser-Laminat mit einer Stärke von z. B. 1,6mm befinden sich auf beiden Seiten eine dünne Kupferschicht (normalerweise 35µm, 0,035mm). Der größte Vorteil ist nun, dass man auf beiden Seiten Leiterbahnen verlegen kann, und sie untereinander, mit Durchkontaktierungen, verbindet. Diese Durchkontaktierungen, auch Vias („Via“, lateinisch für „durch“, „hindurch“) genannt, müssen allerdings für die Produktion im Hobbykeller anders ausgelegt sein, als wenn man die Leiterplatte in einer Fabrik produzieren lässt.

Wir wollen das Board selber machen...

...und müssen uns zuerst überlegen, was wir benötigen, welche Werkzeuge wir haben, etc.

Generell können wir sagen, dass wir nicht die Feinheit einer professionellen Leiterplatte erreichen werden. Ebenso können wir nicht feine Vias erzeugen. Im Normalfall werden wir einen 1mm-Bohrer, möglicherweise sogar einen 0,8mm- oder einen 0,7mm-Bohrer unser Eigen nennen.

Nehmen wir einmal an, wir wollen unseren Wechselblinker einmal als THT- und einmal in SMT routen. Wir nehmen an, dass wir einen 1mm-Bohrer zur Verfügung haben.

Nun müssen wir uns noch über eine sehr wichtige Sache klar werden: Wenn wir ein Board selber ätzen wollen, können bzw. sollten wir unter Bauelementen keine Durchkontaktierungen legen. Unter THT-Bauteilen könnte man in der Not, oder wenn man etwas mehr Erfahrung hat, durchaus Vias legen. Aber unter SMD-Bauteilen empfiehlt es sich nicht, weil die Bauteile durch die Drähte, mit denen wir ein Via „simulieren“, das Bauelement hochgehoben würde. So wäre es uns nur sehr schwer oder gänzlich unmöglich, das SMD-Bauelement sauber zu verlöten.

Darum: Bei einem Board, welches wir selber ätzen wollen, versuchen wir, die benötigten Vias ausserhalb von SMD-Bauelementen zu platzieren. Sie werden sehen, dass es normalerweise ohne Probleme, oder mit moderaten Anstrengungen, möglich ist, diese Anforderung einzuhalten.

Nun kommen wir zu unserem Board. Wir wollen die beiden Wechselblinker einmal in THT, und einmal in SMT aufbauen, auf einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte. Diese werden wir so auslegen, dass wir sie selber ätzen können.

Da wir bei unserem ersten Board bereits die THT-Bauteile mit 0,5mm großen Restringen ausgestattet haben, können wir uns das zunutze machen, und dieselben Bauteile für unser zweilagig durchkontaktiertes Board verwenden. Wir verwenden die „DIY“-Bauteile, da wir mit einem 1mm-



Bohrer auskommen wollen.

Glücklicherweise können wir diesen 1mm-Bohrer für alle THT-Bauelemente verwenden; und wir werden auch ein Via für diesen Bohrer definieren.

Definieren unseres 1mm-Vias

Diesmal haben wir schon unser Bohrloch: 1mm. So benötigen wir nur noch das Pad. Wenn wir wieder 0,5mm rundum laufend haben wollen, wird unser Pad 2mm Durchmesser haben. Unser Padstack für dieses Via sieht so aus:

.....

Wir sollten auch bei unseren „DIY“-Footprints nicht auf die Lötstoplage verzichten. Es könnte sein, dass wir doch das Board professionell fertigen lassen wollen, und dann wäre es schade, wenn wir die erzeugten Gerberdaten nicht ohne schwerwiegende Änderungen dem Hersteller schicken könnten!

Bauen wir noch einen Footprint für den Kondensator und für den Transistor.

Der Kondensator ist kein Problem, er wird im selben Stil berechnet wie der Widerstand. Wir müssen nur sehen, ob wir einen stehenden oder liegenden Kondensator haben. Hier beide Footprints für beliebige Größen:

.....

Wir speichern den liegenden Kondensator-Footprint unter „THT/DIY/Kondensatoren/DIY\_CAP\_D6xL10\_Liegend\_RM2.50“. Den stehenden Kondensator speichern wir unter „THT/DIY/Kondensatoren/DIY\_CAP\_D6xL10\_Stehend\_RM12.50“. Die Bezeichnungen, die ich hier verwende, sind nur beispielhaft. Sie können Ihre eigenen Bezeichnungen wählen. Ebenso müssen Sie nicht Footprints erstellen für Bauelemente, die Sie gar nicht haben. Sie sollten aber die Footprints entsprechend an die vorhandenen Bauelemente anpassen. Sei es nun im Rastermaß oder bei der Drahtstärke der Beinchen.

Beim Transistor ist nun etwas anders zu verfahren.

Zum einen möchten wir das Board selber ätzen. Zum anderen stehen die Beinchen des Transistors etwas zu dicht beieinander. So müssen wir zweierlei Kompromisse treffen: Zum einen rechnen wir den Footprint zum selber ätzen, und zum anderen werden wir die Beinchen des Transistors etwas biegen. Keine Angst, das Biegen der Beinchen ist nicht schädlich für das Bauteil.

Hier das eigentliche Ergebnis:

.....

Das ist unser Kompromiss:

.....

Es ist natürlich klar, dass man bei einer professionellen Produktion derlei händische Änderungen zu vermeiden sucht, aber wir wollen eine Nachbausicherheit haben. Da die Menge bei uns keine Rolle spielt, können wir problemlos ein paar Bauteile mit der Zange oder Pinzette zurecht biegen.

Beispiele für das zurecht biegen von Bauteilen sind: Widerstand stehend und liegend, Kondensator liegend mit verschiedenen Rastermaßen, Transistor für leichteres verlöten.

.....

**Fazit: Seien Sie fantasievoll, wenn es um Ihr selbst gemachtes Board geht! Durch leichtes aufbauen und sichere Funktion werden Sie viel Freude an Ihrer Platine haben!**

Kommen wir nun zum zweiten Teil: Wir wollen unsere einseitig bestückte, doppelseitige Leiterplatte routen.

Zuerst platzieren wir die Teile wie folgt:

.....

Nun stellen wir das System ein auf 0,3mm Leiterbahnbreite und 0,3mm Isolationsabstand. Jetzt können wir problemlos einzelne Netze routen.

.....

Nun sehen wir, dass die Netze mit Lagenwechsel viel einfacher zu routen sind. Insbesondere die SMDs lassen sich so viel besser entflechten.

.....

Aber Achtung! Wir wollen unter den Bauteilen keine Vias! Also ändern wir noch einmal einige Verbindungen.

.....

**Fertig!**

.....

Nun können wir das Board ätzen und bohren. Hierzu ziehen wir die schwarze Schutzfolie von einer Seite ab – und heben sie auf! Wir werden sie später noch benötigen.

Wenn Sie nun die erste Seite belichtet und geätzt haben, bohren Sie nur zwei Löcher, die möglichst weit auseinander liegen.

Kleben Sie nun die Schutzfolie wieder auf die fertige Seite!

Wenn Sie nun die zweite Seite belichten, können Sie die beiden Bohrungen als Passermarken verwenden, um den Film passgenau auszurichten und zu belichten.

Nachdem Sie die zweite Seite belichtet und geätzt haben, können Sie von der ersten Seite auch die Schutzfolie nochmals entfernen und die restlichen Löcher bohren.

Als nächsten Schritt setzen wir unsere selbst gemachten Vias. Hierzu schieben wir kleine Drahtstückchen durch die Via-Bohrungen und schneiden sie ca. 1mm oberhalb der jeweiligen Boardseite ab. Nachdem wir die überstehenden Drahtenden umgebogen haben, können wir sie problemlos auf beiden Seiten verlöten.

.....

Nun kommen die SMD-Bauteile dran, beginnend mit den niedrigen, hin zu den höchsten.

.....

Bei den THT-Bauteilen verfahren wir genau so; zuerst die niedrigen, dann die hohen Bauteile.

Als letztes löten wir das Kabel für den 9V-Clip an.

.....

**Fertig ist unser zweiseitiges, einseitig bestücktes Demonstrationsboard!**

## 6. Layout von einseitigen, mehrlagigen Leiterplatten

Mehrlagige Leiterplatten, insbesondere 4- bis 6-lagig, sind ein sehr wichtiges Werkzeug des Layouters geworden. Die Signale werden immer schneller, immer empfindlicher; und so muss das Layout entsprechend sorgfältig ausgelegt werden.

Wie geht man nun vor? Und woran erkennen wir überhaupt, wieviele Lagen wir verwenden müssen?

Ganz genau, nach Punkt und Komma, oder gar nach festen Regeln, kann man tatsächlich nicht herausfinden, wieviele Lagen das Board benötigt.

Normalerweise erkennt man, dass man mehr Lagen benötigt, wenn man nicht mehr in der Lage ist, alle Spannungsversorgungspins akzeptabel anzubinden, und auch die Signale sich nicht mehr alle verlegen lassen. Die Problematik hierbei wäre, entweder die Spannungsversorgung oder die Signale zu routen. Die jeweils andere Klientel müsste gezwungenermassen vernachlässigt werden. Wenn man an einem solchen Punkt im Layout angekommen ist, fällt die Entscheidung leicht, auf vier oder sogar sechs Lagen zu wechseln.

Ein guter Layouter erkennt diese Situation, wenn die Platzierung fertig ist, und alle Luftlinien eingeblendet sind. Das ist reine Übungssache.

Wir wollen wieder ein kleines Übungsboard erstellen. Hierzu zeichnen wir uns zuerst einen Schaltplan.

.....

Sie können natürlich auch gerne ein kleines Projekt zeichnen. Vorzugsweise mit einem Mikrocontroller. Sie werden feststellen, die Empfehlungen in diesem Aufsatz sind so allgemein gehalten, dass sie problemlos mit jedem Elektronik-CAD-Programm nachvollzogen werden können.

Da wir ein Multilayer-Board nicht mehr selber produzieren können, werden wir von vornherein die Einstellungen des Systems für industrielle Produktion vornehmen.

### **Müssen wir unsere Bibliothek ändern, um Multilayer-Leiterplatten designen zu können?**

Nein, normalerweise nicht. Sie müssen nur in der Lage sein, mindestens ein Pad für eine Innenlage definieren zu können.

.....

Dies betrifft nur THT-Bauteile. SMT-Bauteile benötigen keinerlei Änderungen oder Berücksichtigungen.

Sollte das nicht möglich sein, können Sie mit Ihrem CAD-Programm leider keine Multilayer-Leiterplatten konstruieren. Möglicherweise können Sie eine größere Lizenz für Ihr CAD-Programm erwerben, um die benötigte Funktionalität zu erhalten. Man kommt aber auch mit zwei Lagen sehr weit.

Wir wollen nun den Lagenaufbau eines Vierfach-Multilayers besprechen.

Der Lagenaufbau für vier Lagen sieht so aus:

.....

Das ist ein Standard für vier Lagen. Auch für sechs Lagen bleibt der grundsätzliche Aufbau derselbe. Es werden nur aussen jeweils eine Lage oben und eine Lage unten hinzu addiert.

Der versierte Layouter wird durchaus von diesem Standard abweichen; je nachdem, wie die Erfordernisse auf dem Board sind.

Für unser kleines Testboard bleiben wir aber bei vier Lagen und unserem Standard-Lagenaufbau.

Definieren Sie nun diesen Lagenaufbau in Ihrem CAD-Programm. Eine allgemein gültige Vorgehensweise gibt es auch hierbei nicht. Darum sollen diese Abbildungen nur exemplarisch gelten. Möglicherweise brauchen Sie gar keine Definition zu machen, welche Netze Sie auf den Innenlagen verlegen wollen, sondern können einfach drauflos Flächen verlegen. Vieles ist schlichtweg von Ihrem CAD-Programm abhängig, und nichts ist genauso wie bei einem anderen CAD-Programm.

.....

Nachdem wir die Platzierung vollendet haben, wollen wir noch die Leiterbahnbreite und den Isolationsabstand definieren: 0,1524mm oder 6 Mil für Signale, 0,5mm oder 20 Mil für die Signale der Spannungsversorgung. Empfehlenswert ist, nicht unbedingt mit Tausendstel Millimeter zu arbeiten, wenn es nicht absolut notwendig ist. Und es ist eigentlich nie absolut notwendig! Sie können also getrost die Leiterbahnbreite für Signale auf 0,16mm aufrunden.

Nun wollen wir die Signale routen. Wir verwenden wieder unsere Standard-Vias mit 0,7mm Pad und 0,3mm Bohrung (VIA\_0.70\_HOLE\_0.30). Für die Stromversorgung nehmen wir das Via mit 1mm Pad und 0,4mm Bohrung (VIA\_1.00\_HOLE\_0.40).

Nachdem wir alle Signale verlegt haben, platzieren wir die Flächen für die Spannungsversorgung auf der Innenlage 2, der GND-Lage. Diese Spannungsversorgungs-Flächen werden auch Planes genannt. Zuerst die Plane für GND:

.....

Nun wechseln wir auf die Lage 3, und verlegen die Planes für 3,3V und 5V.

.....

Abhängig von Ihrem CAD-Programm, fluten Sie nun die Planes. Hier mein Ergebnis für die erste Innenlage:

.....

Und das Ergebnis für die zweite Innenlage:

.....

Um die Signalqualität noch weiter zu verbessern, könnten wir noch die Aussenlagen mit GND fluten:

.....

**Soweit unsere kleine Einführung in die Multilayer-Technologie.**

## **7. Ausblick:**

Wie man vorgeht bei hohen Spannungen, hohen Strömen, und was man für EMV tun muss und tun kann, soll in einem späteren Aufsatz besprochen werden.

**ENDE**