

## 19. Kapitel / Arnold Wiemers

### ***Der Einfluß des m.n.-Formates auf die Qualität von Leiterplatten und Baugruppen***

***....wenn nicht zusammenpaßt, was zusammenpassen sollte***

#### **Schatten der Vergangenheit**

Eigentlich spricht man kaum noch speziell über *Mikroelektronik*. Das ist eben nichts besonderes mehr. Alles ist heute irgendwie *mikro*. Die Bauteile, die Leiterplatte und damit selbstverständlich auch das CAD-Layout als Konstruktionsvorlage für die Baugruppe. Das scheint überschaubar und unkompliziert.

Ein Knopfdruck nach Fertigstellung des Layouts genügt und der Postprozeß der CAD-Software versorgt uns automatisch mit allen Daten für die Produktion der Leiterplatte und der Baugruppe. Bohrprogramme, Leiterbilder, Fräsen, Ritzen und Lasern, Datafiles für Fotoplotter und Laserdirektbelichter sowie für die Bestückung der Bauteile, Geometrien für Lotpastenschablonen, Steuerdaten für Dispenser und Kleber werden in Sekunden erstellt und sind für uns abrufbar.

Für beinahe jeden Fertigungsschritt steht uns ein Datensatz zur Verfügung, der den effektiven Einsatz einer Maschine ermöglicht, die mit atemberaubender Geschwindigkeit und hoher Präzision technologisch anspruchsvolle Prozeßschritte durchführt.

Das zumindest ist unsere Erwartung. Allerdings verunsichert uns der Blick durch das Mikroskop, wenn die Leiterplatte und/oder die Baugruppe in Mikrofeinstleiteteknik nicht gleich so funktioniert, wie wir uns das gedacht haben.

Vieles paßt nicht mehr. Bohrungen sind nicht mittig im Pad. Die Lotpaste ist nicht da, wo die SMD-Lötfläche ist. Bei differentiellen Impedanzen ist der Abstand des Leiterbahnpaares in X-Richtung ein anderer, als in Y-Richtung. Alles ist irgendwie schief, daneben, ungenau.

Die langen Schatten der Vergangenheit beginnen uns einzuholen. Um das zu verstehen, müssen wir uns mit der Geschichte des Datentransfers beschäftigen.

#### **Anforderungen an Produktionsdaten**

Alle Fertigungsprozesse in der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion setzen voraus, daß in der Ebene gearbeitet werden kann. Der Name "*Leiterplatte*" kommt ja nicht von ungefähr und macht bereits deutlich, daß hier etwas plan, flach und eben ist.

Der klassische Vorgang des Bohrens von Löchern in Leiterplatten erläutert diesen Vorgang exemplarisch. Das Auflegen eines Filmes zur Belichtung des Leiterbildes erfolgt plan. Selbst wenn der Fotoplott von einem Lasertrommelplotter erzeugt wird, dann ist die Trommeloberfläche in eine Ebene transferierbar. Alle Siebdrucke erfolgen zwangsläufig auf einer Fläche. Auch der Aufdruck von Lotpaste auf die Leiterplatte erfolgt plan. Dazu wird eine Schablone benötigt, die ebenfalls plan ist. Die Bestückung einer Baugruppe setzt voraus, daß die Leiterplatte eben aufliegt und zuverlässig durch die Produktionsanlagen transportiert werden kann.

Für die Ausführung dieser Prozeßschritte ergibt sich strategisch immer die gleiche Aufgabenstellung: *Was soll an welcher Position stattfinden ?*



Betrachten wir das Bohren, dann ist es die Aufgabe, an einer definierten X-,Y-Position ein Loch mit einem vorgegebenen Durchmesser zu bohren.

Für das Fotoplotten ist die Aufgabe, an einer definierten X-,Y-Position ein SMD-Pad mit einer vorgegebenen Geometrie auf den Film zu belichten.

Nehmen wir das Bestücken dazu, dann ist an einer definierten X-,Y-Position ein vorgegebenes Bauteil mit einer vorgegebenen Drehrichtung zu platzieren.

Eine Position in einer Ebene ist durch die Angabe ihrer X- und Y-Koordinate hinreichend beschrieben.

Das zweidimensionale kartesische Koordinatensystem bietet uns bereits die Lösung für unsere Aufgabe (Bild 19-1). Das CAD-System muß deshalb lediglich die Koordinaten für die Ansteuerung der Produktionsmaschinen ausgeben.

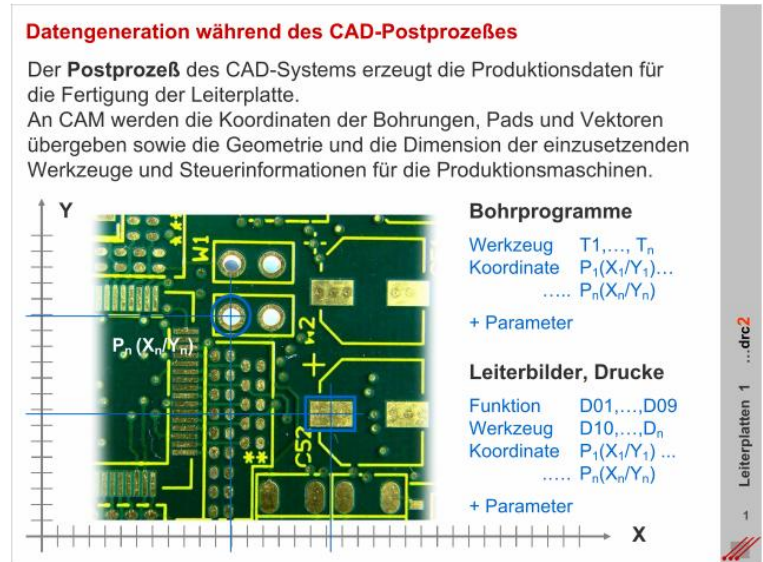


Bild 19-1 Anlage der Layoutdaten für die Produktion

### Evolution des Datentransfers

Nun ist das nichts wirklich Aufregendes. Bereits vor Jahrzehnten wurden Daten für die Ansteuerung von Produktionsmaschinen genutzt. Viele Fertigungsabläufe konnten damit automatisiert werden.

Allerdings war es damals nicht so komfortabel, Daten zu speichern, wie das heute der Fall ist. Die Diskette war noch nicht erfunden. Auch Magnetbänder gab es noch nicht. Für die variable Ansteuerung von Werkzeugmaschinen wurden Lochkarten genutzt, später dann die fortschrittlichere Variante, der Lochstreifen. Der Datenträger war gleichzeitig auch das Speichermedium mit einem verständlicherweise ausgesprochen geringen Speichervolumen. Das Speichervolumen und das Speichermedium waren linear proportional aneinander gekoppelt. Bei doppeltem Informationsgehalt mußte der Lochstreifen also doppelt so lang sein.

Daraus ergab sich die Notwendigkeit, den Umfang des formellen Datentransfers zu straffen.

Wir lesen als Menschen die Koordinatenangabe "X=123,45mm" sehr zügig und verstehen, wo wir damit im Koordinatensystem positioniert sind. Wenn wir Gleiches von einer Maschine erwarten, dann müssen wir im Zeitalter des Lochstreifens jedes Zeichen als ASCII-Code transportieren. Das ist ein eigenes Byte in einer eigenen gestanzten Spalte auf dem Lochstreifen.

Damit die Lochstreifen nicht zu lang und die Dateninterpretation in der Maschine nicht zu umständlich wurden, hatte man eine Konvention hinsichtlich des Datentransfers getroffen : Es wurden nur die absolut notwendigen Daten als Ziffernreihenfolge und mit eingeschränkter Koordinatenauflösung weitergegeben.

Das "m.n."-Format war erfunden. Das ging zirka drei Jahrzehnte gut und Lochstreifen sind längst Geschichte. Allerdings führt die seit diesen Tagen unverändert übernommene Strategie des Datentransfers heute zu einigen Komplikationen.

### m.n.-Format

Im m.n.-Format werden die Koordinaten ohne Kommastelle und Längenreferenz angegeben. Eine Position im Koordinatensystem hat demnach beispielsweise die Form "P(x/y)= 12300 54630".

Erst der Hinweis auf das m.n.-Format macht diese Angabe sinnvoll nutzbar.

Mit "m" wird die maximale Anzahl an Vorkommastellen für die Koordinate angegeben, mit "n" die grundsätzliche Anzahl an Nachkommastellen.

Als ergänzende Information wird mitgeteilt, ob die Werte der Koordinaten metrisch oder zöllig zu interpretieren sind. Zudem gilt die Konvention, daß in einem Koordinatenpaar der X-Wert zuerst steht.

Geben wir für das obige Beispiel das m.n.-Format mit "2.3 inch" vor, dann liest sich die Koordinate für P(x/y) als "X12,300in Y54,630in".

Das ergibt schon eher einen Sinn und mit der Übergabe des m.n.-Formates

an die Produktionsmaschinen können die Daten für Plotten, Bohren, Fräsen, Schablonenfertigung und Baugruppenbestückung etc. jetzt von den Automaten genutzt werden (Bild 19-2).

Die Aufgabenstellung scheint damit gelöst zu sein. Die Analyse dieses Formates zeigt jedoch, daß es eine Einschränkung gibt. Das Format "2.3in" bedeutet, es können maximal 3 Stellen nach dem Komma angegeben werden.

Die *kleinste* Koordinate ist demnach 0.001in. Das ist 1/1000 inch oder 1 mil. 1 mil entspricht 25.4µm. Die *nächste* beschreibbare Koordinate kann dann erst bei 0.002in liegen. Die Koordinatenauflösung beträgt somit 1mil.

Oder, anders formuliert, bei einem m.n.-Format von "2.3in" sind Koordinatenpositionen nur mit einem ganzzahligen Vielfachen von 25.4µm darstellbar.

Nun gibt es offensichtlich am CAD-System präzisere Positionierungen. Die CAD-Systeme arbeiten *intern* auf einer Inch-Basis mit einer Auflösung von 8 und mehr Stellen hinter dem Komma.

Die Nachkommastellen werden erst reduziert (= verworfen) und auf- oder abgerundet (= interpoliert), wenn über den Postprozeß die Datenausgabe erfolgt.

Damit entsprechend die realen Produktionsdaten jedoch *nicht* den virtuellen Konstruktionsdaten. Folglich können die reale Leiterplatte und die darauf aufbauende Baugruppe niemals ein *exaktes* mechanisches Abbild der virtuellen CAD-Konstruktion sein.

Für Bilddaten ist ein m.n.-Format von "2.3in" typisch. Diese Voreinstellung für den Postprozeß des CAD-Systems findet sich in fast allen fabrikneu ausgelieferten Softwareprogrammen für die Ausgabe von Bildern (i.e. Leiterbilder, Siebdrucke, Lotpastenschablonen, Kleberschablonen, Bestückungs-koordinaten).

Datenformat : Gerber / File-Inhalt	
File-Inhalt	Funktion
%FSLAX44Y44*%	Format Statement, Leading zeros omitted, Absolut, X=4.4, Y=4.4 (führende Nullen unterdrückt, Koordinatenbasis absolut, Koordinaten haben 4 Vor- und 4 Nachkommastellen)
%MOIN*%	MODE / Maßeinheit = INCH (gilt für alle weiteren Daten) (die metrische Maßeinheit in MM wäre %MOMM*%)
D14*	Auswahl der 1. Apertur/Blende = D14
G1X11000Y6000D2*	G1 = lineare Interpolation, Angabe der X + Y Koordinaten, Funktion D2 = Licht aus, * = End Of Block (EOB)
X11900Y60390D1*	X + Y Koordinaten, Funktion D1 = ziehe eine Linie, * = EOB
X11900Y60590*	Ziehe Linie bis X = 11900, Y = 60590 (fahre mit Licht)
X11300Y60090D2*	Fahre ohne Licht an die Position X = 11300, Y = 60090
X11300Y59890D1*	Ziehe eine Linie bis X = 11300, Y = 59890 (fahre mit Licht)
D47*	Wähle die Apertur/Blende D47
X13800Y8040D3*	Blitze mit D47 ein Pad an Position X = 13800, Y = 8040
X13800Y10040D3*	Blitze mit D47 ein Pad an Position X = 13800, Y = 10040
X35550Y60290D3*	Blitze mit D47 ein Pad an Position X = 35550, Y = 60290
X0Y0D2*	Fahre ohne Licht auf die Nullposition X = 0 und Y = 0
M02*	Ende der Datei

Quelle : Mendritzki / Wiemers  
LA-Seminar GERBER 2010

Bild 19-2 Parameter in einem Extended-Gerber-File

Die zöllige Angabe (Hinweis : i.e. 1 Inch = 1 Zoll) referenziert aus historischen Gründen auf Produktionsmaschinen (...z.B. Fotoplotter) aus dem amerikanischen Umfeld.

Das typische m.n.-Format für Maschinen zur mechanischen Bearbeitung ist "3.2mm" und referenziert auf Maschinen (...z.B. Bohr-, Fräsmaschinen) aus dem deutschen/europäischen Umfeld.

Während des Postprozesses kommt es am CAD-System bei den ausgegebenen Daten zu einer Vermengung von zölligen (...für Fotoplotts) und metrischen (...für Bohren und Fräsen) Koordinatenpositionen. Deshalb ist eine absolute Deckungsgleichheit zwischen einem Viapad und der dazugehörigen Bohrung nur dann zu erreichen, wenn die metrische Bohrposition ein ganzzahliges Vielfaches der zölligen Padposition ist.

### Fehlerbilder

Bei einem m.n.-Format von "2.3in" beträgt die Interpolation von CAD-Daten +,- 12,7µm. Das scheint ein geringer Wert zu sein, der vernachlässigt werden kann. Schließlich hat das ja die letzten Jahrzehnte anstandslos funktioniert.

Warum also jetzt diese Probleme ? Nun, inzwischen werden Layouts im Grenzbereich prozessierbarer Geometrien konstruiert. Leiterplatten und Baugruppen sind hochwertige Präzisionsprodukte geworden. Ein Versatz zwischen den Daten für die Bildbearbeitung und den Daten für die mechanische Bearbeitung führt heute nicht nur zu Toleranzen zwischen den Arbeitsschritten zur Fertigung der Leiterplatte. Es ergeben sich auch unnötige Toleranzen zwischen der Produktion der Leiterplatte und der Produktion der Baugruppe. Sogar die physikalische Funktion der Baugruppe kann drastisch in Mitleidenschaft gezogen werden.

Das klassische Interpolation der Daten für die Produktion betrifft die Passung zwischen Bohrung (= Mechanik) und Pad (= Leiterbild). Für Vias sind die Restringe inzwischen bereits minimal konstruiert, um beim Layouten eine möglichst hohe Verdrahtungsdichte erreichen zu können.

Ein durch den Postprozeß des CAD-Systems bedingter Versatz zwischen Viabohrung und Pad kann fatale Folgen haben. Wird die fertigungstechnisch zulässige Toleranz während der Leiterplattenfertigung bereits in Anspruch genommen, dann führt der datenbedingte Versatz dazu, daß die Bohrung außerhalb des Pads liegt.

Das entspricht einer Reduzierung des Sicherheitsabstandes zu benachbarten Leiterbildstrukturen von maximal 12.7µm. Bei HDI-Layouts mit 100µm Strukturabstand entspricht das einer Reduzierung von 12.7%. Weil die Interpolation benachbarter Strukturen gegenläufig sein kann ('links' wird aufgerundet und 'rechts' wird abgerundet), sind auch Abstandreduzierungen von bis zu 25.4µm oder 25.4% möglich (Bild 19-3).

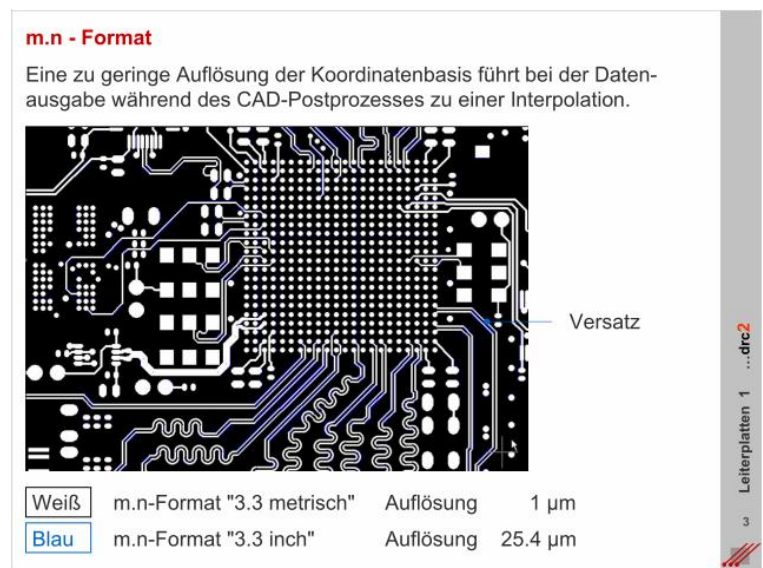


Bild 19-3 Soll- (= blau) und Ist-Position (= weiß)

Der Begriff "benachbarte Strukturen" ist eine allgemeine Formulierung. Das können auch parallel verlaufende Leiterbahnen sein. Bei einer gegenläufigen Interpolation durch Abrunden einerseits und Aufrunden andererseits können die Leiterbahnen unerwartet nah zusammenrücken.

Für einen guten Leiterplattenhersteller mag das fertigungstechnisch keine Komplikation bedeuten. Ein ungewolltes und in der Funktionssimulation nicht vorgesehene Übersprechen (i.e. Crosstalk) kann jedoch zur Folge haben, daß die bestückte Baugruppe nicht die stabile Funktionssicherheit bietet, die von der Anwendung benötigt wird und die vom Konstrukteur auch korrekt vorausberechnet wurde.

Daß keineswegs nur Leiterplatten und Baugruppen in MFT (i.e. MicroFine-lineTechnology) betroffen sind, zeigt die Analyse des Einflusses einer möglichen Interpolation auf die Varianz des Impedanzwertes bei differentieller Signalübertragung.

In der Tabelle von Bild 19-4 ist für eine Geometrie von 175-175-175 (= Leiterbahn\_Leiterbahnabstand\_Leiterbahn) bei einer Interpolation von +/- 10µm eine Impedanzabweichung von 3.4 Ohm zu erwarten.

Wohlgermerkt, nur auf Grund der Interpolation der Datenpositionen durch das CAD-System. Es ist also noch gar kein Fertigungsschritt durchgeführt worden.

**Ausblick**

Wagen wir einen Blick in die nahe Zukunft, dann zeigt die Tabelle ebenfalls, daß für die gezeigte Geometrie bei einem Abstand von 75-75-75 der Impedanzwert um bis zu 9.6 Ohm abweicht. Das entspricht der heute insgesamt zulässigen Abweichung, die sich durch *reale Fertigungstoleranzen* ergeben darf.

Liegt die Interpolation über +/- 10µm, dann die Abweichung *bereits über der realen Fertigungstoleranz* und das Produkt wäre bereits unbrauchbar, noch bevor überhaupt das erste Loch gebohrt oder die erste Leiterbahn geätzt worden wäre.

**Hinweis**

Die richtige Koordinatenauflösung muß vom CAD-System kommen. Prüfen Sie am CAD-System die Einstellungen für den Postprozeß.

Stellen Sie alle Ausgabeformate einheitlich auf metrisch ein. Die in der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion technisch umsetzbare Auflösung beträgt minimal 1µm.

Das sinnvolle und ideale m.n.-Format ist dann also "3.3mm".

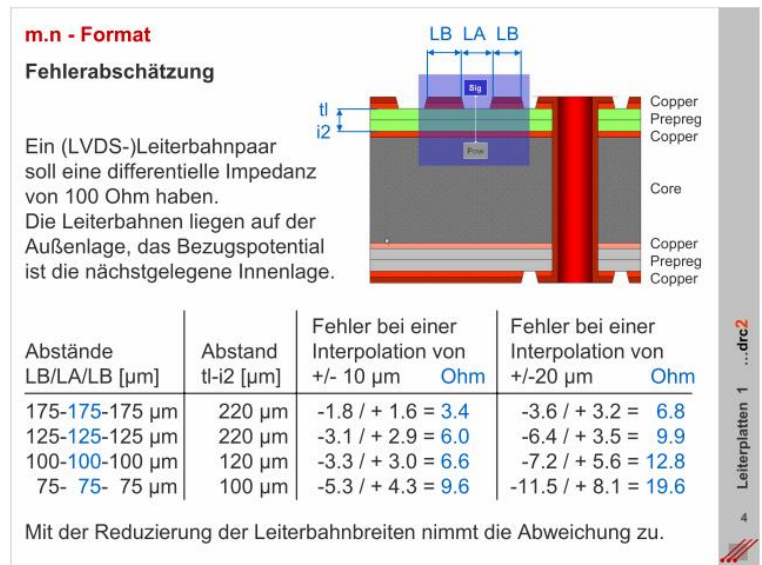


Bild 19-4 Einfluß der Interpolation auf den Impedanzwert